

THESE

Présentée pour l'obtention du
Diplôme de Doctorat

Quaternaire : Géologie, Paléontologie Humaine, Préhistoire
Option : Géologie du Quaternaire

par

Marie-Pierre LEDRU

*Etude de la pluie pollinique actuelle des forêts du Brésil central :
climat, végétation, application à l'étude de l'évolution paléoclimatique
des 30.000 dernières années*

Soutenue le 31 janvier 1991

devant le jury composé de :

| | |
|---------------------------|-------------|
| Henry de LUMLEY | Président |
| Philippe MORAT | Examinateur |
| Michel SERVANT | Rapporteur |
| Josette RENAULT-MISKOVSKI | Rapporteur |
| Raymonde BONNEFILLE | Examinateur |
| Antoine CLEEF | Examinateur |
| Vera MARKGRAF | Examinateur |

AVANT-PROPOS

Une thèse est le résultat d'une collaboration efficace et de soutiens permanents.

Je tiens donc à remercier

Monsieur le professeur Henry de Lumley, Directeur de Recherches au CNRS, pour son enseignement passionné de la Préhistoire. Je lui suis reconnaissante de m'avoir accueillie dans le DEA de Géologie du Quaternaire qu'il dirige et d'avoir accepté la présidence de ce jury.

Monsieur le professeur Morat, Directeur du laboratoire de Phanérogamie, qui m'a autorisée à effectuer des prélèvements dans les collections de l'herbier du Museum National d'Histoire Naturelle et a accepté de faire partie de ce jury.

Monsieur Michel Servant, Directeur de Recherches à l'ORSTOM, sans qui cette thèse ne saurait exister. Son intérêt constant et son enthousiasme envers ce travail m'ont remonté le moral pendant les moments difficiles. Je lui suis également reconnaissante d'avoir trouvé un financement pour toute la durée de la thèse et de m'avoir accueillie à Bondy.

Madame Josette Renault-Miskovski, Directeur de Recherches au CNRS, qui m'a acceptée en DEA dans son Unité de Recherches et m'a initiée à la palynologie du Quaternaire.

Madame Raymonde Bonnefille, Directeur de Recherches au CNRS, pour son sympathique accueil au laboratoire de Géologie du Quaternaire de Luminy. Son expérience du monde tropical et ses nombreux conseils m'ont toujours guidé au cours de ce travail.

Madame Vera Markgraf, Directeur de Recherches, pour son chaleureux accueil à l'INSTAAR de Boulder et pour m'avoir fait profiter de son expérience de la paléoclimatologie sud-américaine.

Monsieur Antoine Cleef, Directeur de Recherches à l'Université d'Amsterdam, qui m'a toujours encouragée avec amitié.

Monsieur Denis Vialou, Sous-Directeur au Museum National d'Histoire Naturelle, ainsi que Agueda Vilhena-Vialou, sans lesquels je n'aurais pu connaître le Brésil et démarrer cette recherche. L'aventure qu'ils m'ont fait vivre sur les sites archéologiques du Mato Grosso et mes premiers pas dans les forêts tropicales restent des souvenirs inoubliables.

Madame Terezinha Melhem, Directrice de l'Institut de Botanique du Secrétariat à l'Agriculture de São Paulo, pour m'avoir accueillie dans son laboratoire et initiée à la palynologie brésilienne.

Monsieur le professeur Thomas van der Hammen, Directeur du laboratoire Hugo de Vries à l'université d'Amsterdam, pour m'avoir accueillie dans son laboratoire; ses encouragements, son enseignement, son amour de la nature, sa gentillesse et sa disponibilité ont su me motiver davantage dans l'accomplissement de ce travail.

Henk Witte et T.A Wijmstra; leurs discussions agrémentées de nombreuses tasses de café n'ont pu que faire progresser la mise au point d'une méthode de travail et le traitement numérique des données. Cette collaboration m'était indispensable dans la réalisation de ce travail.

Bruno Turcq, chargé de Recherches à l'ORSTOM, grâce à qui les pannes de centrifugeuse et les compte-rendus en portugais n'étaient plus des problèmes à São Paulo.

Mes remerciements s'adressent aussi à toute l'équipe de recherches de l'ORSTOM et plus particulièrement à Marc Fournier pour les datations ^{14}C réalisées en un temps record, Louis Martin, François Soubiès qui ont participé au prélèvement de la carotte LC3 de Salitre, Simone Servant et Maurice Roux pour leurs nombreux conseils, Jean Maley et Jean-Pierre Ybert qui m'ont fait profiter de leur expérience de travail en palynologie tropicale.

Au Brésil, je ne peux oublier le chaleureux accueil de Fernando Cardoso da Silva, botaniste à la EMBRAPA de Curitiba, Giselda Durigan, botaniste au Centre Forestier de Assis, Carlos Joly, professeur à l'Université de Campinas, Sergio Pagano, professeur à l'Université de Rio Claro, Osmar Cavassan, professeur à l'Université de Bauru, José Carlos botaniste à la EMBRAPA de Planaltina, Ary T. Oliveira Filho, professeur à l'école d'Agronomie de Lavras, le Docteur Ricardo professeur à l'UFMG de Belo Horizonte, tous ont mis à mon entière disposition leurs données phytosociologiques. Ce travail repose entièrement sur leur gentillesse et leur générosité.

Ainsi que tous mes amis, collègues et techniciens de l'Institut de Botanique, de l'Institut de Préhistoire, de la USP, de l'UFMG, de l'UFMT, Graciela Magnoni, Sergio Krasélis, Levy Figuti, Yoshimi Nagatani, Eduardo et Flavia Vilhena de Toledo grâce auxquels ma connaissance du Brésil s'est faite aussi à travers ses habitants.

En Hollande, Jody dos Santos, tous mes collègues et amis du laboratoire Hugo de Vries, Jolanda Willemsen, Bas Pels, Raymond Young, Eva Ran, Rita Smit et plus particulièrement Geraldo Noldus pour son aide et ses discussions sur la morphologie des grains de pollen sud-américains qu'il connaît si bien. La chaleur de leur amitié fait oublier la tristesse du climat hollandais.

Je n'oublie pas non plus

Madame Queddam qui a prélevé patiemment et minutieusement les grains de pollen et sur qui repose l'élaboration de la collection de référence.

Tous mes collègues, amis, techniciens de l'Institut de Paléontologie Humaine, du Muséum National d'Histoire Naturelle, du laboratoire de Géologie du Quaternaire de Luminy, Agnès Gauthier, Danièle Ablin, Abdelfetta Siffidine, Philippe Mourguia pour leurs conseils et leur amitié, Anne Marie Semah qui a bien voulu relire ce travail et me conseiller dans sa réalisation.

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS
SOMMAIRE
LISTE DES FIGURES
LISTE DES TABLEAUX
ABSTRACT

| | Pages |
|--|-------|
| INTRODUCTION | 1 |
| Chapitre I- Le Brésil central | |
| A- GEOGRAPHIE | 7 |
| B- GEOLOGIE | 8 |
| C- CLIMAT | |
| <i>C1- La circulation atmosphérique</i> | |
| C1-1 Situation en Janvier: position de la ZCIT | 12 |
| C1-2 Situation en Juillet: les advections polaires | 14 |
| C1-3 El Niño: une situation de blocage | 14 |
| <i>C2- Données climatiques</i> | |
| C2-1 les précipitations | 15 |
| C2-2 les saisons sèches | 15 |
| C2-3 les températures | 21 |
| D- VEGETATION | |
| <i>D1- Présentation</i> | 21 |
| <i>D2- La forêt d'araucaria</i> | |
| D2-1 Répartition géographique | 24 |
| D2-2 Historique | 24 |
| D2-3 Origine | 25 |
| D2-4 Climat | 27 |
| D2-5 Sols | 27 |
| D2-6 Végétation | 28 |

| | |
|---|----|
| <i>D3- La forêt mésophile semidécidue</i> | |
| D3-1 Répartition géographique | 29 |
| D3-2 Historique | 29 |
| D3-3 Climat | 30 |
| D3-4 Sols | 30 |
| D3-5 Végétation | 31 |
| <i>D4- La forêt galerie</i> | |
| D4-1 Répartition géographique | 32 |
| D4-2 Historique | 32 |
| D4-3 Climat | 33 |
| D4-4 Sols | 33 |
| D4-5 Végétation | 33 |
| <i>D5- Le cerrado</i> | |
| D5-1 Répartition géographique | 34 |
| D5-2 Historique | 36 |
| D5-3 Origine | 37 |
| D5-4 Climat | 41 |
| D5-5 Sols | 41 |
| D5-6 Végétation | 42 |
| <i>D6- Le cerradão</i> | |
| D6-1 Répartition géographique | 42 |
| D6-2 Historique | 42 |
| D6-3 Origine | 43 |
| D6-4 Climat | 43 |
| D6-5 Sols | 43 |
| D6-6 Végétation | 44 |
| <i>D7- Conclusion</i> | 44 |

Chapitre II- Phytosociologie: données pour chaque site

A- RECHERCHE D'UNE METHODE D'ECHANTILLONNAGE

| | |
|--|----|
| <i>A1- Démarches</i> | 49 |
| <i>A2- Etudes phytosociologiques</i> | 52 |
| <i>A3- Prélèvements palynologiques</i> | 52 |

B- PHYTOSOCIOLOGIE

| | |
|------------------------------|----|
| <i>B1- Colômbia</i> | |
| B1-1 Situation | 55 |
| B1-2 La forêt d'araucaria | 55 |
| B1-3 Climat | 55 |
| B1-4 Sols | 59 |
| B1-5 Etude phytosociologique | 59 |

| | |
|---|----|
| B2- Bauru | |
| B2-1 Situation | 60 |
| B2-2 Végétation | |
| B2-2a La forêt mésophile semidécidue | 60 |
| B2-2b Le cerradão | 60 |
| B2-3- Climat | 60 |
| B2-4- Sols | |
| B2-4a La forêt mésophile semidécidue | 60 |
| B2-4b Le cerradão | 61 |
| B2-5- Etude phytosociologique | |
| B2-5a La forêt mésophile semidécidue | 62 |
| B2-5b Le cerradão | 62 |
| B3- Rio Claro | |
| B3-1 Situation | 63 |
| B3-2 La forêt | 63 |
| B3-3 Climat | 63 |
| B3-4 Sols | 64 |
| B3-5 Etude phytosociologique | 64 |
| B4 - Brotas | |
| B4-1 Situation | 66 |
| B4-2 La forêt galerie | 66 |
| B4-3 Climat | 66 |
| B4-4 Sols | 66 |
| B4-5 Etude phytosociologique | 67 |
| B5- Assis | |
| B5-1 Situation | 68 |
| B5-2 La forêt galerie | 68 |
| B5-3 Climat | 68 |
| B5-4 Sols | 68 |
| B5-5 Etude phytosociologique | 68 |
| B6- Brasília | |
| B6-1 Situation | 71 |
| B6-2 Les cerrados | 71 |
| B6-3 Climat | 72 |
| B6-4 Sols | 72 |
| B6-5 Etude phytosociologique | 73 |
| B7- Culabá | |
| B7-1 Situation | 74 |
| B7-2 Les végétations | |
| B7-2a Le cerrado interfluvial: Salgadeira | 75 |
| B7-2b Le cerrado "fase filito": Rio Claro | 75 |
| B7-3 Climat | 75 |
| B7-4 Sols | 75 |
| B7-5 Etude phytosociologique | |
| B7-5a Salgadeira | 79 |
| B7-5b Rio Claro | 80 |

Chapitre III- L'Analyse pollinique

A- TRAITEMENT DES ECHANTILLONS

| | |
|---------------------------------|----|
| <i>A1- Préparation chimique</i> | 83 |
| <i>A2- Comptages</i> | 84 |

B- ANALYSE DES ECHANTILLONS

| | |
|--|----|
| <i>B1- Détermination des grains de pollen</i> | 85 |
| <i>B2- Détermination au niveau de la famille avec indication de type générique</i> | 86 |
| <i>B3- Détermination au niveau de la famille</i> | 86 |
| <i>B4- Comptages des grains de pollen</i> | 86 |
| <i>B5- Transport des grains de pollen</i> | 87 |
| <i>B6- Construction du diagramme des taxons arborés</i> | 88 |

C- RESULTATS

| | |
|---|----|
| <i>C1- Les marqueurs</i> | |
| C1-1 Cerrado et cerradão | 90 |
| C1-2 Forêt d'araucaria | 90 |
| C1-3 Forêt mésophile semidécidue et forêt galerie | 91 |

| | |
|--|----|
| <i>C2- Représentation pollinique du couvert arboré</i> | 91 |
|--|----|

| | |
|--------------------------|----|
| <i>C3- Les herbacées</i> | 92 |
|--------------------------|----|

D- CONCLUSION

98

Chapitre IV- L'analyse numérique

A- LES METHODES

| | |
|--|-----|
| <i>A1- La relation "pollen-végétation"</i> | 105 |
| <i>A2- Relation semi-quantitative</i> | 106 |
| <i>A3- Relation quantitative</i> | 111 |

B- ANALYSE NUMERIQUE DES DONNEES DU BRESIL CENTRAL

| | |
|--|-----|
| <i>B1- La régression linéaire</i> | |
| B1-1 Introduction | 118 |
| B1-2 Analyse des échantillons de surface | 119 |

| | |
|---|------------|
| B1-3 Résultats de la méthode | 121 |
| B2- Analyse des composantes principales | |
| B2-1 Introduction | 122 |
| B2-2 Analyse des échantillons de surface | 123 |
| B2-3 Définition des marqueurs polliniques et botaniques | 124 |
| B2-3a Tous les sites | 134 |
| B2-3b Sans la forêt d'araucaria | 136 |
| B2-3c Avec certains sites renforcés | 137 |
| B2-4 Séparation des types de végétation le long des axes | 137 |
| B2-5 Résultats | 138 |
| C- CONCLUSION | 141 |
| Chapitre V- Paléoclimatologie: palynologie d'un site du Brésil Central, Salitre. | |
| A- ETAT DES CONNAISSANCES CONCERNANT LES PALEOCIMATS AU BRESIL | 145 |
| B- PRESENTATION DU SITE | 151 |
| C- ECHANTILLONNAGE | |
| C1- Chronologie ^{14}C. | 152 |
| C2- Traitement chimique des échantillons. | 154 |
| C3- Construction du diagramme | 154 |
| D- RESULTATS | 157 |
| E- ETUDE DES CONCENTRATIONS DES GRAINS DE POLLEN | 163 |
| F- PHASES CLIMATIQUES | 170 |
| G- ECHELLE CHRONOLOGIQUE | 173 |
| H- DIAGRAMME SYNTHETIQUE | 173 |
| I- DISCUSSION PALEOCIMATIQUE | |
| I1- Avec l'Amérique du Sud | 177 |
| I2- Avec d'autres continents | 184 |
| I3- Conclusion | 185 |
| CONCLUSIONS GENERALES | 189 |
| BIBLIOGRAPHIE | |
| ANNEXES | |

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE 1

| | |
|---|----|
| FIGURE 1-1: Carte des états et régions du Brésil (in Vaughan-Williams 1988) | 6 |
| FIGURE 1-2: Carte géologique du Brésil (in Vaughan-Williams, 1988) | 9 |
| FIGURE 1-3: Carte du relief du Brésil (in Vaughan-Williams, 1988) | 10 |
| FIGURE 1-4: Section Nord-Sud à travers le Brésil du sud-Est (in Vaughan-Williams, 1988) | 11 |
| FIGURE 1-5: Position des masses d'air atmosphérique et vents dominants en Janvier et en Juillet (in Vaughan-Williams, 1988) | 13 |
| FIGURE 1-5bis: Les effets du El Niño en 1983 sur le continent sud-américain, d'après Istoe. | 13 |
| FIGURE 1-6: Carte des précipitations moyennes annuelles au Brésil (in Vaughan-Williams, 1988) | 18 |
| FIGURE 1-7: Données climatiques du Brésil central sous forme de diagrammes de Walter | 17 |
| FIGURE 1-8: Carte de la répartition annuelle des journées sèches (in Vaughan-Williams, 1988) | 19 |
| FIGURE 1-9: Limite des gelées annuelles sur la base des températures minimales absolues et localisation des forêts utilisées pour l'analyse de la similitude par Silva et Shepherd, 1986. | 20 |
| FIGURE 1-10: Délimitation des zones phytogéographiques et climatiques du Brésil central | 23 |
| FIGURE 1-11: Carte de la végétation du Brésil central (d'après Hueck, 1981) | 22 |
| FIGURE 1-12: Dendrogramme de similitude de Jaccard entre les forêts brésiliennes (d'après Silva et Shepherd, 1986) | 30 |
| FIGURE 1-13: Relations floristiques des trois principales forêts brésiliennes (d'après Rizzini, 1979) | 32 |
| FIGURE 1-14: répartition géographique du cerrado (d'après Andrade Lima, 1966) | 35 |

CHAPITRE 2

| | |
|---|-----|
| FIGURE 2-1: Localisation des sites géologiques étudiés par l'ORSTOM en 1987 dans le centre du Brésil et distribution de la végétation, des précipitations annuelles et de la température minimale absolue le long d'une section Est-Ouest (in Fournier et al, 1987) | 5 1 |
| FIGURE 2-2: Mode de prélèvement des échantillons palynologiques destinés à l'étude de la relation "pollen-végétation" actuelle | 5 3 |
| FIGURE 2-3: Localisation de l'aire d'échantillonnage de Colômbo (PA) (d'après Malheiros et Rotta, 1982) | 5 6 |
| FIGURE 2-4: Profils horizontal et vertical de la parcelle 2 (d'après Malheiros et Rotta, 1982) | 5 7 |
| FIGURE 2-5: Profils horizontal et vertical de la parcelle 8 (d'après Malheiros et Rotta, 1982) | 5 8 |
| FIGURE 2-6: Profil de la forêt galerie de la Fazenda Berrante Assis, SP (d'après Durrigan et Garrido, 1988). | 6 9 |
| FIGURE 2-7: Transect du site d'échantillonnage de Brasília-Planaltina (d'après Ribeiro et al, 1985) | 7 2 |
| FIGURE 2-8: Profil du cerrado de Salgadeira sur sa lisière réalisé sur un transect de 60X5m (d'après Oliveira Filho, 1986) | 7 6 |
| FIGURE 2-9: Profil du cerrado de Salgadeira dans son centre réalisé sur un transect de 60X5m (d'après Oliveira Filho 1986) | 7 7 |
| FIGURE 2-10: Profil du cerradão de Rio Claro, Mato Grosso, réalisé sur un transect de 60X5m (d'après Oliveira Filho, 1986) | 7 8 |
| FIGURE 2-11: Représentation des familles végétales sur le cerrado et le cerradão (d'après Oliveira Filho et Martins, 1986) | 8 0 |

CHAPITRE 3

| | |
|---|-----|
| FIGURE 3-1: Diagramme pollinique rassemblant les données des échantillons de surface pour chaque site d'étude | 9 3 |
| FIGURE 3-2: Image pollinique des arbres et des graminées pour chaque site. | 9 7 |
| FIGURE 3-3: Image pollinique des arbres et des herbacées pour chaque site | 9 8 |

CHAPITRE 4

FIGURE 4-1: Exemple d'étude de la pluie pollinique actuelle: utilisation des courbes d'isopollen et reconstitution d'un paysage du Pléistocène à l'aide des résultats de l'actuel (in Davis, 1975)

108

FIGURE 4-2: Exemple d'étude de la pluie pollinique actuelle: ordination de 110 échantillons de surface provenant de 7 types de végétation du Nord-Canada (in Ritchie et Yarranton, 1978)

108

FIGURE 4-3: Exemple d'étude de la pluie pollinique actuelle: diagramme de dispersion montrant a/ la position des échantillons de surface récoltés sur 8 types de végétation du Manitoba sur les 1er et 2nd axes canoniques et b/ la position des 58 échantillons fossiles provenant de Wolf Creek (Minnesota) sur les mêmes axes (in Birks, 1976)

109

FIGURE 4-4: Exemple d'étude de la pluie pollinique actuelle: graphique P/V définissant les "R values" obtenues pour chaque site dans le cas du bouleau (in Livingstone, 1968)

112

FIGURE 4-5: Exemple d'étude de la pluie pollinique actuelle: dispersion des grains en milieu ouvert, cas de *Betula pumila* (in Janssen, 1984)

114

FIGURE 4-6: Exemple d'étude de la pluie pollinique actuelle: diagramme de dispersion des pourcentages de la somme totale des pollens et des pourcentages du total des arbres et tracé de la droite de régression (in Grabandt, 1985)

115

FIGURE 4-7: Exemple d'étude de la pluie pollinique actuelle: analyse suivant le mode Q, "signature palynologique" des principaux groupes de végétation de Californie et de l'Oregon (in Heusser, 1983)

117

FIGURE 4-8: Amplitude des vecteurs propres pour les trois premières composantes principales pour les pollens et la végétation des échantillons provenant du transect Azampay, Argentine (in Markgraf et al, 1981)

122

FIGURE 4-9: Représentation graphique des amplitudes des vecteurs propres des 4 premières composantes principales pour les données de la botanique et de la palynologie et pour tous les sites d'étude

125

FIGURE 4-10: Résultats de la première composante principale réalisée avec les données de la palynologie. Répartition des marqueurs du cerrado définis à l'aide des valeurs d'amplitude calculées pour tous les sites

126

| | |
|---|-----|
| FIGURE 4-11: Résultats de la première composante principale réalisée avec les données de la palynologie. Répartition des marqueurs des forêts définis à l'aide des valeurs d'amplitude calculées pour tous les sites | 127 |
| FIGURE 4-12: Résultats de la première composante principale réalisée avec les données de la botanique. Répartition des marqueurs du cerrado définis à l'aide des valeurs d'amplitude calculées pour tous les sites | 128 |
| FIGURE 4-13: Résultats de la première composante principale réalisée avec les données de la botanique. Répartition des marqueurs des forêts définis à l'aide des valeurs d'amplitude calculées pour tous les sites | 129 |
| FIGURE 4-14: Résultats de la première composante principale réalisée avec les données de la palynologie. Répartition des marqueurs du cerrado définis à l'aide des valeurs d'amplitude calculées pour tous les sites sauf la forêt d'araucaria | 130 |
| FIGURE 4-15: Résultats de la première composante principale réalisée avec les données de la palynologie. Répartition des marqueurs des forêts mésophiles semidécidues et galerie définis à l'aide des valeurs d'amplitude calculées pour tous les sites sauf la forêt d'araucaria | 131 |
| FIGURE 4-16: Résultats de la première composante principale réalisée avec les données de la botanique. Répartition des marqueurs des forêts mésophiles semidécidues et galerie définis à l'aide des valeurs d'amplitude calculées pour tous les sites sauf la forêt d'araucaria | 132 |
| FIGURE 4-17: Résultats de la première composante principale réalisée avec les données de la botanique. Répartition des marqueurs du cerrado définis à l'aide des valeurs d'amplitude calculées pour tous les sites sauf la forêt d'araucaria | 133 |
| FIGURE 4-18: Résultats de la première composante principale réalisée sur les variables de la palynologie | 139 |
| FIGURE 4-19: Résultats de la première composante principale réalisée sur les variables de la végétation. | 140 |

CHAPITRE 5

| | |
|---|-----|
| FIGURE 5-1: Données de la géomorphologie: la végétation du continent sud-américain à 18000 ans B.P.(in Ab'Saber, 1977) | 146 |
| FIGURE 5-2: Carte des études palynologiques réalisées sur tout le continent sud-américain et emplacement de Salitre (19°S) et Carajás (5°50'S) (d'après Markgraf, 1989) | 148 |
| FIGURE 5-3: Localisation de Salitre (Minas Gerais) | 150 |
| FIGURE 5-4: Chronologie ^{14}C (d'après les travaux de Fournier) | 153 |
| FIGURE 5-5: Diagramme palynologique de Salitre (19°S) | 155 |
| FIGURE 5-6: Etude des concentrations avec 1/courbe de la concentration des grains en fonction de la profondeur 2/courbe cumulative 3/courbe des datations ^{14}C en fonction de la profondeur des échantillons | 165 |
| FIGURE 5-6bis: Délimitation des zones paléoécologiques de la carotte LC3 de Salitre | 168 |
| FIGURE 5-7: Diagramme palynologique de la carotte LC3 de Salitre (19°S) où les fréquences des pollens arborés sont exprimées en face d'une échelle chronologique | 172 |
| FIGURE 5-8: Diagramme synthétique de la carotte LC3 de Salitre des taxons régionaux en fonction de l'échelle chronologique | 174 |
| FIGURE 5-9: Diagramme synthétique de la carotte LC3 de Salitre des taxons locaux en fonction de l'échelle chronologique | 175 |
| FIGURE 5-10: Interprétation paléoclimatique des changements de couvert arboré enregistrés à Salitre, LC3, 19°S | 171 |
| FIGURE 5-11: Diagramme palynologique de El Valle (Panama) (in Bush et Colinvaux, 1990) | 178 |
| FIGURE 5-12: Diagramme palynologique du Lac MOREIRU, Guyane (in Wijmstra et van der Hammen, 1966) | 179 |
| FIGURE 5-13: Paléoclimatologie du Lac Valencia (Vénézuela), résultats de la palynologie, des diatomées et de la géochimie | 180 |
| FIGURE 5-14: Diagramme palynologique de Carajás (Brésil) (Siffedine, communication orale, d'après Absy et al, 1989) | 182 |

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE 1

TABLEAU 1-1: Composition chimique d'un latosol rouge foncé sous la forêt semidécidue et sous le cerradão situés côte à côte près de Felixlândia, MG (d'après Rizzini, 1979)

44

CHAPITRE 2

TABLEAU 2-1: Résumé des informations géographiques, climatiques, phytosociologiques et pédologiques récoltées pour chaque site

54

TABLEAU 2-2: Résultats des analyses granulométriques du sol de la forêt de la Réserve Fédérale de Bauru (d'après Cavassan et al, 1984)

61

TABLEAU 2-3: Résultats des analyses chimiques du sol de la forêt de la Réserve Fédérale de Bauru (d'après Cavassan et al, 1984)

61

TABLEAU 2-4: Caractéristiques chimiques du sol de la forêt de la Fazenda São José (Rio Claro) (d'après Pagano, 1985)

64

TABLEAU 2-5: Résultats des analyses chimiques et granulométriques du sol superficiel pour chaque type de végétation étudié dans la région de Salgadeira (d'après Oliveira Filho et Martins, 1986)

79

CHAPITRE 3

TABLEAU 3-1: Pollinisation des principales espèces des forêts du Brésil central

100

CHAPITRE 4

TABLEAU 4-1: Les marqueurs des forêts du Brésil central: résultats de l'analyse qualitative et de l'analyse numérique

142

CHAPITRE 5

TABLEAU 5-1: Datations ^{14}C obtenues sur l'ensemble de la carotte LC3 de Salitre, MG

152

ABSTRACT

Most of the vegetation types that occur in central Brazil today are located on sites where they do not combine with the local climate and soil: what about their origin and evolution?

The climatic feature described is based upon the length of the dry season and the mean winter temperature and is related to the 5 main types of forest of central Brazil: araucaria forest, mesophile semideciduous forest, galery forest, cerrado and cerradão.

A method based upon principal component analysis is used to correlate pollen rain datas with vegetation datas (tree basal area) and indicator species are defined for each type of forest.

The recent datas allow us to analyse a 30000 years B.P. record from a site located at 19° South latitude (Salitre).

-Two dry periods have been recorded: one very short at 10500 years B.P. and the other one at 5000 years B.P.

-The Late Pleistocene has not been dry in this area.

-The Holocene starts with two steps:

at 9500 years BP. the increasing of araucaria forest shows higher moisture rates and lower winter temperature than today

at 8500 years B.P. moisture rates are decreasing and winter temperature is increasing compared with the previous period.

This palynological record shows up new pieces of information about the influence of polar advections and "El Niño" impacts on brazilian climates during the Late Pleistocene.

INTRODUCTION

Dans le cas de l'étude du Quaternaire, la démarche paléoclimatique consiste à analyser les grains de pollen fossiles des sédiments quaternaires et à interpréter le spectre pollinique obtenu à l'aide de comparaison avec les analogues actuels des communautés végétales de la façon la plus rigoureuse possible et malgré l'imprécision liée à la nature même du grain de pollen.

Elle nécessite donc une solide référence à l'actuel de la région dans laquelle ces recherches sont effectuées.

C'est dans ce but que je me suis rendue au Brésil pour la première fois en 1985 à la demande d'Agueda et Denis VIALOU afin d'échantillonner sur les sites archéologiques qu'ils étudient dans l'état du Mato Grosso, Ferraz Egreja et Santa Elina (VIALOU et VILHENA-VIALOU, 1984, 1986).

Grâce à leur coopération, j'ai pu effectuer deux stages d'un mois chacun en 1985 et 1986 à l'Institut de Botanique du Secrétariat à l'Agriculture de São Paulo, afin d'y commencer des recherches bibliographiques sur les données actuelles de la botanique dans cette région. Parallèlement à ces premières recherches j'ai travaillé à l'élaboration d'une collection de pollen de référence.

Les informations bibliographiques récoltées se sont malheureusement révélées insuffisantes:

-les analyses palynologiques des sédiments quaternaires sont encore inexistantes dans le Brésil central. Il en est de même pour les données récentes concernant la botanique et les types climatiques de la région.

-du fait de l'exploitation agricole et industrielle intensive de cette région, il devient de plus en plus rare de rencontrer des îlots de végétation non anthropisés. Ceci induit également un problème de nomenclature botanique: un même type de forêt peut se trouver défini sous différents qualificatifs selon l'université qui en a entrepris l'étude, et l'état du Brésil dans lequel elle se trouve.

-en ce qui concerne les climats, s'ils sont bien définis de façon globale, il est difficile d'en distinguer les variations à l'intérieur d'une région et de relier celles-ci aux types de végétation qui les accompagnent.

-l'étude morphologique des grains de pollen de cette région est encore insuffisamment développée; il nous faut citer toutefois le travail de M.L.Salgado Labouriau (1973), décrivant les grains de pollen du cerrado.

L'interprétation détaillée d'un diagramme pollinique fossile s'avérait donc quasi impossible du fait du manque d'information sur les données actuelles. J'ai donc choisi de recentrer mon travail vers une étude des relations végétation-climat-pluie pollinique

Ceci a pu être réalisé grâce à l'aide financière de l'ORSTOM et l'intégration de ce projet dans le programme GEOCIT (GEOdynamique des Climats InterTropicaux) dirigé par Michel Servant.

Le choix de la région d'étude s'est alors fixé sur le Brésil central: sous ces latitudes les rythmes climatiques tropicaux sont effacés par les effets des advections polaires et il semblait intéressant d'en étudier les variations au cours du Quaternaire.

Un an de prospection de terrain et de recherches bibliographiques en 1987-1988, au cours duquel nous avons également pu entrer en contact avec de nombreux botanistes brésiliens nous ont permis de résoudre les problèmes fondamentaux suivants:

Quels sont les principaux types de végétation du Brésil central?

Existe-t-il une zonation parmi ces types de végétation?

Quels sont les types de climat du Brésil central?

Est-il possible d'établir une relation entre le climat et la végétation dans cette région?

Où et comment échantillonner?

Toutes ces questions seront traitées dans le premier chapitre.

Les sites retenus pour le prélèvement des échantillons palynologiques et les données phytosociologiques qui leur sont associées sont exposés dans le deuxième chapitre.

Cette méthode de travail de terrain a été mise au point à la suite de deux stages effectués en 1987 au laboratoire de Géologie du Quaternaire de Luminy dirigé par R.BONNEFILLE et au laboratoire Hugo de Vries d'Amsterdam dirigé par T.van der HAMMEN. Ces stages m'ont permis d'approcher différents problèmes méthodologiques à propos de la relation pluie pollinique/végétation/climat. Celle-ci n'est pas universelle comme je le démontrerai à l'aide d'exemples bibliographiques, et doit donc être redéfinie pour chaque région ou site d'étude et pour chaque type de végétation considéré.

Les questions que je me suis posées afin de débuter cette approche quantitative du problème pour la première fois au Brésil central sont donc:

Quelle méthode de prélèvements des échantillons utiliser dans le cas du Brésil central?

Comment procéder pour l'application de cette méthode sur le terrain?

Quelle est la méthode d'analyse numérique la mieux adaptée pour le traitement de mes données?

Ces questions seront traitées dans les troisième et quatrième chapitres avec tout d'abord une approche empirique du problème puis l'approche numérique. Je m'attacherai plus particulièrement à la suite de ces analyses à définir les marqueurs palynologiques et botaniques de chaque type de végétation du Brésil central.

Au cours de ces chapitres seront également traités les problèmes posés par une telle recherche dans un milieu forestier tropical, je tenterai également de définir les limites des méthodes testées avec mes données, d'en analyser les causes et de proposer des solutions mieux adaptées au terrain d'étude afin de poursuivre cette recherche.

L'approche paléoclimatique du cinquième et dernier chapitre me permettra d'utiliser les premiers résultats obtenus au Brésil central avec les données de l'actuel et de les appliquer à l'étude des dépôts quaternaires provenant d'une tourbière, Salitre dans l'état du Minas Gerais (19° de latitude Sud).

La rareté des informations paléoclimatiques au Brésil combinée à la situation de Salitre, sous une latitude où l'influence des fronts polaires agit directement sur les climats actuels, viennent souligner davantage le caractère pionnier de ce travail.

Celui-ci nous permettra de préciser davantage les déplacements latitudinaux de la végétation ainsi que les variations climatiques qui leur sont associés au cours des trente derniers millénaires.

Les résultats seront confrontés à ceux obtenus avec d'autres études réalisées en Amérique du Sud.

CHAPITRE I

LE BRESIL CENTRAL



Figure 1-1: Carte des états et régions du Brésil, *in VAUGHAN-WILLIAMS(1988)*.

A- Géographie

Le Brésil central est formé de 5 états: le Mato Grosso do Norte, le Mato Grosso do Sul, le Goias, le Minas Gerais, São Paulo. Nous y avons inclus le Paraná pour les besoins de cette étude (Fig.1-1).

Les trois premiers états constituent la région du Centre-Ouest, les autres la région du Sud-Est.

La superficie totale couverte par ces états est de 2 900 000 km², avec de Rio de Janeiro à la frontière bolivienne une distance de 4000 km, et de Curitiba, capitale du Paraná, à Brasília, capitale du Brésil située au coeur du Goias, une distance de 2000 km.

Ces régions sont les principales régions agricoles et industrielles du Brésil, avec les conséquences que cela implique au niveau d'une étude de la végétation native.

B-Géologie

Ce territoire est délimité à l'Est par une chaîne de montagnes côtières très escarpée résultant de la séparation du continent africain et du continent américain. Ces escarpements sont entrecoupés de failles et sont dominés par des "pains de sucre" émoussés de granit et de gneiss (Fig.1-2).

L'altitude de ces montagnes peut atteindre 1800 mètres.

Au centre se trouve la région du Planalto brésilien. C'est un bouclier de roches précambriques provenant d'une ancienne partie du Gondwana (VAUGHAN WILLIAMS, 1988).

Le paysage de la région du bouclier consiste en chaînes de montagnes moins élevées que les précédentes, et en larges surfaces tabulaires séparées par des escarpements. Pendant des millions d'années ce planalto a subi des ruisselements terrestres ininterrompus et des processus d'érosion diverses (Fig.1-3).

Des roches métamorphiques et sédimentaires du Précambrien récent affleurent le long d'une série de structures anticlinales, les chaînes de montagnes, constituées d'anciennes roches cristallines.

Trois grands anticlinaux convergent dans l'état du Minas Gerais où ils forment la région hautement minéralisée, source de nombreux minéraux métalliques et non métalliques.

A l'intérieur du bouclier se trouvent trois larges bassins contenant les roches du Paléozoïque et du Mésozoïque, ainsi que de nombreuses dépressions et rifts.

A ceci s'ajoutent des laves basaltiques du Trias sur plus de 600 mètres d'épaisseur et se terminant par des escarpements formant une série de chutes d'eau le long des affluents du Rio Paraná au sud-ouest.

A l'Ouest se trouvent les plissements dûs à la formation de la cordillère des Andes ainsi que de nombreuses failles, responsables de l'inclinaison du Planalto (Fig.1-4).

Les sols du Planalto central sont les produits de plusieurs cycles de formation qui se sont déroulés sur des millions d'années. Ils sont donc fortement dégradés et principalement ferrugineux. Ce sont des latosols ferrallitiques lessivés formés d'argile et de sable rouge et jaune. Ils sont modérément acides, pauvres en humus et en nutriments tels que les phosphates et les nitrates. Près des cours d'eau et des fleuves, des sols à argile grise dominent. Ceux-ci sont soumis à des inondations permanentes ou saisonnières.

Des analyses plus détaillées sur la composition des sols du Brésil central seront fournies lors du chapitre concernant la présentation des sites.

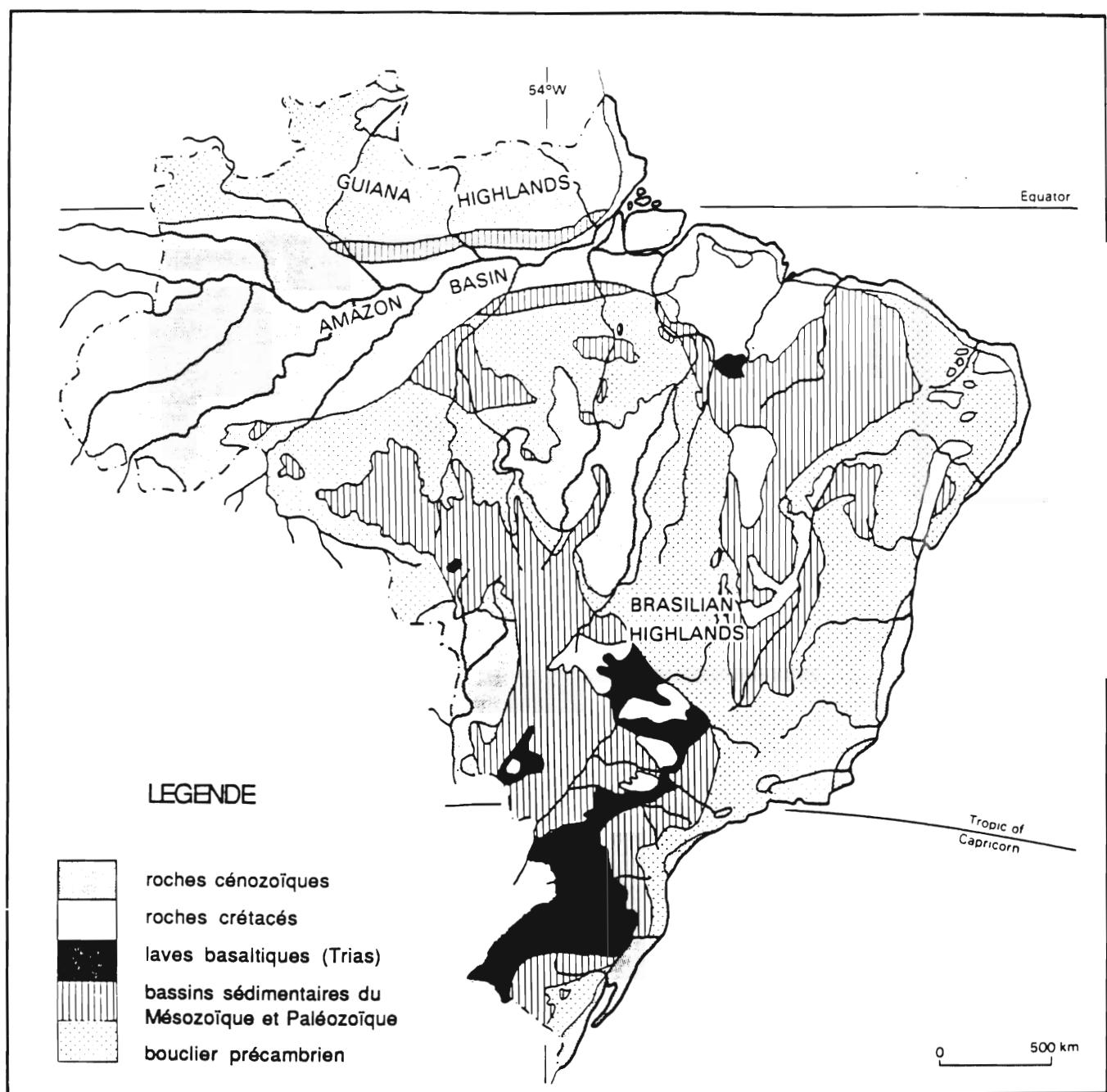


Figure 1-2: Carte géologique du Brésil, *in* VAUGHAN-WILLIAMS(1988).

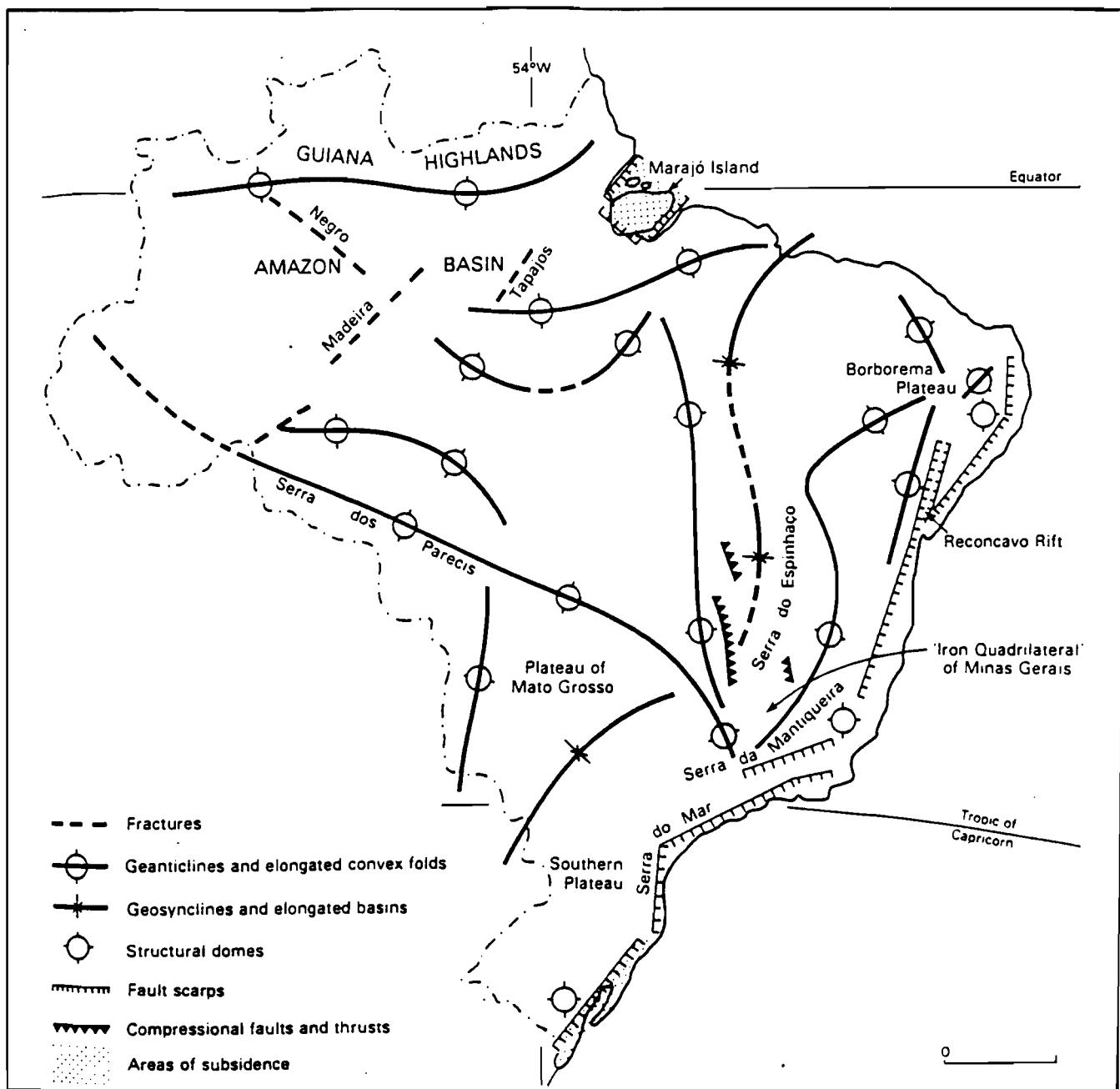


Figure 1-3: Carte du relief du Brésil, in VAUGHAN-WILLIAMS(1988).

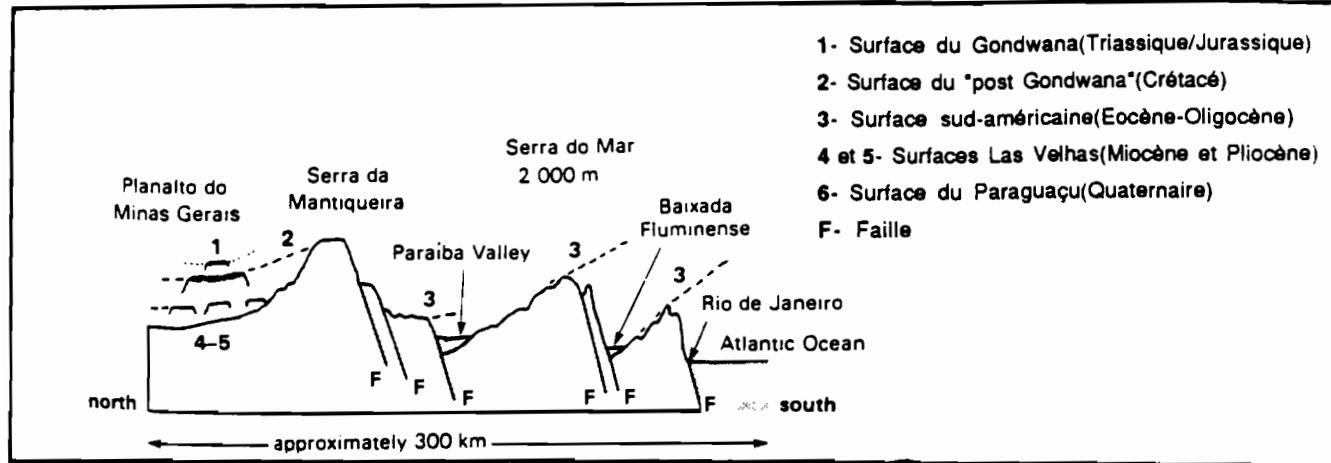


Figure 1-4: Section Nord-Sud à travers le Brésil du Sud-Est, *in* VAUGHAN-WILLIAMS (1988).

C- Climat

C1- LA CIRCULATION ATMOSPHERIQUE

Globalement deux types de climat affectent le Brésil central: le climat du Planalto du centre est tropical avec une saison humide et une saison sèche alors qu'au sud, celui-ci est plus tempéré, sans saisonnalité marquée.

Ces particularités spécifiques à la région sont expliquées à l'aide des mouvements saisonniers de la Zone de Convergence InterTropicale (ZCIT) et par la présence d'advections polaires (Fig.1-5) (PAGNEY, 1976, VAUGHAN-WILLIAM, 1988).

C1-1 Situation en Janvier: position de la ZCIT

Si nous considérons la situation de Janvier, c'est à dire pendant l'été austral, nous observons que la ZCIT est située très au sud de l'Equateur, au niveau des plateaux du Brésil central.

La ZCIT dans ce cas, représente la zone de confluence entre les vents du Nord-Est animés par l'anticyclone de l'Atlantique sud et les vents issus de l'hémisphère nord ayant parcouru l'Amazonie et qui sont très humides. L'air dans cette région est humide et instable; l'été est humide dans ces régions.

KOUSKY (1979) a observé qu'une période active de fronts polaires vers le Nord du Brésil coïncide avec un déplacement anormal très au Sud de la ZCIT.

Des observations entre Décembre 1963 et Février 1964 ont enregistrées des refroidissements très intenses au niveau des basses latitudes du Brésil, entraînant des fortes précipitations sur le Nord-est brésilien. Ces précipitations seraient dûes aux remontées des fronts polaires vers le Nord. KOUSKY le démontre à l'aide de plusieurs exemples; nous garderons celui de Caravelas, situé à 17°44'S et donc proche de notre région d'étude.

Les passages du front polaire à cette latitude se traduisent par:

- un changement de la direction des vents vers le sud
 - une diminution de la température de 2°C dans les moyennes journalières
 - une continuité avec les stations du Sud du Brésil
- Sur une période de 10 ans, 245 cas de changements de la direction des vents sont enregistrés dont 152 cas avec une diminution de la température.

De Décembre 1963 à Janvier 1964, il a été remarqué une avancée d'un front froid très intense jusqu'à la latitude 10°S entre le 17 et 21 Décembre, puis trois fronts froids successifs du 7 au 20 Janvier qui remontent encore plus au nord.

En Janvier 1964 le Nord-Est du Brésil a subi de nombreux déluges, conséquence de la rencontre de ces fronts froids avec l'air chaud atlantique.

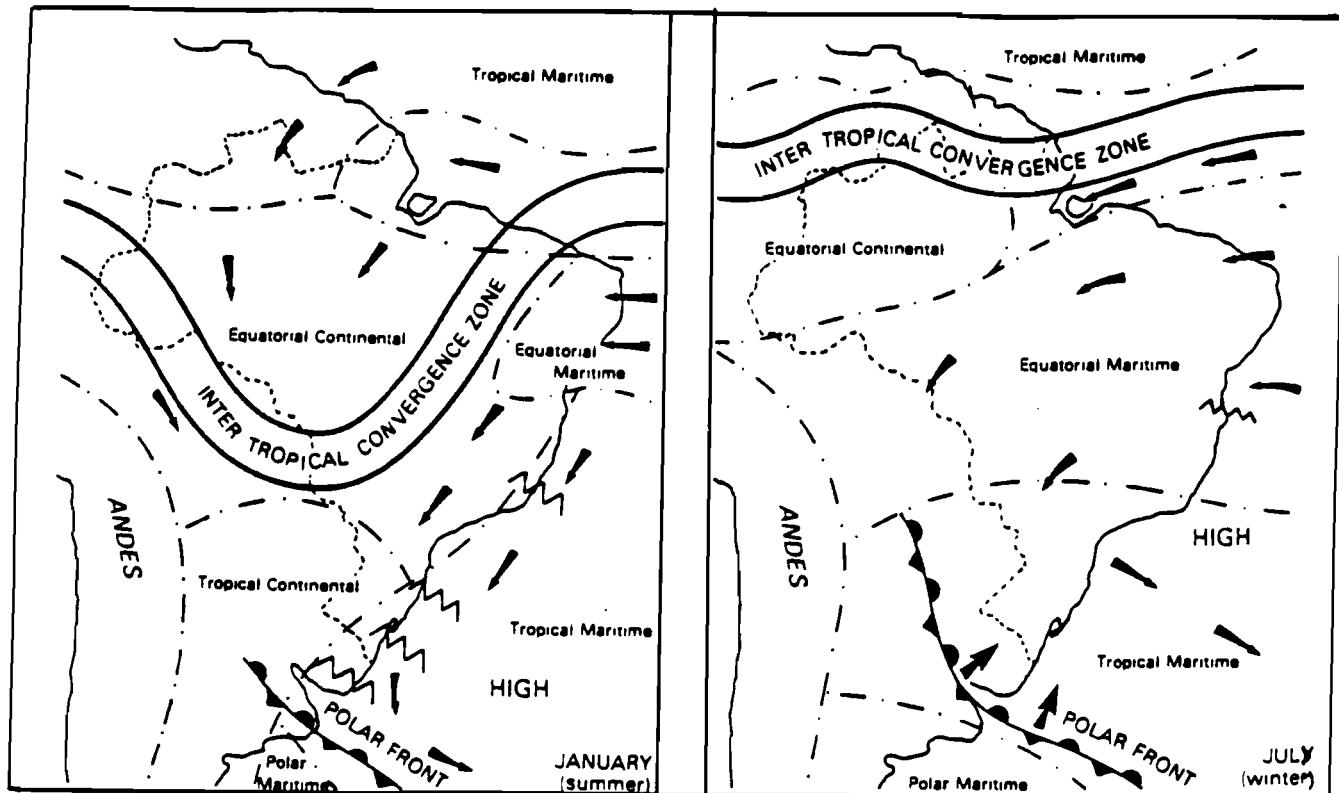


Figure 1-5: Position des masses d'air atmosphérique et vents dominants en Janvier et Juillet, *in* VAUGHAN-WILLIAMS(1988), - - - limites des masses d'air, ~~~ fronts mineurs, → vagues de froid.

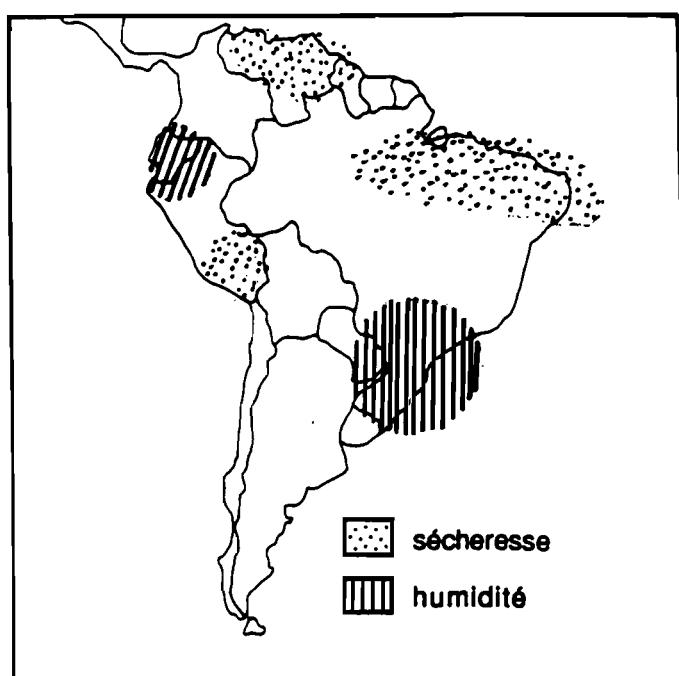


Figure 1-5bis: Les effets du El Niño en 1983 sur le continent sud-américain, *d'après* ISTOE, 1986.

C1-2 Situation en Juillet: les advections polaires

La ZCIT remonte vers le nord par rapport à sa position de Janvier. Elle représente alors la zone de convergence entre les alizés provenant des deux hémisphères. La zone humide se trouve réduite à l'Amazonie (Fig.1-5).

L'Anticyclone de l'Atlantique sud provoquent alors une sécheresse sur les Planaltos du centre. L'hiver austral est sec dans cette région.

Plus au sud, les fronts polaires remontent vers le nord. Ils amènent des vagues d'air froid entraînant des diminutions de température et des gelées souvent imprévisibles. En 1908, 1963, 1975 et 1976 elles ont dévasté les plantations de café du nord du Paraná et du sud de São Paulo.

Cette masse d'air froid en rencontrant l'air chaud de l'Atlantique sud va provoquer des pluies sur toute la partie sud du Brésil. Hiver et été sont donc humides à cet endroit; il n'y a pas de saison sèche.

C1-3 El Niño: une situation de blocage

Le climat du Brésil central est affecté d'une forte variabilité pluriannuelle. Les études météorologiques suggèrent que cette variabilité est étroitement liée aux variations de la température de surface du Pacifique oriental. Les années 82/83 caractérisées par un réchauffement important de l'océan au large du Pérou ("El Niño") en donnent un exemple.(VIRJI et KOUSKY, 1983, NOBRE et de OLIVEIRA, 1986) (Fig.1-5bis).

En Décembre 1982 deux zones de forte convection, sources de chaleur, sont localisées au dessus du Pacifique et au dessus de l'Amazone. Celles-ci se situent à peu près à la même latitude l'une de l'autre mais une nette séparation est observée.

Des précipitations au dessus de la normale sont enregistrées en Amazonie.

De Décembre 1982 à Février 1983 l'accroissement de la zone de convection du Pacifique entraîne une diminution de celle située sur l'Amazone. De plus ces sources de chaleur très intenses causent un renforcement du jet stream subtropical vers le pôle et à l'Est de la zone de haute pression.

Le Nord-Est du Brésil et l'Amazonie subissent alors une sévère sécheresse et la migration des fronts polaires est bloquée au Sud à cause du jet stream. Toutes les pluies tombent sur le Sud du Brésil alors que normalement à cette saison la remontée des fronts vers le Nord apporte quelques pluies dans ces régions en été.

En Mars 1983 la haute pression du Pacifique s'est étendue vers l'Est et son intensité a diminué. L'Est de l'Amazonie et le Nord-Est du Brésil restent secs alors que l'Ouest amazonien retrouve des valeurs normales de précipitation.

De Avril à Juin 1983 les conditions restent plus sèches que la normale au Nord-Est du Brésil.

De Mai à Juin 1983, de fortes précipitations sont enregistrées au Sud du Brésil, au Paraguay et au Nord-Est de l'Argentine. C'est la situation de blocage des fronts polaires qui est maintenue.

La situation de 82/83 n'est qu'un exemple. Il y a eu beaucoup d'autres "Niño" d'intensités variables.

Ces particularités régionales, position de la ZCIT en été, présence de fronts froids en hiver et fortes pluies en situation de "El Niño" permettent d'envisager différents cas de figure en fonction de leur déplacement ou de leur existence à une époque donnée. Ceci se répercute sur la longueur de la saison sèche ou les températures.

C2- DONNEES CLIMATIQUES

C2-1 *Les précipitations*

Les moyennes des précipitations annuelles, pour le Brésil central, sont réparties en deux catégories (Fig.1-6).

La première, de 1000 à 1500 mm annuels, concerne toute la région du centre-ouest et une partie du sud-est.

La seconde, de 1500 à 2000 mm, est distribuée principalement sur le nord et le centre du Brésil avec un bras descendant jusqu'aux côtes de São Paulo.

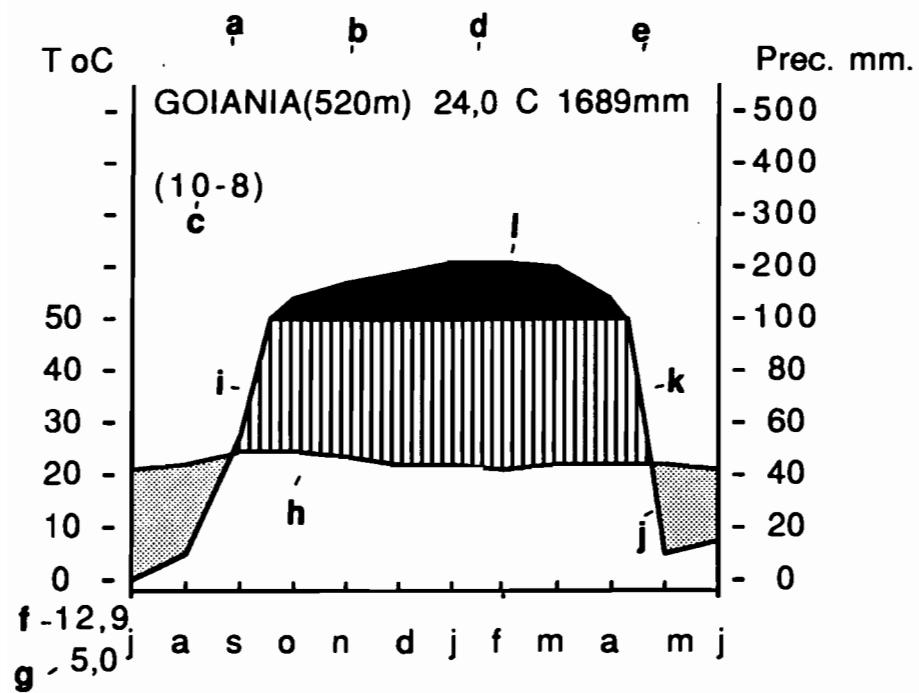
Les pluies sont concentrées, pour ces deux régions, de Décembre à Mars.

Nous avons reconstitué les zones climatiques du Brésil central à partir des cartes de VAUGHAN-WILLIAMS (1988) et des données météorologiques empruntées aux stations situées près de nos sites d'étude. Ces dernières exprimées sous la forme de diagrammes de Walter (WALTER et al, 1975) sont reportées sur la figure 1-7.

C2-2 *Les saisons sèches*

Trois zones de saison sèche à durée variant de 0 à 4 mois, sont réparties du Sud au Nord du Brésil central (Fig.1-8). Un mois sec étant défini par une précipitation moyenne mensuelle inférieure à 50 mm.

Nous les avons classées en zone I, de 0 à 1 mois de saison sèche, zone II avec 2 à 3 mois de saison sèche, zone III avec 4 à 5 mois de saison sèche.



Légende des diagrammes climatiques. Abscisse: Juillet à Juin (saison chaude au centre du diagramme. Ordonnée: 1division=10°C ou 20mm de précipitation. Les lettres et chiffres sur le diagramme signifient: **a**, station; **b**, altitude; **c**, nombre d'années d'observation (quand il y a 2 chiffres le premier indique la température le deuxième les précipitations); **d**, température moyenne annuelle; **e**, précipitations moyennes annuelles; **f**, température moyenne du mois le plus froid; **g**, température minimale absolue; **h**, courbe de la température moyenne mensuelle (1 division=10°C); **i**, courbe des précipitations moyennes mensuelles (1division=20mm); **j**, période de sécheresse pour la région concernée (saison sèche); **k**, période d'humidité (saison des pluies); **l**, précipitations mensuelles >100mm (échelle réduite au 1/10) d'après WALTER, 1979.

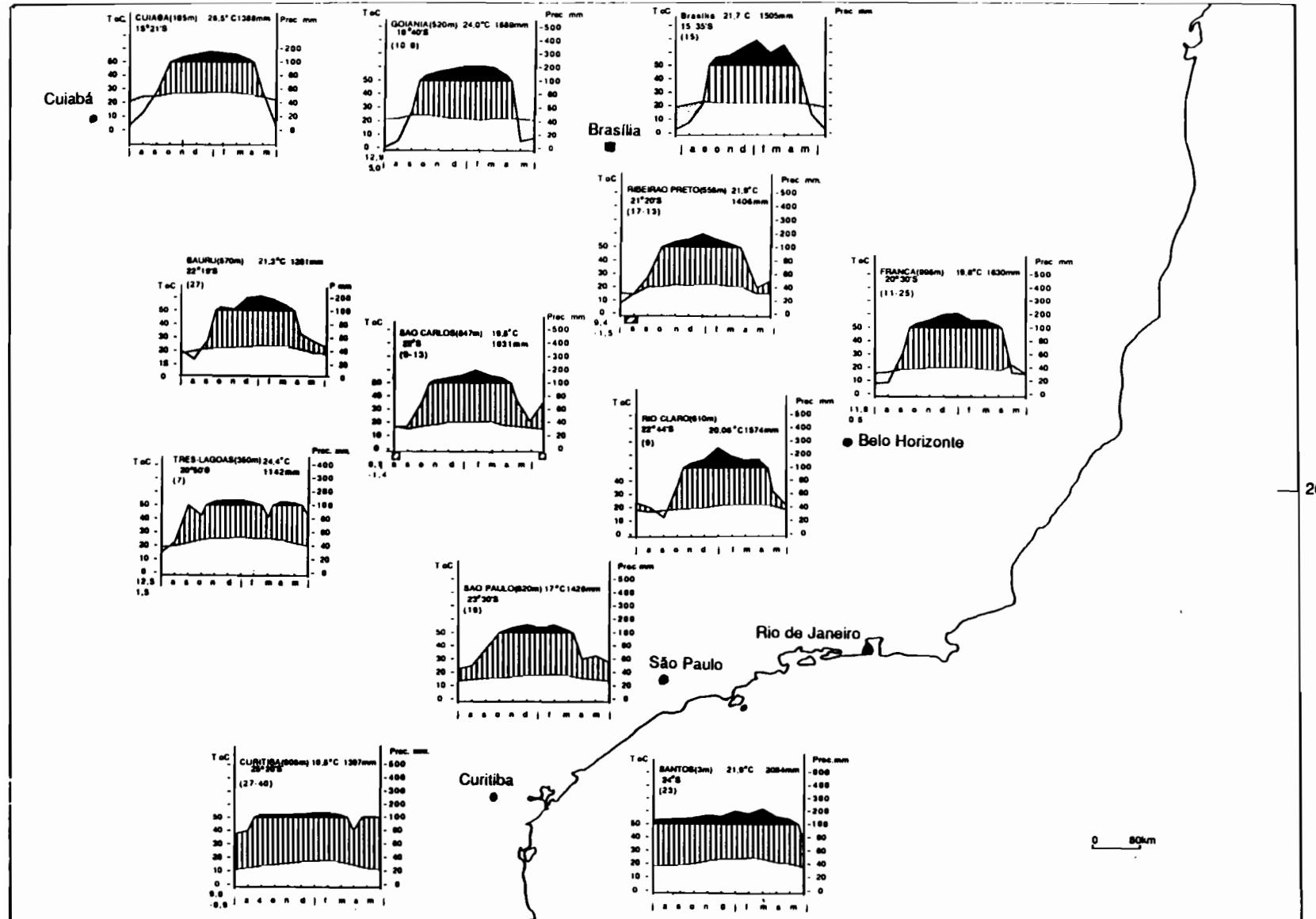


Figure 1-7: Données climatiques du Brésil Central sous forme de diagrammes de Walter.

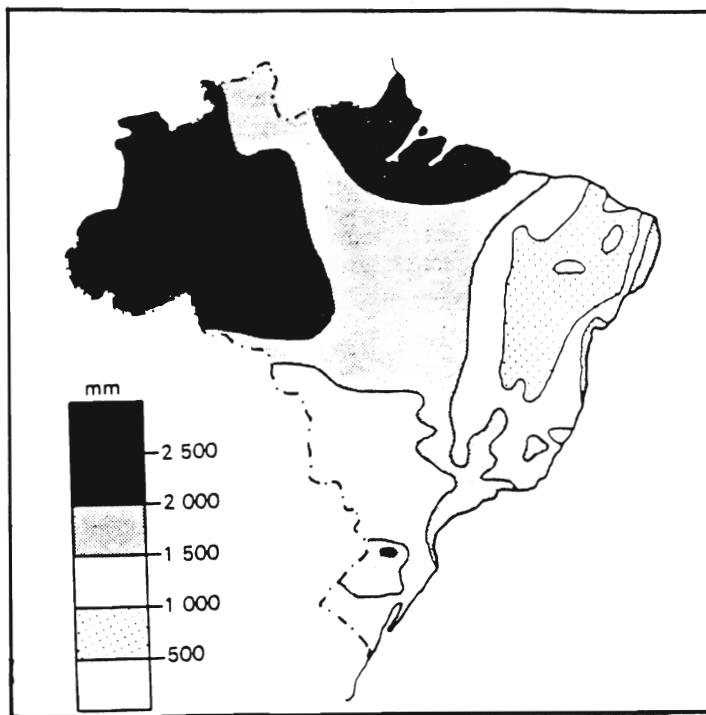


Figure 1-6: Carte des précipitations moyennes annuelles au Brésil, *in* VAUGHAN-WILLIAMS(1988).

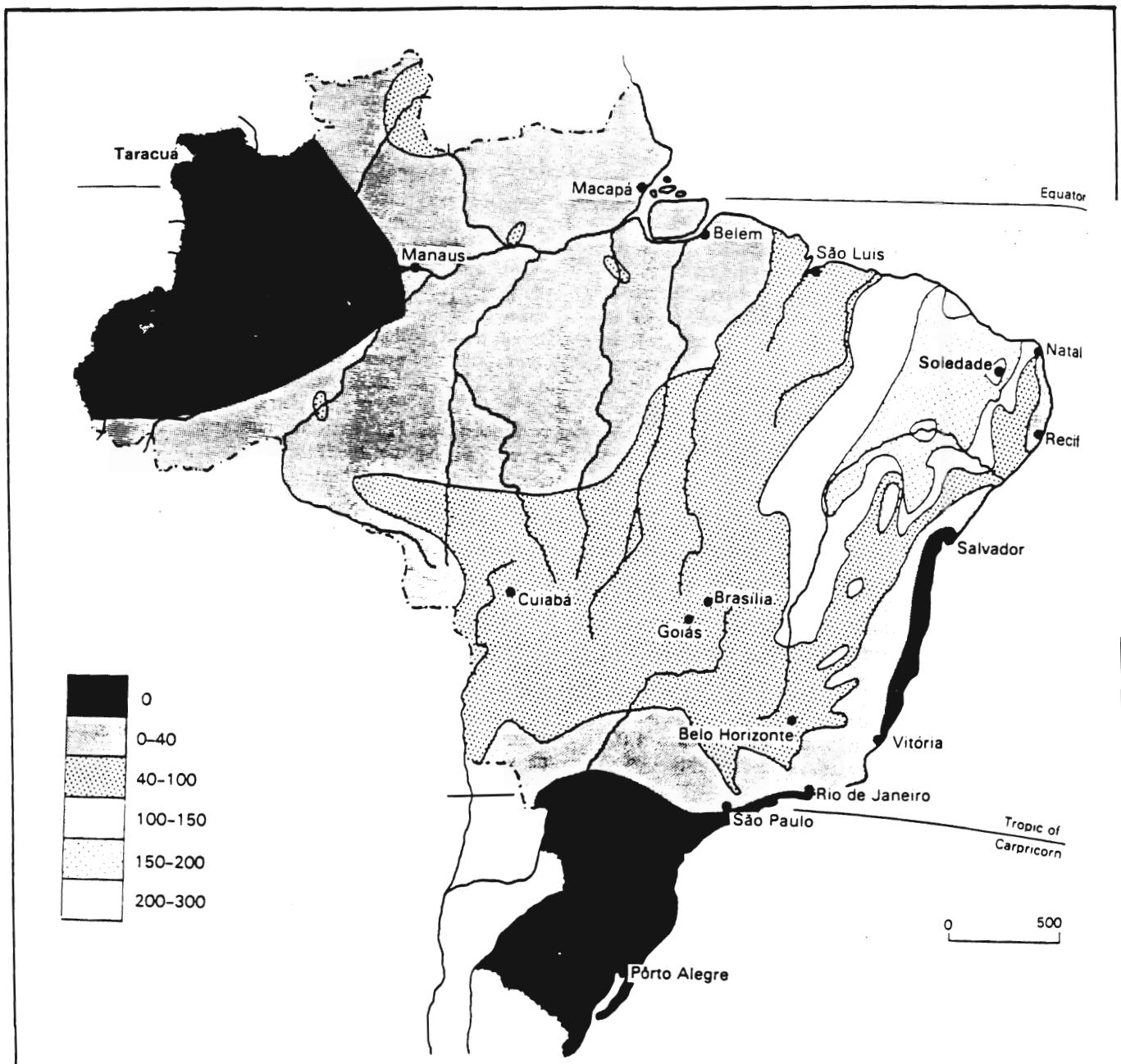


Figure 1-8: Carte de la répartition annuelle des journées sèches, *in* VAUGHAN-WILLIAMS(1988).



Légende:

- sans gelée
- Minimum absolu 0° à -4°C
- Minimum absolu -4° à -10°C
- Minimum absolu -10°C
- forêt amazonienne
- forêt mésophile semidécidue
- ▲ forêt atlantique

Figure 1-9: Limite des gelées annuelles sur la base des températures minimales absolues et localisation des forêts utilisées pour l'analyse de la similitude par SILVA et SHEPHERD (1986).

C2-3 *Les températures*

Les valeurs des températures moyennes hivernales nous permettent de retrouver les trois zones climatiques définies précédemment à l'aide des durées de la saison sèche.

La zone I est une zone froide dont la température hivernale moyenne est inférieure à 10°C, avec souvent des journées subissant des gelées.

La zone II, zone plus tempérée où la température moyenne hivernale est comprise entre 10°C et 15°C, avec également des journées froides où la température avoisine 0°C.

La zone III, la plus chaude, où la température moyenne hivernale est supérieure à 15°C.

Ces trois zones se retrouvent également sur la figure 1-9 tracée à partir des températures minimales absolues par NIMER cité dans SILVA et SHEPHERD (1986).

Ces trois zones climatiques seront reprises dans les chapitres suivants.

Il existe une quatrième zone localisée sur la bande côtière entre le littoral et les sommets des chaînes de montagne. Cette zone ne connaît pas de saison sèche et la température hivernale y est en moyenne supérieure à 15°C. Cette zone ne sera pas prise en compte dans les études suivantes du fait de ses dimensions réduites et de sa localisation très spécifique.

D- Végétation

D1- PRESENTATION

La nature des couvertures végétales est liée aux conditions climatiques et aux conditions édaphiques particulières auxquelles elles sont soumises.

Parallèlement aux trois zones climatiques définies précédemment, trois zones végétales sont mises en évidence à l'aide des cartes de HUECK et SEIBERT(1981) sur les figures 1-10 et 1-11.

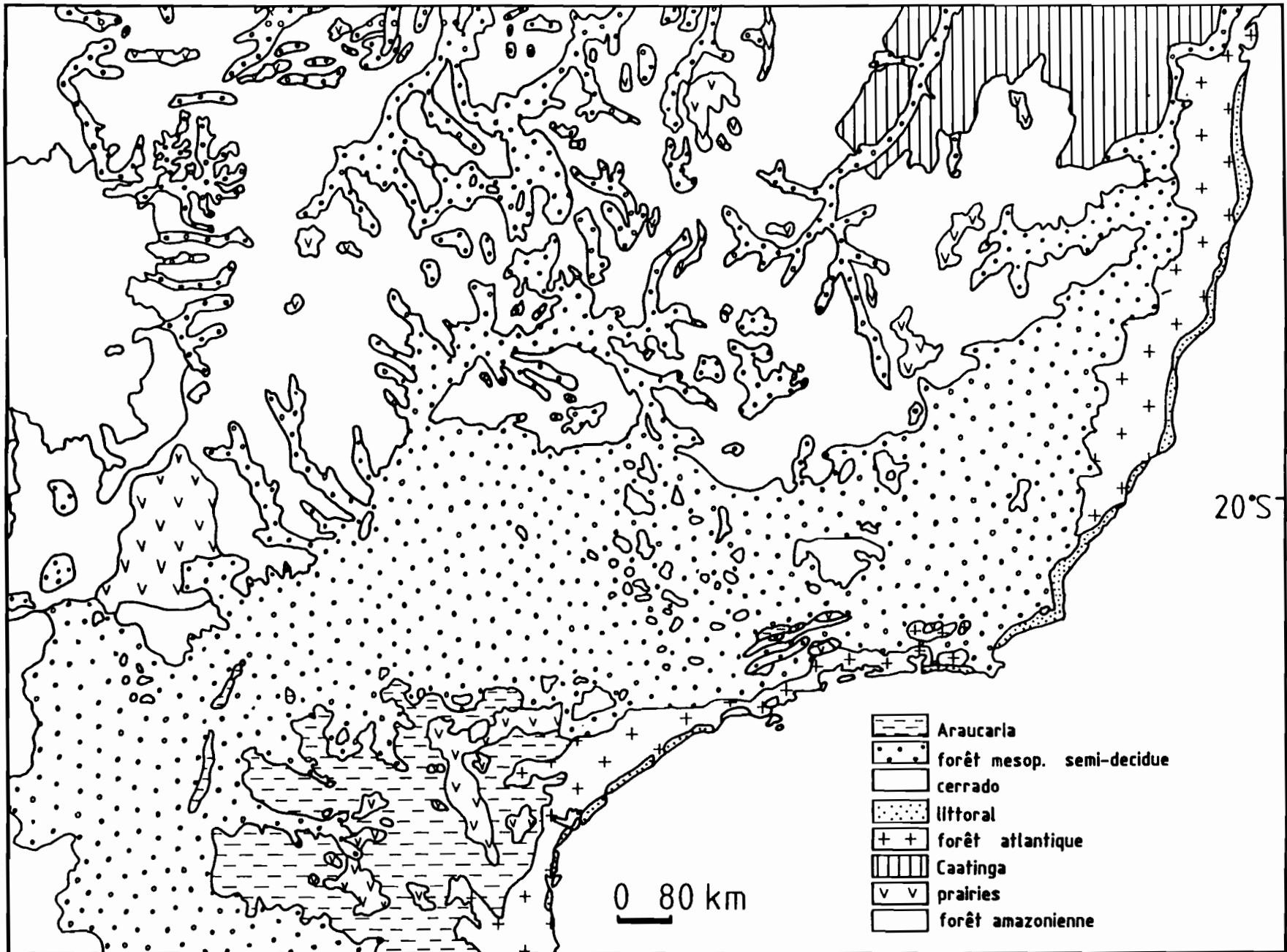


Figure 1-11: Carte des végétations du Brésil central, d'après HUECK et SEIBERT (1981).

| | VEGETATION | CLIMAT |
|-------------------------|--|--|
| Z O N E IV | Forêt pluviale atlantique | Pas de saison sèche Pluies:2000mm $t^{\circ}C > 15$ en hiver |
| Z O N E III | Cerrado Cerradão Forêt galerie | Saison sèche: 4 mois Pluies:1500mm $t^{\circ}C > 15$ en hiver |
| Z O N E II | Forêt mésophile semidécidue cerrado | Saison sèche: 1-2 mois Pluies:1500mm $10 < t^{\circ}C < 15$ en hiver |
| Z O N E I | Forêt d'araucaria | Pas de saison sèche Pluies:1500mm $t^{\circ}C < 10$ en hiver |

Figure 1-10: Délimitation des zones phytogéographiques et climatiques du Brésil Central.

A la zone I, correspond une végétation adaptée au froid: la forêt d'araucaria.

La zone II est reliée à une zone de forêt plus tempérée: la forêt mésophile semidécidue.

A la zone III est attribuée le cerrado, sorte de savane boisée.

A ces trois groupes de végétation, viennent s'ajouter différents sous-groupes se développant sous les mêmes conditions climatiques que la végétation à laquelle ils sont affiliés, mais avec des caractéristiques botaniques différentes.

Leur présence s'explique par les conditions édaphiques locales.

Ce sont le cerradão, qui peut être défini comme un cerrado très boisé et la forêt galerie, dont la répartition géographique est liée à celle des cours d'eau, permettant un apport en eau permanent même dans les endroits les plus secs.

Notre étude se base sur ces 5 types de végétation, que nous allons décrire de façon détaillée.

D-2 LA FORET D'ARAUCARIA

D2-1 Répartition géographique

Les forêts d'araucaria sont situées sous les hautes latitudes ou bien dans des régions à latitude moins élevée mais en haute altitude. Ceci se traduit par 2 régions de présence de l'araucaria:

-l'une dans le secteur sud, sur le planalto méridional depuis le sud ouest de São Paulo jusqu'au Rio Grande do Sul avec une altitude variant de 500 à 1200 mètres et une latitude de 30° Sud.

-l'autre dans le secteur nord, dans les Serras de Mantiqueira et de Bocaina sur la limite des états de São Paulo, Minas Gerais et Rio de Janeiro. L'altitude est comprise entre 800 et 1800 mètres, la latitude est de 20° Sud et les versants où se développent les araucarias sont orientés à l'ouest, tournant le dos à l'océan atlantique.

D2-2 Historique

Les études botaniques de la forêt d'araucaria ont débuté dans le Rio Grande do Sul grâce aux travaux d'un suédois, LINDMAN en 1900. Ses résultats ont été traduits par Löfgren et édités à Porto Alegre (Rio Grande do Sul) en 1906 (LINDMAN, 1974).

Puis RAMBO (1956) de 1942 à 1956 suivi de VELOSO (1963) et KLEIN (1960, 1972, 1975), ont diffusé de nombreuses publications sur la végétation du sud du Brésil.

MAACK (1949, 1950), géologue brésilien, a réalisé en 1950 une carte phytogéographique du Paraná.

HUECK en 1953 a également contribué à la connaissance de ce type de végétation.

Les études récentes sont réduites en raison de la disparition croissante de cette forêt. Il faut signaler toutefois le travail de BACKES en 1973 sur la forêt d'araucaria du Rio Grande do Sul.

D2-3 Origine

AUBREVILLE (1961) réfléchissant aux problèmes de l'origine de cette forêt en a tiré les conclusions suivantes: " Il me paraît aujourd'hui nécessaire d'admettre que l'aire du conifère a occupé très anciennement toute l'aire où se trouve encore des peuplements témoins d'autant plus que l'araucaria à graines lourdes n'est pas une espèce envahissante...l'aire ancienne de l'araucaria s'est étendue aux secteurs les plus élevés du plateau de São Paulo jusque dans le sud du Minas Gerais ainsi que dans la Serra de Mantiqueira et peut être plus loin sur les hauts reliefs. Cette extension ne fut possible que sous un climat favorable analogue au climat optimum. Pour aboutir à la répartition actuelle il faut alors également admettre un réchauffement du climat et l'aggravation en longueur, intensité et aridité d'une saison sèche. Par exemple concevoir l'établissement d'un climat du type de celui des cerrados actuels du sud du Goias et du Minas Gerais, survenu au Quaternaire."

LEHMANN en 1960 (cité dans AZEVEDO, 1965) observe la présence d'horizons de solifluxion dans les environs du Pic de Itapeva et dans la région urbanisée de Campos de Jordão, attestant un changement climatique dans la région durant le Pléistocène.

EBERT en 1960 (cité dans AZEVEDO, 1965) vient renforcer cette hypothèse en analysant les données géomorphologiques d'une possible glaciation Pléistocène pendant la période la plus froide entre les Andes et la Serra do Mar ainsi qu'en remarquant la présence d'une faune typique de zones froides qui avec l'amélioration du climat a migré vers l'Ouest et le Sud, vers les Andes, la Patagonie et vers le Nord-Est de la Serra de Mantiqueira.

SCHNELL (1961) conclut que "l'atténuation climatique actuelle avec des précipitations moyennes annuelles de 1700 mm et une saison sèche atténuée par des températures hivernales aurait remplacé l'invasion de la forêt d'araucaria par des éléments de la forêt tropicale et sub-tropicale".

AZEVEDO (1965) au cours d'une étude dans le Campos de Jordão (São Paulo) discute sur la présence d'une végétation (la forêt d'araucaria) paraissant refléter des conditions climatiques différentes des actuelles avec ses éléments antarctiques andins et australandins côtoyant une flore champêtre elle même en relation étroite avec les éléments xérophiles du Brésil central (cerrados).

L'auteur suggère donc la séquence suivante:
1- Pléistocène ancien: un climat froid et humide dominera la région;

2-Pléistocène récent: en accord avec les données géomorphologiques le Brésil du Sud Est aurait été soumis à une série d'oscillations climatiques allant du semi-aride à l'humide en passant par le sub-humide.

3- Holocène: un climat tropical humide avec des saisons sèches bien marquées, en partie similaire à l'actuel avec toutefois des totaux pluviométriques plus bas.

Les phases sub-arides seraient responsables des éléments xérophiles du Brésil central et sont représentés par les herbacées et les arbustes

entrant dans la composition de la végétation champêtre locale sur la Serra de Mantiqueira.

AUBREVILLE (1959) vient appuyer ces faits en soulignant l'antagonisme existant entre résineux et feuillus: ces derniers empêchant la régénération des premiers et la végétation tendant ainsi à évoluer vers la forêt subtropicale ou tempérée suivant l'altitude.

Et SCHNELL (1971) précise: "Il est admis que le genre *Araucaria* a occupé au Mésozoïque une aire très vaste sur le globe. La disparition des araucarias dans la quasi totalité de leur aire ancienne, et leur confinement actuel dans les régions australes reste un des grands problèmes de la paléophytogéographie et peut être explicable dans le cadre de la compétition entre Gymnospermes et arbres feuillus."

Mais à ce niveau les auteurs ne sont plus d'accord à savoir qui des feuillus qui des résineux se propage au dépend de l'autre?

AUBREVILLE en 1961 distingue les deux régions de présence des résineux de la forêt d'araucaria, *Podocarpus* et *Araucaria* et explique qu'aux très hautes latitudes, l'absence de concurrence des essences feuillues serait responsable de leur élimination partielle; alors que sous des hautes latitudes la concurrence jouerait en sens contraire rendant impossible le développement simultané des résineux et des feuillus.

C'est ce dernier phénomène qu'observe BACKES (1973) dans le Rio Grande do Sul.

De nombreux relevés effectués par l'auteur à l'intérieur de la forêt d'araucaria montrent l'absence presque totale d'individus nouveaux et la disparition progressive de l'araucaria se fait alors au profit de la forêt latifoliée qui l'accompagne.

Ceci s'explique de la manière suivante: les jeunes araucarias ont besoin de lumière pour se développer, ce qu'ils ne peuvent plus faire quand les sous bois de feuillus deviennent trop importants.

La chute des cônes de l'araucaria se produit en automne et en hiver, période pendant laquelle les températures sont basses, avoisinant souvent 0°C au cours de la nuit. Le froid provoque alors la chute des feuilles des espèces latifoliées ainsi que du *Podocarpus*, l'autre gymnosperme accompagnant l'araucaria. La forêt devient claire et laisse pénétrer la lumière jusqu'aux couches les plus basses. La graine germe rapidement jusqu'à la fin de l'hiver. Avec le retour du printemps et la croissance de la voûte foliaire entraînant un assombrissement de la strate inférieure, les plantules qui ne sont pas assez développées, sont éliminées. Ce cycle devient de plus en plus sélectif au fur et à mesure de l'implantation des angiospermes dans les strates inférieures et explique le fait que sur les aires de savanes cotoyant celles de la forêt d'araucaria celui-ci semble au contraire gagner du terrain et envahit celles-ci progressivement (REITZ et KLEIN, 1966, HUECK, 1953). Il est alors l'élément pionnier.

Mais l'exemple de la savane reste un cas particulier car le facteur lumière n'est pas le seul facteur limitant: la forêt d'araucaria exige

également des conditions climatiques et édaphiques très spécifiques expliquant le fait qu'il est très peu dispersé au Brésil.

Son évolution actuelle tendrait donc globalement vers une disparition progressive.

D2-4 Climat

La forêt d'araucaria exige pour prospérer une grande pluviosité, une grande humidité, un été pluvieux tempéré-chaud et un hiver froid avec quelques gelées. Ces conditions ne se trouvent réunies actuellement que dans les régions à hautes altitudes ou basses latitudes du Brésil.

Les pluies doivent être uniformément distribuées au cours de l'année avec dans le sud du Brésil une moyenne annuelle comprise entre 1250 et 2500 mm et au nord entre 1600 et 2000 mm, sans aucun déficit hydrique, l'araucaria ne tolérant pas de condition de sécheresse (GOLFARI et al, 1978).

La saison sèche ne doit pas s'étendre sur plus de 60 jours par an, période au delà de laquelle les réserves en eau du sol sont épuisées. Elle a en moyenne une durée de 0 à 1 mois.

Ces caractéristiques pluviométriques se retrouvent au niveau de la forêt amazonienne. Ce sont donc les températures qui permettent de distinguer la région à forêt d'araucaria ainsi que les saisons.

Les températures moyennes des mois les plus chauds atteignent 20-21°C au maximum et 11 à 12°C pour les mois les plus froids avec quelques jours de gelées pouvant atteindre -14°C dans le secteur sud et -8°C dans le secteur nord.

D2-5 Sols

Il n'est pas possible d'établir avec beaucoup de précisions la relation entre le substrat et la présence de l'araucaria. Toutefois plusieurs chercheurs ont essayé d'en dégager les caractéristiques générales (BACKES, 1973).

Les forêts d'araucaria se trouvent situées quelquefois sur un socle basaltique ou sur des formations sédimentaires ou sur des roches cristallines.

La roche initiale se présente plus ou moins dégradée sur la portion superficielle formant ainsi des sols à profondeur variable, mais n'atteignant pas des valeurs élevées, où prédominent les oxydes de fer et d'alumine avec des valeurs de pH en général basses (pH=4 au maximum).

Les quantités de matière végétale décomposées sont faibles et l'influence de la matière organique est faible.

Ce sont à la fois l'acidité des sols, leur faible profondeur et la toxicité de l'alumine qui rendraient l'espèce sensible aux effets de la sécheresse en hiver.

D2-6 Végétation

La forêt d'araucaria est toujours verte et de caractère mésophile. C'est une forêt claire, moins dense qu'une forêt pluviale.

Trois strates peuvent être distinguées:

-la première est constituée exclusivement de l'araucaria: *Araucaria angustifolia*, arbre colossal dont la hauteur peut atteindre 35 mètres et le diamètre 2 mètres. Son tronc par sa taille et l'absence de rameaux ne permet pas la croissance des lianes.

Au niveau de la canopée, sur les longues branches s'implantent les épiphytes; les plus fréquentes sont: *Tillandsia tenuifolia* var *tenuifolia*, *T.tenuifolia* var *vaginata* L.B.Smith, et *T.usneoides* L.. Ces trois espèces apparaissent en groupements denses accompagnés de lichens; ils recouvrent les branches des grands araucarias.

-la deuxième strate est formée de l'autre conifère, le podocarpus, avec deux espèces: *Podocarpus lambertii* et *Podocarpus sellowii*, pouvant atteindre 25 mètres de hauteur, et de différentes espèces latifoliées de 15 mètres de hauteur environ, quelquefois très denses.

Dans le secteur nord, au niveau du Planalto de Lindoia, entre 1200 et 1600 mètres d'altitude, l'araucaria apparaît sans le podocarpus. Ceci correspondrait à un facteur écologique spécifique qui n'est pas davantage expliqué.

Dans les forêts du secteur sud l'espèce latifoliée la plus répandue associée aux conifères est *Ilex paraguariensis*.

Dans les deux secteurs apparaissent *Ocotea pulchella*, *Sloanea monosperma*, *Symplocos uniflora*, *Drymis brasiliensis*, *Cedrela fissilis*, *Mimosa scabrella*.

C'est à ce niveau que se rencontrent le plus grand nombre d'épiphytes de la forêt avec *Polypodium angustifolium* Sw., *P. hirsutissimum* Radd., *P. lanceolatum* L. *P. pectinatiforme* Lindm., *P. squalidium* Vell., *P. vaccinifolium* L.&F., *P. squamulosum* Kaulf., *P. typicum* Fee., *Asplenium divergens* Met..

-la troisième strate est composée de la végétation arbustive; elle n'est généralement pas continue et les interruptions sont plus ou moins grandes en fonction de la densité des strates supérieures.

Nous y trouvons des Myrsinacées *Rapanea*, des Myrtacées *Eugenia*, des Rubiacées, des Ptéridophytes *Dicksonia sellowiana* (Presl.) Hook.

La strate herbacée est presque absente à cause de la grande quantité de branches des strates supérieures empêchant la lumière d'arriver jusqu'au sol.

D3- LA FORET MÉSOPHILE SEMIDÉCIDUE

D3-1 Répartition géographique

Cette forêt est située principalement entre la latitude 20° et 25° Sud, dans le sud-est brésilien, à hauteur de São Paulo jusqu'au Rio Paraguai, recouvrant l'état de São Paulo, une partie du Paraná, le sud du Minas Gerais et du Mato Grosso du Sud.

Elle est également associée à la forêt galerie sur le Planalto Central, sous une latitude de 15° Sud (Fig.1-11).

D3-2 Historique

L'étude de sa composition floristique est récente. De nombreux auteurs, s'ils la décrivent, ne la distinguent pas toujours de la forêt pluviale atlantique et lui donnent le nom de forêt atlantique de l'intérieur (*mata atlântica do interior*). Cette imprécision pourrait être dûe au fait qu'elle ne subsiste actuellement que sous forme d'îlots, reliques de son expansion passée.

ANDRADE LIMA (1966) fut le premier à évoquer l'existence de cette forêt sous le nom de forêt mésophile ou de forêt sub-caducifoliée tropicale pluviale.

WALTER et BRECKLE (1984) relataient l'existence de témoins de cette forêt à Pirassununga (São Paulo), sur des sols basaltiques riches en nutriments qui, selon les auteurs, correspond à la végétation zonale type.

En 1986 SILVA et SHEPHERD tentent de corrélérer mathématiquement différents types de forêt du Brésil à l'aide d'un classement hiérarchique des données. Les "matas de Planalto" comme les définissent les auteurs, se séparent nettement des autres forêts atlantiques ou amazoniennes (Fig.1-9 et 1-12).

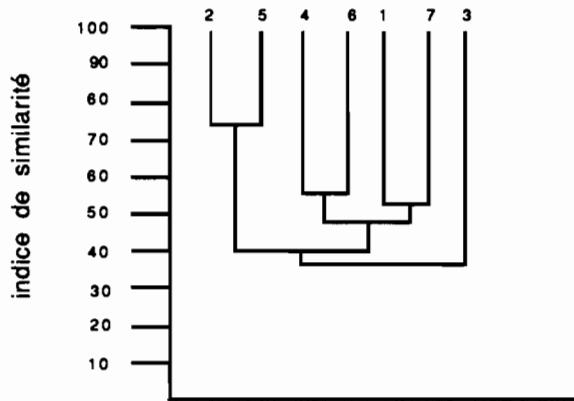


Figure 1-12 : Dendrogramme de similitude de Jaccard entre les forêts brésiliennes: forêt atlantique (1-Santa Catarina, 2-São Paulo, 3-Rio de Janeiro, 4-Espírito Santo, 5-Bahia) forêt amazonienne (6) et forêt mésophile semidécidue (7) d'après SILVA et SHEPHERD, 1986.

D3-4 Climat

La forêt mésophile semidécidue se développe sous un climat humide à saison sèche peu marquée, 1 à 2 mois en moyenne et avec une température moyenne hivernale comprise entre 10 et 15°C correspondant à la zone II de notre carte (Fig.1-10).

Les bras de la forêt situés dans la zone III où la sécheresse plus marquée permet l'expansion du cerrado, ne s'expliquent que par leur association à la forêt galerie ou par la présence de zones au sol plus humide permettant son maintien (RATTER et al, 1978).

Le climat de la zone II correspond donc aux conditions qu'elle requiert pour son développement.

D3-5 Sois

Le substrat est capable de retenir l'eau nécessaire à l'existence d'une forêt: la teneur en eau y est de 11% (contre 9,5% dans le cerradão); la couche humique est de 5 cm en moyenne (RIZZINI, 1979).

Ce sont en général des latosols rouge-foncé, riches en carbone et en calcium.

Le manque de données disponibles dans ce domaine ne nous permet pas de préciser davantage.

D3-6 Végétation

Ces forêts se distinguent des cerradões par le fait que les cimes sont jointives et des cerrados parce qu'elles n'ont pas de strate herbacée continue. Les troncs des arbres y sont moins élevés que dans les forêts pluviales et possèdent des écorces plus épaisses et des branches robustes plus ou moins tortueuses comparables à celles des cerrados.

3 strates sont distinguées: la première de 15 à 20 mètres dite strate supérieure, la strate intermédiaire de 6 à 8 mètres, ou sous-bois arboré-arbustif et la strate inférieure de 1 à 3 mètres, pauvre en herbacées.

Parmi les grands arbres émergents se détachent *Hymenea strobocarpa* et *Copaifera langsdorffii*. Les familles constantes en terme de densité, dans toutes les forêts mésophiles semidécidues sont les Rutacées avec *Gallesia*, *Esenbeckia*, *Metrodorea*, les Légumineuses (*Centrolobium*), et les Méliacées (*Trichilia*).

Elles ne possèdent pas d'épiphytes sauf quelques orchidées, de rares *Rhipsalis* et des Broméliacées; les mousses et les lichens y sont également peu abondants. Par contre les lianes ne sont pas rares et sont souvent de bonne taille: ce sont *Arrabidea triplinervia*, *Pithecoctemium echinatum*, *Bauhinia* sp.

D'une manière générale, parmi les arbres typiques de la forêt semidécidue dominent les espèces suivantes: *Pterodon polygalaeiflorus*, *Copaifera langsdorffii*, *Emmotum nitens*, *Piptadenia peregrina* et *Astronium urundeuva*.

ASSUMPÇÃO et al (1982) lors de l'étude d'une forêt située dans l'état de São Paulo (Vaquejunga) a effectué une analyse comparative entre plusieurs types de forêt allant de Panama au sud du Brésil en passant par l'Amazonie.

Les forêts du Planalto central, au niveau de São Paulo présentent toutes plus de 20% de genres communs et se séparent très nettement des forêts côtières atlantiques (Fig.1-13).

| | |
|---|------------|
| 1- Genres communs aux forêts: amazonienne, atlantique et mésophile semidécidue..... | 156 |
| 2- Genres communs aux forêts: amazonienne et atlantique..... | 121 |
| 3- Genres communs aux forêts: atlantique et semidécidue..... | 32 |
| 4- Genres communs aux forêts: amazonienne et semidécidue..... | 32 |
| Total..... | 341 |

Figure 1-13 : Relations floristiques des trois principales forêts brésiliennes d'après RIZZINI (1979).

Ceci confirme le caractère spécifique de cette forêt de plus en plus masqué par sa disparition croissante au profit des grandes monocultures de São Paulo.

D4-LA FORET GALERIE

D4-1 Répartition géographique

Du Nord-Est brésilien jusqu'au sud du Brésil central, au sein même des étendues herbacées, boisées ou non, caatinga ou cerrado, de nombreux bras de forêt tropicale humide suivent les cours d'eau. Leur répartition se fait donc au hasard de ces rivières et leur présence marque de façon caractéristique les paysages brésiliens.

D4-2 Historique

C'est WARMING en 1892 (WARMING et FERRI, 1973) qui le premier a fait état de l'existence de ces forêts en tant qu'entité botanique à l'intérieur même du cerrado. Il remarque leur présence dans les dépressions et sur les versants des vallées profondes, le long des cours d'eau et donne une liste des espèces observées, montrant qu'elles diffèrent de celles du cerrado environnant.

En 1912, CAMPOS, au cours d'une étude de la végétation forestière naturelle du Brésil, fait apparaître les forêts galerie en leur donnant le nom de "pestanas de rios", "matas de condensação", "matas de anteparo" et "matas de galeria".

L'intérêt botanique que suscite ces forêts galerie est toutefois plus récent. Les relevés floristiques et phytosociologiques ont commencé à être réalisés en 1970 et sont concentrés dans le nord-est de l'état de São Paulo.

LEITÃO FILHO (1982) observe que ces formations se trouvent sur des surfaces réduites, le long des cours d'eau et sur des sites sujets à des inondations temporaires ou permanentes. Ils sont intégrés à l'intérieur d'un type floristique bien distinct et possèdent une composition floristique et une structure phytosociologique propre. L'auteur termine son étude par la définition de 2 sous-divisions: "mata ciliar" et "mata dos brejos" correspondant aux 2 emplacements cités.

BERTONI et MARTINS (1987) au cours d'une étude phytosociologique d'une surface à forêt galerie située à Moji Guaçu (São Paulo) rencontrent un mélange d'espèces typiques des autres forêts non inondables. Selon les auteurs il ne serait pas possible d'affirmer que la forêt galerie présente une composition floristique exclusive.

Les études présentées dans ce travail sont récentes, 1988 pour Assis et 1988 pour Brotas et font parties d'un programme de reconstitution de la forêt galerie très affectée par les défrichements, le bétail et les incendies car elle est dans sa majorité entourée par le cerrado. Les espèces inventoriées permettent de reconstituer la composition floristique d'une forêt galerie originelle et de replanter ces espèces le long des cours d'eau, là où elles ont disparu.

D4-3 Climat

Le climat lié à la forêt galerie est celui des formations végétales environnantes, c'est à dire celui du cerrado quand la forêt est située près de celui-ci ou celui de la forêt mésophile semidécidue si la forêt galerie la traverse.

D4-4 Sols

Les climats étant les mêmes que ceux du cerrado ou de la forêt mésophile semidécidue, la seule différence avec les facteurs affectant la croissance des éléments de ces formations végétales serait la disponibilité en eau des sols.

Les sols des forêts galerie sont approvisionnés en eau toute l'année, car elles sont situées en marge des cours d'eau et ne subissent donc jamais de sécheresse. HUECK (1972) remarque que ces sols présentent des conditions favorables à l'implantation d'une forêt telles que, par exemple, une plus grande quantité d'humus sur 10 cm de profondeur. Malheureusement très peu d'informations ont été publiées sur la composition chimique de ces sols.

D4-5 Végétation

D'après SCHNELL (1971) les forêts galerie sont des expansions de la forêt dense grâce à l'humidité édaphique et au microclimat qu'elles entretiennent dans des régions climatiques impropre à l'existence d'une forêt dense humide.

Ce serait donc, selon la région où ce type de forêt est implanté une extension de la forêt amazonienne comme c'est le cas des forêts rencontrées au Mato Grosso et au nord du Goias ou de la forêt mésophile semidécidue pour São Paulo et Minas Gerais.

Une étude réalisée au Rio Grande do Sul par KLEIN (1972) a également montré que la forêt pluviale se divise en deux: l'une orientale, de l'océan jusqu'au centre de l'état qui est la continuation de la forêt pluviale montagnarde venant de Santa Catarina, l'autre occidentale, qui est une grande forêt galerie le long du Rio Uruguai, venant du bassin du Rio Paraná provenant des forêts tropicales environnantes.

L'étude de la faune vient également appuyer ces observations.

SICK en 1966 a montré qu'un oiseau de la forêt galerie du Goias, le *Scytalopus novacapitalis*, appartient à un genre typique de la forêt atlantique.

Ces forêts sont pérennifoliées et quelquefois mélangées à des arbres décidus dans les régions plus sèches.

Les arbres atteignent une hauteur de 25 mètres et ne portent pas d'épiphytes.

La strate arbustive est plus ou moins dense avec *Urera baccifera* et *Alibertia* sp. qui dominent; la strate herbacée est très réduite.

Les espèces les plus caractéristiques appartiennent aux familles des Euphorbiacées avec *Actinostemon communis*, des Fabacées avec *Centrolobium tomentosum* et *Macherium stipitatum*, des Rutacées *Metrodorea nigra* et des Sapindacées *Diatenopteryx sorbifolia*.

D5-LE CERRADO

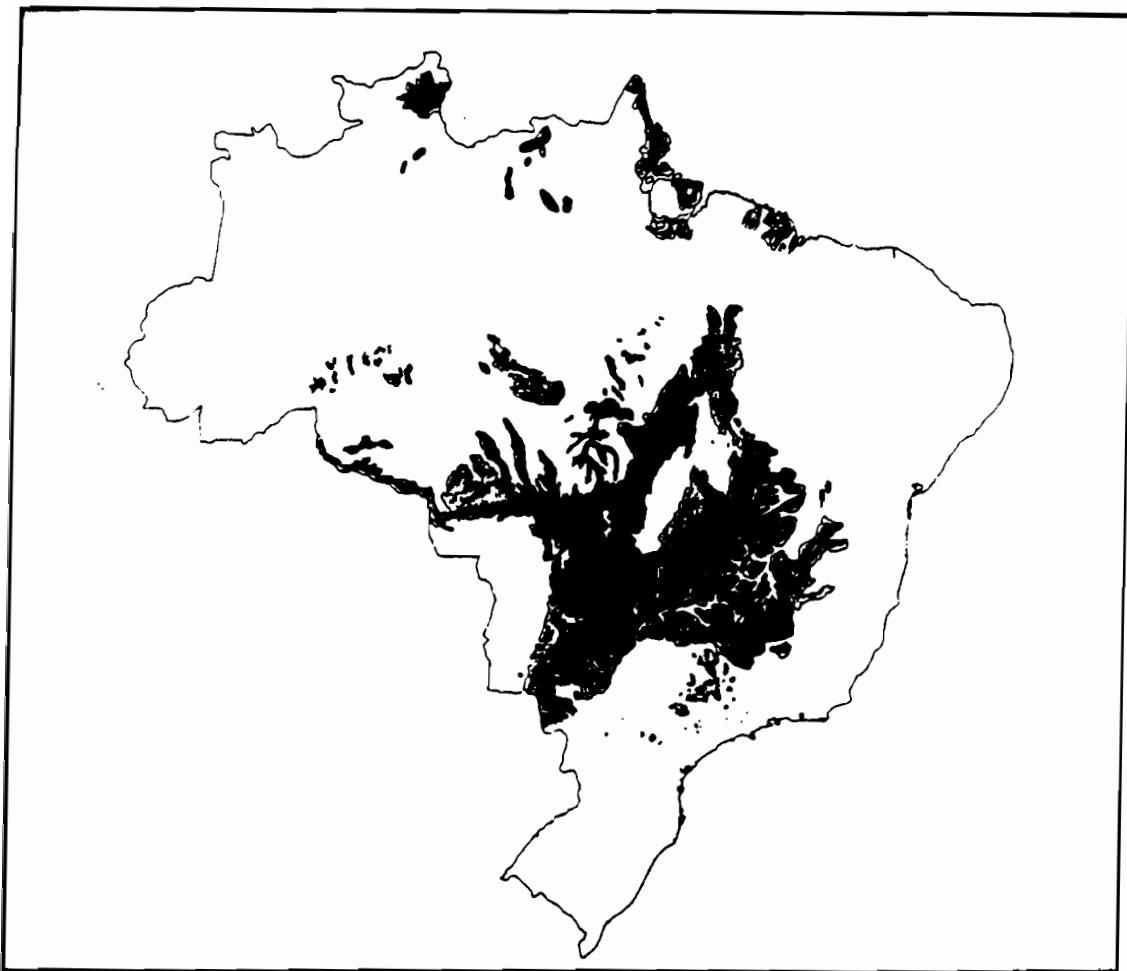
D5-1 Répartition géographique

Le cerrado recouvre au total une superficie de 1.5 millions de km², soit 23% de la superficie du territoire brésilien et 40% si l'on tient compte de tous les types de végétation associés (cerradão avec plus d'arbres, cerrado ralo et campo limpo avec plus de graminées) (Fig.1-14).

La surface occupée par le cerrado s'étend de 4° Nord jusqu'à 24° Sud en latitude et de 42° à 65° Ouest en longitude. L'altitude varie de 100 à 1250 mètres.

La plus étendue se situe sur le plateau du Brésil central, de la frontière bolivienne aux contreforts des serras bordant l'océan atlantique, où l'altitude dépasse rarement 600 mètres.

Les autres sites, moins importants en superficie, sont répartis sur le littoral de Marajo au nord et dans le bassin de l'Amazone dans l'état du Para, entre les cours supérieurs des fleuves Jari et Trombetas et épargnés au



**Figure 1-14: Répartition géographique du cerrado, échelle 1:5000000
d'après ANDRADE LIMA 1966.**

sud des états du Para et d'Amazonie ainsi que dans l'état du Parana et le Paraguai.

Tous ces cerrados ont la même physionomie et ne diffèrent que par leur composition floristique.

D5-2 Historique

De nombreux botanistes aussi renommés que LANGSDORFF (1821-1829) ou SAINT-HILAIRE (1824) ont parcouru le cerrado dès la première moitié du 19ème siècle afin d'herboriser, contribuant ainsi à l'enrichissement des collections européennes.

Mais WARMING en 1889 fut le premier à étudier le cerrado en tant qu'entité écologique et son travail à Lagoa Santa (Minas Gerais) reste un outil de base pour qui s'intéresse à cette formation végétale (WARMING et FERRI, 1973). Les événements politiques du début du 20ème siècle ont empêché le développement des recherches de terrain et ce n'est qu'en 1948 que RAWITSCHER entreprend une étude écologique détaillée d'un cerrado du Minas Gerais, le cerrado das Emas.

En 1962, des chercheurs brésiliens créent le premier symposium exclusivement consacré au cerrado. Depuis, celui-ci a lieu régulièrement et fait l'objet d'une monographie à la fin de chaque séance.

Il existe maintenant une abondante littérature sur les cerrados. Celle-ci a été révisée par EITEN en 1972 avec 300 citations, et FERRI (WARMING et FERRI, 1973) lors de la réédition des travaux de WARMING a ajouté 200 références bibliographiques.

De nombreuses définitions du cerrado ont été proposées; les principales énumérées ci-dessous montrent l'évolution des recherches dans la connaissance de celui-ci.

FERRI (1969) :"....sur un tapis d'herbacées où dominent les graminées recouvrant le sol de façon plus ou moins continue, se développent des arbres et des arbustes soit isolés, soit regroupés, généralement tortueux, à écorce épaisse avec de nombreux signes d'incendie et des grandes feuilles simples ou composées coriaces, brillantes ou recouvertes de nombreux poils."

GOODLAND (1971), a distingué les types suivants à partir d'une étude phytosociologique du "Triangulo mineiro"(Minas Gerais):

"1-les campos sujos composés de petits arbres de 3 mètres de hauteur, dont la densité est en moyenne de 849 par hectare et l'aire basale totale (c'est à dire la somme de toutes les surfaces basales des troncs) de 2,98 m² /ha. 31 espèces ligneuses et 60 espèces herbacées ont été dénombrées.

2-les campos cerrados où les arbres atteignent 4 mètres de hauteur; leur densité est de 1408 par hectare avec un degré de couverture de 3% et une aire basale totale de 7,6m² /ha. 36 espèces ligneuses et 53 espèces herbacées sont répertoriées."

EMBRAPA (1974): "c'est un groupe de formes de végétation qui se présentent selon un gradient de biomasse: campo sujo-cerrado-cerradão.

Les 3 premiers sont des formations champêtres et le dernier une formation forestière."

RADAMBRASIL (1982): "...regroupements champêtres qui peuvent éventuellement présenter des arbres rachitiques, pourvus de grandes feuilles coriaces ou à stomates protégés par des poils. Ces bosquets à densité variable recouvrent un tapis de plantes ligneuses petites et rachitiques pourvues de xylopodes et à petites feuilles coriaces. Ainsi la savane présente des plantes de 2 catégories écologiques: la rasante qui ne rencontre pas d'eau en surface pendant de longues périodes, mais avec un organe de défense contre la sécheresse et l'arborée, rachitique, dont les racines atteignent la nappe phréatique mais possède aussi une protection contre la transpiration excessive."

ELHAI (1978): "les cerrados sont réalisés avec des précipitations annuelles entre 1500 et 1900 mm et une saison sèche de 4 mois recevant moins de 30 mm; on devrait avoir une forêt mixte et non des savanes. Il est donc nécessaire de chercher d'autres éléments pouvant justifier la répartition des formations végétales (les sols, l'homme, les vicissitudes climatiques passées.)"

Il faut également citer les travaux de AUBREVILLE (1961), RIZZINI (1979) et ROUGERIE (1988) qui ont comparé les cerrados brésiliens avec les savanes africaines.

Ces derniers points nous amènent à exposer les hypothèses de l'origine du cerrado.

D5-3 Origine

Les cerrados et les forêts coexistent sur le même territoire, aux mêmes latitudes, sous le même climat et le plus souvent également sur les mêmes types de sol.

2 grands courants d'idées se sont opposés à propos de l'origine du cerrado:

En première hypothèse, selon certains auteurs les cerrados seraient d'origine anthropique: l'action des feux répétés et des coupes avant l'arrivée des européens sur le continent aurait contribué à la formation des savanes à partir des forêts ou des cerradões.

Tout d'abord avec LUND qui, dès 1835, à l'aide d'observations botaniques concernant la germination des graines dans le cerrado conclut que celui-ci dérive du cerradão sous l'action des incendies.

Puis LOEFGREN en 1898 (LOEFGREN et EDWALL, 1897-1905) qui, en examinant les cerrados de São Paulo, conclut que le feu annuel est la cause de la régression du cerradão en cerrado.

Plus tard DAWSON (1957) vient appuyer ces faits: "Thus the cerrado is surely not a climax vegetation for it does not seem to represent the maximum vegetation that the ecological condition can maintain."

AUBREVILLE en 1961 reprend la théorie de LUND afin de démontrer que l'origine des savanes afro-brésiliennes serait dûe aux régressions des forêts sèches et des cerradões sous l'action des incendies infligés par des populations et amplifiés au cours de la période sèche de l'Holocène avec des saisons sèches bien marquées.

Pour EITEN (1963) et SCHNELL (1970, 1971) "le cerrado paraît avoir dérivé du cerradão, probablement sous l'action des feux", conclusion étayée par les résultats des études des savanes africaines, et il donne comme exemple le cas de la route de Belo Horizonte à Brasília qui au début de sa mise en service traversait des cerradões vierges et où actuellement il n'existe plus que des cerrados à cause des coupes et des feux. La savane résulterait alors d'un déséquilibre écologique.

Pour AB'SABER et JUNIOR en 1951 c'est un disclimax c'est à dire une forme dégradée d'un type primitif.

Plusieurs observations viennent toutefois troubler ces affirmations:

REINHARDT réfute l'hypothèse de LUND dès la première moitié du 19ème siècle, en montrant des ossements fossiles d'animaux vivant sous des formations végétales ouvertes.

Et, d'autre part, la présence d'un cerrado dans la serra de Mantiqueira (Rio de Janeiro) à 1400 mètres d'altitude, dans la région de la forêt d'araucaria, ne permet pas d'envisager l'influence de l'homme sur la formation des cerrados car celui-ci se trouve dans une zone récemment anthropisée (AZEVEDO, 1965).

Selon d'autres auteurs, nous abordons alors la 2ème hypothèse, l'action du climat et du substrat serait déterminante et l'origine du cerrado serait alors dûe à des fluctuations climatiques du Quaternaire récent.

En effet, l'homme n'agit sans doute qu'à partir de l'Holocène, vers 11000 ans B.P., et à cette époque, le climat, dans de nombreuses régions du globe a souffert de la sécheresse; une condition climatique est venue alors favoriser et accentuer l'action du feu. Mais une dévastation complète donnerait un type de végétation secondaire tel que l'on en trouve dans les aires de forêts humides et jamais de la savane avec des arbres et des arbustes sclérophiles.

Pour VELOSO (1946, 1963) le cerrado est un climax et représente le maximum à l'intérieur d'une ambiance dominante; les bras de cerrado de l'Amazonie, de São Paulo et du Paraná ne sont rien de plus que des reliques d'un climat xéothermique ancien.

SICK en 1955 écrit que le cerrado s'est développé pendant une époque antérieure plus xéophytique; c'est donc une formation primitive climatique seulement dégradée par l'homme.

Pour HUECK en 1957, c'est une relique d'une couverture végétale amplement distribuée dont le centre de dispersion a été le Brésil central. Il faut également citer les travaux de COLE (1960) et FERRI en 1963 reconnaît que quelques cerrados sont climatiques et les incendies sur

d'autres types de végétation font se développer les conditions favorables à la migration de cerrado venant se substituer à eux.

Parallèlement aux hypothèses climatiques de l'origine du cerrado se développent les hypothèses édaphiques.

SOUZA REIS (1971) et VAN DER HAMMEN (1983) reconnaissent que la condition climatique qui détermine le cerrado est la même que celle qui est responsable de l'apparition de la forêt; une fois satisfaite la condition climatique, le cerrado apparaît ou pas sous la dépendance de facteurs édaphiques d'ordre nutritionnel.

WARMING en 1909 (WARMING et FERRI, 1973) avait déjà remarqué que la pauvreté en nutriments du substrat serait un facteur morphogénétique et phytogéographique.

RAWITSCHER (1948) puis ALVIM et ARAUJO (1952) émettent les premiers l'hypothèse oligotrophique de l'origine du paysage du cerrado. En effet les plantes du cerrado sont tolérantes aux faibles teneurs en calcium et à l'acidité du sol; la qualité du sol serait alors le facteur déterminant le type de végétation à l'intérieur d'un faisceau climatique de cerrado. Cette qualité du sol, selon les auteurs, serait fonction principalement de son origine géologique et le feu ne serait alors qu'un facteur secondaire.

ARENS (1958,1963) a repris cette hypothèse et a établi que la carence en nitrogène est l'origine de la sclérophilie des plantes du cerrado; celui-ci serait alors un type de végétation sélectionné par la déficience minérale. Ses travaux se basent principalement sur le fait que les stomates des plantes restent ouvertes même sous une lumière intense, ce qui signifie que l'eau ne manque pas mais que le facteur limitant la croissance est la nutrition minérale.

Le feu, selon l'auteur, est alors le facteur qui renforce l'oligotrophisme et favorise le maintien et la propagation des plantes savanicoles. De nombreuses observations de terrain lui permettent de conclure que là où le sol ne permet pas la formation de forêt, sols sableux dérivés d'arénite et érodés avec la roche dure subjacente, le quartzite gréseux du bouclier brésilien, ou sols mal drainés, périodiquement inondés, à concrétion ferrugineuse en couche continue (croûte latéritique imperméable résultant d'une période sèche dans le passé) comme sur les Llanos colombiennes et vénézuéliennes et en Afrique, les savanes peuvent alors être considérées comme édaphiquement déterminées.

Pour citer un autre exemple, RIZZINI et PINTO (1964) remarquent que cerrado et forêt pluviale atlantique vivent sous le même type de climat du point de vue du régime hydrique et aussi avec la même saison sèche que sur les plateaux du Brésil central et en concluent que c'est la condition édaphique qui dans ce cas est la plus marquante.

Des études botaniques, zoologiques et palynologiques récentes viennent appuyer la deuxième hypothèse.

La présence de savanes sous un climat de type équatorial en Amazonie, montre qu'au cours de la dernière période sèche les cerradões, forêts sèches et savanes naturelles ont pu s'étendre au delà de leurs

frontières naturelles en même temps que les forêts humides se sont trouvées réduites à des zones "refuge" et se sont maintenues grâce à des conditions édaphiques favorables.(DUCKE et BLACK, 1954, VAN DER HAMMEN, 1983).

HAFFER (1969, 1982) a proposé un modèle de zone "refuge" (9 au total) au sein de la forêt amazonienne ayant favorisé la spécialisation des oiseaux au cours des périodes sèches, alors que l'Amazonie était recouverte de savanes de type cerrado.

VANZOLINI et WILLIAMS (1970) avec les lézards, BROWN (1982) à partir des papillons et PRANCE (1973,1982) à l'aide d'une étude sur la répartition de quatre familles botaniques sur le territoire brésilien ont également pu reconstituer une carte des zones "refuge" se recoupant en grande partie, et confirmant l'hypothèse d'une extension du cerrado au moment d'une phase sèche quaternaire.

Les observations géomorphologiques et sédimentologiques de AB'SABER (1977) viennent appuyer ces observations écologiques en précisant l'époque du retrait de la forêt, au cours de la dernière période sèche se situant vers 12000-18000 ans B.P.. Mais, selon l'auteur, le cerrado n'aurait pas alors dominé le paysage brésilien et aurait occupé une aire plus réduite qu'actuellement, la caatinga (steppe semi-désertique) aurait recouvert la partie nord actuelle du cerrado et la steppe, les prairies mixtes et un noyau d'araucaria sa partie sud.

Cerrados et cerradões auraient eu une plus grande pénétration par l'Amazonie orientale et centrale, se connectant peut être avec des aires similaires de Roraima et des Llanos de l'Orénoque et des Guyane.

En Amazonie les conditions climatiques actuelles favorables à la réinstallation de la forêt auraient dû éliminer ces enclaves de cerrado; leur présence s'explique par la nature du sol formé pendant la migration du cerrado avec l'établissement d'une croûte latéritique imperméable, des sols sableux pauvres en nutriments ou par l'action de l'homme.

Les travaux palynologiques sur les basses terres tropicales confirment le développement des aires à graminées pendant les phases climatiques sèches du Quaternaire:

WIJMSTRA et VAN DER HAMMEN (1966), VAN DER HAMMEN (1974) montrent la présence de la savane depuis plusieurs milliers d'années dans les Llanos orientales (Colombie), et les Rupununi savanes (Guyane).

Sur la côte du Surinam et de la Guyane, WIJMSTRA (1967) met en évidence l'extension des savanes pendant la période glaciaire accompagné de niveaux marins bas.

A Rondônia, au sud du bassin amazonien, les études de ABSY (1979, 1980, 1982, 1985) ont montré la disparition de la forêt au profit de la savane pendant un intervalle du Pléistocène, subissant un climat plus sec.

Toutefois, à ce sujet , il nous faut signaler l'étude de COLINVAUX (COLINVAUX et al , 1989) qui, à partir de résultats palynologiques obtenus sur des échantillons de l'Amazonie équatorienne et d'études finlandaises sur la dynamique fluviatile (SALO et al , 1986, RÄSÄNEN et al cités par

COLINVAUX et al., 1989) remet totalement en question l'hypothèse des refuges et la présence des cerrados en Amazonie. Selon l'auteur, les phases arides de l'Holocène n'ayant pas encore été démontrées de façon rigoureuse, la forêt n'aurait pas disparu, seule la composition en espèces aurait changé pendant les âges glaciaires.

Les changements de couvert forestier enregistrés dans les basses terres amazoniennes sont intervenus à cause du grand nombre de sédiments provenant des Andes et charriés par les fleuves; c'est la dynamique fluviatile qui est responsable des perturbations de la forêt.

Le débat reste ouvert en attendant d'autres résultats palynologiques.

A la lumière de tous ces travaux, l'aire principale du cerrado est donc le Planalto central et les autres cerrados répartis sur tout le territoire brésilien seraient une forme relique ancienne d'une végétation sclérophile s'étant développée sous un climat plus sec que l'actuel et se maintenant grâce à des conditions édaphiques favorables.

L'action des incendies répétés sur les surfaces herbeuses, longtemps avant l'apparition de l'homme n'est toutefois pas à négliger car ils peuvent être dus à un changement climatique affectant directement la végétation.

D5-4 Climat

Les cerrados se rencontrent sous une large variété de types climatiques allant de humide et chaud avec une saison sèche longue ou courte, subtropical humide à été chaud ou frais, à hiver sec ou non.

Toutefois l'aire d'occupation majeure du cerrado est située sur le plateau central brésilien où le climat est défini par une moyenne annuelle des précipitations de 1300 à 1500 mm, des températures hivernales supérieures à 15°C et une saison sèche de 4 à 5 mois, de Mai à Septembre.

WALTER et BRECKLE (1984) définissent cette zone comme humide-aride c'est à dire à saison sèche et à saison humide.

Les autres aires de répartition du cerrado ne sont pas climatiquement mais édaphiquement déterminées, comme nous l'avons précisé ci-dessus.

Le climat du cerrado correspond à la zone III de notre carte.(Fig.1-10).

D5-5 Sols

La nature des sols permet d'expliquer la présence des cerrados sous des zones climatiques favorables à la croissance de la forêt.

Les cerrados se développent sur des sols pauvres en potasse, en phosphate et en oligoéléments. Selon WALTER (1971), ces sols ont été lessivés par les fortes pluies tropicales pendant des millions d'années. Ils sont, le plus souvent, formés par une croûte latéritique située quelquefois plus en profondeur: ce sont des latosols rouge-jaune ou rouge-foncé. La roche primaire à partir de laquelle ces sols se forment est le quartzite gréseux du bouclier brésilien.

Ils sont acides avec un pH de 4 à 5 en superficie et contiennent suffisamment d'eau pour la croissance des végétaux; la nappe phréatique est à 20 mètres de profondeur pendant la saison sèche.

Ils se caractérisent également par un excès d'aluminium toxique pour la végétation (GOODLAND, 1971); l'aluminium rendant insolubles le phosphate et le calcium qui ne peuvent donc pas être assimilés par les plantes. Pour 110 échantillons de sol récoltés par Goodland, la teneur moyenne en aluminium est de 75 ppm, et atteint fréquemment des valeurs de 100 ppm.

La topographie d'un site est également importante pour la répartition du cerrado si l'on considère que les cations ont tendance à migrer et à s'accumuler en bas des versants. Les conditions édaphiques nécessaires à la croissance d'un cerrado ne seront pas réunies en bas du versant et on y trouvera alors plutôt un cerradão.

D5-6 Végétation

Deux strates végétales sont distinguées au sein du cerrado:

la strate supérieure située à 10 mètres du sol est composée d'arbres et d'arbustes, et la strate inférieure ne dépassant pas 1 mètre formée de graminées principalement.

Les espèces botaniques caractéristiques du cerrado seront celles pouvant supporter les carences en nutriments ainsi que l'alumino-toxicité.

Ce sont les Vochysiacees, les Rubiacées, les Symplocacées, les Mélastomatacées, les Théacées qui peuvent accumuler l'aluminium en grande quantité avec les genres *Qualea*, *Vochysia*, *Strychnos*, *Miconia*, *Psychotria*, *Antonia*, *Rapanea*, *Neea*, *Roupala*, *Rudgea*, *Palicourea*.

D6-LE CERRADÃO

D6-1 Répartition géographique

Cerrado et cerradão coexistent sur le Planalto central brésilien, entre la latitude 10°S et 20°S.

Sa répartition géographique est donc plus limitée que celle du cerrado qui s'étendait de la forêt amazonienne jusqu'au sud du Brésil.

D6-2 Historique

SAINT-HILAIRE en 1824 avait remarqué qu'une végétation plus dense accompagnait souvent la savane. Les termes de cerrado et cerradão n'existaient pas encore. Les arbres observés par SAINT-HILAIRE étaient ceux du cerrado mais présentaient une vigueur exceptionnelle, un port plus droit et la strate herbacée est remplacée par de nombreux arbustes.

LOEFGREN et EDWALL (1897-1905) la considère comme une deuxième catégorie de forêt primitive à São Paulo. Il ne connaissait pas encore le Planalto Central.

Pour LUND (1835) et WARMING (1908), le cerradão est la forêt vierge des plateaux brésiliens, constituée d'espèces du cerrado.

Avec WAIBEL en 1948, le terme de cerradão apparaît pour la première fois. Cet auteur le situe entre le cerrado, car plus haut et plus dense, et la forêt à côté de laquelle il est plus bas et moins dense.

Les travaux de FAISSOL (1953), AUBREVILLE (1961), RIZZINI (1962,1963), AZEVEDO (1965), SCHNELL (1961,1970,1971) le définissent comme une classe de la forêt basse ou plus précisément comme une forêt mésophile sclérophile.

RATTER (1971) décrit 2 types de cerradão du Mato Grosso, différents par leurs espèces marqueurs et remarque que celles-ci sont liées à la composition de la forêt la plus proche. Ainsi dans un cerradão situé à proximité d'une forêt semperflore, les marqueurs sont également semperflores: *Hirtella glandulosa* et *Vochysia haenkeana* et sont caractéristiques des sols pauvres en éléments nutritifs; sur l'autre cerradão, situé près d'une forêt décidue à sol plus riche en nutriments, les marqueurs *Physocalymma scaberrimum*, *Callisthene fasciculata*, *Pseudobombax tomentosum* sont également décidus et exigeants en nutriments.

De nombreux types de cerradão sont définis selon les conditions écologiques de l'environnement où ils se situent (EITEN, 1972).

D6-3 Origine

Selon VELOSO (1963) le cerradão serait apparu en même temps que le cerrado et se serait développé sur des substrats favorables à sa croissance, avec la forêt galerie dans les thalwegs, le cerrado sur le plateau et le cerradão sur les versants.

D6-4 Climat

Il s'agit du même climat que pour le cerrado, celui de notre zone III (Fig.1-10) avec une saison sèche de 4 à 5 mois et des températures hivernales supérieures à 15°C.

D6-5 Sol

Les sols du cerradão sont des latosols rouges et très sableux comme ceux des cerrados avec en plus une fine couche d'humus les rapprochant d'une configuration forestière.

Ces sols sont également plus humides, plus riches en nutriments et moins alumino-toxiques que ceux du cerrado (Tab.1-1).

| Formation | C% | N% | Ca mE | Mg mE | K | Somme des bases | P2O5% | pH |
|-----------|------|------|-------|-------|------|-----------------|-------|-----|
| Forêt | 3,12 | 0,28 | 15,3 | 2,06 | 0,10 | 17,21 | 0,12 | 6,6 |
| Cerradão | 2,17 | 0,17 | 2,15 | 1,41 | 0,03 | 3,61 | 0,12 | 5,7 |

Tableau 1-1 : Composition chimique d'un latosol rouge foncé sous la forêt semidécidue et sous le cerradão situés côté à côté près de Felixlândia, MG, d'après RIZZINI, 1979

D6-6 Végétation

La couverture arborée est de 30% ou plus. La végétation a un aspect fermé, car les voûtes des arbres se cotoient; malgré tout la lumière du soleil pénètre jusqu'au sol.

3 strates sont distinguées: la strate supérieure avec des arbres de 10 à 15 mètres, la strate intermédiaire avec des arbres et des arbustes de 1 à 3 mètres et la strate herbacée, très réduite, est composée de quelques Graminées, de Cypéracées, Broméliacées, Rubiacées. Les épiphytes sont rares, les lianes sont présentes avec notamment *Vanilla chamissonis*.

50% des espèces du cerradão lui sont propres. Parmi elles, il faut citer *Malanea centralis*, *Emmotum nitens*, *Pterodon polygalaeformis* et *Mimosa laticifera* (RIZZINI, 1979).

D7- CONCLUSION

Nous pouvons remarquer, à la suite de cet exposé, que les botanistes tout en travaillant sur les formations végétales actuelles sont également amenés à se poser de nombreuses questions concernant l'origine et l'évolution de celles-ci.

Leurs principales interrogations portent notamment sur les points suivants:

- la présence d'espèces communes entre différentes formations végétales (en particulier pour la forêt galerie et le cerradão).

- la répartition actuelle des forêts qui, pour une grande partie, ne correspond pas aux conditions climatiques et édaphiques caractérisant les régions actuellement (comme c'est le cas de certaines zones à cerrado).

- l'observation de la régénération des espèces (la forêt d'araucaria pose encore bien des problèmes à ce niveau).

Des solutions peuvent être fournies par l'apport de données géomorphologiques, palynologiques ou paléobotaniques. Mais celles-ci sont

encore trop peu nombreuses en ce qui concerne cette région. Nous espérons, dans le cadre de ce travail, pouvoir apporter de nouveaux éléments afin de poursuivre ce débat de l'évolution des végétations du Brésil central.

CHAPITRE II

PHYTOSOCIOLOGIE:
DONNÉES POUR CHAQUE SITE.

A- Recherche d'une méthode d'échantillonnage

A1- DEMARCHES

Le choix d'une méthode d'étude de la pluie pollinique actuelle au Brésil est soumis aux contraintes de l'environnement des sites, taille, topographie, facilité d'accès, chercheurs et données disponibles.

Tout d'abord les dimensions du Brésil, la diversité de ses végétations imposent le choix d'une zone d'étude et des groupements écologiques qui feront l'objet d'une analyse de la pluie pollinique actuelle.

Une fois cette zone délimitée, une recherche bibliographique doit nous aider à prendre connaissance des études auxquelles cette zone a donné lieu, tant au point de vue de la botanique, que de la géologie, pédologie, climatologie...

Le but de ce travail étant la reconstitution de l'évolution des couverts végétaux au cours du Quaternaire, notre zone d'étude s'est limitée aux régions où les géologues de l'ORSTOM effectuent des carottages et des prélèvements, c'est à dire dans le Brésil central principalement (FOURNIER et al, 1987) (Fig.2-1).

Ces sites d'échantillonnage sont situés en majorité au niveau de la latitude 20°S, de la frontière bolivienne à l'océan Atlantique. Les végétations rencontrées à ce niveau, comme nous l'avons expliqué dans les paragraphes précédents, sont la forêt d'araucaria, la forêt mésophile semidécidue, le

cerrado, la forêt galerie, le cerradão et la forêt pluviale atlantique (Fig.1-11). Ces végétations, mise à part la forêt pluviale atlantique, se distribuent selon un gradient latitudinal avec la forêt d'araucaria au sud et le cerrado au nord. Cerradão et forêt galerie se développant dans les mêmes conditions climatiques que cerrado et forêt mésophile semidécidue.

La forêt pluviale atlantique est exclusivement côtière et limitée aux versants Est des chaînes de montagne, face à l'océan Atlantique (Fig.2-1). La barrière montagneuse l'empêche de s'étendre plus à l'ouest et de ce fait cette forêt ne se retrouve nulle part ailleurs sur le continent. Il ne semble pas possible qu'elle ait pu se propager plus à l'ouest au cours des changements climatiques du Quaternaire du fait de l'altitude relativement élevée des montagnes de cette région, entre 1500 et 2000 mètres, sauf peut être par des zones de coupure très localisées comme il en existe par exemple au niveau de Rio de Janeiro.

Chaque formation végétale se subdivise en de nombreuses sous-formations selon la densité des arbres ou des herbacées, ou bien selon l'apparition ou la disparition d'une espèce d'une zone à une autre.

Ces divisions se définissent par des changements très localisés des conditions édaphiques, et pour cette première approche, seules les cinq grandes zones botaniques: forêt d'araucaria, forêt mésophile semidécidue, cerrado, cerradão et forêt galerie seront étudiées de façon globale.

Une synthèse des différents travaux phytosociologiques déjà réalisés et l'étude des cartes de cette région nous ont permis de définir ces zones végétales d'une manière plus générale, notamment dans le cas de la forêt mésophile semidécidue, tour à tour appelée forêt sèche, forêt pluviale intérieure, forêt atlantique de l'intérieur selon les auteurs.

Les études phytosociologiques et botaniques de cette région sont encore trop rares pour que l'on puisse se baser sur la définition donnée par un seul chercheur afin de savoir dans quelle zone nous nous situons. Ceci ne sera pas possible avant que des définitions plus précises de chaque zone écologique du Brésil ne soient proposées par les botanistes et les phytogéographes.

Ce premier point a donc exclus l'emploi d'une méthode qualitative de relevé, pour laquelle les échantillons sont prélevés sous un couvert végétal rigoureusement défini comme c'est le cas en Afrique. Il nous fallait, au préalable, définir quantitativement le type de végétation sous lequel nous nous trouvions.

Une autre raison qui nous a fait préférer la méthode quantitative est son application à long terme; en effet sous un couvert végétal quantitativement défini, les recherches ne pourront pas être freinées par un manque d'analogue actuel, de plus une relation entre le climat et la biomasse ou bien avec d'autres paramètres quantifiables à partir des données botaniques pourra être également envisagée dans l'avenir.

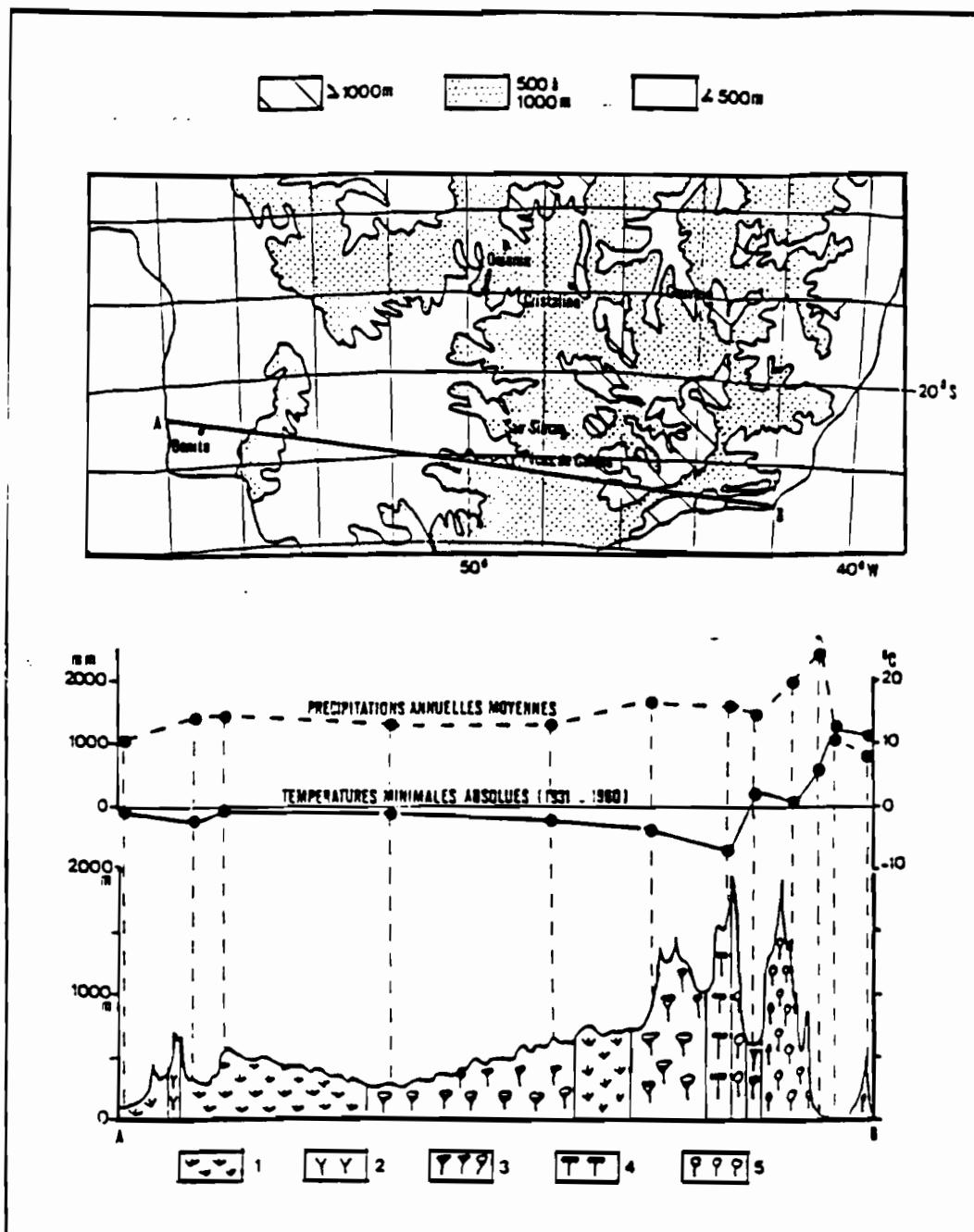


Figure 2-1: Localisation des sites géologiques étudiés par l'ORSTOM en 1987 dans le centre du Brésil et distribution de la végétation, des précipitations annuelles et de la température minimale absolue le long d'une section Est-Ouest. 1-savane arborée dense (cerrado, cerradão), 2- forêt décidue, 3-forêt semidécidue, 4- forêt d'araucaria, 5- forêt pluviale atlantique, in FOURNIER et al, 1987.

A2- ETUDES PHYTOSOCIOLOGIQUES

Les données quantitatives des couverts arborés que nous souhaitions étudier nous ont été fournies par les botanistes brésiliens. Grâce à leur aimable collaboration nous avons pu prélever sur les sites qu'ils avaient étudiés moins de cinq ans auparavant ou qui étaient en cours d'étude, et de cette façon utiliser leurs données.

Deux méthodes d'étude phytosociologique d'un couvert arboré sont développées au Brésil: la méthode des parcelles et la méthode des "quadrantes".

La méthode des quadrantes consiste à tracer un transect à travers la zone à étudier; celui-ci est délimité à l'aide de bâtons-témoin équidistants. Les quatre arbres les plus proches de ce témoin sont reconnus, leur diamètre est mesuré et leur hauteur estimée; la distance par rapport au témoin est également prise en compte.

Dans le cas de la méthode des parcelles, les relevés de végétation sont effectués à l'intérieur d'une surface délimitée, 10 mètres sur 10 mètres en général. Tous les arbres de cette surface sont déterminés, diamètre et hauteur sont mesurés. Leur emplacement est reporté sur un plan quadrillé.

En fonction du choix des botanistes les arbres déterminés ont un diamètre minimum variant entre 3 et 10 cm; certains auteurs ne prennent en compte que les individus dont la hauteur est supérieure à 1,30 mètre; ici encore le mode de relevé est totalement subjectif.

Des études établissant une comparaison entre ces deux façons de procéder montrent que l'une et l'autre se valent (COTTAM et CURTIS, 1956).

Les mesures effectuées pour chaque arbre servent à calculer la dominance, la fréquence, l'abondance de chaque espèce ainsi que l'"importance value" ou I.V.I. qui est la somme des trois premières. Ceci sert à caractériser une espèce au sein de son couvert végétal (GIBBS et al, 1980).

A3- PRELEVEMENTS PALYNOLOGIQUES

Les prélèvements palynologiques sont réalisés sous le couvert arboré quantifié, sur une surface de 100m² environ.

Une dizaine de prises, au niveau du sol, sous la couche de feuilles mortes, récoltées au hasard de la surface sont réunies en un échantillon.

Plusieurs échantillons sont récoltés par type de végétation. Ainsi chaque échantillon palynologique pourra être relié au relevé botanique lui correspondant (Fig.2-2).

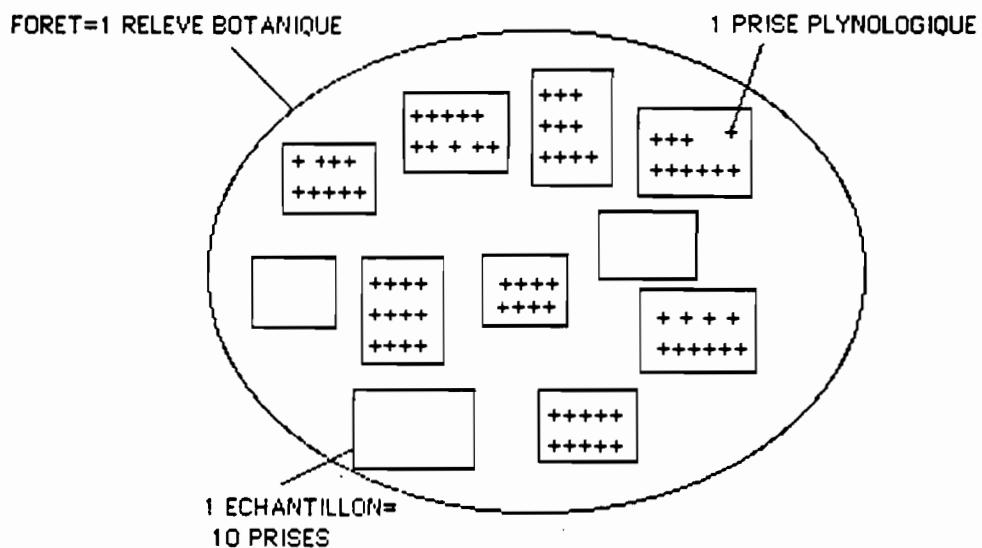


Figure 2-2: Mode de prélèvement des échantillons palynologiques destinés à l'étude de la relation "pollen-végétation" actuelle.

B- Phytosociologie

Les études phytosociologiques ont été réalisées par les botanistes du Brésil. Leurs données utilisées dans le cadre de ce travail sont rappelées brièvement, avec au début de chaque paragraphe la référence de l'article ou de la communication ainsi que le nom de chaque auteur.

Les informations sont résumées dans le tableau 2-1.

| | ALTITUDE m | LATITUDE | DENSITE arbres/ha | AIRE BASALE m2/ha | SOL | CLIMAT | PHYTOSO- CIOLOGIE |
|-----------------------|---------------|----------|----------------------|----------------------|---|--|---|
| Brasília Cerradão | 1030 | 15°35'S | 2231 | 20,9214 | Latérosol rouge jaune à rouge foncé sables quartzueux | PPT: 1626mm PET: 1340mm saison sèche 5 m | Parcelles diamètre: 3cm hauteur: 2m |
| Brasília Cerrado | 1125 | 15°35'S | 911 | 9,65 | Idem | Idem | Idem |
| Brasília Cerr.ralo | 1175 | 15°35'S | 203 | 1,6686 | Latérosol rouge jaune | Idem | Idem |
| Bauru Cerradão | 350 | 22°19'S | 8198 | 40,8793 | Latérosol rouge jaune | PPT: 1283mm PET: 1036mm saison sèche 3m | Parcelles |
| Cuiabá Cerradão | 350 | 15°21'S | 1546,5 | 16,1116 | Litosol dérivé des roches t.Cuiabá sables quartzueux | PPT: 1421mm T°C: 25,6 saison sèche 4m | "Quadrantes" |
| Cuiabá Cerrado | 350 | 15°21'S | 1888 | 21,044 | Idem | Idem | Parcelles |
| Colombo For.Arauc | 920 | 25°20'S | 1067 | 30,4 | ? | PPT: 1600-2000 mm pas de saison sec. | Parcelles diamètre: 5cm "quadrantes" |
| Bauru For.mes. | 570 | 22°19'S | 642,8 | 32,376 | Latérosol rouge foncé | PPT: 1283mm saison sèche 4m | "quadrantes" diamètre: 10cm hauteur: 1,3m |
| Rio Claro For.mes. | 630 | 22°22'S | 3859,2 | 25,0855 | Latérosol rouge jaune à rouge foncé | PPT: 1360mm saison sèche 3m | quadrantes hauteur: 1,3m |
| Assis For.galer. | 540 | 22°42'S | 1075 | 26,1212 | Podzolique rouge jaune | PPT: 1500mm saison sèche 2m | Parcelles diamètre: 5cm |
| Brotas For.galer. | 700 | 22°17'S | 2988 | 27,3711 | ? | ? | Parcelles diamètre: 5cm |

Tableau 2-1 : Résumé des informations géographiques, climatiques, phytosociologiques et pédologiques récoltées pour chaque site.

B1- COLOMBO



L'étude phytosociologique est réalisée par Y.M.MALHEIROS DE OLIVEIRA et E.ROTTA (1982) et F.C.DA SILVA et L.PIMENTEL MARCONI (1988).

B1-1 Situation

La forêt est située dans la municipalité de Colômbia à une dizaine de kilomètres de Curitiba, capitale de l'état du Paraná.

Ses coordonnées géographiques sont de 49°14'W en longitude, 25°20'S en latitude, l'altitude est de 920 mètres.

B1-2 La forêt d'araucaria

Elle appartient au Centre National de Recherches Forestières-CNPF-de l'EMBRAPA et a une superficie de 12 hectares.

Elle est située dans une région qui a subi de nombreux déboisements mais la surface étudiée est restée à l'état de forêt primaire, typique du premier plateau du Paraná.

B1-3 Climat

Les données climatiques proviennent de la station météorologique de Curitiba. Il s'agit de 27 ans de relevés des températures et de 40 ans de relevés des précipitations.

Le climat est caractérisé par une absence de saison sèche, des pluies abondantes, réparties sur toute l'année avec une moyenne de 1397 mm et des moyennes de températures inférieures à 10°C en hiver ainsi que plusieurs jours de gelée sous l'effet des masses d'air polaire.

Le diagramme de Walter (Fig.1-7) résume ces informations.

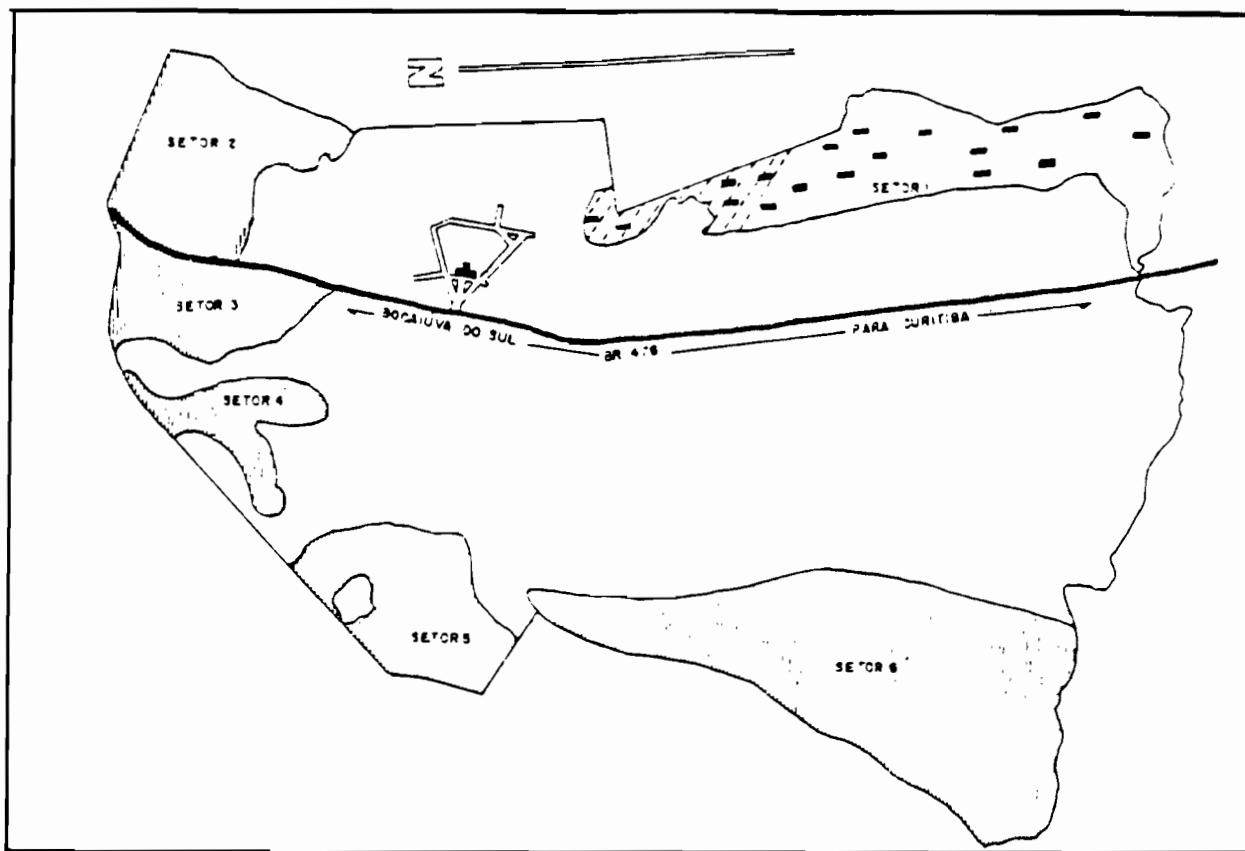
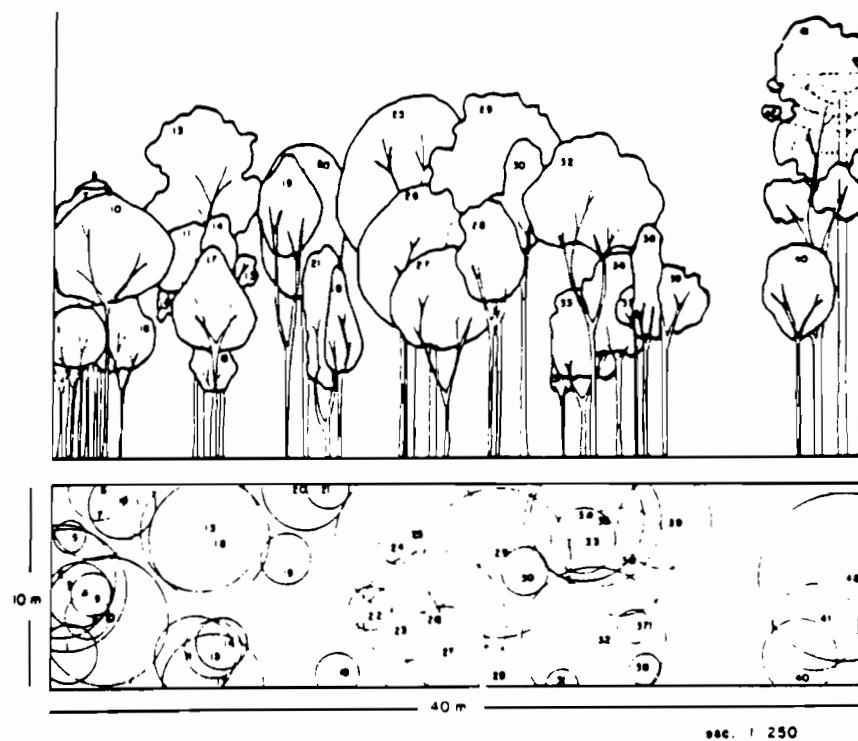


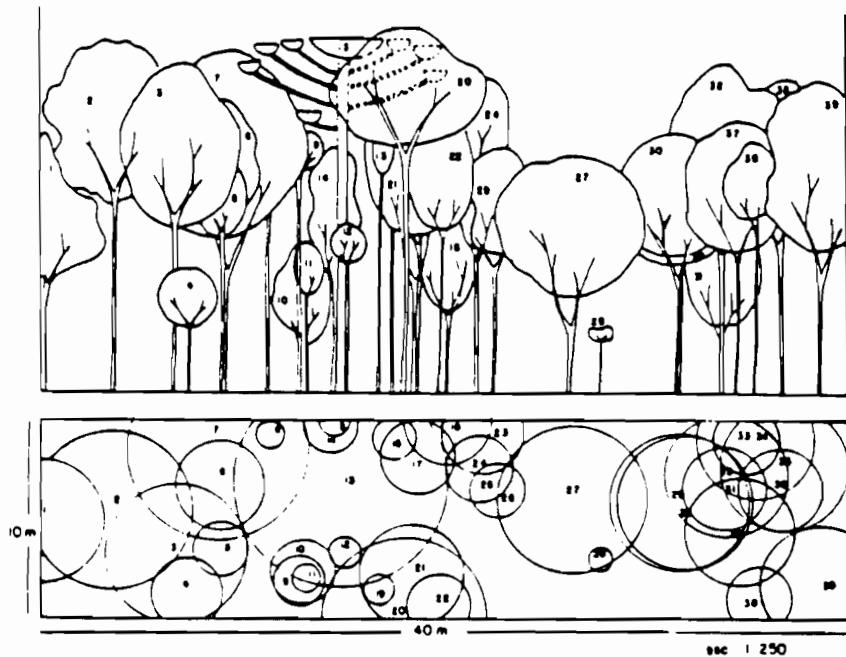
Figure 2-3: Localisation de l'aire d'échantillonnage (setor 6) de Colômbo (PA), d'après MALHEIROS et ROTTA (1982).



LEGENDE DU PROFIL DE LA PARCELLE 2:

- 1, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 38, 41: Clethra scabra Clethraceae
- 2, 14, 15, 29: Lamanonia speciosa Cunoniaceae
- 7, 17, 18, 19, 22, 32: Prunus brasiliensis Rosaceae
- 9, 20, 25, 26: Capsicodendron dinisii Canelaceae
- 11: Drymis brasiliensis Winteraceae
- 12, 13: Luehea divaricata Tiliaceae
- 16: indéterminé
- 21: Schinus terebinthifolius Anacardiaceae
- 23: Allophylus edulis Sapindaceae
- 24: Jacaranda sp. Bignoniaceae
- 27, 37: Myrcia hatschbachii Myrtaceae
- 28, 30, 36: Ilex dumosa Aquifoliaceae
- 31, 35: Podocarpus lambertii Podocarpaceae
- 33, 40: Myrtaceae
- 34: Ilex sp.
- 39: Sloanea lasiocoma Elaeocarpaceae
- 42: Araucaria angustifolia Araucariaceae

Figure 2-4: Profils horizontal et vertical de la parcelle 2
d'après MALHEIROS DE OLIVEIRA et ROTTA (1982)



LEGENDE DU PROFIL DE LA PARCELLE 8:

- 1, 6, 9, 16, 32, 33, 36: *Podocarpus lambertii* Podocarpaceae
- 2, 4, 10, 11, 28, 31, 38: Myrtaceae
- 3, 20, 21, 30: indéterminé
- 5, 14, 15, 17, 22: *Capsicodendron dinisii* Canelaceae
- 7, 29: *Sebastiana* sp. Euphorbiaceae
- 8, 24, 35, 39: *Clethra scabra* Clethraceae
- 12: *Ilex* sp. Aquifoliaceae
- 13: *Araucaria angustifolia* Araucariaceae
- 18: *Myrcia hatschbachii* Myrtaceae
- 23: *Drymis brasiliensis* Winteraceae
- 25: *Ilex theezans* Aquifoliaceae
- 26: *Ilex dumosa* Aquifoliaceae
- 27, 34, 37: *Lithraea brasiliensis* Anacardiaceae

Figure 2-5: Profils horizontal et vertical de la parcelle 8, d'après MALHEIROS DE OLIVEIRA et ROTTA (1982).

B1-4 Sols

Les sols n'ont pas encore été étudiés.

B1-5 Etude phytosociologique

La méthode de relevé choisie est la méthode des quadrantes, avec des individus ayant un diamètre minimum de 20 cm à hauteur du buste.

40 points d'échantillonnage sont marqués le long d'un transect traversant la forêt de la zone 6 (Fig.2-1).

Les profils présentés sur les figures 2-2 et 2-3 ont été réalisés dans le secteur 1. Celui ci n'étant pas très éloigné du secteur 6, sa composition floristique ne doit donc pas être très différente; son profil peut être utilisé afin d'avoir un meilleur aperçu de la répartition des arbres sur notre secteur.

Pour chaque espèce les valeurs de la densité, la fréquence, la dominance ainsi que l'"Importance value" (I.V.I.) sont déterminées.

Les espèces montrant l'"I.V.I." la plus importante sont par ordre décroissant: *Ilex paraguariensis* St.Hilaire, *Jacaranda puberula* Cham., *Campomanesia xanthocarpa* Berg., *Araucaria angustifolia* (Bert.)O.Ktze.

Si l'on considère la stratification et les classes de diamètre des espèces, les familles les mieux représentées sont: Aquifoliacées, Myrtacées, Lauracées, Bignoniacées, Flacourtiacées et Araucariacées.

B2- BAURU



L'étude phytosociologique de la forêt semidécidue a été réalisée par O.CAVASSAN, O.CESAR et F.R.MARTINS(1984), celle du cerradão par O.CAVASSAN et F.R.MARTINS (1988).

B2-1- Situation

Le site de Bauru se trouve au centre de l'état de São Paulo, à 300 km environ de la capitale São Paulo. Ses coordonnées géographiques sont 22°19'S en latitude, 49°04'W en longitude, l'altitude est de 570 mètres.

B2-2 Végétation

B2-2a La forêt mésophile semidécidue

La forêt avec une surface totale de 287,28 hectares dont 200 hectares sont formés de végétation native, fait partie de la réserve fédérale de Bauru appartenant au Secrétariat à l'Agriculture de São Paulo.

Cette réserve a été créée en 1961 sur les terres de la Fazenda São Luis et est maintenue intacte depuis plus de 20 ans. Des indices d'incendie et de coupes de bois en des points isolés sont probablement antérieurs à la création de la réserve.

B2-2b Le cerradão

Il s'agit d'une propriété privée située à proximité de la forêt mésophile semidécidue, au Sud-Est de la municipalité de Bauru, occupant une surface de 792,6 hectares.

B2-3- Climat

Le climat est défini selon la classification de Köppen comme CWag, c'est à dire tempéré, modérément pluvieux, à hiver sec non rigoureux. Le diagramme de Walter (Fig.1-7) est tracé à partir de 29 ans de données recueillies à la station météorologique de Bauru, située à 609 mètres d'altitude et à 15 km du site.

Bauru se place dans la zone II de notre classification avec une saison sèche de 1 à 2 mois, une moyenne annuelle des précipitations de 1500 mm et des températures hivernales comprises entre 10°C et 15°C (Fig.1-10).

B2-4 Sols

B2-4a La forêt mésophile semidécidue

Les analyses granulométriques (Tableau 2-2) et chimiques (Tableau 2-3) du sol ont été réalisées par la section de pédologie de l'Institut Agronomique de Campinas (São Paulo).

Six échantillons récoltés entre 0 et 40 cm de profondeur ont été analysés.

Le sol est défini comme latérosol rouge-foncé, de phase sableuse, originaire de l'arénite de Bauru, avec apparition probable de sols podzoliques de Lins et Marilia.

L'argile est à basse activité d'échange d'ions.

Le sol est très fertile mais cette fertilité n'est dûe qu'à la présence de la forêt qui lui apporte une grande quantité de matière organique.

| Echantillon | Argile % | Silt % | Sable fin % | Sable grossier % |
|-------------|----------|--------|-------------|------------------|
| 1 | 12 | 5 | 57 | 26 |
| 2 | 12 | 4 | 54 | 30 |
| 3 | 11 | 4 | 65 | 20 |
| 4 | 16 | 4 | 61 | 19 |
| 5 | 12 | 5 | 60 | 23 |
| 6 | 11 | 0 | 58 | 31 |

Tableau 2-2 : Résultats des analyses granulométriques du sol de la forêt de la Réserve Fédérale de Bauru, d'après CAVASSAN et al (1984).

| Echantillon | pH H ₂ O | C % | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | K ⁺ | S | H ⁺ | Al ³⁺ | T |
|-------------|------------------------|--------|------------------|------------------|----------------|-------|----------------|------------------|-------|
| | | | meq/100 g | | | | | | |
| 1 | 6,8 | 2,74 | 13,23 | 1,48 | 0,21 | 14,92 | 1,20 | 0 | 16,12 |
| 2 | 6,8 | 1,89 | 6,75 | 1,27 | 0,23 | 8,25 | 1,20 | 0 | 9,45 |
| 3 | 6,5 | 1,36 | 5,08 | 0,98 | 0,16 | 6,22 | 1,40 | 0 | 7,62 |
| 4 | 7,1 | 3,23 | 16,18 | 2,12 | 0,45 | 18,76 | 1,00 | 0 | 19,75 |
| 5 | 7,3 | 2,29 | 10,18 | 1,35 | 0,23 | 11,76 | 0,90 | 0 | 12,66 |
| 6 | 6,6 | 1,27 | 4,28 | 0,76 | 0,19 | 5,23 | 1,10 | 0 | 6,33 |

Tableau 2-3: Résultats des analyses chimiques du sol de la forêt de la Réserve Fédérale de Bauru . Chaque échantillon est composé de 5 sous-échantillons, d'après CAVASSAN et al (1984).

B2-4b Le cerradão

Les sols du cerradão n'ont pas été analysés chimiquement. Ceci est regrettable car sous un même climat, seules les conditions édaphiques peuvent séparer les deux types de végétation de ce site. Nous pouvons supposer, au regard des autres études, que le sol du cerradão est plus pauvre en nutriments, moins fertile et sans doute plus sableux que celui de la forêt mésophile semidécidue.

B2-5 Etude phytosociologique

B2-5a La forêt mésophile semidécidue

Trois strates sont distinguées avec en plus des individus émergents au dessus de 16 mètres.

La strate supérieure comprend des arbres dont la hauteur varie entre 11 et 16 mètres, la strate intermédiaire avec des arbres de 6 à 11 mètres et la strate inférieure limitée à 6 mètres de hauteur.

Les relevés de végétation ont été effectués selon la méthode des "quadrantes" pour la forêt avec 129 points distribués entre 10 transects parallèles de direction Nord-Sud. Les témoins sont séparés de 20 mètres les uns des autres. Les individus analysés ont un diamètre minimum de 10 cm à hauteur du buste.

516 individus, 60 espèces, 57 genres et 32 familles ont été déterminés. Sur ces 32 familles, 13 représentent 68,1% du total des espèces: les Mimosacées avec 5 espèces, les Fabacées avec 4 espèces, les Caesalpiniacées, Boraginacées, Lauracées, Méliacées, Myrtacées et Rutacées avec 3 espèces, les Annonacées, Apocynacées, Flacourtiacées, Moracées, Rubiacées, Tiliacées et Verbenacées avec 2 espèces.

La densité est de 642,81 arbres par hectare et l'aire basale totale de 24,96 m²

Les espèces dominantes sont pour la strate supérieure: *Chorisia speciosa*, *Aspidosperma polyneuron*, *Pithecelobium edwallii* et *Balfourodendron riedelianum*

pour la strate intermédiaire: *Metrodorea nigra*, *Croton floribundus*, *Ocotea catharinensis*, *Piptadenia gonocantha*, *Bauhinia fusconervis*, *Jaracatia spinosa*, *Patagonula americana*

et pour la strate inférieure: *Urera baccifera*, *Aloysia virgata*.

B2-5b Le cerradão

Aucune strate n'est distinguée, la hauteur des arbres est comprise entre 5 et 10 mètres et la strate herbacée est quasi absente.

La méthode de relevé phytosociologique utilisée est celle des parcelles avec une parcelle de 1 hectare située au coeur de la végétation.

Les individus échantillonnes ont un diamètre supérieur ou égal à 3 cm.

8135 individus, 94 espèces, 69 genres et 42 familles sont déterminés.

Les Légumineuses sont les plus importantes avec 18,09% du total des espèces réparties entre les Fabacées 7,45%, les Caesalpiniacées 5,32% et les Mimosacées 5,32%, suivies des Myrtacées 8,51%, des Rubiacées

6,38%, des Vochysiacees 5,32% et des Annonacees, Asteracees (Composes) et Malpighiacées 4,26% chacune.

Les especes les plus abondantes sont *Siparuna guianensis* Aubl. 14,85%, suivie de *Coussarea hydrangeaefolia* Benth. & Hooker 14,03%, *Xylopia aromatic* (Lam.) Mart. 11,01%, *Copaifera langsdorffii* Desf. 7,77%, *Myrcia lingua* Berg. 7,62% et *Vochysia tucanorum* (Spreng.) Mart. 3,68%.

B3- RIO CLARO



L'étude phytosociologique a été réalisée par S.N.PAGANO et H.F.LEITÃO FILHO (1987) et S.N.PAGANO, H.F.LEITÃO FILHO et G.J.SHEPHERD (1987).

B3-1 Situation

La ville de Rio Claro est située dans l'état de São Paulo, à 150 km environ de la capitale São Paulo.

La forêt étudiée est localisée entre Rio Claro et Araras, au lieu dit "Fazenda São Jose". Ses coordonnées géographiques sont de 47°28'W et 22°22'S, l'altitude est de 630 mètres.

La forêt primitive, beaucoup plus étendue autrefois, est réduite à 230 hectares séparés en trois bras isolés au sein d'un paysage de prairies et de cultures (canne à sucre principalement).

B3-2 La forêt

Cette forêt est définie comme mésophile semidécidue, avec une végétation arborée dense à individus émergents et une strate herbacée. Elle n'a pas subi de dégradations.

B3-3 Climat

Les données des précipitations et températures proviennent de 9 ans de relevé à la station météorologique de l'Horto Florestal "Navarro de Andrade", située à 6 km du site.

La région de Rio Claro subit également l'influence des masses d'air tropical et polaire.

Le climat est caractérisé par une saison sèche de 1 mois environ, entre Juillet et Août et un maximum des précipitations concentré d'Octobre à Février (Fig.1-7). Le climat correspond donc à celui de la zone II de la figure 1-10.

B3-4 Sols

Les sols ont été analysés par la Commission des Sols en 1960 et sont définis comme latosol rouge-jaune en surface et latosol rouge-foncé avec un bon niveau de fertilité.

PAGANO (1985) les a également analysé chimiquement (Tableau 2-4).

Le rapport C/N de 12 montre une forte activité biologique des sols. Les sols vierges sont définis à partir d'un rapport C/N supérieur ou égal à 10,4.

| Profon- deur cm | échantillon | pH H ₂ O | C.O % | M.O % | NT % | C/N | Cations (meq/100g) | | | | | P2O5 p.p.m |
|-----------------------|-------------|------------------------|----------|----------|---------|------|--------------------|------------------|----------------|------------------|----------------|---------------|
| | | | | | | | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | K ⁺ | Al ³⁺ | H ⁺ | |
| 0-20 | 1 | 5,1 | 2,25 | 3,9 | 0,19 | 12,0 | 2,64 | 0,96 | 0,28 | 0,56 | 7,44 | 0,03 |
| | 2 | 6,1 | 2,16 | 3,7 | 0,19 | 11,0 | 9,76 | 1,28 | 0,29 | 0,17 | 3,52 | 0,03 |
| | 3 | 5,1 | 2,67 | 4,6 | 0,23 | 12,0 | 4,48 | 1,36 | 0,32 | 0,40 | 7,20 | 0,03 |
| 0-50 | 1 | 5,0 | 1,44 | 2,5 | 0,12 | 12,0 | 1,60 | 0,80 | 0,15 | 0,64 | 6,56 | 0,02 |
| | 2 | 5,9 | 1,41 | 2,4 | 0,12 | 12,0 | 6,08 | 1,44 | 0,11 | 0,08 | 3,76 | 0,03 |
| | 3 | 5,7 | 1,71 | 2,9 | 0,15 | 11,0 | 4,96 | 2,30 | 0,39 | 0,09 | 4,56 | 0,03 |

Tableau 2-4: Caractéristiques chimiques du sol de la forêt de la Fazenda São José (Rio Claro) d'après PAGANO (1985).

B3_5 Etude phytosociologique

Les relevés de végétation ont été effectués selon la méthode des "quadrantes" en suivant 6 transects orientés Nord-Sud, parallèles et

équidistants les uns des autres de 380 mètres sur une largeur totale de 6020 mètres.

Le long de ces transects 301 points d'échantillonnage marqués à l'aide d'une baguette témoin sont déterminés arbitrairement. Une distance de 20 mètres sépare chaque point. Les distances du témoin aux arbres répertoriés sont également mesurées. Quatre individus sont marqués à chaque point: la hauteur de l'arbre doit être supérieure à 1,30 mètre, le diamètre n'est pas limité et est mesuré à hauteur du buste.

1204 individus sont ainsi marqués; la distance moyenne entre eux étant de 1,61 mètre.

La densité totale des arbres est de 3859 arbres par hectare, l'aire basale totale de 25,0855 m².

Deux strates y sont distinguées:

-la strate inférieure limitée à 7 mètres avec en majorité des individus dont la hauteur est comprise entre 5 et 7 mètres.

-la strate supérieure de 7 à 15 mètres où les espèces ont en moyenne une hauteur comprise entre 8 et 12 mètres.

201 espèces ligneuses, 131 genres, 53 familles y sont répertoriés.

L'indice de diversité est de 4,29 ce qui est supérieur aux autres études floristiques de la région.

Les familles botaniques de la strate supérieure sont principalement les Légumineuses, les Euphorbiacées, les Lauracées, les Anacardiacées, Les Arecacées puis en moindre importance mais également bien représentées les Méliacées, Rutacées et Apocynacées.

Pour la strate inférieure, les Rutacées, Méliacées, Euphorbiacées et Rubiacées dominent ainsi que Myrtacées, Fabacées, Mimosacées et Lauracées.

Les deux strates ont également un comportement floristique différent. La strate inférieure présente un meilleur équilibre entre la biomasse et le nombre d'individus mais une diversité plus faible que la strate supérieure.

Les espèces n'ont pas la même importance selon que l'on considère leur abondance, *Metrodorea nigra*, *Galipea jasminiflora* sont dominantes, ou leur biomasse, ce sont *Chorisia speciosa*, *Hymenea courbaril* qui dominent alors.

Quelques espèces rares pour l'état de São Paulo sont à signaler.

Il s'agit de *Ocotea campininha* Teixeira, *Luetzelburgia guaiçara* Tol., *Zoolernia securidacifolia* Benth., *Zanthoxylum chiloperone* (Mart.) Engl., *Styrax acuminatum* Pohl. Les botanistes expliquent cette richesse par la diversité des microclimats ambients, tels que clairières, berges de petits cours d'eau et différents états de succession à l'intérieur de la forêt, et des variations de la fertilité des sols le long de la surface d'échantillonnage.

B-4 BROTAS



L'étude phytosociologique a été réalisée par S.M.SALIS et C.A.JOLY (1988).

B4-1 Situation

Brotas est situé dans l'état de São Paulo à 200 km à l'ouest de la capitale São Paulo. Ses coordonnées géographiques sont approximativement 48°05'W en longitude et de 22°10'S en latitude.

La forêt est située sur les berges du Rio Jacaré-Pepira près de Brotas.

B4-2 La forêt galerie

L'étude floristique de la forêt galerie de Brotas fait partie d'un vaste projet de régénération et de récupération des forêts galerie dégradées. L'étude détaillée de cette forêt préservée doit permettre de reconstituer celles qui ont été détruites. Ce projet est dirigé par C.A.JOLY, botaniste de l'Université de Campinas (São Paulo).

B4-3 Climat

Les données climatiques sont les mêmes que celles de Rio Claro, station météorologique la plus proche de Brotas, éloignée de 50 km du site environ.

B4-4 Sols

Les données pédologiques ne sont pas encore disponibles.

b4-5 Etude phytosociologique

La méthode de relevé utilisée est celle des parcelles.

18 parcelles de 10 mètres x 10 mètres distribuées en 2 axes parallèles situés respectivement à 5 mètres et à 20 mètres du lit de la rivière.

Les individus échantillonnés ont un diamètre à hauteur du buste supérieur ou égal à 3 cm.

514 individus, 106 espèces ont été échantillonnés.

Trois strates arborées sont mises en évidence:

- la strate supérieure dont les arbres atteignent une hauteur de 20 à 26 mètres.

- la strate intermédiaire de 10 à 15 mètres.

- la strate inférieure dont les individus ne dépassent pas 6 mètres.

Les familles dominantes sont les Euphorbiacées, les Légumineuses, les Myrtacées, les Rutacées et les Rubiacées.

Les espèces les plus importantes en terme d' "I.V.I" sont par ordre décroissant *Actinostemon communis*, *Centrolobium tomentosum*, *Metrodorea nigra*, *Diatenopteryx sorbifolia* et *Machaerium stipitatum*.

Pour la strate supérieure ce sont *Centrolobium tomentosum*, *Copaifera langsdorffii* et *Machaerium stipitatum* qui dominent; au niveau de la strate intermédiaire ce sont *Metrodorea nigra*, *Duguetia lanceolata* et *Matayba elaeagnoides* qui représentent les espèces dominantes et *Actinostemon communis*, *Actinostemon concolor*, *Trichilia elegans* pour la strate inférieure.

L'indice de diversité est de 3,2 et est similaire aux valeurs trouvées pour d'autres forêts galerie. Les indices de similitude donnent 49% avec la forêt galerie de Mogi-Guaçu (GIBBS et LEITÃO FILHO 1978).

B5- ASSIS



L'étude phytosociologique a été réalisé par G.DURIGAN et M.A. DE O.GARRIDO (1988)

B5-1 Situation

Assis est situé au Sud-Ouest de l'état de São Paulo près de la frontière avec le Paraná, à 400 km de la capitale São Paulo.

Ses coordonnées géographiques sont 22°42'S en latitude et 50°30'W en longitude, l'altitude est de 540 mètres.

La forêt est située dans le bassin du Paranapanema, au niveau de la source d'une petite rivière, le córrego da Aldeia, dans la municipalité d'Assis sur l'axe routier Assis-Tarumâ. Il s'agit d'une propriété privée, attenante à la Fazenda Berrante.

B5-2 La forêt galerie

La forêt couvre une superficie de deux hectares. La végétation avoisinant la forêt galerie est une forêt mésophile semidécidue aujourd'hui partiellement détruite.

B5-3 Climat

Le climat est défini selon la classification de Köppen comme étant de type Cwa c'est à dire à hivers secs et gelées éparses.

La moyenne annuelle des précipitations est de 1500 mm environ.

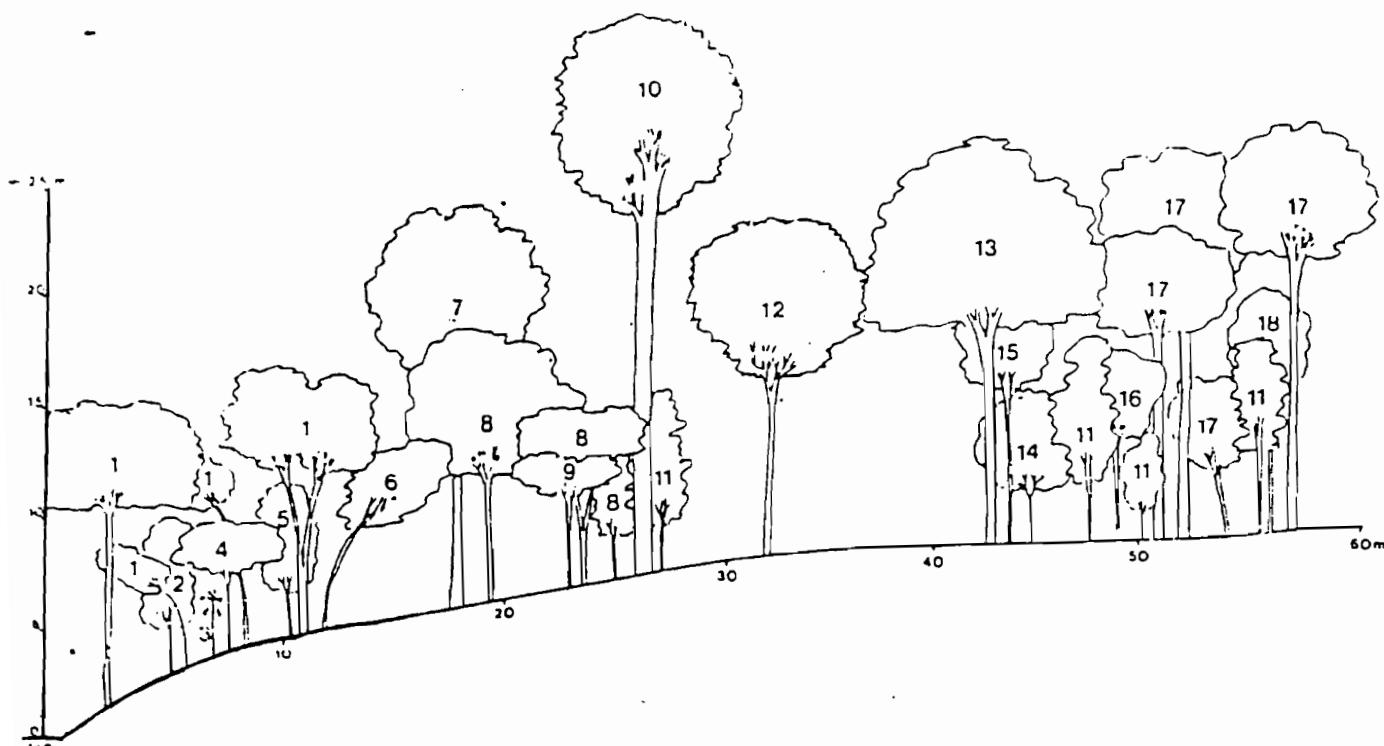
La situation de Assis associé au type de végétation dominant, la forêt mésophile semidécidue, permettent de placer la forêt dans la zone II (Fig.1-10), avec 1 à 2 mois de saison sèche, une moyenne des températures hivernales comprise entre 10°C et 15°C et quelques jours de gelées en hiver.

B5-4 Sols

Les sols sont de type podzolique rouge-sombre, humides mais bien drainés et à haute fertilité. La profondeur est de 1 mètre environ. Le terrain est incliné vers le cours d'eau.

B5-5 Étude phytosociologique

Les relevés de végétation ont été réalisés selon la méthode des parcelles. Douze parcelles contigües de 10 mètres x 10 mètres, disposées le long de trois axes parallèles au lit de la rivière sont étudiées.



Légende:

- | | |
|--|--|
| 1- <u>Prunus sellowii</u> Rosaceae | 10- <u>Aspidosperma polyneuron</u> Apocynaceae |
| 2- <u>Sorocca ilicifolia</u> Moraceae | 11- <u>Trichilia claussanii</u> Meliaceae |
| 3- <u>Euterpe edulis</u> Palmae | 12- <u>Campomanesia rhombea</u> Myrtaceae |
| 4- <u>Inga uruguensis</u> Mimosaceae | 13- <u>Chlorophora tinctoria</u> Moraceae |
| 5- <u>Nectandra saligna</u> Lauraceae | 14- <u>Esenbeckia grandiflora</u> Myrtaceae |
| 6- <u>Endlicheria paniculata</u> Lauraceae | 15- <u>Savia dictiocarpa</u> Euphorbiaceae |
| 7- <u>Cupania vernalis</u> Sapindaceae | 16- <u>Eugenia blastantha</u> Myrtaceae |
| 8- <u>Guarea macrophylla</u> Meliaceae | 17- <u>Gallesia integrifolia</u> Rubiaceae |
| 9- <u>Holocalyx balansae</u> Leguminosae | 18- <u>Machaerium stipitatum</u> Leguminosae |

Figure 2-6: Profil de la forêt galerie de la Fazenda Berrante, Assis, S.P., (5 x 60 m) d'après DURRIGAN et GARRIDO (1988).

Les arbres échantillonnés ont un diamètre minimum à hauteur du buste de 5 cm et la hauteur de chaque individu est également estimée.

La stratification du couvert végétal est analysée le long d'un transect de 60 mètres x 5 mètres, perpendiculaire au lit de la rivière (Fig.26).

Les dix espèces représentant 50% de la somme des "I.V.I." sont par ordre d'importance: *Aspidosperma polyneuron*, *Myroxylon peruferum*, *Metrodorea nigra*, *Nectandra saligna*, *Trichilia claussanii*, *Trichilia pallida*, *Cryptocarpha sp.*, *Cabralea canjerana*, *Gallesia integrifolia* et *Endlicheria paniculata*.

27 familles botaniques sont représentées avec principalement les Légumineuses, les Myrtacées, les Méliacées avec 7 espèces chacune puis les Lauracées avec 4 espèces, les Moracées et les Rutacées avec 3 espèces, les Apocynacées, les Euphorbiacées, les Sapindacées, les Myrsinacées et les Piperacées avec chacune 2 espèces.

Trois strates sont distinguées à l'intérieur de la forêt:

La strate supérieure dont la hauteur des arbres dépasse 15 mètres, la strate intermédiaire avec une hauteur comprise entre 8 et 15 mètres et la strate inférieure dont les arbres ne dépassent pas 8 mètres.

La strate supérieure est composée d'espèces secondaires: *Gallesia integrifolia*, *Chorisia speciosa*, *Astronium graveolens*, *Myroxylon peruferum*, *Cordia sp.* et d'espèces climax comme *Cabralea canjerana*, *Rapanea umbellata*, *Ficus cf. luschniatiana*.

Ces individus reçoivent la lumière solaire directement sur la canopée pendant toute la journée.

La strate intermédiaire, plus sombre, est composée d'espèces plus tolérantes à l'ombre, les Lauracées et les Myrtacées, diverses Méliacées, *Maytenus*, *Prunus*, *Metrodorea* pour en citer quelques unes et les jeunes individus des strates supérieures.

La strate inférieure, totalement assombrie par les précédentes, est formée des individus jeunes des strates précédentes et d'autres espèces exclusives comme *Inga*, *Piper*, *Sororea*, *Savia*, *Sloanea*, *Picramnia* et *Esenbeckia*.

Le degré de couverture de chaque strate est estimé selon la méthode de BRAUN-BLANQUET (1951). La strate supérieure avec 185 arbres par hectare couvre 90% du sol.

La couverture des trois strates est de 214%, impliquant un assombrissement total du sol et ne permettant pas la régénération des espèces intolérantes sur les surfaces de transition avec d'autres végétations plus ouvertes ou au niveau de clairières éventuelles.

Les espèces le plus souvent concentrées le long de la rivière et montrant par conséquent leur préférence pour des sols plus humides sont *Cabralea canjerana*, *Nectandra saligna*, *Prunus selowii*, *Guarea macrophylla*, *Rapanea umbellata*, *Inga marginata* et *Inga uruguensis*.

La densité absolue est de 1075 arbres par hectare. Selon les botanistes, ce chiffre exprime la capacité limite de cette forêt car les plantes des strates inférieures ne peuvent se développer qu'au fur et à mesure que surgissent des clairières créées par la mort d'individus plus âgés.

B6- BRASILIA



Les études phytosociologiques ont été réalisées par J.F.RIBEIRO, J.C.SOUZA SILVA et G.J.BATMANIAN (1985).

B6-1 Situation

Le cerrado est situé près de Planaltina, ville satellite de Brasília dans le District Fédéral, à 20 km environ de la capitale et appartient au centre de recherche agricole des cerrados de la EMBRAPA.

B6-2 Les cerrados

Les trois types de cerrado sont localisés sur le même site, en suivant un faible gradient altitudinal. L'altitude est de 1030 mètres au niveau du cerradão et de 1075 mètres pour le cerrado ralo (Fig.2-7).

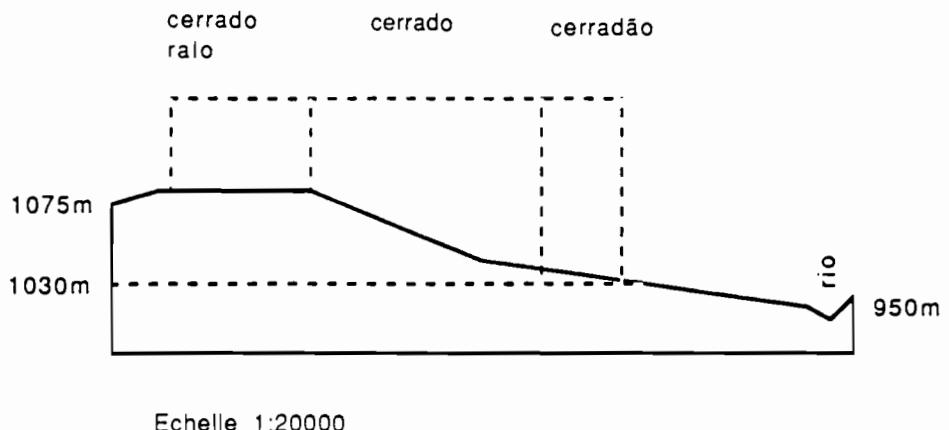


Figure 2-7: Transect du site d'échantillonnage de Brasília-Planaltina d'après RIBEIRO et al (1985)

Le cerradão occupe une surface de 25 hectares, le cerrado 1500 hectares et le cerrado ralo s'étend sur 500 hectares.

Le cerrado ralo est un cerrado moins arboré donc plus riche en herbacées et souvent situé au sommet des versants ou des escarpements.

Le cerradão, plus boisé que le cerrado, avec un sol plus riche également, sans doute dû au déplacement des nutriments le long de la pente, est situé en bas du versant, juste après la forêt galerie bordant le cours d'eau.

B6-3 Climat

Les données climatiques des précipitations et des températures ont été mesurées pendant 15 ans au centre de la EMBRAPA.

Elles sont présentées sous forme de diagramme de Walter (Fig.1-7). La température moyenne annuelle y est de 21,7°C, la moyenne annuelle des précipitations est de 1505 mm concentrée sur les mois d'été, la durée de la saison sèche est de 4 à 5 mois. Ce site est donc placé dans la zone III de la carte

B6-4 Sols

Les caractéristiques géochimiques des sols sont en cours d'analyse à la EMBRAPA.

De façon générale, le cerradão se développe sur un latérosol rouge-foncé distrophique, le cerrado sur un latérosol rouge-jaune à rouge-foncé avec des sables quartziques, le cerrado ralo sur un latérosol rouge-jaune.

B6-5 Etude phytosociologique

Les relevés de végétation sont effectués selon la méthode des parcelles avec 9 parcelles de 25 mètres x 10 mètres pour le cerradão, 18 parcelles de 25 mètres x 10 mètres pour le cerrado et 13 parcelles de 25 mètres x 10 mètres pour le cerrado ralo.

Seuls les arbres dont le diamètre à hauteur du buste est supérieur à 3 cm et dont la hauteur minimale est 2 mètres sont déterminés et comptés. La strate herbacée n'a pas été analysée. Densité, fréquence, dominance et "I.V.I." sont calculés pour chaque espèce.

Les espèces dominantes par rapport à leur aire basale et dont la somme représente 50% du total des aires basales sont pour le cerradão, *Emmotum nitens*, *Ocotea spixiana*, *Maprounea guianensis*, *Diospyros sericea*, *Bowdichia virgilioides*, *Qualea grandiflora*, pour le cerrado, *Qualea parviflora*, *Qualea grandiflora*, *Sclerolobium paniculatum* var. *subvelutinum*, *Annona crassiflora* et *Caryocar brasiliense*, et pour le cerrado ralo, *Kielmeyera coriaca* et *Qualea parviflora*.

Ces espèces sont également citées par GOODLAND et FERRI (1979), RIZZINI (1979) et RATTER (1971) comme étant les espèces les plus importantes de ce type de végétation.

Qualea grandiflora est une des 11 espèces communes aux trois végétations. Son aire basale reste la même quelque soit sa localisation mais sa densité change de 75,5 à 57,8 puis 3,1 individus par hectare quand on passe du cerradão au cerrado ralo.

Les variations ambiantes paraissent donc limiter la distribution quantitative plutôt que l'aire basale.

Le calcul des indices de similarité de Sørensen entre le cerradão et le cerrado indique 35%, avec le cerrado ralo 20% et entre le cerrado et le cerrado ralo 52%.

En terme de "I.V.I.", la famille botanique la plus représentée est celle des Vochysiacees. Ce qui est également confirmé par d'autres auteurs.

Les Rubiacées sont présentes sur les trois sites alors que les Myrtacées et les Mélastomatacées n'ont pas de représentants ligneux sur le cerrado ralo.

Les espèces exclusives du cerrado ralo sont *Diospyros burchellii* et *Rapanea guianensis*.

Aucune des espèces rencontrées n'est exclusive à la fois au cerradão et au cerrado ralo. Ce qui tendrait à prouver que n'importe quelle espèce apparaissant dans ces deux types de végétation doit aussi apparaître dans le cerrado.

B7-CUIABA



L'étude phytosociologique a été réalisée par OLIVEIRA FILHO A.T. (1984), OLIVEIRA FILHO A.T. et MARTINS F.R. (1986).

B7-1 Situation

Cuiabá est la capitale de l'état du Mato Grosso située à 2000 km au Nord -Ouest de São Paulo, près de la frontière avec la Bolivie.

Les sites d'étude sont localisés dans la Chapada dos Guimarães à 45 km au Nord-est de Cuiabá pour Salgadeira et 42 km pour Rio Claro.

La latitude est de 15°21'S, la longitude 55°49' W et l'altitude de 350 mètres.

Les végétations analysées se trouvent au point de rencontre du bassin de Cuiabá, dont l'altitude varie entre 100 et 300 mètres, avec la Chapada dos Guimarães, escarpement rocheux s'élevant à 600 mètres d'altitude. Le relief accidenté, le réseau de drainage des sources et des rivières et la rencontre de 2 types de roches distinctes entraînent la croissance d'une grande variété de végétation. Seuls le cerrado (site de Salgadeira) et le cerradão (site de Rio Claro) sont étudiés dans le cadre de ce travail.

B7-2 Les végétations

Les principales végétations rencontrées sont le cerrado rupestre, le plus élevé en altitude, le cerradão dit "das Cabeceiras" au pied de la Chapada, à la source des rivières, le cerrado interfluvial situé entre 2 cours d'eau et le cerrado "fase filito", appelé ainsi d'après le type de roche qu'il recouvre.

Le cerrado est la formation végétale dominante mais on rencontre aussi les "veredas" et les "buritzals", qui sont des étendues de graminées se développant sur des terrains humides avec ou sans la présence des palmiers buriti (*Mauritia*). Les forêts galerie sont les seules forêts denses de la région.

B7-2a Le cerrado interfluvial: Salgadeira

Celui-ci est situé sur les surfaces les plus élevées du bassin de Cuiabá.

Ces cerrados sont interrompus par les "veredas", car les espèces ligneuses du cerrado ne tolèrent pas les longues périodes de saturation hydrique du sol.

B7-2b Le cerrado "fase filito": Rio Claro

Il recouvre les sols dérivés des roches du Groupe Cuiabá, sur toute la superficie du bassin de Cuiabá. Il apparaît en manches sur des surfaces à cerrado *sensu stricto*.

Deux strates sont distinguées pour chacun des cerrados étudiés: une strate arbustive et une strate inférieure à graminées principalement.

B7-3 Climat

Le climat est qualifié de tropical continental à hiver sec et été pluvieux , de type Aw dans la classification de Köppen.

La température moyenne annuelle du bassin de Cuiabá est de 26,5°C avec pour le mois le plus chaud une moyenne de 27,2°C et pour le mois le plus froid 22,8°C.

Les précipitations moyennes annuelles totalisent 1421 mm, et sont concentrées sur les mois d'été. La durée de la saison sèche est de 4 à 5 mois. La région est donc située dans la zone III de la figure .

B7-4 Sol

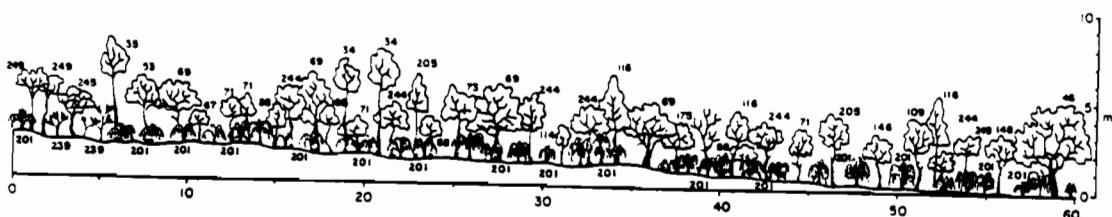
Deux groupes de sol sont distingués: les automorphiques et les hydromorphiques. Ces derniers sont formés principalement d'argile humique; ce sont les sols des forêts galerie et des étendues herbacées humides, les "veredas". Le régime de saturation hydrique est périodique pour les veredas et permanent dans les forêts.

Les sables quartziques et les litosols sont les principaux composants des sols automorphiques. Ils se séparent en fonction de leur matériel d'origine.(Tableau 2-5)

Les analyses chimiques et granulométriques ont été effectuées par le laboratoire de pédologie de l'Université Fédérale du Mato Grosso.

Dix échantillons sont récoltés pour chaque type de végétation sur une profondeur de 0 à 20 centimètres.

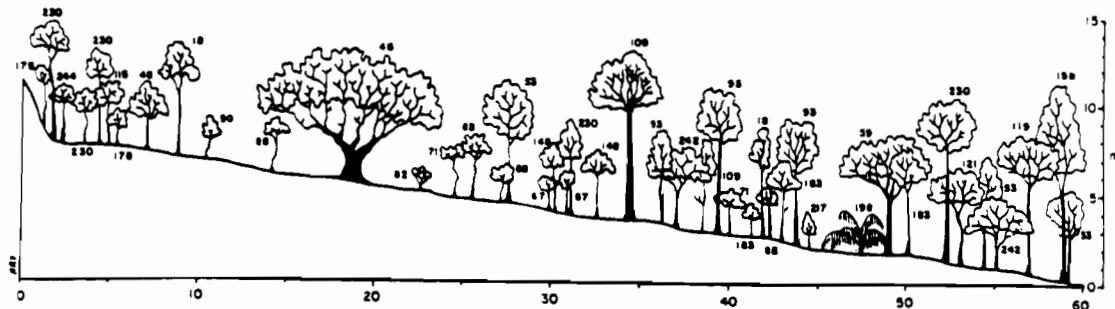
La teneur en matière organique est faible ainsi que la teneur en nutriments pour le cerrado; les sols sont plus riches en nutriments dans le



Légende:

- | | |
|---|---|
| 34: <u>Tabebuia caraiba</u> Bignoniaceae | 116: <u>Andira cuiabensis</u> Fabaceae |
| 35: <u>Tabebuia ochraceae</u> Bignoniaceae | 148: <u>Byrsinima verbascifolia</u> Malpighiaceae |
| 46: <u>Caryocar brasiliense</u> Caryocaraceae | 175: <u>Eugenia aurata</u> Myrtaceae |
| 53: <u>Licania humilis</u> Chrysobalanaceae | 201: <u>Syagrus comosa</u> Palmae |
| 66: <u>Connarus suberosus</u> Connaraceae | 205: <u>Roupala montana</u> Proteaceae |
| 67: <u>Rourea induta</u> Connaraceae | 239: <u>Vellozia flavicans</u> Velloziaceae |
| 69: <u>Curatella americana</u> Dilleniaceae | 244: <u>Qualea parviflora</u> Vochysiaceae |
| 71: <u>Davilla grandiflora</u> Dilleniaceae | 249: <u>Vochysia rufa</u> Vochysiaceae |
| 73: <u>Diospyros coccolobifolia</u> Ebenaceae | |
| 88: <u>Kielmeyera rubriflora</u> Clusiaceae | |
| 109: <u>Hymenaea stigonocarpa</u> Caesalpinoideae | |

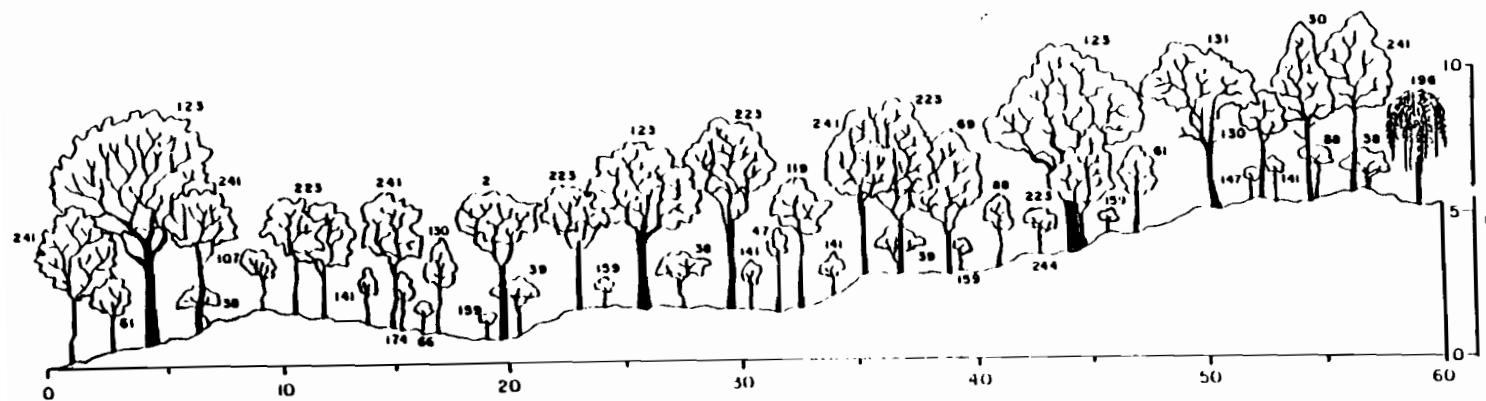
Figure 2-8: Profil du cerrado de Salgadeira sur sa lisière réalisé sur un transect de 60 X 5m, d'après OLIVEIRA FILHO (1986)



Légende:

- | | |
|---|---|
| 18: <u>Aspidosperma tormentosum</u> Apocynaceae | 115: <u>Andira inermis</u> Fabaceae |
| 33: <u>Tabebuia aurea</u> Bignoniaceae | 119: <u>Bowdichia virgilioides</u> Fabaceae |
| 46: <u>Caryocar brasiliense</u> Caryocaraceae | 121: <u>Dalbergia violacea</u> Fabaceae |
| 48: <u>Couepia grandiflora</u> Chrysobalanaceae | 148: <u>Byrsonima verbascifolia</u> Malpighiaceae |
| 53: <u>Licania humilis</u> Chrysobalanaceae | 158: <u>Mouriri pusa</u> Melastomataceae |
| 59: <u>Terminalia brasiliensis</u> Combretaceae | 175: <u>Eugenia aurata</u> Myrtaceae |
| 67: <u>Rourea induta</u> Connaraceae | 178: <u>Eugenia punicifolia</u> Myrtaceae |
| 71: <u>Davilla grandiflora</u> Dilleniaceae | 183: <u>Myrcia albo-tomentosa</u> Myrtaceae |
| 82: <u>Manihot tripartita</u> Euphorbiaceae | 198: <u>Astrocaryum campestre</u> Palmae |
| 88: <u>Kielmeyera rubriflora</u> Clusiaceae | 217: <u>Palicourea rigida</u> Rubiaceae |
| 90: <u>Salacia crassifolia</u> Hippocrateaceae | 230: <u>Pouteria laterifolia</u> Sapotaceae |
| 93: <u>Mezilaurus lindaviana</u> Lauraceae | 242: <u>Qualea grandiflora</u> Vochysiaceae |
| 109: <u>Hymenaea stigonocarpa</u> Caesalpiniaceae | 244: <u>Qualea parviflora</u> Vochysiaceae |

Figure 2-9: Profil du cerrado de Salgadeira dans son centre, réalisé sur un transect de 60 X 5m, d'après OLIVEIRA FILHO (1986).



Légende:

- | | |
|---|---|
| 2: <i>Astronium fraxinifolium</i> Anacardiaceae | 130: <i>Vatairea macrocarpa</i> Fabaceae |
| 30: <i>Jacaranda cuspidifolia</i> Bignoniaceae | 131: <i>Anadenanthera falcata</i> Mimosaceae |
| 38: <i>Pseudobombax longillorum</i> Bombacaceae | 141: <i>Laloensis pacari</i> Lythraceae |
| 47: <i>Austroplenckia populnea</i> Celastraceae | 147: <i>Byrsonima pachyphylla</i> Malpighiaceae |
| 61: <i>Terminalia subsericea</i> Combretaceae | 159: <i>Tibouchina pogonanthera</i> Melastomataceae |
| 66: <i>Connarus suberosus</i> Connaraceae | 174: <i>Campomanesia eugenioides</i> Myrtaceae |
| 69: <i>Curatella americana</i> Dilleniaceae | 196: <i>Acrocomia aculeata</i> Palmae |
| 88: <i>Kielmeyera rubriflora</i> Clusiaceae | 223: <i>Magonia pubescens</i> Sapindaceae |
| 107: <i>Diptychandra aurantiaca</i> Caesalpiniaceae | 241: <i>Callisthene fasciculata</i> Vochysiaceae |
| 118: <i>Bowdichia major</i> Fabaceae | 244: <i>Qualea parviflora</i> Vochysiaceae |
| 123: <i>Dipteryx alata</i> Fabaceae | |

Figure 2-10: Profil du cerradão de Rio Claro, Mato Grosso, réalisé sur un transect de 60 X 5 m, d'après OLIVEIRA FILHO (1986).

cerradão avec des valeurs plus élevées de calcium, magnésium et potassium et ont également une texture argileuse très fine.

| Végétation | analyse chimique | | | | | granulométrie | | | |
|--------------------|------------------|----------|----------|-----------|--------------|---------------|------------|------------|-------------|
| | pH ppm | P ppm | K meq | Al meq | Ca+Mg meq | MO % | sable % | silté % | argile % |
| Cerrado Salgadeira | 4,9 | 1,6 | 13 | 0,8 | 0,3 | 1,9 | 87 | 2 | 11 |
| Cerradão RioClaro | 5,3 | 1,2 | 64 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 62 | 14 | 24 |

Tableau 2-5: Résultats des analyses chimique et granulométrique du sol superficiel (0-20 cm) pour chaque type de végétation étudié de la région de Salgadeira d'après TEIXEIRA FILHO et MARTINS (1986).

B7-5 Etude phytosociologique

C'est la méthode des parcelles qui a été choisie avec pour le cerrado interfluval, un transect de 20 mètres x 500 mètres et 4 transects de 60 mètres x 5 mètres et pour le cerradão, 4 transects de 60 mètres x 5 mètres. Les principales familles botaniques sont représentées sur la figure 2-11.

B7-5a Salgadeira

Les cerrados interfluviaux présentent une physionomie différente d'un cerrado *sensu stricto*, avec des arbustes et des arbres bas sur la lisière, puis ils prennent la physionomie d'un cerradão vers le centre. Ceci paraît dû essentiellement au régime de fluctuation de la nappe phréatique (Fig.2-8 et 2-9).

Une espèce de palmier, *Syagrus comosa* est un indicateur de la proximité des veredas; il se trouve de ce fait, en nombre plus important sur la lisière du cerrado.

Parmi les espèces arborées, *Qualea parviflora* et *Qualea grandiflora* sont les plus abondantes. Puis viennent *Myrcia albo-tomentosa*, *Davilla grandiflora*, *Byrsonima verbascifolia*, *Kilmeyera rubriflora*, *Rourea inducta*, *Vochysia rufa*, *Hymenea stigonocarpa*, *Pouteria ramiflora*, *Licania humilis*, *Couepia grandiflora*, *Andira cuiabensis* et *Aspidosperma tomentosum* sont également présents mais en plus faible quantité.

Les espèces représentant plus de 50% du total des "I.V.I." sont *Syagrus comosa*, *Qualea parviflora*, *Myrcia albo-tomentosa*, *Davilla grandiflora*, *Qualea grandiflora*.

B7-5b Rio Claro

Les arbres dominants dans ce cerradão atteignent 8 mètres de hauteur, avec 2 espèces principales *Magonia pubescens* et *Callisthene fasciculata*.. Il comporte de nombreuses espèces semidécidues et est souvent associé à la forêt mésophile semidécidue. RATTER (1971) l'a reconnu dans le Minas Gerais, le Sud-Est du Mato Grosso ainsi que dans le Pantanal matogrossense.

Son profil (Fig.2-10) est différent de ceux du cerrado de Salgadeira ainsi que sa composition floristique.

Les espèces dont la somme des "I.V.I." représente plus de 50% du total sont par ordre d'importance *Magonia pubescens*, *Callisthene fasciculata*, *Pseudobombax longiflorum*, *Dipteryx alata*, *Astronium fraxinifolium*.

Les espèces les plus abondantes sont *Dipteryx alata*, *Terminalia subsericea*, *Astronium fraxinifolium*, *Curatella americana*, *Anadenanthera falcata*, *Lafoensia pacari*, *Annona coriacea* et *Sclerolobium aureum*. Elles sont également reconnues par RATTER sur les autres cerradões.

Seule *Vatarea macrocarpa* paraît être un élément nouveau dans ce type de cerrado.

Pour la strate arbustive, il faut citer *Connarus suberosus* var.*fulvus*, *Davilla elliptica*, *Eugenia aurata*, *Tibouchina pogonanthera*, *Campomanesia eugenioides* et *Bauhinia rufa* ; au niveau de la strate inférieure, mises à part les graminées, dominent *Cuidoscolus*, *Dalechampia*, *Mimosa*, *Odontadenia*.

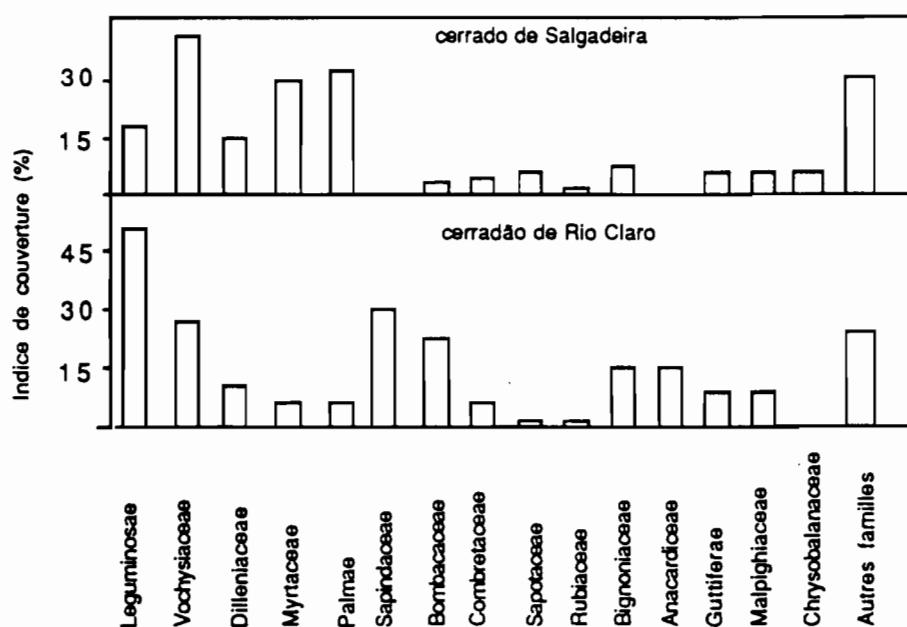


Figure 2-11 : Représentation des familles végétales sur le cerrado et le cerradão d'après OLIVEIRA FILHO et MARTINS (1986).

CHAPITRE III

L'ANALYSE POLLINIQUE

A- Traitement des échantillons

A1- PREPARATION CHIMIQUE

Le traitement des échantillons a été effectué selon la méthode chimique classique de COUR (1974) et FAEGRI et IVERSEN (1975). A ce traitement de base diverses modifications ont été apportées en fonction du type de sédiment que nous avions à analyser.

Les échantillons de surface du centre du Brésil sont toujours très siliceux du fait de la forte teneur en sables des sols brésiliens en général et ont donc été traités de la façon suivante:

-10 grammes de sédiment sec (passage à l'étuve)

-attaque des silicates à l'acide fluorhydrique à 70%

-centrifugation (toutes les centrifugations ont une durée de 5 à 10 minutes pour une vitesse de 3000 tours/mn)

-élimination des fluosilicates formés par passages dans l'acide chlorhydrique à 50 % à chaud (bain-marie) jusqu'à ce que la fraction complètement dissoute entraîne l'apparition d'un surnageant clair.

-Lavages à l'eau distillée

-élimination de la fraction organique, toujours abondante par oxydation dans de la potasse diluée à 10% à chaud (bain-marie) jusqu'à ce que le surnageant soit propre.

-lavages à l'eau distillée

La concentration en grains de pollen et spores a été obtenue après un passage en liqueur dense, chlorure de Zinc, dont la densité est égale à celle des grains de pollen ($d=2,1$)

-lavages à l'eau glycérinée à 10%.

Les culots obtenus sont séchés et dilués dans de la glycérine phénolée à 10%.

-transvasement en tube pilulier étiqueté.

-pipetage d'une prise de 50 microlitres après homogénéisation du mélange.

-montage entre lame et lamelle, avec lutage à l'histolaque L.R.M., étiquetage.

A2- COMPTAGES

Les comptages sont effectués sur microscope Zeiss. La lame est lue à l'objectif $\times 40$ et les déterminations des grains de pollen et spores sont faites à l'objectif $\times 100$ à imersion.

Pour l'étude des échantillons de surface deux conditions ont été requises pour établir l'arrêt du comptage:

-obtention d'au moins 30 taxons

-comptage d'au moins 300 grains de pollen

Les courbes de distribution retraçant la relation entre le nombre de grains de pollen et le nombre de taxons déterminés sont dessinées pour chaque site (Annexe 1).

Ces conditions sont nécessaires pour que la représentation statistique du contenu pollinique d'un échantillon soit fiable.

B- Analyse des échantillons

B1- DETERMINATION DES GRAINS DE POLLEN

La détermination des grains de pollen est faite à l'aide d'une collection de référence de 600 taxons, élaborée par nos soins à l'aide de prélèvements dans l'herbier du Museum National d'Histoire Naturelle.

Chaque taxon est photographié et fiché de façon à faciliter la détermination. Celle-ci a également été facilitée grâce à l'ouvrage de morphologie pollinique de SALGADO LABOURIAU (1973), de HEUSSER (1971), aux descriptions de ABSY (1979), et de HOOGHIEMSTRA (1984), de PUNT (1962) et à l'accès que nous avons eu à la collection de référence du laboratoire Hugo de Vries d'Amsterdam.

La liste des espèces à prélever dans l'herbier a été établie à partir de listes botaniques répertoriant les espèces végétales se développant sur nos sites d'étude. Ces listes résultent d'une étude phytosociologique et d'un inventaire des espèces dressé par les botanistes.

Ainsi notre collection de référence inclut tous les marqueurs rencontrés sous les couverts arborés étudiés.

Mais elle reste toutefois très incomplète compte tenu de la richesse floristique des forêts tropicales du Brésil et de nombreux grains restent indéterminés lors des comptages (voir Annexe 2 les descriptions des grains de pollen marqueurs et non encore décrits dans les ouvrages de morphologie pollinique).

Ces "indéterminés" ne doivent toutefois pas perturber notre analyse. En effet s'ils sont nombreux en diversité, ils apparaissent en petit nombre pour chaque taxon indéterminé (2 ou 3 grains au maximum). Les taxons considérés comme marqueurs représentent un pourcentage beaucoup plus important par rapport au total des grains comptés.

L'identification des grains de pollen est faite selon les cas au niveau du genre ou de la famille. Notre collection de référence réduite et le manque d'informations disponibles concernant les descriptions morphologiques des grains de pollen correspondant aux plantes de la forêt d'araucaria, de la forêt mésophile semidécidue et de la forêt galerie ne nous ont pas permis, dans le doute, de pousser la détermination jusqu'à un niveau spécifique.

Ce degré de détermination du grain de pollen est le plus communément atteint. En effet le manque de précision morphologique concernant les espèces, la diversité des espèces à l'intérieur d'un genre ainsi que le temps nécessaire à la fabrication des lames de référence n'ont pas rendu possible une investigation morphologique plus poussée dans le cadre de ce travail.

D'autre part la bonne conservation des grains sur tous les échantillons et le lutage à l'histolaque permettant d'observer les grains à déterminer aussi bien en vue polaire qu'en vue équatoriale ont évité la création d'une rubrique "indéterminables".

B2- DETERMINATION AU NIVEAU DE LA FAMILLE AVEC INDICATION DE TYPE GENERIQUE.

Lorsqu'il existe des différences morphologiques entre les genres mais que deux ou plusieurs d'entre eux présentent des similarités, à l'identification de la famille est associée une indication générique. Celle-ci est généralement choisie en fonction de l'abondance du genre dans la région d'étude, ou en fonction du genre de référence décrit dans notre collection.

Quand c'est possible nous reprenons également les types polliniques définis par SALGADO LABOURIAU (1973), c'est à dire:

- t.*Cassia*= *Cassia* , *Hymenea* , *Tephrosia*
- t.*Andira*= *Andira* , *Dalbergia* , *Machaerium* , *Sweetia*
- t.*Coussarea*= *Coussarea* , *Rudgea*
- t.*Amaouia*= *Amaouia* , *Tocoyena*
- t.*Peixotoa*= *Peixotoa* , *Camarea*
- t.*Lithraea*= *Lithraea* , *Tapirira*
- t.*Trichilia*= *Trichilia* , *Cedrela*

B3- DETERMINATION AU NIVEAU DE LA FAMILLE

Ce degré de détermination est dû à l'impossibilité de séparer les genres au sein d'une famille telle que Poaceae (Gramineae), Cyperaceae, Asteraceae (Compositae) du fait de similitudes morphologiques, ou au manque d'information contenue dans notre collection de référence.

Un genre reconnu comme appartenant à une famille, mais n'étant pas décrit dans la littérature ou absent de la collection de référence, est alors identifié sous le nom de la famille à laquelle il appartient, suivi de l'indication "sp." indiquant que la détermination reste possible. C'est le cas par exemple de Caesalpiniaceae sp., Fabaceae sp. , Anacardiaceae sp. , Euphorbiaceae sp....

Le nom de la famille est également indiqué en face des espèces ne produisant pas ou peu de grains de pollen ou bien dont les grains à exine fragile ne se conservent pas, par exemple Annonaceae, Lauraceae, où dans ce cas une détermination plus précise serait inutile puisque les grains ne se retrouveront pas dans les analyses.

B4- COMPTAGES DES GRAINS DE POLLEN

Les comptages sont effectués sur une lame par échantillon compte tenu de la richesse en matériel sporopollénique.

300 grains ont été comptés en moyenne, incluant les taxons arborés et herbacés. A ce stade la saturation en nombre de taxons est souvent atteinte ou si elle ne l'est pas, celle ci commence à croître de façon très lente et atteint un état quasi stationnaire (Annexe 1).

Il ne nous était pas possible dans le cadre de ce travail, de poursuivre un comptage jusqu'à atteindre un nombre de 500 grains pour n'obtenir que 2 ou 3 taxons supplémentaires. Les courbes montrent toutefois qu'avec ce nombre de 300 grains et 30 taxons déterminés tous les taxons marqueurs sont présents et leurs pourcentages respectifs se stabilisent: le couvert arboré peut être décrit palynologiquement de façon suffisamment précise pour cette première approche.

Ces courbes ont été construites selon la méthode utilisée au Laboratoire de Géologie du Quaternaire de Luminy (BONNEFILLE, 1972, VINCENS, 1982).

Ces résultats seront utilisés lors de l'analyse des échantillons fossiles où un nombre de 300 grains minimum sera donc requis afin d'obtenir une représentation optimale de la végétation dont l'échantillon palynologique témoigne.

B5- TRANSPORT DES GRAINS DE POLLEN.

La représentation palynologique d'un couvert végétal dépend de la conservation, du transport et du dépôt de ces grains sur le sol.

Les résultats d'une recherche bibliographique à propos du mode de transport des principaux taxons déterminés au cours de cette étude sont reportés sur le tableau 3-1.

Nous remarquons que la pollinisation est entomophile pour la grande majorité des taxons.

Très peu de taxons sont dispersés par le vent; il s'agit de *Araucaria*, *Podocarpus*, Arecaceae, Poaceae. Or les graminées se trouvent présentes sur tous les sites, les palmiers sont également très fréquent, l'araucaria et le podocarpus sont spécifiques à un seul type de végétation.

Le transport et la dispersion des grains de pollen par les insectes, les oiseaux ou les petits mammifères tels les chauve-souris sont donc très irréguliers et dépendent davantage du nombre d'insectes (ou d'oiseaux ou de chauve-souris) présents sous le couvert arboré.

D'autre part, les grains de pollen ne seront pas dispersés sur une grande distance par rapport à leur source. Ils seront déposés au pied de l'arbre ou à proximité de celui-ci.

Les figures (Annexe 3) montrent cette irrégularité de dispersion observée d'un échantillon à l'autre sous un même couvert végétal.

Les histogrammes sont dessinés pour chaque taxon déterminé dans l'échantillon de surface du site analysé et pour 5 des 11 sites étudiés; il s'agit de Colômbo (forêt d'araucaria), Brotas (forêt galerie) et Brasília (cerradão, cerrado et cerrado ralo).

Sur chaque figure est reporté en ordonnée le numéro de l'échantillon analysé pour le site considéré et en abscisse les pourcentages du taxon, calculés pour chaque échantillon par rapport à la somme totale des grains.

Certains taxons sont représentés sur tous les échantillons en proportions à peu près égales; c'est le cas par exemple à Brotas de *Celtis*.

D'autres taxons, comme *Borreria*, *Chrysophyllum* ou *Diatenopteryx* sont très irrégulièrement représentés d'un échantillon à l'autre.

A Colômbo, *Araucaria*, *Podocarpus*, *Ilex*, *Symplocos* sont présents sur tous les échantillons, mais leur fréquence varie d'un échantillon à l'autre; par contre *Drymis* n'apparaît pas sur tous les échantillons.

Sebastiana, *Styrax*, *Ruellia*, *Roupala*, *Prunus* entre autres sont très sporadiques.

A Brasilia, les 20 échantillons étudiés traversent 3 types de cerrado et il arrive que la distribution d'un taxon suive les changements du couvert végétal.

Ainsi *Copaifera*, enregistré dans les premiers échantillons du cerradão, disparaît ensuite pour revenir dans les derniers échantillons du cerrado ralo, qui est un cerrado très ouvert.

Caesalpiniaceae sp., *Emmotum*, *Cybianthus* sont présents dans les premiers échantillons puis leur fréquence diminue jusqu'à la disparition totale de ces taxons.

La dispersion entomophile des pollens des forêts du Brésil Central est donc confirmée par le résultat des comptages de nos échantillons.

B6-CONSTRUCTION DU DIAGRAMME DES TAXONS ARBORES

Les études phytosociologiques n'ayant pas estimé la surface occupée par les espèces herbacées dans leurs relevés, celles-ci ont été éliminées des calculs pour le tracé du diagramme mettant en relation les pourcentages polliniques et botaniques de chaque taxon.

Nous avons recherché une manière de représenter nos données associées à celles de la végétation de la façon la plus claire possible. Le diagramme doit nous permettre de visualiser la relation qualitative entre les pourcentages polliniques et les pourcentages des aires basales des espèces végétales, et d'observer de quelle façon est transcrit un couvert végétal en terme de données palynologiques dans le Brésil central.(Fig.3-1)

Les onze sites analysés sont reportés en ordonnées, avec de 1 à 6 les **cerrados** de Brasilia, Bauru et Cuiabá et , puis la **forêt d'araucaria** en 7 et ensuite la **forêt mésophile semidécidue** de Bauru et Rio Claro (8 et 9) et enfin la **forêt galerie** de Assis et Brotas (10 et 11); les noms des taxons des arbres déterminés sont placés en abscisse.

Devant chaque site et pour chaque taxon est reporté le pourcentage des **pollens** (**barres blanches**) et le pourcentage de la **couverture**

arborée de cette même espèce (% aire basale, **barres noires**). Afin de rendre la lecture du diagramme plus aisée, les résultats botaniques ont été transcrits en suivant le même langage que celui utilisé en palynologie.

L'échelle utilisée est de une graduation pour 5%; un changement d'échelle est indiqué par une barre transversale sur l'axe horizontal lorsqu'à une graduation correspond 10%, ou deux barres transversales lorsqu'à une graduation correspondent 20%.

La méthode utilisée par JANSSEN (1984), GRABANDT (1985 a et b), VAN DER HAMMEN (1989), que nous avons choisie d'appliquer au Brésil, associe un échantillon palynologique à un relevé botanique. Ceci n'a pu être réalisé dans le cadre de cette étude car les données botaniques que nous avons utilisées n'ont été publiées que dans un but phytosociologique; nous avons donc regroupé tous nos échantillons de surface correspondant à un site en un seul échantillon palynologique en additionnant les comptages.

Prenons un exemple: sur le site de Colômbo avaient été prélevés 10 échantillons de surface. Les comptages de ces 10 échantillons analysés séparément ont donc été additionnés de façon à ne faire plus qu'un (voir figure 2-2).

Ainsi à un relevé botanique correspond un échantillon palynologique.

Dans le tableau, en bas à droite du nom du site, nous avons indiqué le nombre d'échantillons prélevés et additionnés.

Tous les pourcentages calculés sont des pourcentages relatifs.

Des comptages absolus ne nous ont pas semblé nécessaire car leur validité pouvait être remise en cause par l'hétérogénéité de nos échantillons dans leur nature sédimentologique d'une part et dans la distance parfois grande qui sépare les sites d'autre part.

Les taxons dont les pourcentages sont inférieurs à 1 ne sont pas représentés sur le diagramme.

D'autre part en face de **chaque site** nous avons indiqué le **climat** qui lui est associé en utilisant les paramètres définis dans le tableau, c'est à dire **température hivernale et durée de la saison sèche**. Sur un même graphique, sont donc regroupées les données de la végétation, de la palynologie, et des climats.

C- Résultats

Nous pouvons remarquer une nette séparation entre les trois types de végétation sur le diagramme. Ces trois zones sont séparées par les lignes pointillées horizontales tracées sur le diagramme.

Si certains taxons sont dispersés tout le long des différents groupes végétaux sans distinction écologique, d'autres sont plus spécifiques à un type

de végétation: ils ne sont présents qu'à l'intérieur d'une seule zone écologique. Ces taxons seront alors considérés comme les marqueurs écologiques d'un couvert végétal.

D'autres taxons apparaissent exclusivement sous forme botanique, ou sous forme pollinique, ou en proportion inégale dans les deux catégories. Ces observations nous serviront à définir la production de pollens d'une espèce.

C1- LES MARQUEURS

Les taxons retenus sont ceux présents à la fois dans les comptages polliniques et les relevés botaniques.

C1-1 Cerrado et cerradão

Pour le cerrado et le cerradão confondus ce sont *Didymopanax*, *Byrsinima*, *Davilla*, *Curatella* et *Diospyros*.

D'autres taxons paraissent exclusifs au cerrado ou à certains types de cerrado, mais le petit nombre de sites étudiés ne nous permet pas de préciser davantage.

Toutefois, à titre indicatif, il faut citer:

Rourea, *Hirtella*, *Licania*, *Couepia*, *Palicourea*, *Hancornia*, *Pterodon*, *Pouteria*, *Erythroxylum* et *Vellozia*

avec *Rourea*, *Hirtella*, *Licania* et *Couepia* présents sur les cerrados du Mato Grosso, avec une réserve pour *Hirtella* qui est aussi présent sur le cerradão de Brasília.

Palicourea est présent à Brasília et dans le cerradão de Bauru.

Hancornia est trouvé dans les cerrados de Brasília et Cuiabá ainsi que dans le cerradão de Bauru.

Pterodon est plutôt déterminé sur le cerradão de Bauru.

Pouteria n'est jamais enregistré sur les cerradões.

Vellozia seulement sur le cerrado ralo de Brasília, sous forme de grain de pollen et non de plante. Il est présent sur le site en tant qu'arbuste, comme nous avons pu le constater sur le terrain, mais sans doute de trop petite taille pour être intégré aux relevés botaniques.

D'autres taxons tels que *Kielmeyera*, *Strychnos*, *Myristicaceae* sont exclusifs au cerrado mais n'apparaissent pas en tant que pollen; seule la plante est signalée: il s'agit plutôt dans ce cas d'un marqueur botanique.

C1-2 Forêt d'araucaria

Pour la forêt d'araucaria: *Araucaria*, *Podocarpus*, *Drymis*, *Symplocos*, *Sloanea*, *Sapium*, *Clethraceae* et *Canelaceae*.

C1-3 Forêt mésophile semidécidue et forêt galerie

Pour la forêt mésophile semidécidue et la forêt galerie: *Copaifera*, *Chrysophyllum*, *Metrodorea*, *Chorisia*, *Guazuma*, *Acacia*, *Diatenopteryx*, *Maytenus* et *Caricaceae*.

Copaifera, bien qu'il soit présent également dans les comptages du cerrado a été placé parmi les marqueurs de la forêt mésophile.

En effet les échantillons dans lesquels il a été déterminé pour les sites de Brasilia, Bauru et Cuiabá se trouvaient situés soit à proximité de la forêt galerie, soit à proximité de la forêt semidécidue. Dans le cas du cerrado ralo de Brasilia, où le pollen est présent, il nous faut rappeler que le cerrado ralo est une formation végétale très ouverte, où les arbres sont rares; la circulation et le dépôt des grains de pollen provenant de végétation plus éloignée, comme la forêt galerie par exemple, s'en trouve ainsi facilitée.

Gardons donc pour *Copaifera* une relation avec un environnement humide.

Chrysophyllum est une espèce végétale peu productrice de grains de pollen en général, mis à part une sur-représentation à Rio Claro, où l'échantillonnage a dû se faire au moment de la pollinisation de la fleur. Nous n'avons malheureusement pas pu vérifier cette hypothèse .

Les résultats obtenus pour d'autres taxons à première vue exclusifs à la forêt mésophile semidécidue et à la forêt galerie ne permettent pas de conclure quant à leur représentation pollinique à cause du petit nombre de sites étudiés. Ce sont: *Acacia*, *Guazuma*, *Coutarea*, *Chomelia*, *Ixora*, *Savia*, *Actinostemon*, *t. Galipea*, *Balfourodendron*, *Esenbeckia*, *Gallesia*, *Cordia*, *Celtis* et *Peschiera*.

C2-REPRESENTATION POLLINIQUE DE LA VEGETATION

En comparant les pourcentages polliniques et les pourcentages botaniques placés côte à côte sur le diagramme, nous pouvons dire si une espèce végétale est sur ou sous représentée par sa pluie pollinique.

Dans le cerrado *Qualea*, *Vochysia* et *Caryocar* sont sous-représentés par rapport à l'abondance de la plante dont sont issus les grains de pollen, alors que *Didymopanax* et *Byrsinima* sont plutôt sur-représentés.

Araucaria, *Podocarpus* et *Symplocos* sont sur-représentés; leur production de grains de pollen est abondante par rapport au nombre d'espèces végétales. Ceci est dû au mode de dispersion anémophile de ces espèces

Drymis est représenté en proportion équivalente à la fois chez les pollens et les végétaux.

Sapium, *Sloanea*, Canelaceae, Clethraceae sont sous représentés voire pas du tout dans le cas des trois derniers. Ces quatre taxons ne sont pas très producteurs de pollen.

Il s'agit là de premières observations, exposés à titre indicatif, compte tenu du fait qu'un seul site situé dans la forêt d'araucaria a pu être étudié.

Metrodorea, *Chorisia*, *Diatenopteryx*, *Maytenus* sont sous représentés.

Dans le cas de taxons répartis au hasard des sites, sans caractéristique écologique particulière, c'est à dire les taxons cosmopolites, nous les avons séparés en 2 groupes:

- ceux produisant beaucoup de grains de pollen
- ceux dont aucun grain n'a été déterminé dans les échantillons de surface.

dans le premier groupe, il faut signaler les Asteraceae (Compositae), Moraceae, *Alchornea*, *Solanum*, *Heteropteris*, Myrtaceae, *Didymopanax*, Mimosaceae.

Nous remarquons que les Asteraceae, *Alchornea*, *Solanum*, et *Heteropteris* existent à la fois sous forme herbacée ou sous forme arborée. Comme seuls les arbres ont été comptés lors des études phytosociologique, les distorsions peuvent être dues à l'apport des grains des herbacées.

Dans le cas de *t. Peixotoa*, il ne s'agirait que d'herbacées.

Dans le deuxième groupe, celui des taxons dont on n'a jamais retrouvé de grains de pollen, Lauraceae, Annonaceae, Verbenaceae, Simaroubaceae, Myristicaceae, Clethraceae, Canelaceae, *Strychnos*, *Christiana*, *Guarea*, *Magonia*, *Patagonula*, *Belangera*, *Peschiera*, *Siparuna* ont soit une exine fragile détruite au cours de la sédimentation ou du traitement chimique subit par les grains de pollen pendant la préparation des échantillons, soit ce sont de très faibles producteurs de grains de pollen.

C3- LES HERBACEES

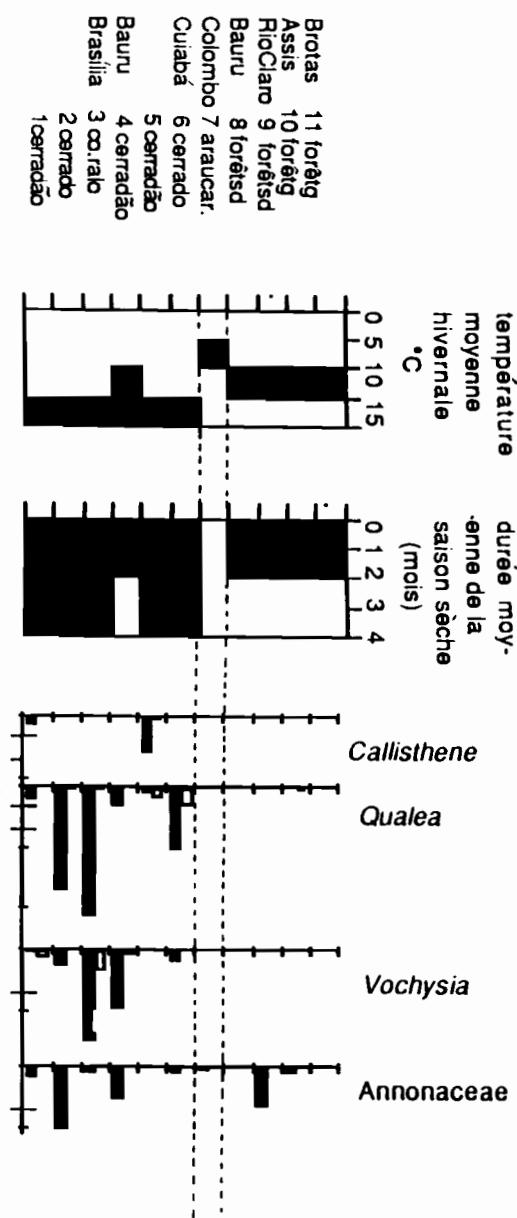
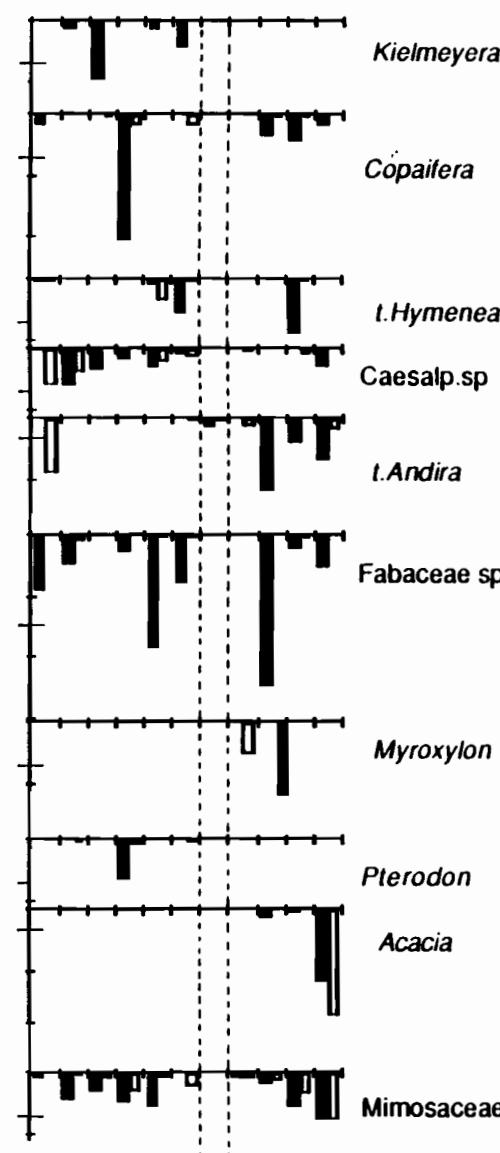
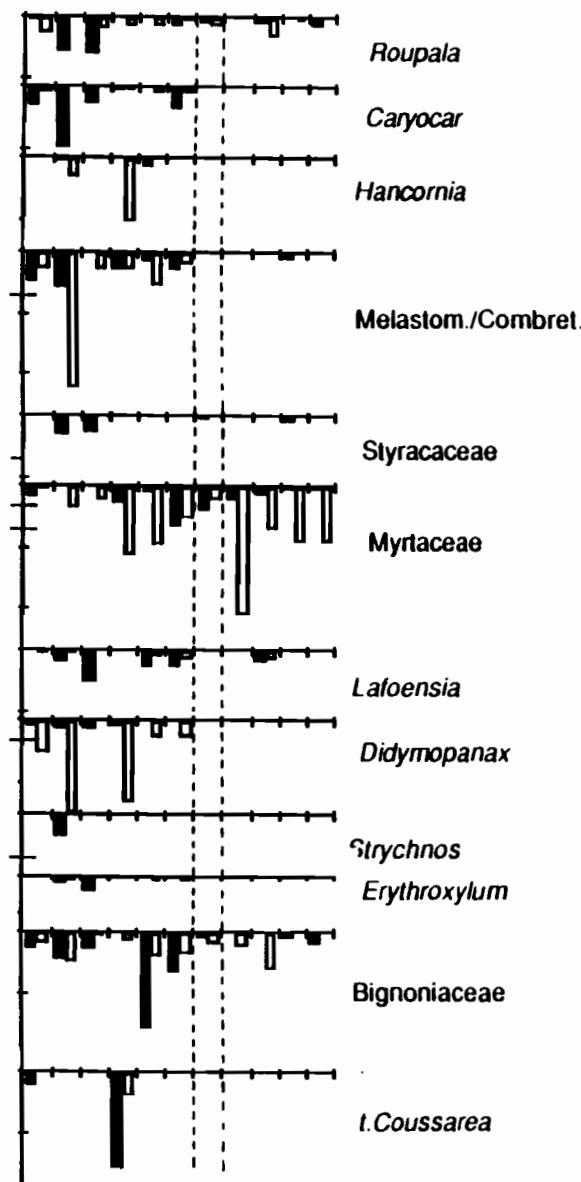
Les relevés botaniques ne concernant que les taxons arborés, les résultats des herbacées sont analysés essentiellement sous forme de spectre pollinique.

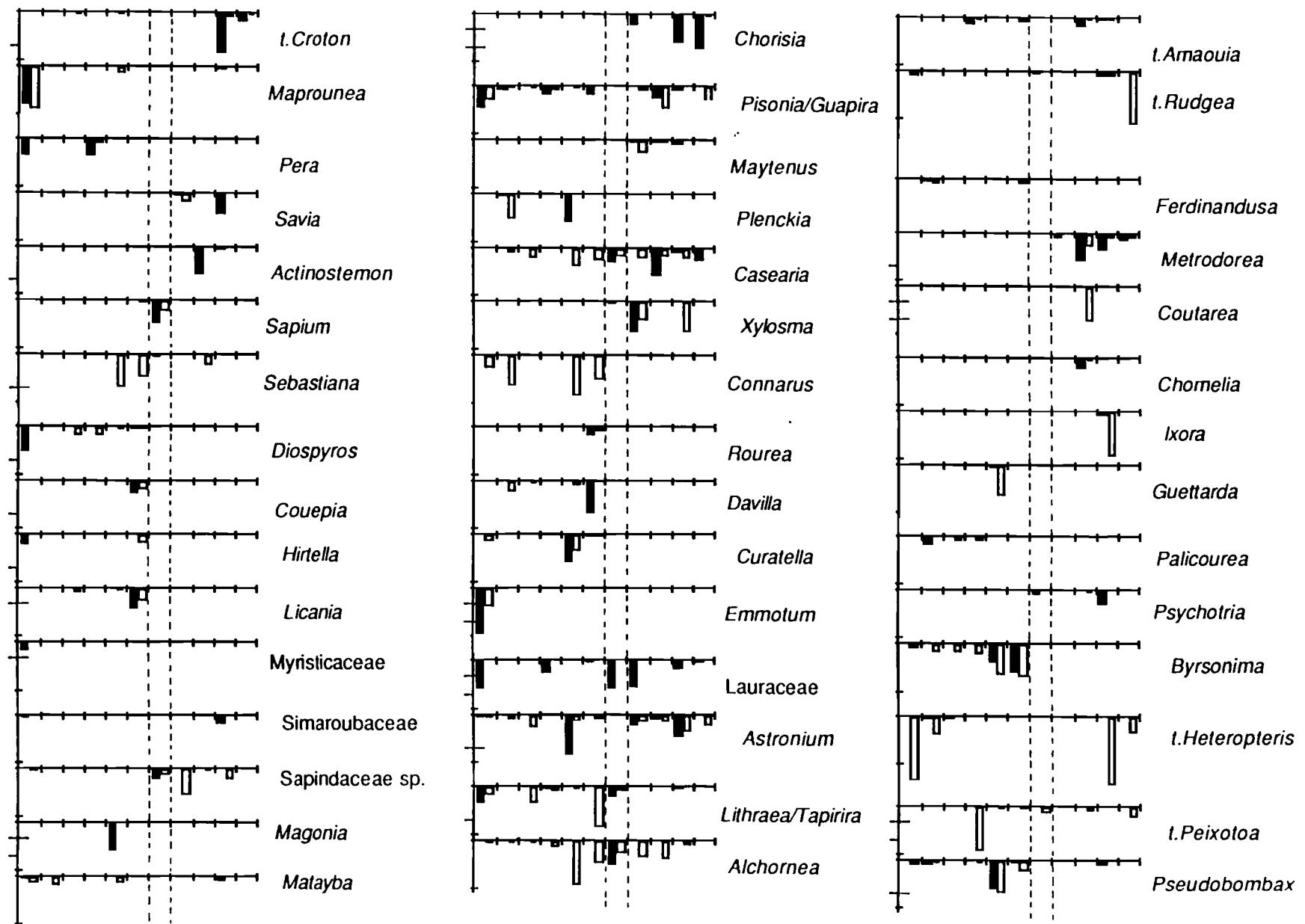
Les pourcentages sont calculés par rapport à la somme totale: AP+NAP+Varia où AP représente les pollens d'arbres, NAP les pollens d'herbacées et Varia les grains indéterminés.

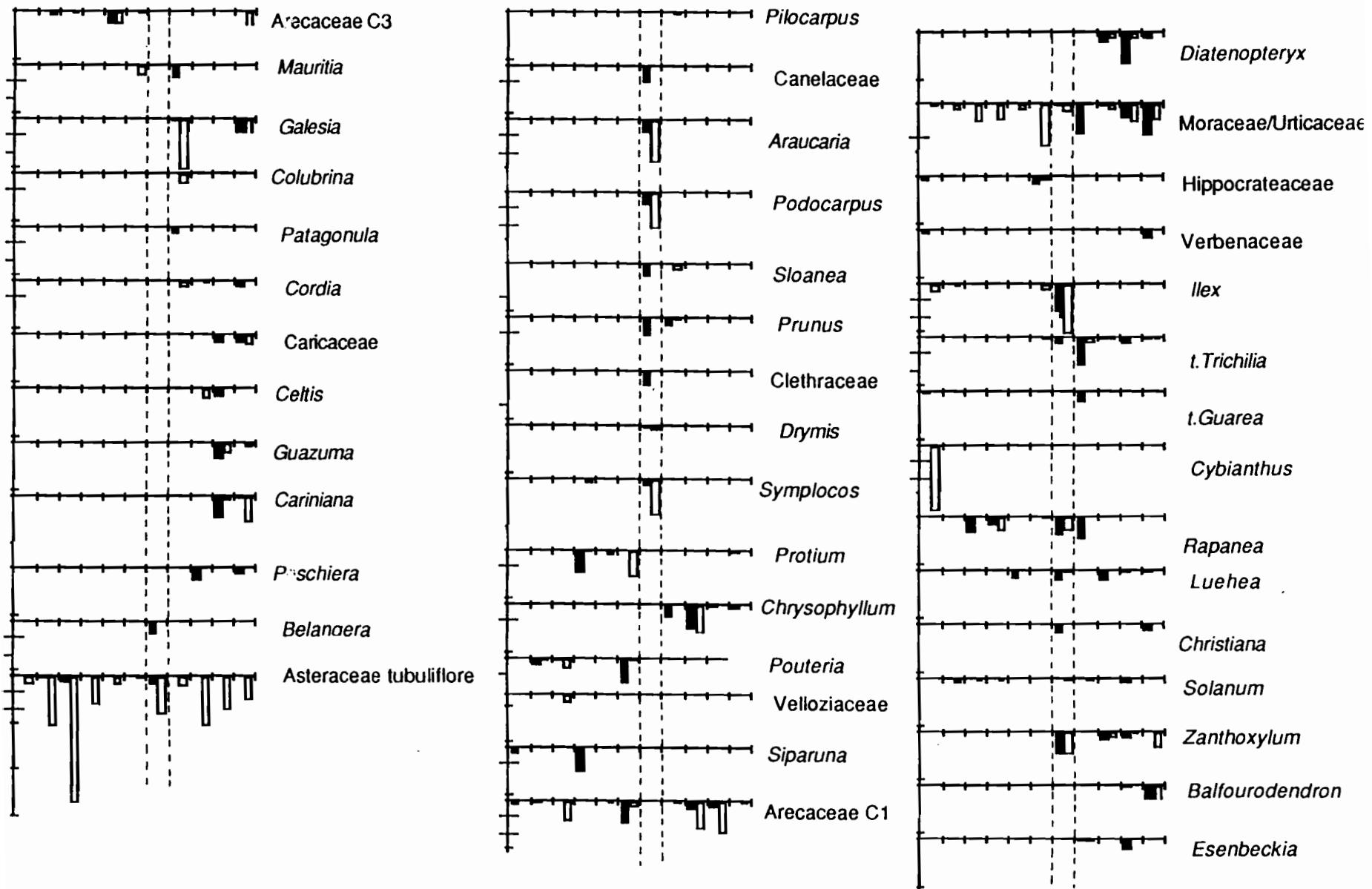
Deux diagrammes synthétiques sont dessinés sur les figures 3-2 et 3-3.

L'un exprime les pourcentages des taxons arborés face aux pourcentages des graminées (Fig.3-2), l'autre les pourcentages des taxons arborés en face des herbacées, graminées incluses (Fig.3-3).

Figure 3-4: Diagramme pollinique rassemblant les données des échantillons de surface pour chaque site d'étude. Les barres blanches représentent les pourcentages des grains de pollen déterminés par rapport à la somme totale, les barres noires les pourcentages des aires basales des arbres relevés par rapport au total des aires basales. L'échelle est de 1 division=5% ()sauf quand un trait vertical coupe l'axe des abscisses alors 1 division=10% () et deux traits verticaux 1 division=20% ().







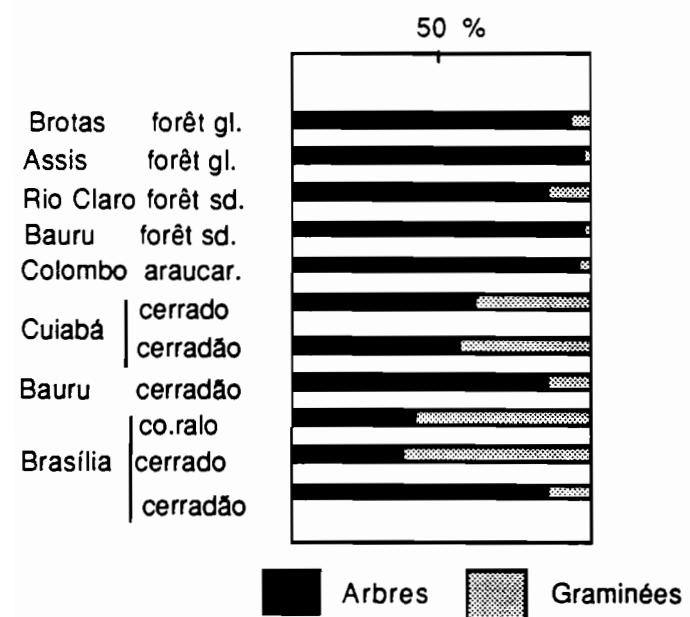


Figure 3-2 : Image pollinique des arbres et des graminées (% de la somme totale) pour chaque site.

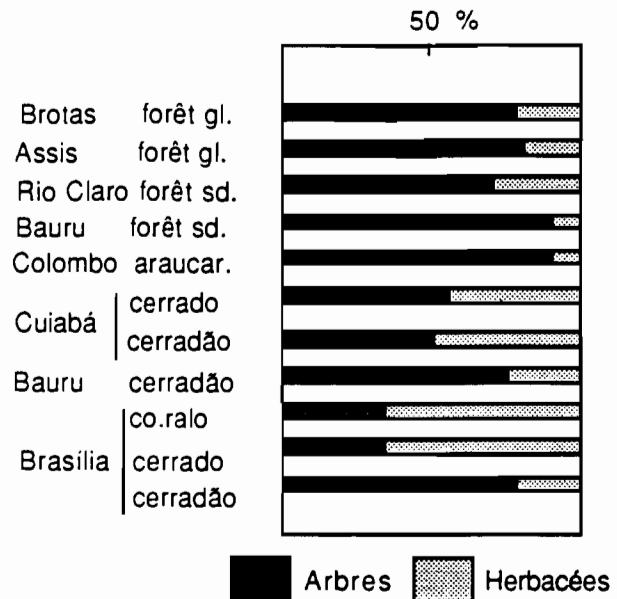


Figure 3-3 : Image pollinique des arbres et des herbacées (% de la somme totale) pour chaque site.

Les cerrados, végétation ouverte où les graminées dominent le paysage végétal, ont un spectre peu représentatif du couvert végétal. C'est le cas en général des végétations ouvertes où les grains provenants des forêts voisines peuvent se déposer (ANDERSEN, 1970, JANSSEN, 1984, GRABANDT, 1985a).

Les cerradões confirment leur caractère boisé avec un pourcentage de taxons arborés voisin de celui des forêts.

L'autre diagramme suit les mêmes fluctuations mais de façon plus accentuée pour les herbacées.

Un couvert végétal peut donc être défini comme étant fermé ou ouvert (% taxons arborés <60% pour les cerrados, >70% pour les forêts et les cerradões), mais ne peut pas être écologiquement défini puisqu'il n'est pas possible de séparer cerradões, forêts mésophiles et forêts d'araucaria à l'aide de ces spectres.

D- Conclusions

Cette première analyse empirique, résultant de la simple observation des comptages, montre qu'il est possible de distinguer les trois

principaux types de couvert arboré du Brésil Central à partir de leur cortège pollinique: les taxons les caractérisant ont pu être définis.

Elle nous informe également sur les modes de dépôt, transport et production des grains de certains taxons. Ceci n'avait encore jamais été étudié dans cette région et pour ces trois types de végétation.

Quelques problèmes et difficultés ont pu être soulevés; l'approfondissement de ce travail consistera à essayer de les résoudre.

- les cortèges polliniques des deux sous types de végétation, cerradão (associé au cerrado) et forêt galerie (associée à la forêt mésophile semidécidue) ne permettent pas de les séparer de ceux auxquels ils se rattachent.

Davantage de sites et d'échantillons de surface serait nécessaire.

- le mode de transport et la production des grains e pollen des espèces analysées sont encore trop peu connues.

Une étude alliant travail de terrain et bibliographie permettrait de mieux conclure quant à la présence ou l'absence de certains taxons.

- des imprécisions dans la détermination des grains (Caesalpiniaceae sp., Euphorbiaceae sp....etc)ne peuvent être levées qu'en enrichissant la collection de lames de référence.

- les relevés botaniques couvrent de larges surfaces (plusieurs hectares) et ne sont pas adaptés aux surfaces des prélèvements palynologiques (100m² environ) et nous avons dû associer tous nos prélèvements au même relevé;

un relevé botanique pour chaque échantillon palynologique est nécessaire si l'on veut obtenir une image précise des pollens d'un couvert arboré.

- seuls les arbres ont été comptés dans les relevés botaniques. Nous n'avons donc pas d'information concernant la pollinisation des herbacées. Il faudrait inclure les herbacées dans les relevés.

Une analyse numérique peut permettre d'approfondir la relation "pollen-végétation". C'est l'objet du prochain chapitre.

Tableau 3-1: Pollinisation des principales espèces des forêts du Brésil central (F.BOUMAN, communication personnelle).

| <u>TAXONS</u> | <u>POLLINISATEUR</u> | <u>REFERENCE</u> |
|-----------------|----------------------|---------------------------|
| Anacardiaceae | <i>Astronium</i> | divers petits insectes? |
| | <i>Lithraea</i> | chauve-souris? |
| | <i>Tapirira</i> | anémophilie? |
| Araliaceae | <i>Didymopanax</i> | divers insectes? |
| Arecaceae | | abeilles, coléoptères |
| Bignoniaceae | <i>Tabebuia</i> | abeilles, oiseaux |
| | | Gentry 1974 |
| Bombacaceae | <i>Eriotheca</i> | chauve-souris |
| | <i>Pseudobombax</i> | Dobat 1985 |
| Bursereaceae | <i>Protium</i> | divers petits insectes |
| Caryocaraceae | <i>Caryocar</i> | chauve-souris |
| Compositae | <i>Apuleia</i> | divers insectes |
| Connaraceae | <i>Connarus</i> | abeilles, divers insectes |
| Ebenaceae | <i>Diospyros</i> | ? |
| Erythroxylaceae | <i>Erythroxylum</i> | abeilles, divers insectes |
| Euphorbiaceae | <i>Alchornea</i> | vent? |
| | <i>Sebastiania</i> | insectes |
| Flacourtiaceae | <i>Casearia</i> | divers petits insectes |
| | | abeilles, oiseaux, |
| | | chauve-souris |
| Leguminosae | <i>Acacia</i> | abeilles, oiseaux, |
| | | chauve-souris |
| | <i>Andira</i> | abeilles |
| | <i>Cassia</i> | abeilles |
| | <i>Copaifera</i> | abeilles, mouches |
| | | papillons |
| | <i>Hymenea</i> | chauve-souris |
| | <i>Inga</i> | papillons, oiseaux, |
| | | chauve-souris |
| | <i>Machaerium</i> | abeilles |
| | <i>Mimosa</i> | abeilles |
| | <i>Myroxylon</i> | abeilles? |
| | <i>Pterodon</i> | abeilles? |
| | <i>Pterogyne</i> | abeilles? |
| Lythraceae | <i>Cuphea</i> | abeilles |
| | <i>Lafoensis</i> | chauve-souris |
| | | Vogel 1969 |

| | | | |
|---------------|----------------------|--------------------------------|--------------------|
| | | papillons | Dobat 1985 |
| | | | Silberbauer-G |
| Malpighiaceae | <i>Byrsonima</i> | abeilles | Vogel 1969 |
| | <i>Heteropteris</i> | abeilles | Vogel 1969 |
| | <i>Peixotoa</i> | abeilles? | |
| Meliaceae | <i>Cabralea</i> | insectes, papillons de nuit | |
| | <i>Trichilia</i> | ? | |
| Myrtaceae | <i>Blepharocalyx</i> | ? | |
| | <i>Campomanesia</i> | ? | Landrum, Fl.Neot. |
| | <i>Eugenia</i> | abeilles, chauve-souris | Dobat 1985 |
| | <i>Myrcianthes</i> | ? | |
| | <i>Psidium</i> | chauve-souris | Dobat 1985 |
| Myrsinaceae | <i>Rapanea</i> | abeilles? | |
| Nyctaginaceae | <i>Pisonia</i> | insectes, oiseaux | Engler 1934 |
| Proteaceae | <i>Roupala</i> | abeilles, chauve-souris | Heithaus 1979 |
| | | | Dobat 1985 |
| Rubiaceae | <i>Alibertia</i> | ? | |
| | <i>Amaouia</i> | ? | |
| | <i>Borreria</i> | ? | |
| | <i>Rudgea</i> | abeilles, papillons | Bawa 1985 |
| | <i>Tocoyena</i> | papillons | Silberbauer-G 1975 |
| Sapindaceae | <i>Cupania</i> | abeilles, papillons oiseaux | Bawa 1985 |
| | <i>Matayba</i> | ? | Heithaus 1979 |
| Sapotaceae | <i>Pouteria</i> | ? | |
| Solanaceae | <i>Solanum</i> | abeilles | |
| Vochysiaceae | <i>Qualea</i> | abeilles, papillons, | Bawa 1985 |
| | <i>Vochysia</i> | oiseaux quelquefois | Silberbauer-G 1975 |

CHAPITRE IV

L'ANALYSE NUMERIQUE

A- Les méthodes

A1- LA RELATION POLLEN/VEGETATION

Afin d'interpréter de façon rigoureuse les diagrammes palynologiques quaternaires, les palynologues analysent les pluies polliniques actuelles des végétations. Leur but est d'exprimer une relation entre les grains de pollen et leur source d'émission.

La production des grains de pollen d'une espèce peut être estimée de différentes façons.

POHL (1937 cité dans BIRKS et BIRKS, 1980) a compté le nombre de grains de pollen contenus dans une anthère, puis l'a multiplié par le nombre d'anthères contenues dans une fleur, par le nombre de fleurs dans une inflorescence, par le nombre d'inflorescences et par le nombre de branches de l'espèce considérée dans le cas d'un arbre.

TAUBER (1967 cité dans ANDERSEN, 1970) préfère exposer des pièges à pollen sous les espèces dont on veut connaître la production pollinique. Ces pièges consistent en des surfaces planes recouvertes d'une couche de glycérine retenant les grains. Ils sont disposés à différentes

hauteurs par rapport au sol. Un grand nombre de pièges est requis pour l'étude d'un couvert végétal, de plus cette étude doit se faire sur plusieurs années afin d'éliminer les variations annuelles des floraisons et des conditions météorologiques.

Une troisième méthode consiste à récolter des échantillons de sol ou de mousse, en surface sous le couvert végétal.

Les échantillons de mousse quand ils sont possibles sont idéaux car ils représentent la pluie pollinique de quelques années seulement tout en permettant une bonne conservation des grains.

Quand la mousse est absente d'un couvert végétal, les échantillons de sol permettent de se rapprocher le plus possible des conditions de dépôt des grains au cours du temps. Ceux ci sont souvent critiqués car la conservation des grains n'y est pas toujours bonne particulièrement dans les sols dont le pH est supérieur à 5.5. Seuls les sols très acides à faible activité biologique favorisent la conservation des grains.

Un autre facteur est l'épaisseur de l'échantillon récolté. Le laps de temps compris dans la surface récoltée peut être suffisamment long pour inclure un changement de la forêt (ANDERSEN, 1970). La relation "temps écoulé/épaisseur du sédiment" à la surface du sol n'a pas encore été définie en Amérique du Sud. Toutefois les études réalisées en Afrique (BONNEFILLE, communication personnelle) donnent une estimation de 2 cm d'échantillon de surface pour 15 ans environ. Nous avons conservé cette estimation réalisée en milieu tropical lors du prélèvement de nos échantillons.

La définition des relations pollen/végétation et végétation/climat pour une région permet d'aboutir à une troisième relation entre les grains de pollen et le climat; la démarche inverse permettant de retracer un couvert végétal et un climat à partir des résultats d'une analyse fossile.

Ces relations peuvent être exprimées de façon semi-quantitative ou de façon quantitative. Les deux méthodes sont développées parallèlement par de nombreux laboratoires. (LIVINGSTONE, 1968, PARSONS ET PRENTICE, 1981)

A2- RELATION SEMI-QUANTITATIVE

La première méthode ou méthode des analogues relie un spectre pollinique fossile à un spectre pollinique actuel à l'aide de comparaisons avec les analogues palynologiques actuels.

A ces analogues sont associées des données climatiques et pédologiques. Au cours de la reconstitution d'un paléoenvironnement, les résultats palynologiques sont alors traduits en données paléoclimatiques, sans passer par l'étude quantitative de la végétation.

Les données palynologiques actuelles sont définies à l'aide de prélèvements de surface sur les sols des végétations que l'on désire analyser. Le couvert végétal est caractérisé de façon qualitative en procédant à un inventaire des principales espèces et des marqueurs écologiques et est relié à des données climatiques grâce aux valeurs des précipitations.

températures...etc provenant de la station météorologique la plus proche du site d'étude.

En Afrique, des prélèvements sont effectués en forêt montagnarde, savane guinéenne, steppe sahélienne ... Chaque type de végétation est défini par ses marqueurs botaniques et est accompagné d'un inventaire des principales espèces rencontrées.

Les grains de pollen des échantillons de surface sont comptés et la fréquence relative d'un taxon est liée à la définition qualitative du couvert végétal lui correspondant (BONNEFILLE, 1969, 1972, VINCENS, 1982, 1984, BONNEFILLE et al, 1987, ELENGA et al, 1989).

La méthode de prélèvement des échantillons peut consister en la réalisation d'un transect traversant différents types de végétation et permet alors de retracer la distance parcourue par les grains de pollen des espèces anémophiles, ceux-ci sont alors déterminés dans une zone où la plante est absente, ou bien de reconnaître les espèces peu ou pas productives en grains de pollen si celles-ci, enregistrées dans l'inventaire botanique, ne sont pas présentes dans les comptages palynologiques (BONNEFILLE, 1972 en Afrique, BOTTEMA et BARKOUDAH, 1979 en Syrie, SALGADO-LABOURIAU, 1979 au Vénézuéla).

Une autre façon de prélever les échantillons de surface est dite en "mosaïque"; les prélèvements sont effectués au sein d'un couvert végétal homogène (EDORH, 1986 au Togo) ou bien sur des fonds lacustres et ils enregistrent alors les émissions polliniques de la végétation environnante donnant un aperçu plus régional de l'environnement (MALEY, 1972, LEZINE, 1987). Des transects peuvent également être tracés sur la surface du lac afin d'en étudier les courants et de définir le mode de dépôt des grains de pollen (VINCENS, 1982).

Chaque méthode apportant une somme d'informations différentes, doit donc être adaptée au site sur lequel le travail va s'effectuer et au genre d'information que l'on désire obtenir.

Ainsi DAVIS et WEBB (1975) ont examiné des résultats palynologiques provenant de sites dispersés sur des grandes surfaces en Amérique du nord et ont préféré exprimer leurs résultats sous forme de courbe d'isopollen, chaque courbe représentant un cortège pollinique bien défini et se référant à un type de végétation précis. La courbe traduit également la limite d'extension de la pluie pollinique par rapport à sa source, repérée au préalable sur une carte de la végétation actuelle (Fig.4-1).

De tels "isopollen" peuvent être dessinés de la même manière pour des analyses de séquences plus anciennes afin de retracer la limite d'une végétation à une époque antérieure.

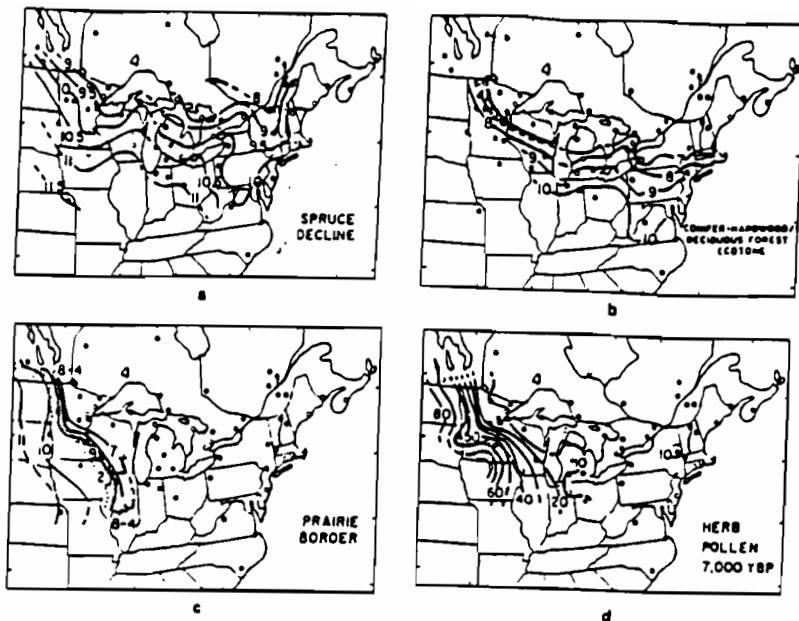


Figure 4-1: Exemple d'étude de la pluie pollinique actuelle: utilisation des courbes d'isopollen et reconstitution d'un paysage du Pléistocène à l'aide des résultats de l'actuel, (DAVIS et WEBB, 1975).

Les résultats dans tous les cas sont exprimés en pourcentage pollinique en face du type de végétation dont ils sont les témoins. La relation pollen/végétation est alors semi qualitative.

Des méthodes numériques sont mises au point afin de traiter ces données de façon générale dans le temps et dans l'espace.

RITCHIE et YARRANTON (1978) ordonnent leurs données fossiles et actuelles sur les axes de 2 analyses des composantes principales distinctes. La juxtaposition des deux graphiques représentant chacun les données distribuées selon un gradient de variables définies au préalable, permet de corréler l'échantillon fossile avec son analogue actuel (Fig.4-2).

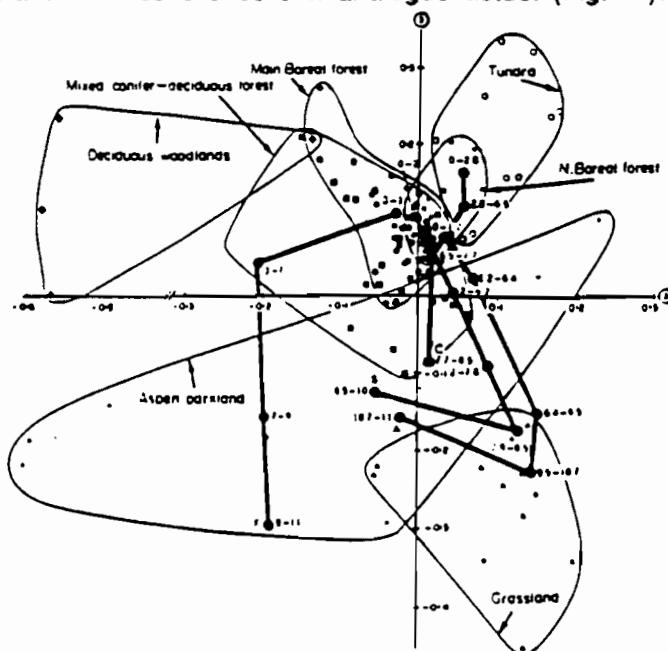


Figure 4-2: Exemple d'étude de la pluie pollinique actuelle: ordination de 110 échantillons de surface provenant de 7 types de végétation du Nord-Canada, (RITCHIE et YARRANTON, 1978).

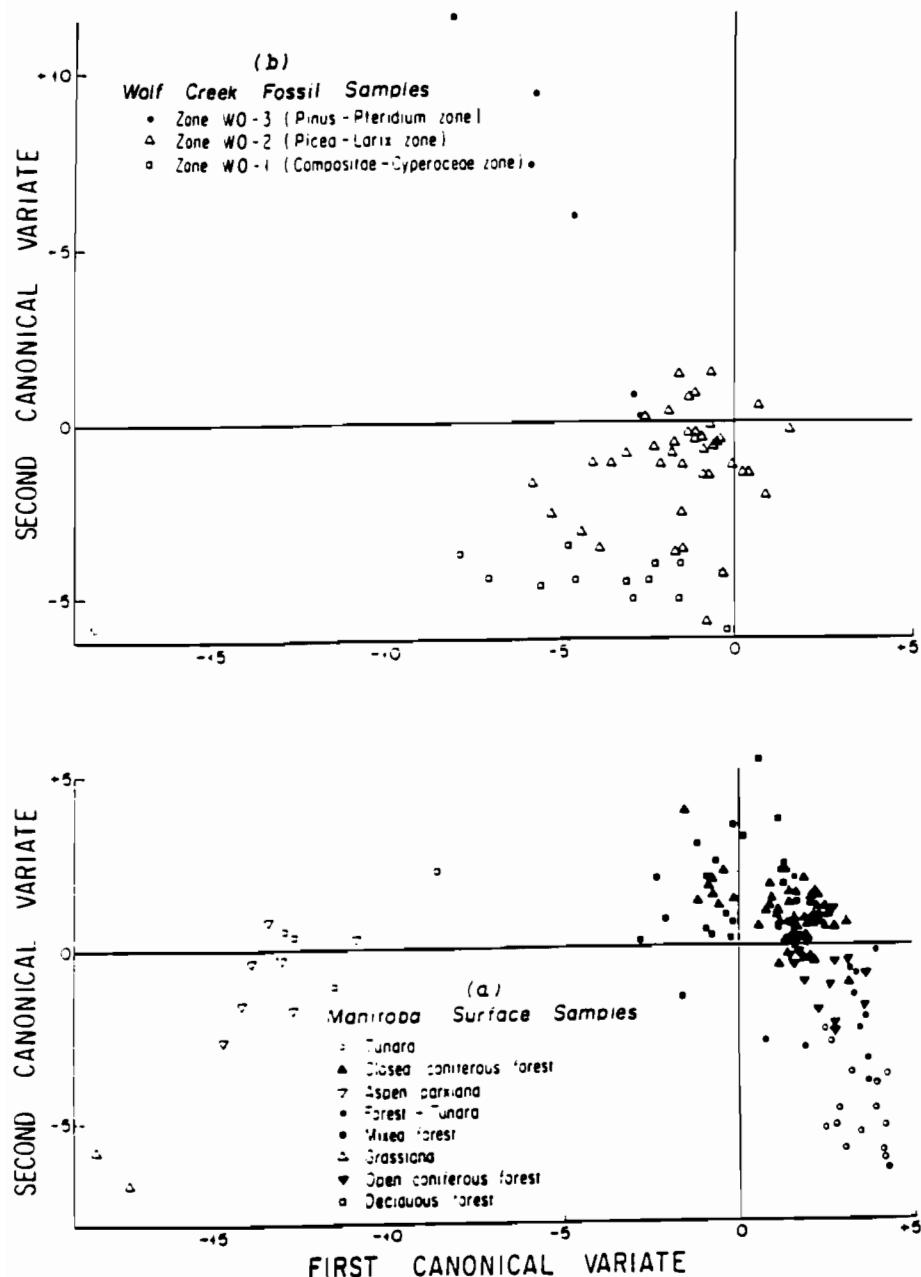


Figure 4-3: Exemple d'étude de la pluie pollinique actuelle: diagramme de dispersion montrant a) la position des échantillons de surface récoltés sur 8 types de végétation du Manitoba sur les 1er et 2nd axes canoniques et b) la position des 58 échantillons fossiles provenant de Wolf Creek (Minnesota) sur les mêmes axes, (BIRKS, 1976).

OVERPECK et al (1985) a recherché un coefficient de similitude mesurant la séparation entre les échantillons actuels et permettant l'identification d'analogues pour les échantillons fossiles.

Les échantillons étant prélevés le long d'un transect, le coefficient de similitude exprime la distance géographique d'un échantillon à un autre.

Plusieurs types de coefficients sont testés au cours de ce travail et à partir de celui montrant les meilleurs résultats, des cartes d'"isopollen" sont dessinées traduisant une représentation régionale de la végétation. Ces "isopollen" sont regroupés ou séparés grâce à leur coefficient de dissimilarité calculé par rapport à un échantillon de référence. La transcription de la variable espace en variable temps se fait facilement et la reconstitution de végétations anciennes est alors possible. L'auteur reconnaît toutefois, qu'en l'absence d'analogie actuel les recherches sont bloquées.

BIRKS (1976) compare numériquement des spectres palynologiques actuels réalisés à partir d'un type de végétation connu et des spectres palynologiques fossiles, à l'aide d'une analyse des variables canoniques. Les échantillons actuels sont distribués sur deux axes ainsi que les échantillons fossiles et les diagrammes sont juxtaposés de la même façon que pour une analyse des composantes principales (Fig.4-3).

GORDON et BIRKS (1974) ont analysé des diagrammes palynologiques provenant du Minnesota (USA), à partir d'une définition des zones palynologiques marquant des changements climatiques et écologiques sur les diagrammes et ceci de la façon la plus objective possible. Une comparaison est ensuite effectuée avec les données actuelles, ainsi qu'entre différents spectres quaternaires afin de déceler d'éventuelles analogies au sein d'une stratigraphie. Trois méthodes numériques ont été utilisées par les auteurs.

La première méthode mesure la variabilité des zones palynologiques entre elles et avec des analogues actuels de référence. La variabilité est calculée à l'aide soit d'un "information radius" soit d'une concordance. Cette méthode dépend du choix des zones; celui-ci étant estimé par le chercheur.

La deuxième méthode compare non pas les zones entre elles mais les niveaux, un par un, le long de la colonne stratigraphique; ces niveaux sont ensuite regroupés en zones régionales avec une contrainte stratigraphique pendant l'analyse.

La troisième façon de procéder est similaire à la seconde mais sans la contrainte stratigraphique. C'est alors la mesure de la dissimilarité qui permet de comparer les niveaux entre eux; les résultats sont représentés sur deux ou trois dimensions.

Des tests statistiques sélectionnent les regroupements offrant le minimum de dissimilarité. Les auteurs vérifient ensuite que les niveaux reliés entre eux mathématiquement ne présentent pas d'aberrations avec les

datations des séquences étudiées. Les résultats obtenus avec les trois méthodes restent très proches les uns des autres.

Les méthodes numériques permettent de comparer deux ou plusieurs zones palynologiques d'un diagramme ou d'une région, selon que l'on considère le facteur temps ou espace. De plus lorsqu'un groupement palyno-écologique est défini, il est alors facile de l'étendre à d'autres régions. Toutefois l'utilisation des analogues suppose une grande similarité entre les échantillons, mais une fois cette condition remplie, elle permet une approche objective de l'interprétation d'un diagramme quaternaire mais reste une méthode semi quantitative (BONNEFILLE et al, 1989, BONNEFILLE et al, 1990).

A3- RELATION QUANTITATIVE

Les études réalisées en palynologie actuelle ont démontré que les pourcentages des grains de pollen calculés à partir d'un total de grains à l'intérieur d'un échantillon ne reflète pas la composition actuelle de la végétation (FAEGRI et IVERSEN, 1975).

D'autres chercheurs vont donc préférer une approche quantitative du problème de façon à exprimer plus rigoureusement les rapports pollen/végétation.

Le principe de cette seconde méthode est d'utiliser toutes les données botaniques (comptages des espèces végétales) et palynologiques (mode de dispersion des grains, maturation de la fleur, comptages des grains de pollen) permettant de déterminer le rapport entre le pourcentage d'un taxon et le pourcentage de l'espèce végétale qui représente la source d'émission des pollens au sein de la végétation.

Ce rapport est appelé R ou R "value". Il est décrit par la formule suivante:

$$R_{ij} = \frac{V_{ij}}{V_{ij} + P_{ij}}$$

V % de la végétation
 P % des grains de pollen
 i le taxon
 j l'échantillon

DAVIS (1963), la première, après avoir défini cette relation en a discuté la validité. Ses travaux ont été réalisés sur une forêt du Vermont (USA), dont les données quantitatives proviennent des relevés effectués par les forestiers et sont exprimées en pourcentage de l'abondance (c'est à dire l'aire basale du tronc de l'espèce considérée) par rapport au total des espèces (somme des aires basales).

A la suite de cette étude, l'auteur exprime les limites de l'utilisation de la "R value" sous forme de quatre remarques:

1-la végétation est constituée de n taxa, tous producteurs de pollens sur le site d'échantillonnage.

2-les individus sont uniformément distribués sur une surface infinie.

3-pour une espèce considérée, le nombre des grains produits est directement proportionnel au nombre de plantes qui les émettent; les proportions varient d'un type à un autre.

4-les pourcentages des grains de pollen sont mesurés sans erreur et sont ainsi des enregistrements précis des pollen déposés sur n'importe quel point de la surface infinie.

Il est évident que dans la nature, tout ceci est loin d'être le cas. Les études qui vont suivre celle de DAVIS vont donc tenter de diminuer les causes d'erreur et d'imprécision possibles de façon à vérifier statistiquement la validité de la relation proposée.

DAVIS (1967) souligne que les "R values" ne sont pas constantes, mais dépendent des associations d'espèces en place; elles varient également en fonction de la fréquence des espèces même dans les cas où les associations végétales sont les mêmes.

LIVINGSTONE (1968) reprend l'idée de DAVIS et l'applique à plusieurs sites de l'Est canadien. Pour un taxon i , une "R value" moyenne est obtenue et autant d'"R value" que de sites étudiés. Ces valeurs sont représentées sur un graphe P/V. Il s'aperçoit que ces valeurs changent selon que la végétation considérée est de type ouverte ou fermée, ainsi qu'avec la taille de la surface analysée et le nombre de grains comptés. L'auteur conclut que cette méthode, malgré ses nombreuses incertitudes, reste la meilleure pour exprimer la relation pollen/végétation à condition de l'affiner (Fig.4-4).

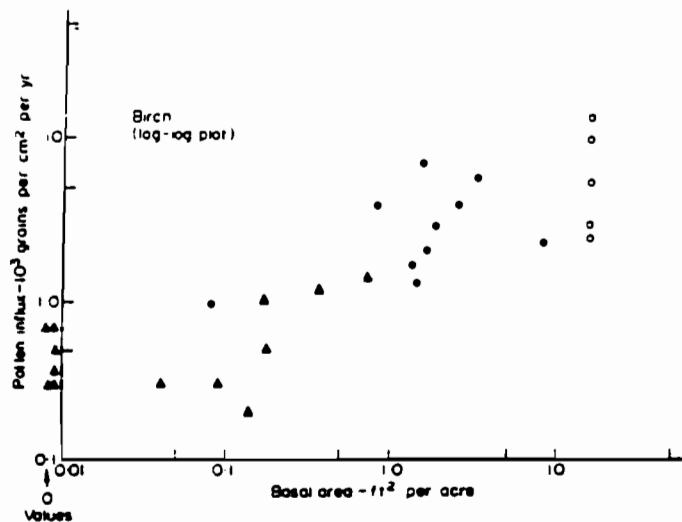


Figure 4-4: Exemple d'étude de la pluie pollinique actuelle: graphique P/V définissant les "R values" obtenues pour chaque site dans le cas du bouleau, (LIVINGSTONE, 1968).

DAVIS et al (1973) reprend la relation et étudie les variations de dépôt des grains de pollen non plus sur un seul site mais sur différents lacs, au sein d'un même lac, entre des régions présentant des végétations similaires ou des régions présentant des végétations différentes.

Une calibration de la "R value" est alors obtenue en reportant sur un graphique P/V toutes les "R value" calculées pour un même taxon sur les différents sites d'échantillonnage. Le diagramme de dispersion permet alors d'observer si une corrélation statistique existe entre ces points de façon à définir alors l'équation de régression qui servira à l'interprétation des diagrammes fossiles en partant du principe que le nombre de grains de pollen comptés sous un couvert végétal actuel est proche de celui déterminé dans un échantillonnage fossile et le rapport exprimé avec des données actuelles est donc applicable aux échantillons fossiles.

Par la suite les recherches vont tenter de résoudre ces problèmes en proposant des solutions adaptées au site analysé, steppe, désert, forêt tropicale ou tempérée, en montagne ou en plaine, lac...

Différents modèles de relevé de végétation sont proposés, à partir de l'aire basale d'un arbre, définissant dans ce cas une relation d'abondance comme DAVIS (1963, DAVIS et al, 1973), HAMILTON et PERROT (1980) BRADSHAW (1981), ou à partir de la densité d'une espèce exprimée en pourcentage de la surface totale du couvert végétal étudié (MARKGRAF et al, 1981), ou encore à partir de "l'Importance Value" ou "I.V.I", qui est la somme des densité, fréquence et abondance relatives d'un taxon (JANSSEN, 1967, WRIGHT et al, 1967), ou également à l'aide de l'estimation de la couverture de chaque espèce projetée sur la surface étudiée selon la méthode de BRAUN-BLANQUET (1951) et utilisée par JANSSEN (1984) et GRABANDT (1985).

ANDERSEN (1970) a étudié dans une forêt tempérée du Danemark des relevés de végétation effectués à l'aide de la mesure des aires basales des arbres ou de l'estimation de la surface de la voute foliaire. L'auteur compare les résultats obtenus et, les variations des résultats étant relativement faibles, il en conclut que la composition de la forêt peut être estimée à l'aide des données des aires basales avec confiance dans le cas d'une forêt dense et avec quelques précautions dans le cas de forêts plus ouvertes.

Ces relevés de végétation sont effectués sur des surfaces délimitées au sein d'une végétation (DAVIS, LIVINGSTONE précédemment cités) ou le long de transects recouvrant un ou plusieurs types de végétation (JANSSEN, WRIGHT, GRABANDT déjà cités).

Les grains de pollen sont récoltés par des prélèvements de surface ou des pièges à pollen disposés à 1 mètre du sol. HAMILTON et PERROT (1980) remarquent que les résultats obtenus ne présentent pas de différence notable pour l'une ou l'autre méthode.

Les problèmes de sous ou sur-représentation des grains sont analysés de façon détaillée par certains auteurs tels WRIGHT, (1967), HAMILTON et PERROT (1980). Ils comparent les pourcentages des grains de pollen et des arbres associés sur des sites à végétation ouverte ou à relief accidenté, ainsi que la distance parcourue par un taxon ou sa dispersion par rapport à sa source d'émission. Ceci a été étudié par HAMILTON ET PERROT

(1980) en Afrique, GRABANDT (1985) en Colombie, HEUSSER (1983) en Californie (USA).

JANSSEN (1967,1984) après avoir étudié 4 types de végétation du Minnesota (USA) ne parvient pas à obtenir de résultat satisfaisant pour un site présentant une plus forte concentration de végétation basse à herbacées et buissons. La "R value" ne lui paraît pas valable dans ce cas et il tente de définir d'autres facteurs pouvant caractériser la relation pollen/végétation.

A la suite de sa première analyse en 1967, il parvient aux conclusions suivantes:

1-les forêts sont reconnaissables à partir des pourcentages polliniques.

2-le rapport P/V exprimant le degré de représentation d'un type palynologique est différent d'une région à une autre.

3-dans des régions ayant la même topographie les rapports varient dans certaines limites telles que l'utilisation de facteurs de correction pour quelques groupes de pollen reste possible.

4-les rapports sont plus faibles quand l'arbre est abondant dans la forêt et plus élevés quand l'arbre n'est pas abondant ou situé hors de la forêt.

Selon JANSSEN, (1973, 1984), les relations définies dans la forêt ne pouvaient donc servir à l'interprétation d'un diagramme palynologique élaboré à partir d'analyses de sédiments d'un lac situé dans une zone à végétation ouverte; l'auteur a alors défini 4 groupes palynologiques à partir d'une étude réalisée le long de transects sur toute la région du Lac Myrtle. Ces groupes se distinguent les uns des autres par leur distance de dispersion, c'est à dire la distance parcourue par le grain de pollen de la source au point d'échantillonnage.

1-dépôt local

2-dépôt extra-local

3-dépôt régional

4-dépôt extra régional

La source d'émission est exprimée en terme d'abondance (aire basale) et de couverture (% de la surface occupée par l'espèce considérée sur l'unité d'échantillonnage) (Fig.4-5).

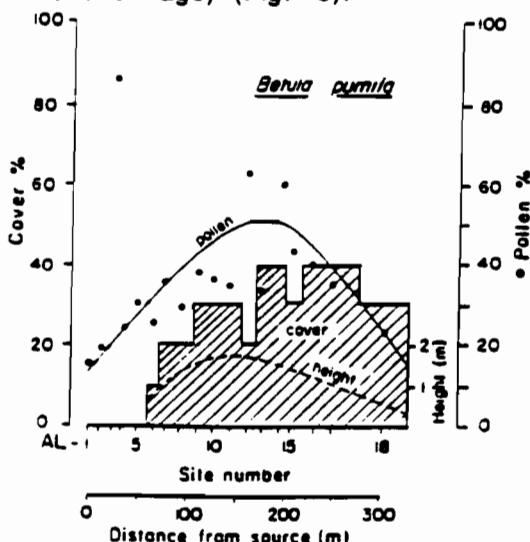


Figure 4-5: Exemple d'étude de la pluie pollinique actuelle: dispersion des grains en milieu ouvert, cas de Betula pumila. (JANSSEN, 1984)

Ces 4 groupes définis dans l'espace sont ensuite faciles à retrouver dans le temps lorsqu'il s'agit d'interpréter un diagramme quaternaire.

Dans le cas où la "R value" est conservée, des chercheurs ont analysé statistiquement les banques de données de façon à en minimiser les incertitudes.

WEBB et al. (1981) reprend l'équation en introduisant un modèle de régression linéaire des pourcentages palynologiques contre les pourcentages botaniques et en décrit les conditions d'application mathématique.

Les taxons marqueurs principalement représentés dans la végétation sont définis puis, à l'aide d'un diagramme de dispersion, la relation pollen/végétation est étudiée. La sous ou sur représentation des taxa peut être définie, les points sortants étant écartés, et les paramètres de la régression linéaire sont calculés pour chaque taxon qui est ainsi caractérisé de façon mathématique.

Des facteurs d'erreur sont analysés comme par exemple la taille des lacs où les échantillons sont récoltés et des précautions sont donc à prendre en compte avant de déterminer des facteurs de correction. Une telle méthode a été appliquée par GRABANDT (1985) (Fig.4-6).

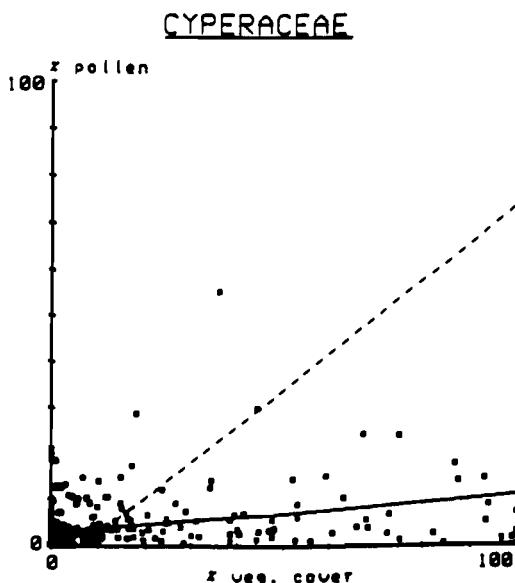


Figure 4-6: Exemple d'étude de la pluie pollinique actuelle: diagramme de dispersion des pourcentages de la somme totale des pollens et des pourcentages du total des arbres et tracé de la droite de régression, (GRABANDT, 1985).

Pour PARSONS et PRENTICE (1981) les sources d'erreur proviennent du manque de démarches statistiques adéquates et de banque de données valables.

Trois approches statistiques du problème sont proposées après avoir discuté le modèle mathématique de la "R value":

- la première propose de détecter les variations de la représentation pollinique d'un site à un autre et d'identifier les groupes de sites présentant une "R value" similaire à l'aide d'un classement hiérarchique et d'une analyse des composantes principales.

- la deuxième approche obtient des estimations de la vraisemblance maximale des "R values".

- la troisième établit des estimations des facteurs de représentations et des coefficients de déplacement des grains de pollen (background) pour chaque taxon à partir de l'équation de base; cette approche essaie de caractériser la relation linéaire entre les pourcentages des grains de pollen et de la végétation. Le point d'intersection de la droite de régression avec l'axe des Y caractérise le transport des grains par rapport à leur source.

Ces trois approches suppriment une grande partie des problèmes statistiques posés par l'utilisation des "R values" mais l'hétérogénéité de la végétation et les transports différentiels des grains de pollen continuent de limiter les reconstitutions précises de la végétation.

D'autres auteurs ont fait appel à des méthodes n'utilisant pas le rapport P/V, afin de calibrer les spectres fossiles en fonction des résultats de l'actuel qui expriment la relation pollen-végétation d'une autre manière.

A partir d'échantillons de surface récoltés le long d'un transect traversant différentes zones de végétation de l'Argentine, MARKGRAF et al (1981) analyse la relation pollen-végétation à l'aide d'une analyse des composantes principales et d'un classement hiérarchique. Le couvert végétal est exprimé en densité, nombre d'individus sur une unité de surface, pour chaque espèce et les calculs sont effectués à partir des pourcentages. Les données sont ensuite analysées en fonction de leur covariance et de leur similarité. Le classement hiérarchique fait apparaître le degré d'affinité et la mesure de la similarité à l'intérieur d'un groupe de données en établissant une configuration hiérarchique de celles-ci, l'analyse des composantes principales les sépare en deux groupes opposés, après les avoir converties en données standard, traduisant la déviation des variables par rapport à la moyenne. Trois ensembles sont alors séparés en fonction de leur pourcentage de variance.

Le passage à l'interprétation d'un diagramme fossile se fait à l'aide d'une régression des principales variables établies selon le modèle précédent pour les grains de pollen actuels et fossiles. Une mesure graphique de la similarité entre les modèles actuels et passés est alors exprimée.

HEUSSER (1983) sur des végétations de la Californie et de l'Orégon préfère établir la covariance des échantillons à l'aide d'une analyse du mode Q. Là encore l'auteur a récolté des échantillons de surface sur des sites répartis en fonction des zones de végétation.

Les fréquences moyennes des principales espèces végétales et de leurs grains de pollen associés sont comparées afin de définir au préalable les relations pollen-végétation, notamment la représentation des espèces en terme de pollen et la dispersion des grains par rapport à la source qui les produit. L'auteur regroupe ensuite les types polliniques ayant une distribution spatiale et un signal de représentation de la végétation similaires à l'aide d'une analyse "Q-mode factor" (Fig.4-7).

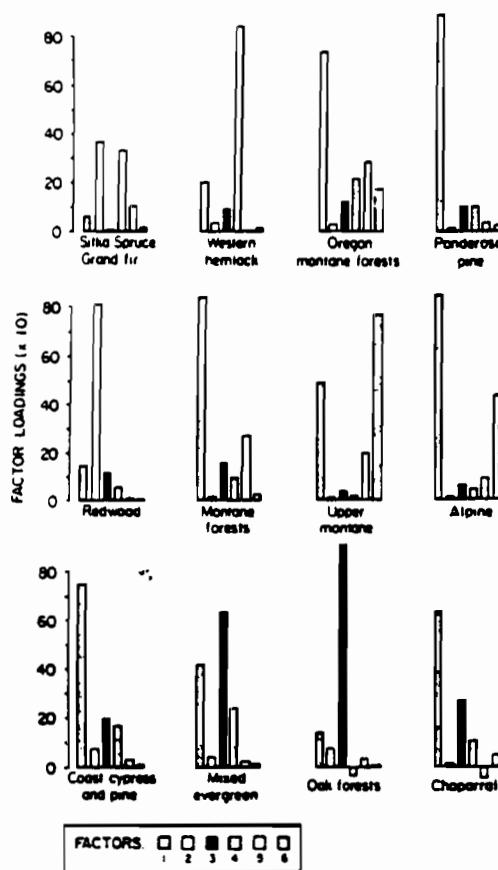


Figure 4-7: Exemple d'étude de la pluie pollinique actuelle: analyse suivant le mode Q, "signature palynologique" des principaux groupes de végétation de Californie et d'Oregon-les facteurs 1 à 6 représentent les différentes espèces d'arbre- (HEUSSER, 1983)

Six groupes de variables covariantes ou six facteurs sont identifiés. Ces variables sont ensuite transposées au niveau des zones de végétation analysées afin d'observer leur variation d'un type végétal à un autre: l'auteur les appelle "signatures palynologiques". A la lumière des résultats obtenus, une restriction est observée pour l'application de cette méthode. En effet trois types végétaux différents écologiquement ne présentent pas de

différences dans leur spectre pollinique, les "signatures palynologiques" sont les mêmes. Les assemblages polliniques de ce type de végétation ne sont donc pas correctement identifiés à l'aide de l'analyse de mode Q. La restriction se fait au niveau des taxa ne pouvant être distingués génériquement ou spécifiquement. L'auteur préconise l'utilisation d'autres outils statistiques afin d'obtenir une différenciation basée sur d'autres composantes mineures des données.

Les recherches dans ce domaine sont donc loin d'être achevées car une solution définitive n'est pas encore proposée.

Nos travaux se situent parmi ces interrogations à propos de la relation pollen/végétation.

Des méthodes appliquées à la région étudiée sont proposées. Les limites de ces méthodes seront définies et permettront d'envisager un nouvel axe de recherche ou au contraire de conserver celui-ci en précisant les modifications à apporter.

B- Analyse numérique des données du Brésil central

B1-LA REGRESSION LINEAIRE

B1-1 Introduction

Malgré les problèmes évoqués par Flenley (1973) à propos des difficultés que représente l'étude numérique d'un couvert végétal tropical, mais dans le seul but de tester une méthode d'étude de la relation pluie-pollinique /végétation et d'en définir les limites dans le cas du Brésil central, nous avons choisi d'appliquer une régression linéaire à la série de données obtenues avec nos échantillons .

Rappelons tout d'abord ce qu'est la régression linéaire afin de mieux en comprendre son attrait et ses possibilités notamment lors du passage de l'actuel vers le fossile. Cette méthode a été utilisée et développée par ANDERSEN (1970), WEBB et al (1981), PARSONS et PRENTICE (1983) et PRENTICE (1985).

La régression linéaire est une technique servant à analyser les relations entre les variables (DRAPER et SMITH,1981). Dans ce cas elle est utilisée pour analyser la relation entre l'abondance d'une espèce dans la végétation et le nombre de grains de pollen de cette même espèce dans la pluie pollinique (WEBB et al, 1981). Elle permet alors d'estimer la variable dépendante (la végétation) par l'observation de la variable indépendante (les grains de pollen).

La première analyse de la relation végétation/pollen est appelée calibration: la droite est d'abord calibrée pour être utilisée ensuite dans une estimation.

Cette calibration est utilisée pour interpréter les résultats d'une analyse fossile: à partir de la quantité de grains de pollen présents dans un échantillon est calculé la quantité d'arbres (ou d'herbacées) qui les a produits.

Les grains de pollen sont enregistrés sous forme de pourcentage pollinique par rapport au total des grains de l'échantillon et les espèces botaniques sous forme de pourcentage de l'aire basale des arbres composant la végétation dans laquelle nous travaillons, calculé par rapport au total de l'aire basale du relevé phytosociologique.

B1-2 Analyse des échantillons de surface

40 espèces ont été retenues: celles-ci devaient être présentes dans au moins 5 des 11 sites analysés et à la fois sous forme pollinique et botanique.(Tableau)

L'équation de base de la régression est:

$$P=cst + rV \quad (1)$$

avec P % grains de pollen
V % aire basale
dans le cas d'une analyse de
la
relation pollen/végétation

si $r > 1$ alors $P > V$, les pollens sont sur-représentés par rapport à la végétation qui les produit.
si $r = 1$, $P = V$, pollens et végétaux sont également représentés.
si $r < 1$, $P < V$, les pollens sont sous-représentés; les espèces végétales sont plus abondantes.

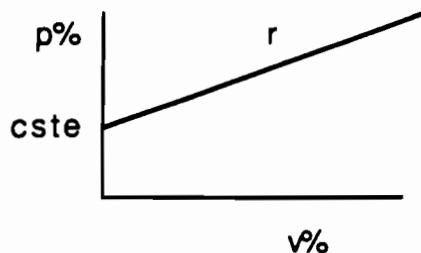
3 modèles sont possibles à partir de cette équation (1)

1-Dans le premier cas,l'équation est conservée.

La constante exprime alors le déplacement des grains par rapport à leur source.

r est la R "value" décrite dans le chapitre précédent. C'est le coefficient exprimant la relation entre les grains de pollen et leur source d'émission, utilisé lors de la calibration lorsque l'on définit les variables de l'environnement à partir des données fossiles.

Graphiquement ce premier cas est représenté de la façon suivante



la constante exprime le déplacement des grains par rapport à leur source.

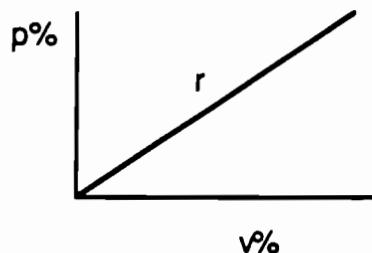
En anglais ce déplacement est aussi appelé "background value".

2-dans le deuxième cas, la constante est égale à 0;l'équation (1) devient alors

$$P=rV$$

il n'y a pas de déplacement des grains; ceux-ci se déposent à proximité de leur source.

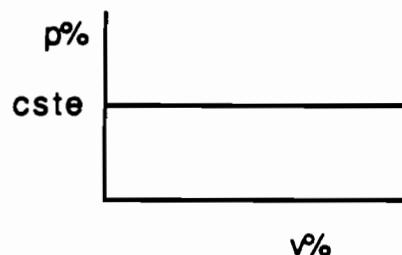
graphiquement ceci se traduit par:



la droite de régression passe par l'origine.

3-dans le troisième cas $P=\text{constante}$; il n'y a alors pas de relation entre les pollens et leur source

Graphiquement nous obtenons



Les trois cas de figure sont obtenus avec nos échantillons (Annexe 4).

il est alors tentant d'en tirer des conclusions concernant la relation pollen/végétation pour chaque espèce, c'est à dire la production de grains par espèce ainsi que le déplacement éventuel de ces grains de pollen par rapport à leur source.

B1-3 Résultats de la méthode

Par exemple, nous pourrions conclure que *t.Trichilia*, *Pterodon*, *Pseudobombax/Eriotheca*, *Mimosaceae*, *Ilex* et *Byrsonima* présentent des bonnes droites de régression permettant de passer au stade de la calibration, que les *Moraceae* ont une pluie pollinique constante, indifférente à la quantité d'arbres qui les émet.

Mais rappelons que ceci n'a été réalisé que dans l'objectif de tester une méthode et non pas dans le but de fournir des conclusions précises quant au comportement pollinique des espèces.

Car les limites de notre recherche sont dûes à deux types de problème.

Premièrement les problèmes techniques dûs:

- au petit nombre d'échantillons disponibles
- à la dispersion des échelles de valeur le long des axes
 - par exemple *Asteraceae* V: de 0 à 2%
 - P: de 0 à 30%

-dans la plupart des cas, les points sont concentrés à l'origine, mis à part un ou deux situés vers le haut de la droite. La droite de régression tracée ne fait alors que rejoindre deux zones de points situées aux extrémités du plan; il nous manque des valeurs intermédiaires afin de vérifier la direction de cette droite.

Un deuxième problème est lié à la région d'étude (les basses terres tropicales) qui agit sur la dispersion des grains, ainsi que sur le mode de dispersion de ces grains.

En effet les régressions linéaires ayant abouties à des résultats positifs ont été réalisées dans les régions tempérées du globe, (ANDERSEN, 1970), où les espèces sont peu nombreuses et les marqueurs anémophiles abondants (*Betula*, *Alnus*, *Picea...*) ou dans les régions tropicales montagneuses, comme les Andes colombiennes (GRABANDT, 1980, 1985a) où les marqueurs anémophiles se dispersent alors selon un gradient altitudinal facilement quantifiable.

Dans le cas du Brésil central, il n'existe pas de gradients altitudinaux, les espèces présentes sont très abondantes et les grains de pollen ne sont pas dispersés par le vent (Tableau 3-1) sauf dans le cas des Gymnospermes de la forêt d'araucaria avec *Araucaria* et *Podocarpus*; les grains de pollen des herbacées telles que les Graminées et les Cyperacées, à dispersion anémophile ne peuvent servir d'espèces de référence car elles sont très productrices de pollen et apparaissent dans des types de végétation dont l'écologie peut être très différente.

Les grains de pollen de nombreuses espèces sont dispersés par les insectes, les oiseaux ou les mammifères. Une relation quantitative entre les

grains de pollen et la végétation est alors difficile à obtenir, puisque ce que l'on quantifiera alors sera la quantité d'insectes, d'oiseaux ou de mammifères vivants dans la forêt. La végétation ne sera quantifiée que de façon indirecte et ceci ajoute une source d'erreur supplémentaire à l'analyse statistique.

B2- L'ANALYSE DES COMPOSANTES PRINCIPALES

B2-1 *Introduction*

La première approche, empirique, nous a permis de définir des taxons marqueurs pour chaque unité de végétation à partir des pourcentages des grains de pollen et des aires basales des arbres relevés sur les sites.

Nous avons vu également, lors de l'interprétation du spectre pollinique (Fig.4-8) que les plantes caractéristiques de la végétation ne peuvent pas être utilisées directement comme marqueurs palynologiques sans une calibration préalable des données.

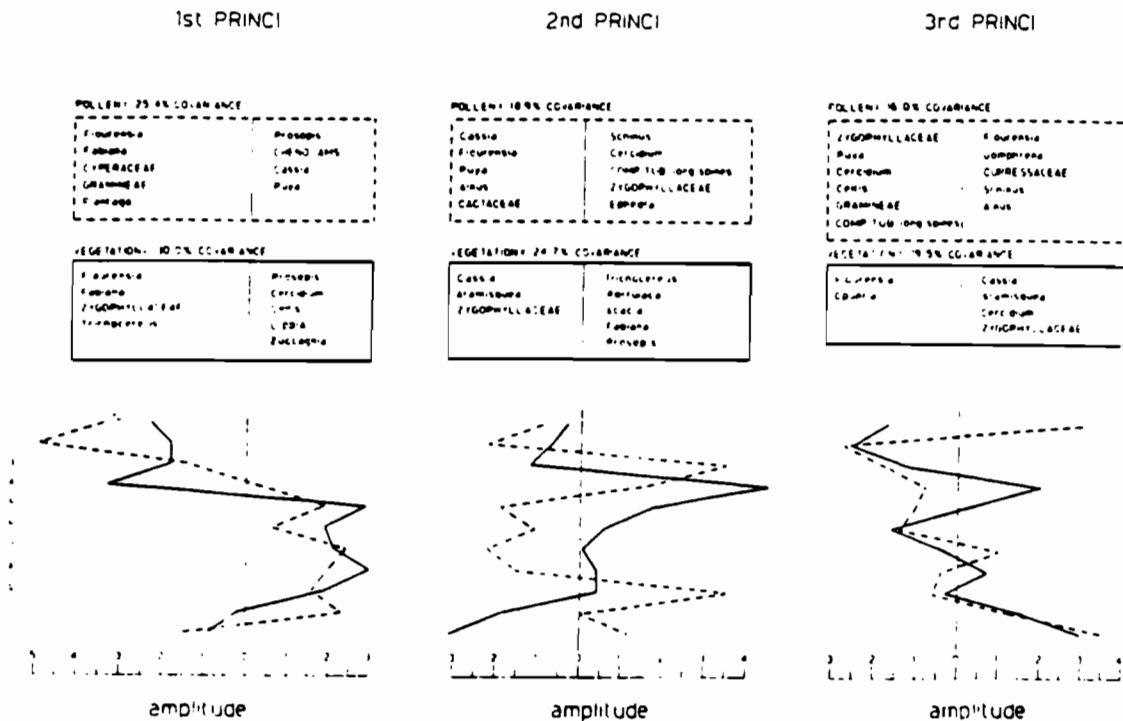


Figure 4-8: Amplitude des vecteurs propres pour les trois premières composantes principales pour les pollens (---) et la végétation (—) des échantillons provenant du transect Azampay (Argentine) d'après Markgraf et al (1981).

De plus nous avons pu observer qu'il n'est pas possible d'obtenir la relation pollen/végétation de façon directe avec la régression linéaire; mais il est encore possible d'ordonner les grains de pollen en terme de types de végétation; les taxons ne sont plus observés un par un, mais par combinaison de plusieurs taxons formant une unité ou un type de végétation. Il s'agit alors de l'ordination.

Cette méthode a été utilisée et développée par MARKGRAF et al (1981). C'est à partir de cette étude que nous avons traité nos données du Brésil Central.

Avec cette deuxième approche, grâce à l'utilisation des techniques numériques et statistiques qui analysent les données indépendamment de leurs pourcentages mais sur la base de leur covariance et de leur similitude, nous pouvons traiter une grande quantité d'informations; l'intérêt d'une telle méthode dans le cas de l'étude des forêts tropicales, très riches en espèces végétales, est évident car la recherche est alors davantage focalisée sur les combinaisons d'espèces et non plus sur le comportement d'une seule espèce en particulier comme c'est souvent le cas dans les études portant sur les régions tempérées (BIRKS, 1976, 1980, BIRKS et al, 1975, PRENTICE, 1985).

L'ordination donne une image plus globale de la relation des espèces avec leur environnement; les sites sont ordonnés le long des axes des composantes principales, à partir de leur composition respective en espèce. Les sites et les espèces sont représentés par des points dans un espace à deux dimensions, de telle façon que les points proches les uns des autres correspondent aux sites proches par la composition des espèces qui les caractérisent.

B2-2 Analyse des échantillons de surface

Toutes les espèces ont donc été analysées ensemble de façon à garder les contraintes du milieu tropical; le programme utilisé pour l'analyse des composantes principales est CANOCO, écrit par TER BRAAK (JONGMAN et al, 1987) et utilisé à l'Université d'Amsterdam au laboratoire Hugo de Vries. Les programmations de cette analyse ont été réalisées par HENK WITTE du laboratoire Hugo de Vries.

Les données de départ (pourcentages des taxons calculés par rapport au total des grains) sont d'abord converties en scores standard en exprimant les scores de chaque variable comme une déviation de la moyenne respective des variables. A partir de ces données standardisées, les coefficients de corrélation de Pearson sont obtenus pour chaque paire de grains de pollen de la matrice de corrélation.

L'analyse des composantes principales de la matrice de corrélation produit trois groupes de données utiles pour l'interprétation des données de la palynologie: les valeurs propres, les vecteurs propres et les amplitudes.

Les variables dans cette étude sont les taxons botaniques (en pourcentage de l'aire basale totale des espèces végétales) ou palynologiques (en pourcentage du total des grains).

Chaque vecteur propre est représenté par deux groupes opposés de variables covariantes. L'opposition résulte du signe positif ou négatif précédant la valeur numérique attribuée à chaque variable et décrivant sa déviation positive ou négative par rapport à la moyenne.

Ainsi la première composante principale groupe les types de pollen montrant le plus fort pourcentage de variance à l'intérieur de la banque de données en un groupe positif et négatif de types covariants.

Après que ce premier ensemble soit établi, la deuxième composante principale regroupe les types ayant le deuxième plus fort pourcentage de variance en deux groupes opposés et ainsi de suite jusqu'à ce que cette variance ne soit plus significative. Les analyses s'arrêtent en général à la troisième composante principale.

Une analyse des composantes principales a donc été réalisée sur les trois unités écologiques principales du Brésil central: le cerrado, la forêt d'araucaria et la forêt mésophile semidécidue; le cerradão est associé au cerrado et la forêt galerie à la forêt mésophile.

Tous les taxons identifiés sont considérés sur la même base sans donner plus de poids à certains types plus caractéristiques que d'autres, et les trois premières composantes principales couvrant une variance totale de 43% pour les pollens et de 50% pour la végétation montrent une signification écologique suffisante.

B2-3 Définition des marqueurs polliniques et botaniques

Les résultats de l'analyse des composantes principales sont illustrés par les valeurs d'amplitude

Les valeurs d'amplitude indiquent l'affinité respective de chaque observation (les sites) avec les groupes de plantes ou de pollen.

Trois groupes de sites sont analysés:

-un premier groupe avec les sites 1 à 6 caractérisant les cerrados

-un deuxième groupe avec le site 7 correspondant à la forêt d'araucaria

-un troisième groupe avec les sites 8 à 11 caractérisant les forêts humides du Brésil central (forêt galerie et forêt semidécidue)

Les résultats sont représentés sur les figures 4-9.

Les variations d'amplitudes de la végétation sont superposées aux variations d'amplitudes de l'analyse palynologique des échantillons de surface.

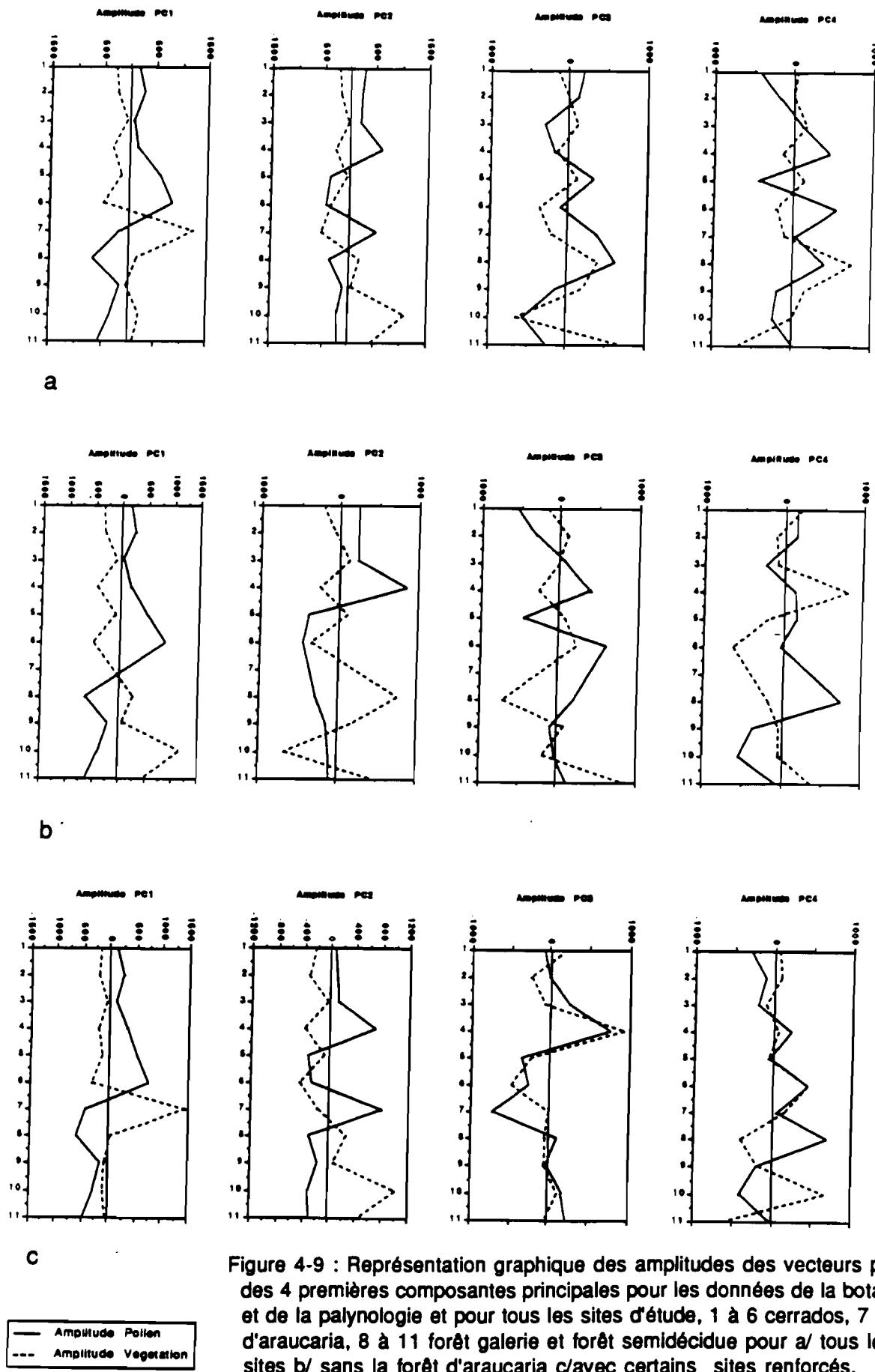


Figure 4-9 : Représentation graphique des amplitudes des vecteurs propres des 4 premières composantes principales pour les données de la botanique et de la palynologie et pour tous les sites d'étude, 1 à 6 cerrados, 7 forêt d'araucaria, 8 à 11 forêt galerie et forêt semidécidue pour a/ tous les sites b/ sans la forêt d'araucaria c/avec certains sites renforcés.

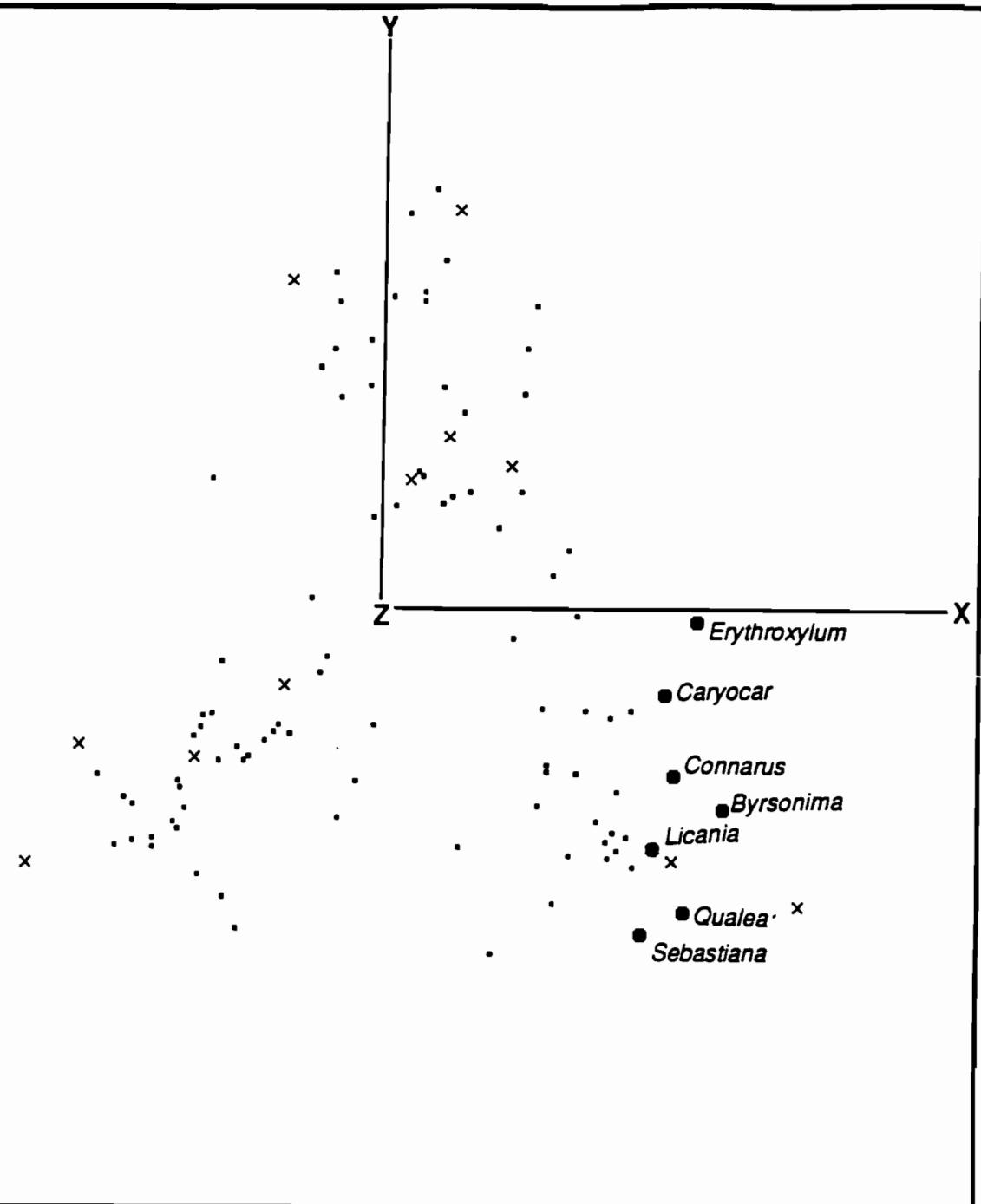


Figure 4-10: Résultats de la première composante principale réalisée avec les données de la palynologie. Répartition des marqueurs du cerrado définis à l'aide des valeurs d'amplitude calculées pour tous les sites.

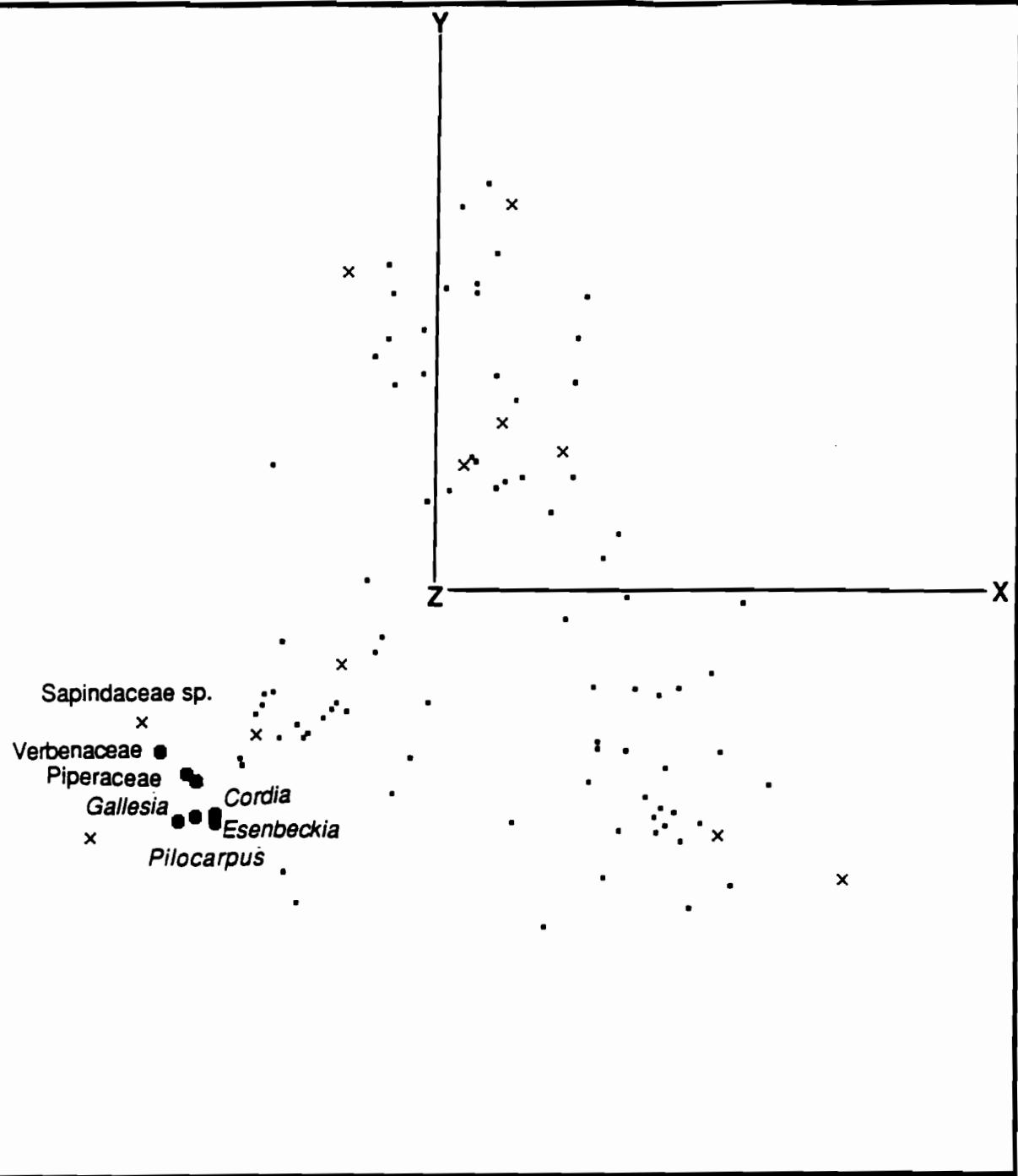


Figure 4-11: Résultats de la première composante principale réalisée avec les données de la palynologie. Répartition des marqueurs des forêts définis à l'aide des valeurs d'amplitude calculées pour tous les sites.

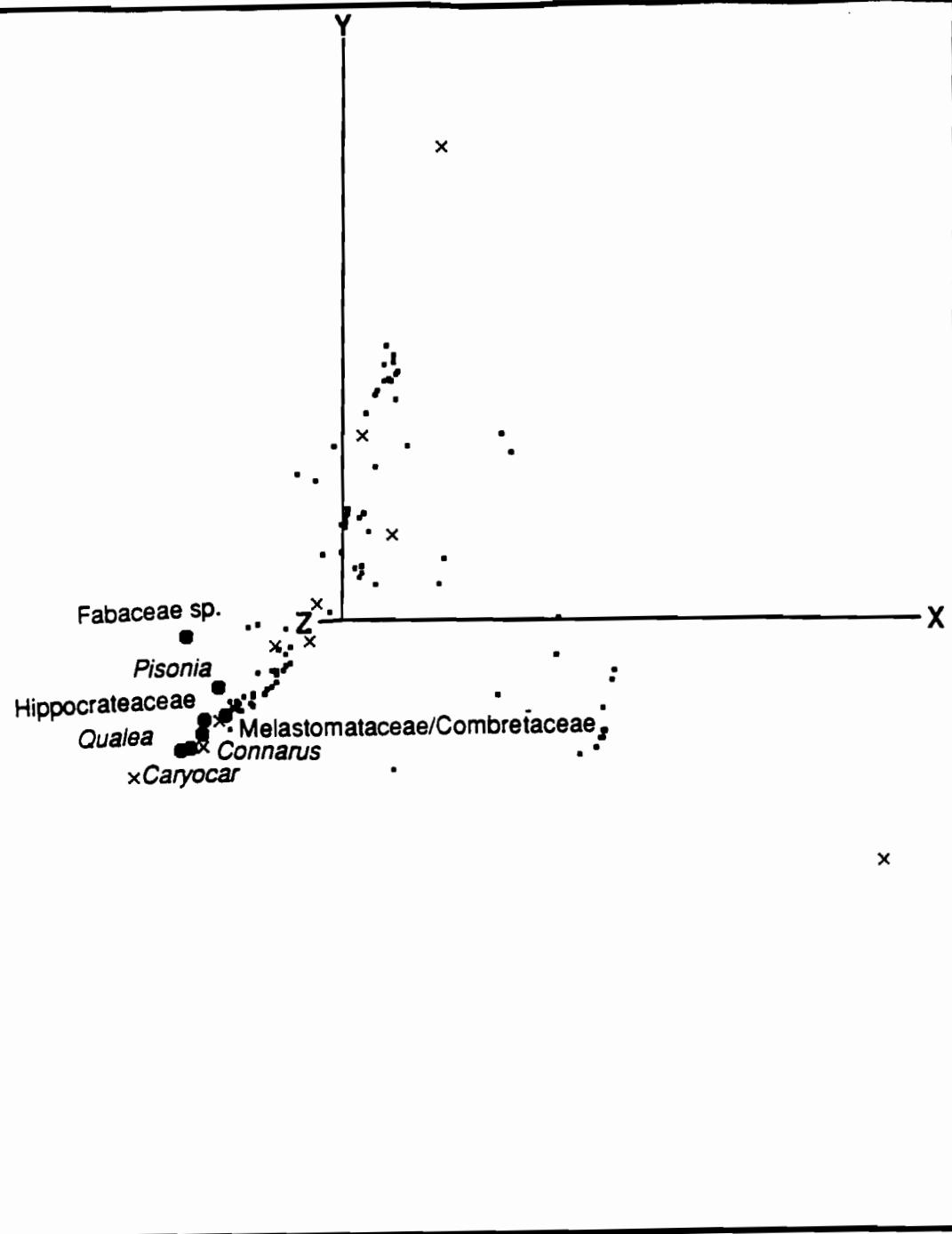


Figure 4-12: Résultats de la première composante principale réalisée avec les données de la botanique. Répartition des marqueurs du cerrado définis à l'aide des valeurs d'amplitude calculées pour tous les sites.

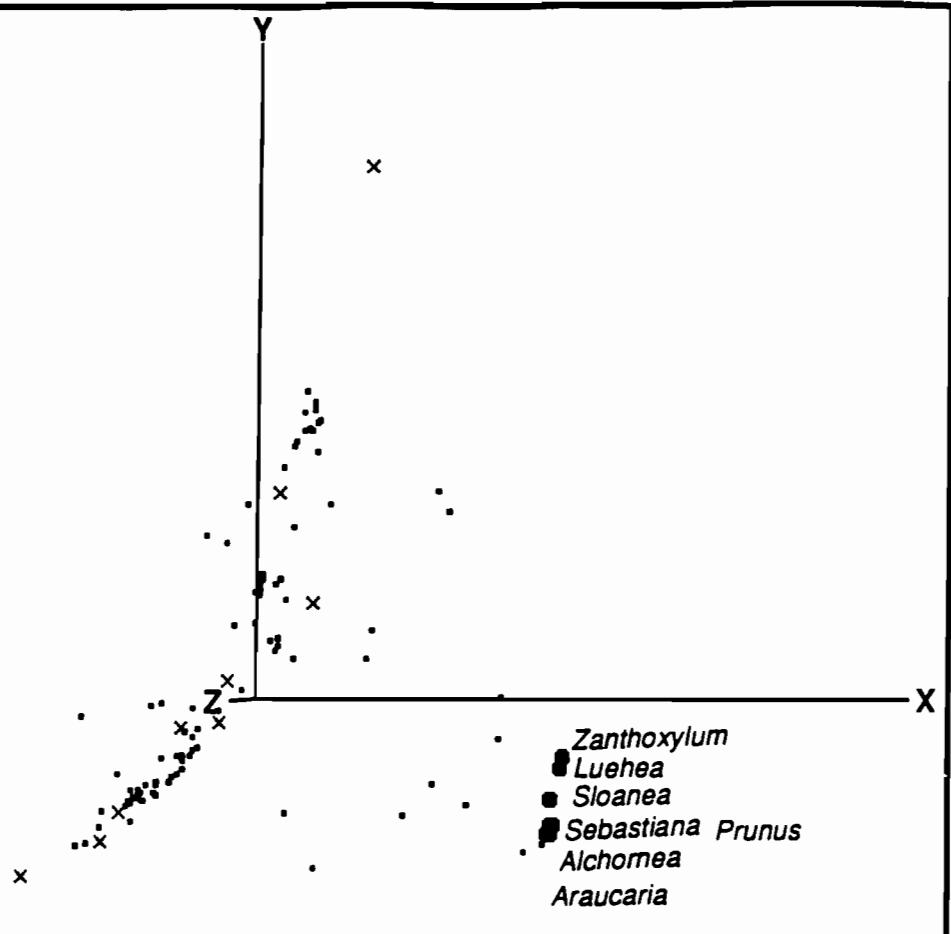


Figure 4-13: Résultats de la première composante principale réalisée avec les données de la botanique. Répartition des marqueurs des forêts définis à l'aide des valeurs d'amplitude calculées pour tous les sites.

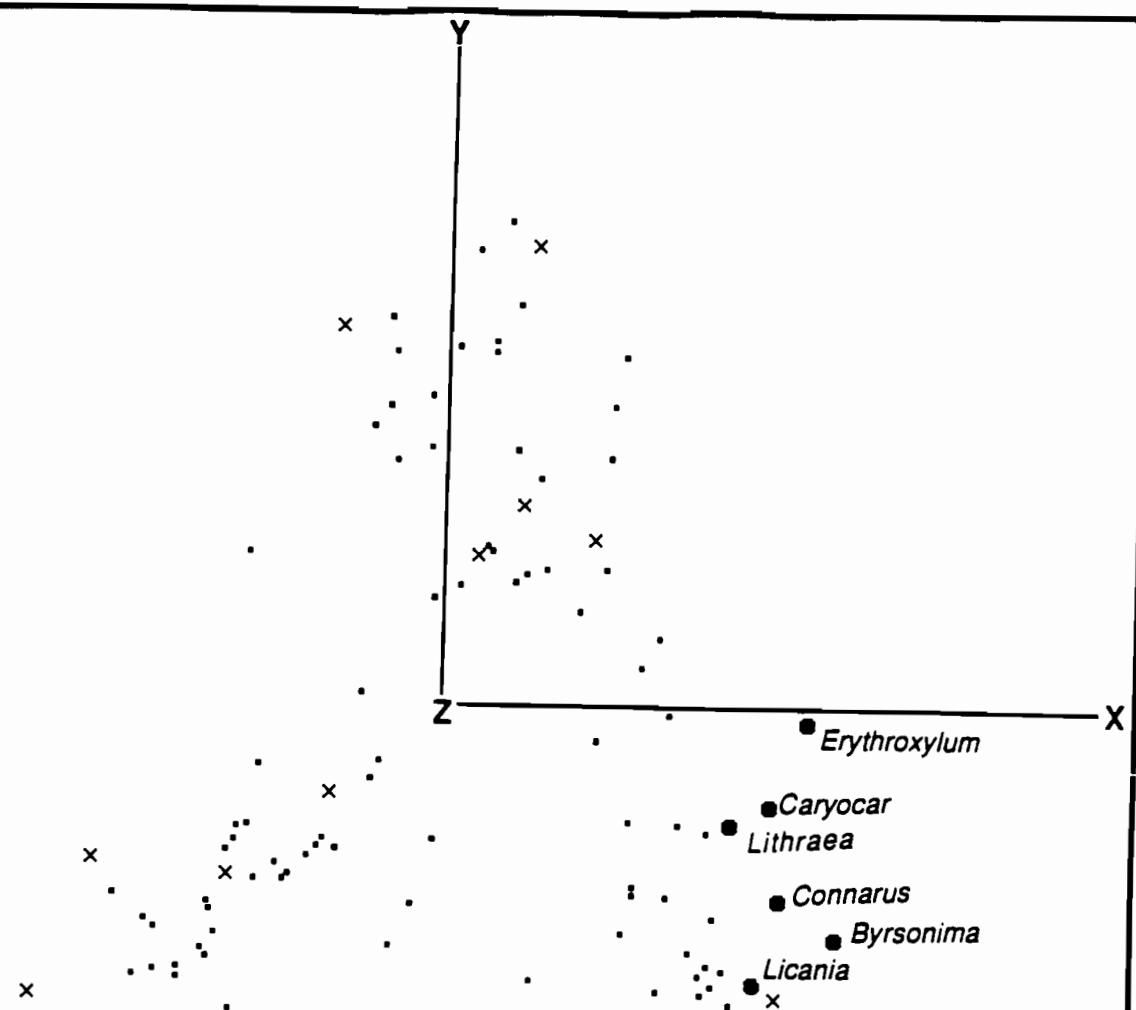


Figure 4-14: Résultats de la première composante principale réalisée avec les données de la palynologie. Répartition des marqueurs du cerrado définis à l'aide des valeurs d'amplitude calculées pour tous les sites sauf la forêt d'araucaria (7).

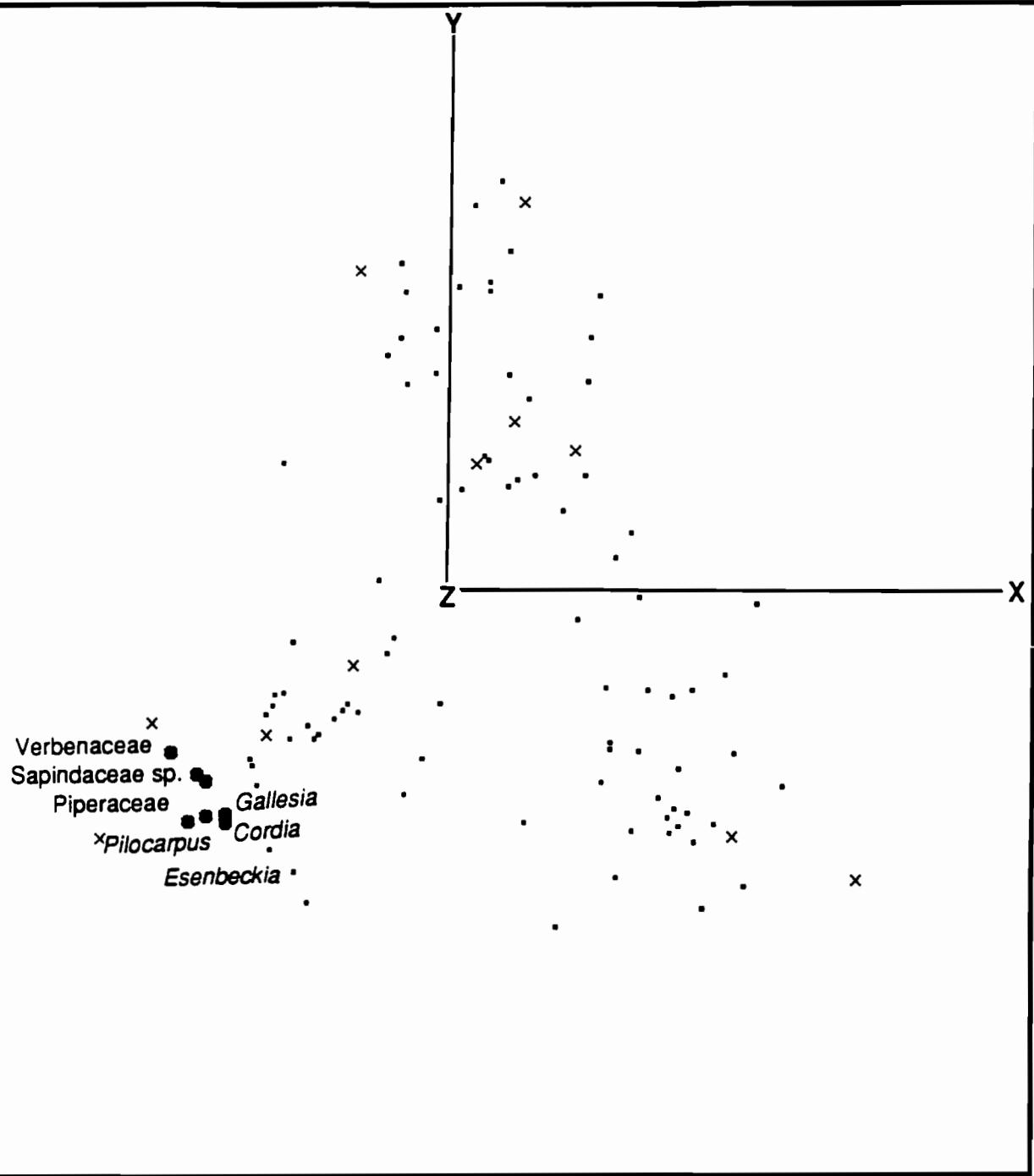


Figure 4-15: Résultats de la première composante principale réalisée avec les données de la palynologie. Répartition des marqueurs des forêts méso-philes semi-décidue et galerie définis à l'aide des valeurs d'amplitude calculées pour tous les sites sauf la forêt d'araucaria (7).

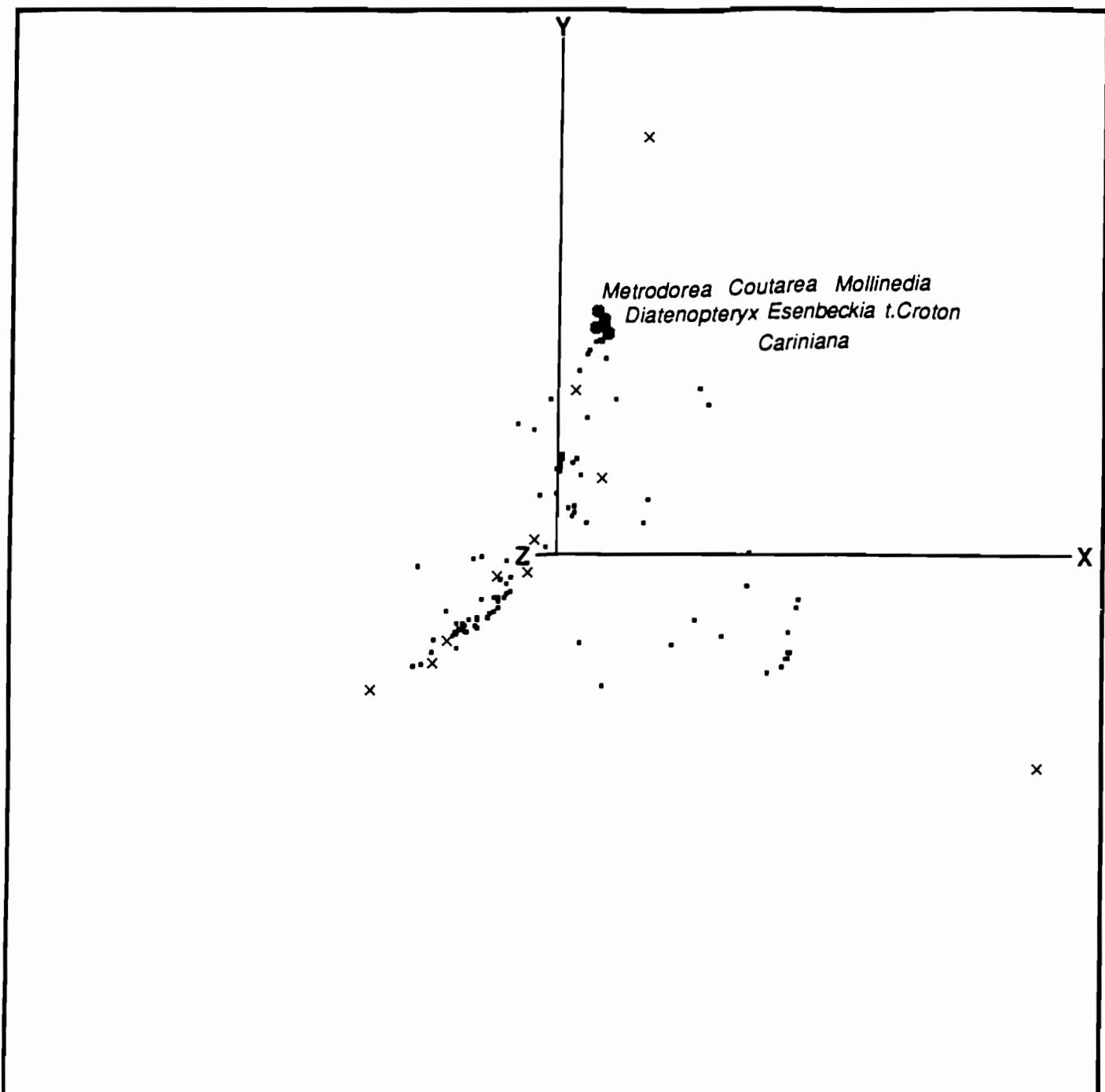


Figure 4-16: Résultats de la première composante principale réalisée avec les données de la botanique. Répartition des marqueurs des forêts méso-philes semi-décidue et galerie définis à l'aide des valeurs d'amplitude calculées pour tous les sites sauf la forêt d'araucaria (7).

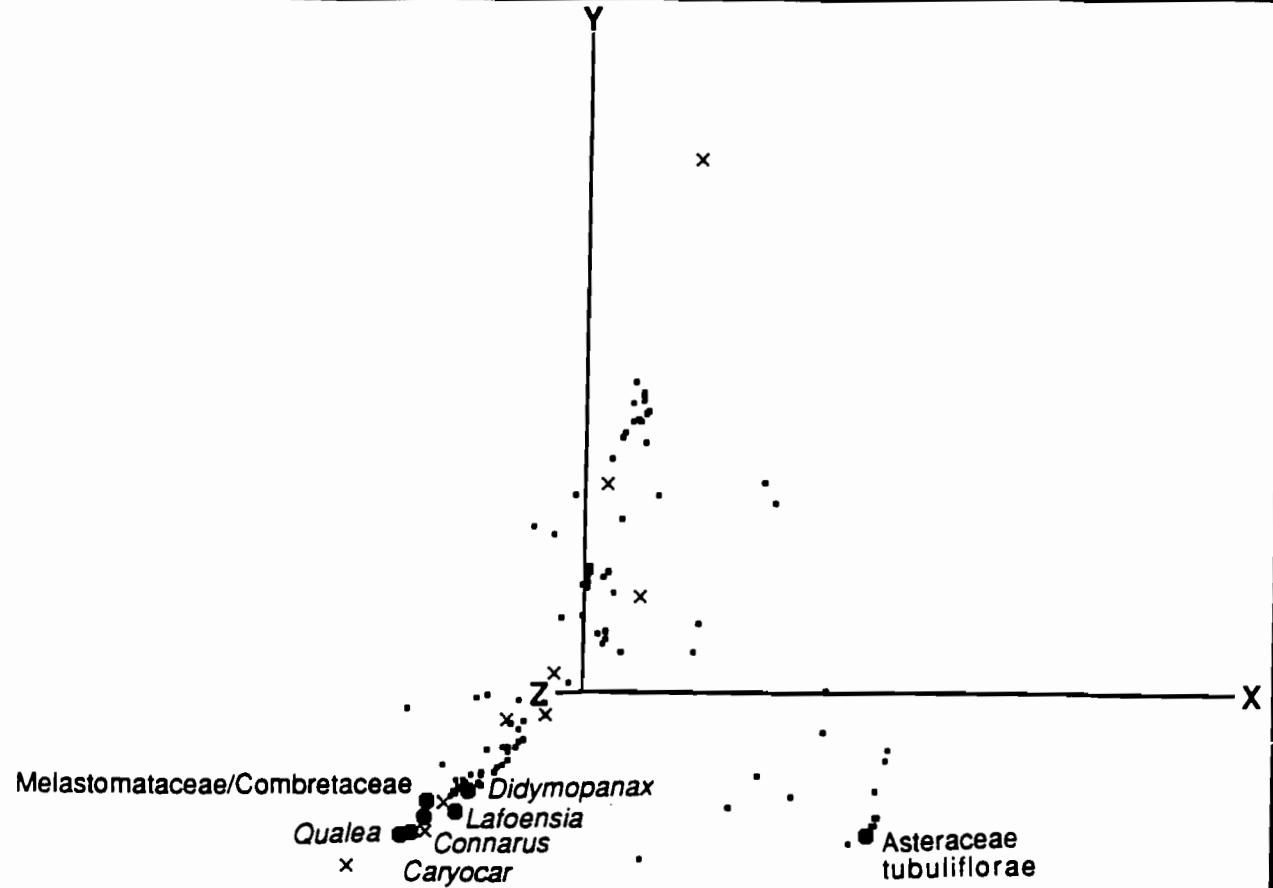


Figure 4-17: Résultats de la première composante principale réalisée avec les données de la botanique. Répartition des marqueurs du cerrado définis à l'aide des valeurs d'amplitude calculées pour tous les sites sauf la forêt d'araucaria (7).

B2-3a Tous les sites

Dans un premier temps tous les sites sont analysés, sans distinction (Fig.4-9a).

Avec la première composante principale, PC1, (19% de variance pour la végétation et 19% pour les pollens), les variations d'amplitude se font en parallèle sauf dans le cas du site 7 (forêt d'araucaria) où les amplitudes sont opposées.

Les sites des cerrados avec des valeurs positives d'amplitude sont opposés aux sites de forêts (valeurs négatives) dans le cas des données de la pluie pollinique.

Si l'on conserve les 7 premiers taxons avec les plus grandes valeurs positives et caractérisant par conséquent le cerrado et les 7 premiers taxons des forêts c'est à dire ceux ayant les plus grandes valeurs négatives, nous avons

Byrsonima, Erythroxylum, Qualea, Connarus, Caryocar, Licania, Sebastiana

opposés à

Cordia, Esenbeckia, Piperaceae, Gallesia, Sapindaceae sp, Pilocarpus, Verbenaceae

Figures 4-10 et 4-11.

Avec les données de la végétation les cerrados ont des valeurs négatives d'amplitude et sont opposés aux forêts caractérisées par des valeurs positives, ce qui au niveau des taxons se traduit par:

Hippocrateaceae, Pisonia, Connarus, Melastomataceae/Combretaceae, Fabaceae sp., Caryocar, Qualea

contre

Luehea, Zanthoxylum, Sloanea, Prunus, Sebastiana, Alchornea, Araucaria

Figures 4-12 et 4-13.

Les espèces soulignées dans le texte sont celles communes aux résultats obtenus avec les données de la végétation et les données de la palynologie et pouvant servir de marqueurs.

La deuxième analyse des composantes principales, PC2, montre que les sites (4) et (7) sont opposés à (5), (6) et (8) dans le cas de la pluie pollinique avec pour (4) et (7) les taxons à plus grandes valeurs positives suivants:

Styracaceae, Siparuna, Rapanea, Pera, Lacistema, Solanum, Hancornia

et pour (5), (6) et (8) les taxons à plus fortes valeurs négatives suivants:

Myrtaceae, Alchornea, Astronium, Qualea, Meliaceae t.Trichilia, Sebastiania, Casearia

La variance est de 13%

Avec les données de la végétation, les sites de la forêt mésophile qui ont des valeurs d'amplitude positives sont opposés aux autres sites qui conservent des valeurs négatives. La variance est de 18%.

Ce sont les taxons suivants

Esenbeckia, Coutarea, Cariniana, Mollinedia, t.Croton, Diatenopteryx, Metrodorea

opposés à

Schinus, Ilex, Asteraceae tubuliflorae, Caryocar, Qualea, Symplocos, Myrtaceae

La troisième composante principale, PC3, avec une variance de 12% pour les données de la végétation et de 11% pour les pollens, nous permet d'observer une opposition entre les sites (8) et (10), c'est à dire un site de forêt galerie et un site de forêt mésophile avec les taxons suivants:

Prunus, Sloanea, Colubrina, Savia, Maytenus, Meliaceae t.Trichilia, Gallesia

contre

Galipea, Ixora, Moraceae, Mimosaceae, Astronium, Guazuma, Palmae à pollen monocolpé

Les fluctuations d'amplitude de la quatrième composante principale sont trop irrégulières et ne nous permettent pas de conclure.

Nous remarquons que les résultats obtenus avec l'analyse des pollens coïncident très rarement avec les données de la végétation; seuls quelques taxons sont communs au niveau de la première composante principale.

Plusieurs raisons peuvent être invoquées:

-la précision de la détermination

-l'apport de grains de pollen extra locaux

-il n'existe pas de relation particulière entre le couvert végétal et la pluie pollinique

En résumé, la première analyse des composantes principales nous a permis de définir 3 marqueurs apparaissant à la fois dans les comptages polliniques et de ceux de la végétation: ce sont *Qualea*, *Connarus* et *Caryocar*.

La deuxième analyse des composantes principales, PC2, ne nous permet de conclure quant au marqueurs palynologiques à cause de la grande disparité des sites qu'elle regroupe.

En ce qui concerne la végétation, les sites de la forêt mésophile sont opposés aux sites; ceci nous permet de définir les espèces botaniques marqueurs de la forêt mésophile: il s'agit de *Esenbeckia*, *Coutarea*, *Cariniana*, *Mollinedia*, *t.Croton*, *Diatenopterix*, *Metrodorea*.

La troisième analyse ne nous permet pas de conclure: les résultats de la palynologie ne montrent pas de séparation entre les sites et ceux de la botanique ne permettent d'opposer que deux sites entre-eux. Ce dernier résultat est trop faible pour être retenu.

B2-3b Sans la forêt d'araucaria

Afin de préciser davantage la séparation taxonomique entre cerrado et forêts nous avons procédé au même type d'analyse des amplitudes que précédemment mais en supprimant le site (7) correspondant à la forêt d'araucaria (Fig.4-9b). Cerrados (avec des valeurs positives d'amplitude) et forêts (avec des valeurs négatives d'amplitude) restent alors bien différenciés au niveau de la première composante principale, PC1, avec pour les pollens les taxons suivants:

Byrsonima, *Erythroxylum*, *Qualea*, *Caryocar*, *Connarus*, *Licania*, *Lithraea*

opposés à

Verbenaceae, *Pilocarpus*, *Piperaceae*, *Gallesia*, *Sapindaceae* sp., *Cordia*, *Esenbeckia*

Figures 4-14 et 4-15.

et pour la végétation:

Qualea, *Caryocar*, *Connarus*, *Melastomataceae/Combretaceae*, *Asteraceae tubuliflorae*, *Lafoensis*, *Didymopanax*

opposés à

Metrodorea, *Diatenopterix*, *t.Croton*, *Mollinedia*, *Cariniana*, *Coutarea*, *Esenbeckia*

Figures 4-16 et 4-17.

La deuxième composante principale, PC2, sépare les données palynologiques en deux groupes opposés avec d'une part les sites (1), (2), (3) et (4) apparentés au cerrado et les autres sites comprenant (5) et (6) caractérisant le cerrado également et tous les sites de la forêt mésophile/forêt galerie.

Les troisième et quatrième composantes principales, PC3 et PC4, ne nous apportent pas de nouveaux résultats;

La première analyse, PC1, en supprimant le site (7) nous permet de définir un cortège de taxons polliniques marqueurs du cerrado face à un deuxième cortège composés des marqueurs de la forêt.

De plus, aux trois marqueurs du cerrado définis précédemment nous ajoutons *Esenbeckia* marqueur de la forêt mésophile que l'on retrouve à la fois dans les données de la botanique et de la palynologie.

La deuxième analyse, PC2, ne nous permet de conclure puisqu'elle oppose des sites du cerrado à d'autres sites du cerrado eux-mêmes regroupés à des sites de la forêt mésophile/forêt galerie.

B2-3c Avec certains sites renforcés

Les analyses de variation d'amplitude utilisant tous les sites ont montré au niveau de la deuxième composante principale (Fig.4-9c) que les sites (4) et (7) varient de la même manière. Comme ils ne correspondent pas aux mêmes types de végétation nous avons essayé de les séparer en renforçant les marqueurs de part et d'autre.

Ces marqueurs sont les taxons situés le plus près des sites sur la première composante principale (figure)

il s'agit de

t.Coussarea, Hancornia, Palicourea pour le site (4)
et *Araucaria, Podocarpus Drymis* pour le site (7)

Aucune modification n'est observée pour les deux premières composantes principales, à la fois pour les pollens et pour la végétation; en ce qui concerne la troisième composante principale (4) et (7) sont différenciés et la représentation des variations d'amplitude pour chaque site est meilleure dans ce cas. Globalement nous obtenons les groupes du cerrado et de la forêt mésophile contre le groupe de la forêt d'araucaria. Le renforcement des espèces marqueurs a permis dans ce cas d'isoler les marqueurs de la forêt d'araucaria: *Araucaria, Podocarpus, Drymis*.

Au niveau de la quatrième composante principale, le renforcement des espèces permet d'obtenir une bonne similarité entre les pollens et la végétation des cerrados et de la forêt d'araucaria mais pas pour la forêt galerie et les forêts mésophiles.

C'est en général la première composante principale qui apporte les meilleurs résultats en opposant les sites du cerrado aux sites de forêts. Le site de la forêt d'araucaria venant accentuer le déplacement de la courbe des forêts.

B2-4 Séparation des types de végétation le long des axes

L'analyse des variations d'amplitude sur les 4 premières composantes principales a montré que seule la première composante apportait des résultats satisfaisants dans le cas de ce travail.

La façon dont les variables sont dispersées le long des axes ne sera donc observée qu'avec la première et la deuxième composante.

Tout d'abord avec les données de la botanique, exprimées en pourcentage de l'aire basale totale des arbres (Fig.4-18 et 4-19).

3 zonations sont distinguées; elles correspondent aux 3 types de végétation définies au cours du chapitre III, forêt d'araucaria, forêt mésophile semidécidue, cerrado.

Ceci confirme notre remarque à propos de la difficulté de séparer les sites des cerrado et cerradão d'une part, et de la forêt galerie et forêt mésophile semidécidue d'autre part.

Puis nous avons procédé de la même façon avec les données de la palynologie. 4 regroupements, et non plus 3, sont alors mis en évidence. ce sont:

- le site de la forêt d'araucaria, H.
- les sites des forêts, I, J, K, L.
- les cerrados de Brasilia et Bauru, B, C, D, E.
- les cerrados de Cuiaba, F, G.

Les spectres polliniques des cerrados de Cuiabá les séparent donc des autres cerrados.

ce résultat s'explique par un apport de grains de pollen extérieur au site d'étude; selon les types de végétation situées à proximité de ces cerrados et la surface qu'ils occupent, les dépôts des grains de pollen "extra-régionaux", d'après la définition donnée par JANSSEN (1984), ne seront pas les mêmes d'un site à l'autre et viendront modifier le spectre pollinique, alors que la dispersion des relevés botaniques n'établissait pas de différences notoires.

B2-5 Résultats

En conclusion, l'analyse des composantes principales nous permet dans certains cas de définir un groupe de marqueurs écologiques présents à la fois dans les comptages polliniques et botaniques.

Ces marqueurs sont:

- pour le cerrado: *Qualea*, *Caryocar*, *Connarus*.
- pour la forêt mésophile: *Esenbeckia*.
- pour la forêt d'araucaria: *Araucaria*, *Podocarpus*, *Drymis*.

L'observation de la répartition des variables botaniques et palynologiques le long des axes des composantes principales offre une bonne image des différences écologiques et climatiques affectant les sites. Mais il faut toujours tenir compte du fait que les sites étudiés sont peu nombreux.

Le problème de l'apport "extra-régional" venant modifier le regroupement de sites caractérisant une même végétation sera à prendre en

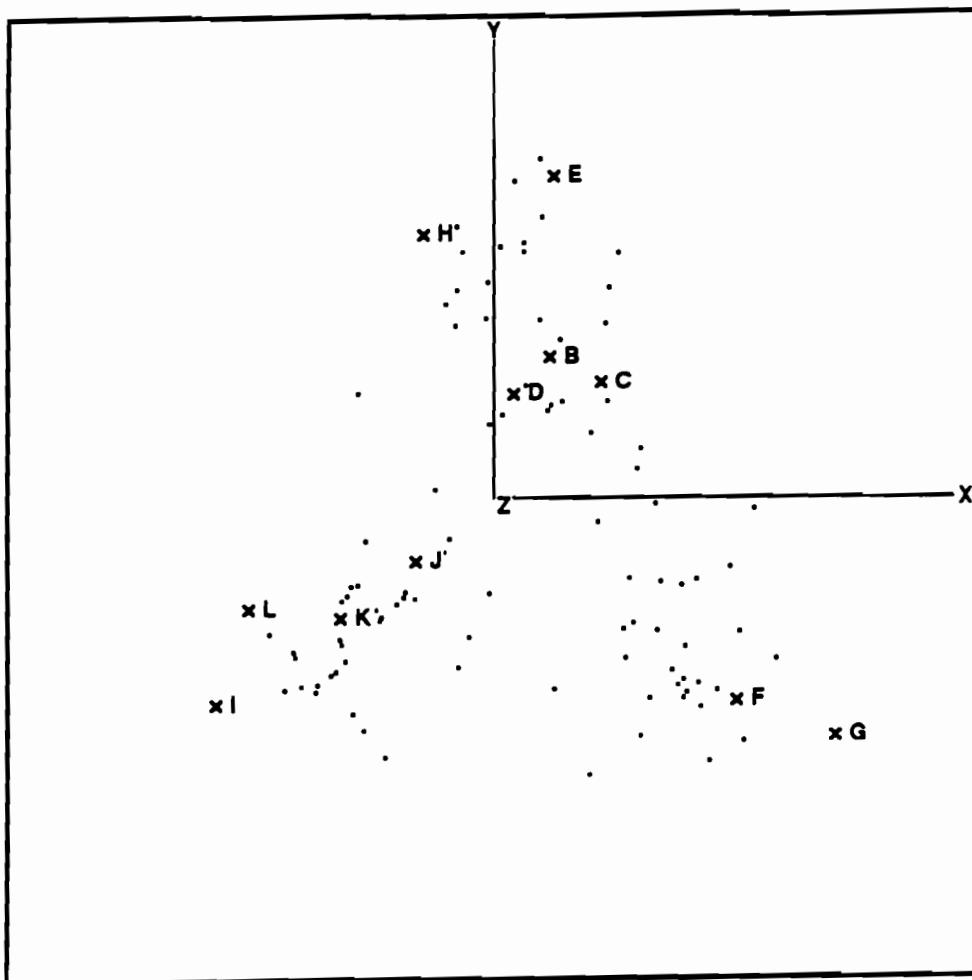


Figure 4-18: Résultats de la première composante principale réalisée sur les variables de la palynologie (% grains de pollen),
B, C, D, E, F, G= cerrado, H=forêt d'araucaria, I, J, K, L=forêt
mésophile semidécidue/forêt galerie.

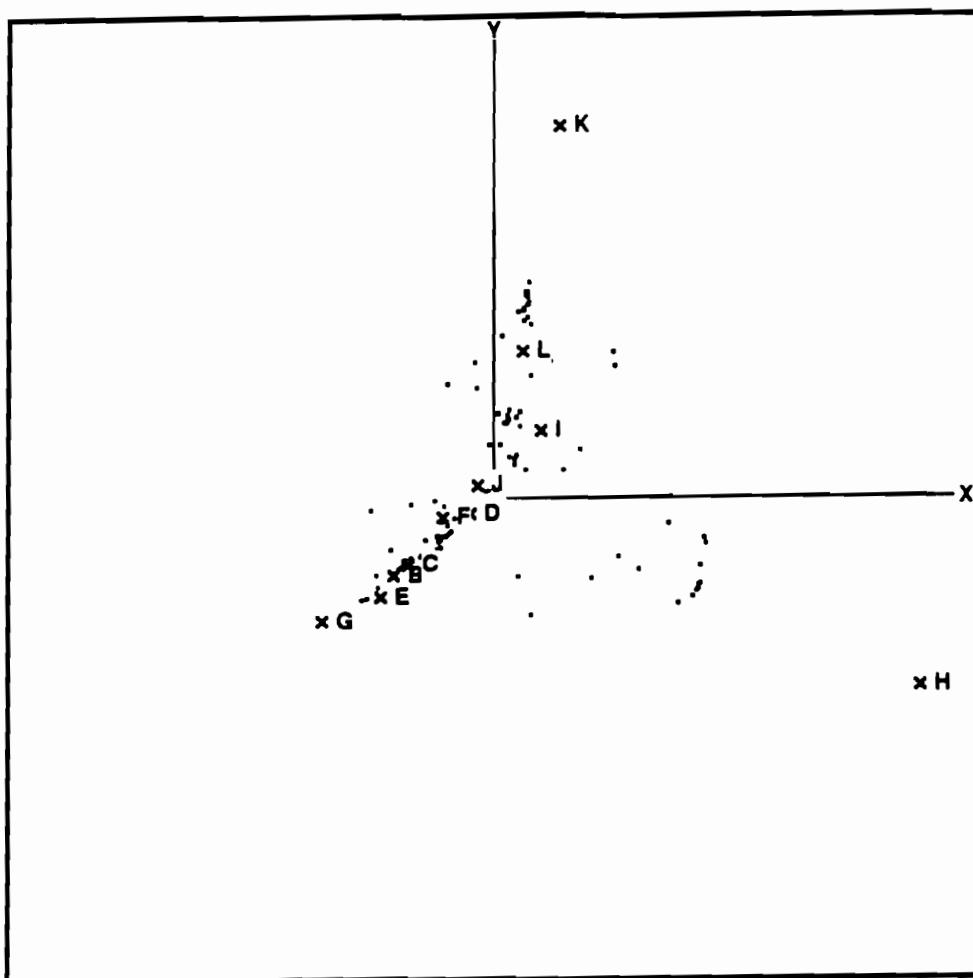


Figure 4-19: Résultats de la première composante principale réalisée sur les variables de la végétation (% du total des aires basales).
B, C, D, E, F, G= cerrado, H=forêt d'araucaria, I, J, K, L=forêt mésophile semidécidue/forêt galerie.

compte lors de futurs prélèvements en agrandissant la surface d'échantillonnage (plus de 100 m²) de façon à diminuer les effets de cette pluie pollinique extérieure au site d'étude, ou en effectuant des relevés botaniques des autres végétations environnantes, à une distance raisonnable du point d'étude de façon à intégrer les effets de cette pluie pollinique dans les relevés botaniques.

C- CONCLUSION

Nous avons pu remarquer tout d'abord que les marqueurs retenus à la suite de l'analyse des composantes principales ne sont pas les mêmes que ceux que nous avions définis de façon empirique à la suite de la simple lecture du diagramme (Fig.3-2) sauf dans le cas de la forêt d'araucaria.

En effet dans ce cas nous trouvons des marqueurs identiques et même si l'on considère que ce type de végétation n'est représenté que par un seul site, nous pouvons conserver ces taxons marqueurs car ils n'apparaissent dans aucun autre regroupement écologique et sont représentatifs de la forêt d'araucaria.

Les autres résultats montrent qu'il est difficile d'obtenir une similitude et une homogénéité de taxons pour un type écologique donné. Ceci peut être dû au petit nombre de sites étudiés. Toutefois les groupes écologiques restent bien délimités les uns par rapport aux autres et nous n'observons pas de recouvrement de taxons, ce qui est plutôt encourageant pour la poursuite de ce type d'analyse.

Ce que nous proposons donc, dans le cadre de cette première approche de la quantification de la pluie pollinique actuelle dans le Brésil central, est de conserver d'une part les marqueurs définis lors de la lecture du diagramme du chapitre précédent, car ils définissent des taxons présents dans les comptages polliniques et dans les déterminations botaniques et sont exclusifs au regroupement écologique considéré, et d'autre part les marqueurs définis à l'aide de l'analyse des composantes principales; ces derniers étant les taxons les plus caractéristiques de la pluie pollinique et de la végétation grâce à leur score numériquement défini qui les oppose aux autres taxons.

Ces taxons sont donc:

| | Analyse qualitative | Analyse numérique |
|---|---|---|
| CERRADO/ CERRADÃO | <i>Didymopanax</i> <i>Byrsonima</i> <i>Davilla</i> <i>Curatella</i> <i>Diospyros</i> <i>Licania</i> | <i>Qualea</i> <i>Caryocar</i> <i>Connarus</i> |
| FORET D'ARAUCARIA | <i>Araucaria</i> <i>Podocarpus</i> <i>Drymis</i> <i>Symplocos</i> <i>Sloanea</i> <i>Sapium</i> <i>Clethraceae</i> <i>Canelaceae</i> <i>Ilex</i> | <i>Araucaria</i> <i>Podocarpus</i> <i>Drymis</i> |
| FORET MESOPHILE/ FORET GALERIE | <i>Copaifera</i> <i>Chrysophyllum</i> <i>Metrodorea</i> <i>Chorisia</i> <i>Guazuma</i> <i>Diatenopteryx</i> <i>Maytenus</i> <i>Caricaceae</i> <i>Celtis</i> <i>Chomelia</i> <i>Tecoma</i> | <i>Esenbeckia</i> |

Tableau 4-1: Les marqueurs des forêts du Brésil central: résultats de l'analyse qualitative et de l'analyse numérique.

L'analyse des composantes principales semble la mieux adaptée au le cas du Brésil central.

Son application a démontré plus d'une fois (RITCHIE, 1977, RITCHIE et YARRANTON, 1978, BIRKS, 1976, WEBB, 1973, BIRKS et BIRKS, 1980, MARKGRAF et al 1981) qu'elle rend aisément l'interprétation des variations des données provenant d'échantillons fossiles sur une échelle de temps à partir de la dispersion des échantillons actuels dans l'espace à condition d'avoir un nombre suffisant d'échantillons.

Ces premiers résultats nous ont donc permis de définir une méthode adaptée au terrain et aux types de végétations du Brésil central.

Un nombre suffisant d'échantillons nous permettra dans l'avenir de définir les marqueurs de façon plus rigoureuse.

CHAPITRE V

**PALEOCLIMATOLOGIE: PALYNOLOGIE D'UN
SITE DU BRESIL CENTRAL, SALITRE.**

A- Etat des connaissances concernant les paléoclimats du Brésil.

En ce qui concerne les régions tropicales humides ce n'est que récemment que l'on a admis qu'elles avaient enregistrées des fluctuations climatiques. Pendant longtemps on a cru que la raison de la grande diversité d'espèce des forêts équatoriales et tropicales du globe était une stabilité de celles-ci au cours des temps géologiques.

C'était le cas en Amérique du Sud et en particulier au Brésil pour la forêt amazonienne jusqu'à ce que la géomorphologie avec AB'SABER (1977) et BIGARELLA (1971) puis la palynologie avec ABSY (1979) apportent les preuves des fluctuations des climats dans ces régions des basses terres tropicales au cours du Pléistocène.

Aux périodes glaciaires/interglaciaires des régions tempérées vont donc correspondre des périodes pluviales/interpluviales dans les régions tropicales.

Les démonstrations de l'existence des changements climatiques quaternaires de AB'SABER (1982) sont basées sur l'existence des "Stone lines" dans des sites actuellement recouverts par la forêt, de l'érosion des

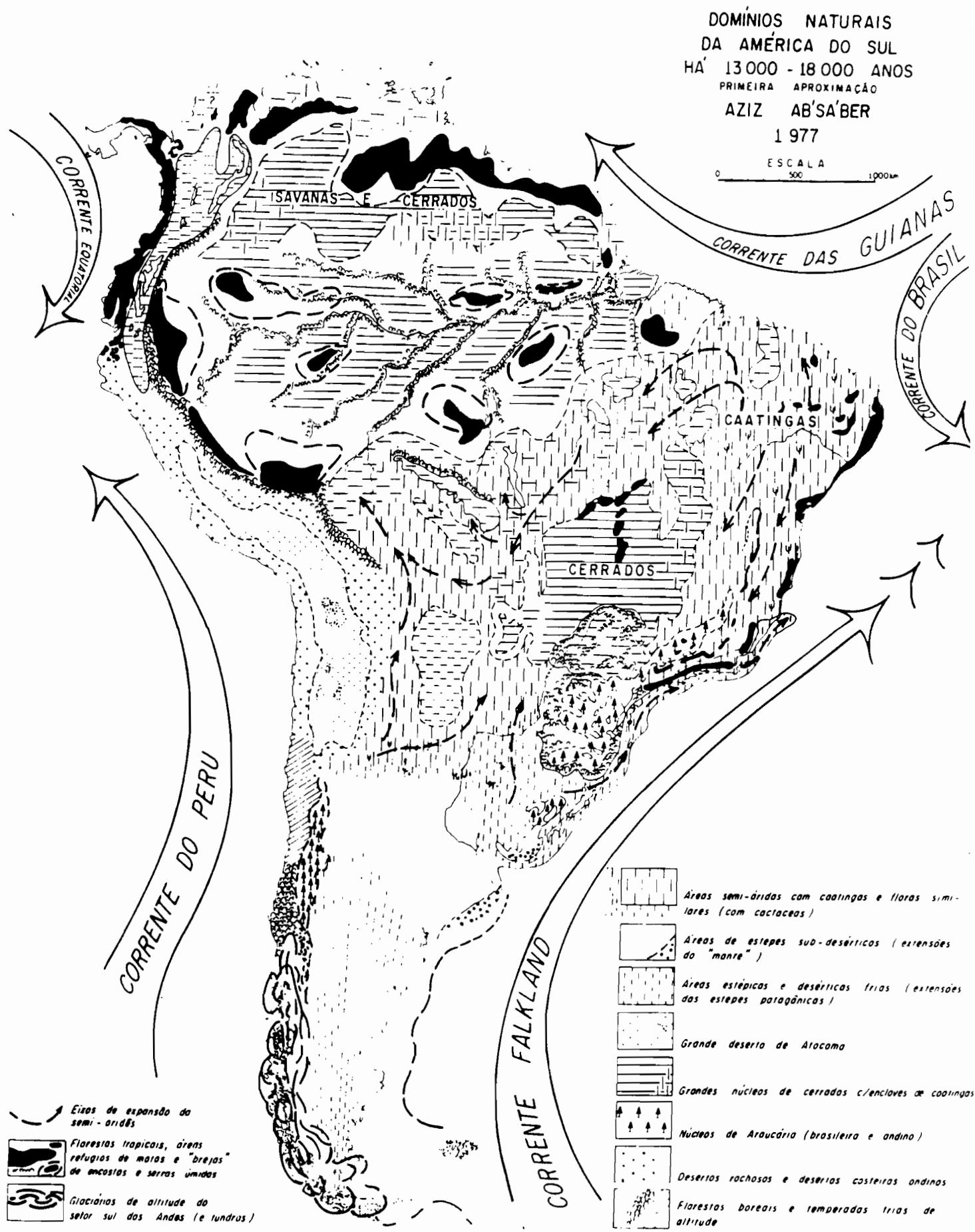


Figure 5-1: Données de la géomorphologie: les végétations du continent sud-américain à 18000 ans B.P., in AB'SABER 1977

versants qui n'a pu se faire que sous des changements climatiques et de la présence de terrasses alluviales.

BIGARELLA et ANDRADE-LIMA (1982) reconnaissent 2 périodes sèches à partir de l'observation de ces terrasses alluviales, dans la vallée d'Itajai-Mirim où 2 types de terrasse sont distinguées: les terrasses pléistocènes sont formées de dépôts de graviers associés à des sédiments sableux et les terrasses holocènes composées de sédiments argileux.

Les premières seraient associées à des conditions climatiques sévères impliquant un retrait général de la forêt, les secondes représentant des fluctuations climatiques avec un retrait de la forêt favorisant l'érosion des versants mais de façon moins marquée que pendant le Pléistocène.

D'autre part les résultats de AB'SABER (1982) peuvent être résumés de la façon suivante (Fig.5-1):

- La ceinture tropicale était plus réduite en largeur qu'actuellement à cause de la baisse globale de température pendant la dernière glaciation.

- La diminution globale de la température dans les régions tropicales a permis le développement des cerrado, caatinga et autres types de savane à la place de la forêt.

- L'influence des courants froids (les advections polaires) de l'Atlantique Sud était certainement plus intense et plus étendue qu'aujourd'hui. Ces courants qui se terminent actuellement entre l'Uruguay et le Rio Grande do Sul (Brésil) se sont probablement étendus plus au nord jusqu'à la latitude de Espírito Santo (Brésil) où ils étaient orientés vers l'est.

- Comme le climat sec progressait le long de la côte du Sud du Brésil, au delà de la latitude de Cabo Frio (Rio de Janeiro), les forêts atlantiques de la Serra do Mar étaient fragmentées et isolées dans des zones refuge.

- Ces changements climatiques étaient différents selon les régions malgré des caractéristiques géomorphologiques globales. Ainsi, du Sud du Brésil à l'Amazonie, les climats ont suivi un gradient sud-nord de sec et froid à subtropical ou tropical et mésothermal.

- Des éléments stables indifférents aux changements climatiques tels les forêts galerie ont joué un rôle important dans les refuges.

- Deux périodes sèches sont distinguées (de même que pour BIGARELLA et ANDRADE-LIMA cités précédemment), la première à la fin du Pléistocène et la seconde pendant l'optimum climatique de l'Holocène daté à 5000 ans B.P. environ.

Ces deux périodes sèches diffèrent totalement dans les mécanismes affectant l'espace écologique.

D'autre part des études phytogéographiques (KLEIN, 1975 et voir le chapitre 1) ont montré qu'une grande part de la végétation dans différentes régions du Brésil ne correspond pas aux conditions climatiques et édaphiques caractérisant ces régions actuellement; 2 hypothèses sont donc formulées:

- La distribution floristique actuelle est dûe à l'action des Amérindiens avant l'arrivée des Européens.



Figure 5-2 : Carte des études palynologiques réalisées sur tout le continent sud-américain et emplacement de Salitre (19°S) et Carajás (5°50'S), d'après MARKGRAF (1989).

ou

- Elle représente des reliques des conditions climatiques passées.

Plus récemment des prospections géomorphologiques réalisées par l'ORSTOM dans le cadre du programme GEOCIT (FOURNIER et al 1987, TURCQ et MELLO, 1989, TURCQ et LACERDA, 1990) et appuyés par des datations ^{14}C ont montré 2 phases marquées de dépôt dans le Brésil central entre 17000 et 13000 ans B.P. et à partir de 6000 ans B.P., cette dernière étant précédée dans la partie orientale par une forte érosion.

D'autre part la présence de charbons de bois et le ravinement des versants dans le bassin du Rio Doce, à la latitude 18-20°S (SERVANT et al 1989) dans une région actuellement occupée par de la forêt mésophile semidécidue attestent d'une sécheresse datée à 8000 ans B.P.. La nature de cette sécheresse, épisodique exceptionnelle ou simplement dûe à des conditions climatiques moins humides que celles de l'actuel n'a pu toutefois être précisée.

En résumé, les botanistes se posent des questions sur l'histoire des végétations, les géomorphologues voient une sécheresse "glaciaire" mais ils ne disposent pas de données chronologiques; au cours du premier chapitre nous avons montré comment la présence de fronts polaires dans la région du Brésil central entraîne une dynamique climatique particulière et comment celle-ci se traduisait sous forme de végétation : l'étude de l'évolution du couvert arboré dans cette région peut donc nous renseigner sur les changements climatiques.

Seule la palynologie permettra de préciser davantage.

La figure 5-2 où sont reportées les études palynologiques déjà réalisées à ce jour (d'après MARKGRAF, 1989) témoigne des lacunes et de l'inégalité de répartition des sites sur ce continent. On constate que l'Est des Andes, si l'on excepte les travaux de WIJMSTRA et VAN DER HAMMEN (1966) en Guyane anglaise et d'ABSY (1979, 1982) en Amazonie, est totalement vierge.

Au Brésil les travaux d'ABSY (1979, 1982) couvrent des périodes récentes à partir de 6000 ans B.P. environ. A cette date et jusqu'à 3000 ans B.P. les niveaux d'eau de l'Amazone étaient très bas, puis ils ont augmenté jusqu'à atteindre les valeurs actuelles. ABSY constate également une augmentation des graminées dans le bassin amazonien entre 3000 et 2000 ans B.P., caractérisant des prairies humides et attestant de bas niveaux hydrologiques.

Une autre analyse, plus récente, située à Carajás (ABSY et al, 1990, SIFFEDINE, 1991) recoupe la fin du Pléistocène et l'Holocène. A 12000 ans B.P. il y a une remise en eau du lac puis le couvert arboré se développe à 10000 ans B.P environ. De 9000 à 6000 ans B.P. le couvert arboré diminue brusquement avec un maximum de la sécheresse daté à 6100 ans B.P..

A partir d'une synthèse concernant les études amazoniennes d'ABSY (1982), de SALGADO-LABOURIAU et SCHUBERT (1976), SALGADO-LABOURIAU et al (1977), LEYDEN (1985) au Vénézuela et de WIJMSTRA et VAN DER HAMMEN en Guyane (1966), MARKGRAF (1989) parvient aux

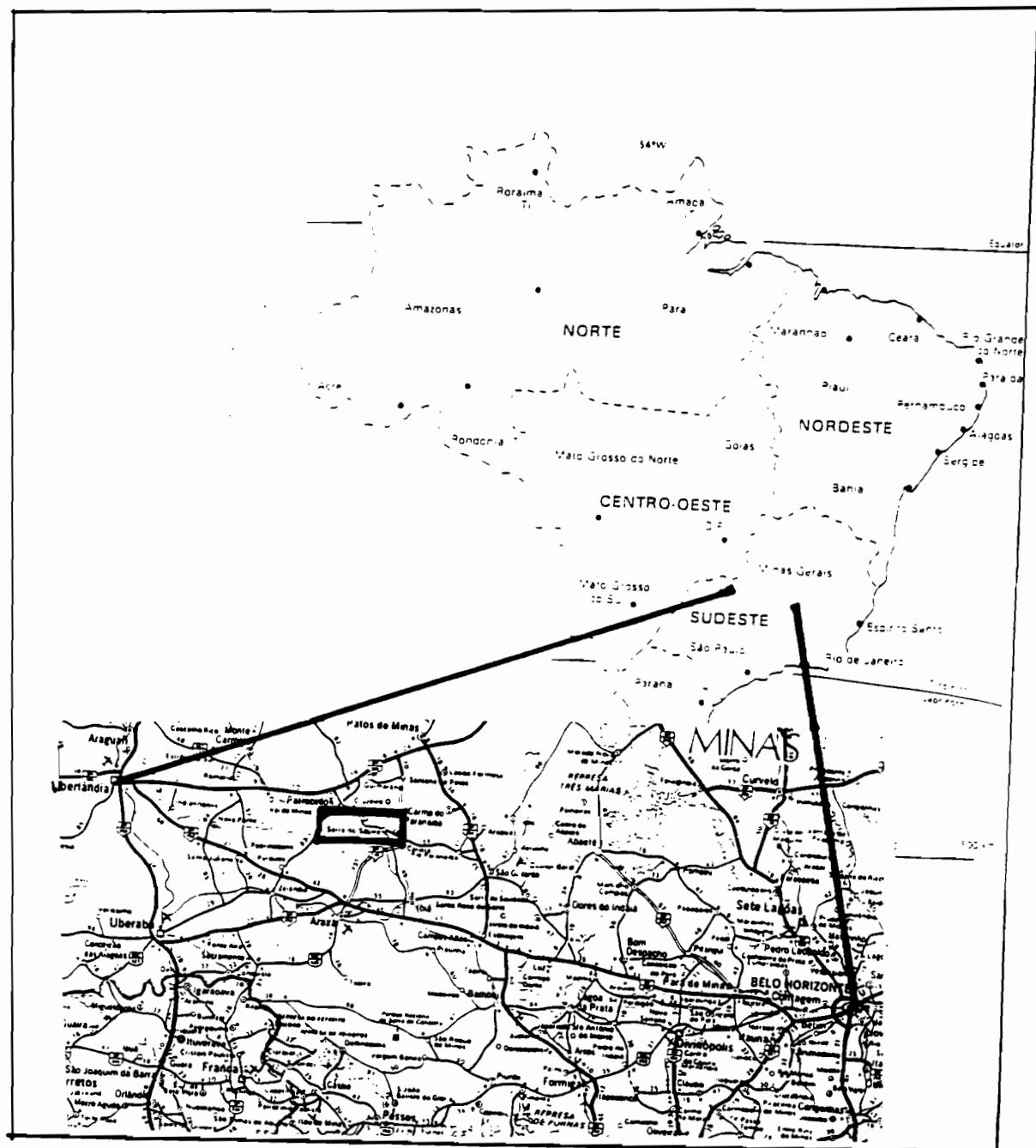


Figure 5-3: Localisation de Salitre (Minas Gerais), 19°S.

conclusions suivantes à propos des paléoclimats des basses terres tropicales:

- Il n'existe pas actuellement d'enregistrements palynologiques pour la période avant 13000 ans B.P. donc pas d'information sur les conditions du pléniglaciaire dans les basses terres tropicales et subtropicales.

- A 12000 ans B.P., les conditions climatiques étaient froides et sèches, c'est la continuation de la période glaciaire.

- A 9000 ans B.P. les taux d'humidité ont dépassé les niveaux actuels mais les températures étaient toujours plus basses qu'aujourd'hui.

- Après 8500 ans B.P. les taux d'humidité diminuent jusqu'à atteindre des niveaux plus élevés qu'aujourd'hui, mais plus bas que ceux mis en évidence au début de l'Holocène.

Ces conclusions seront reprises au cours du dernier paragraphe en y intégrant les résultats de Salitre.

B- Présentation du site

Le carottage provient d'une tourbière située au fond d'une vaste cuvette de 2 kilomètres de diamètre qui, à la saison des pluies, accumule les eaux de ruissellement et prend l'aspect d'un lac d'où le nom de "Lagoa campestre".

Salitre de Minas ou Salitre est situé dans l'état du Minas Gerais à 300 km à l'ouest de Belo Horizonte la capitale, et 140 km de Uberlândia (Figure 5-3).

Ses coordonnées géographiques sont en latitude 19°Sud, en longitude 46°46'Ouest et l'altitude est de 1050 mètres.

Le point culminant, le "Morro Alto", atteint 1283 mètres et est situé à 8 km du site environ.

La végétation actuelle est très anthropisée et consiste en vastes prairies ou plantations de café. Rappelons que le Minas Gerais est l'état le plus agricole du Brésil. Toutefois sur les cartes topographiques, c'est le cerrado qui est indiqué comme étant la végétation native (cartes IBGE sections SE-23-Y-A-VI et SE-23-Y-C-III au 1:100000ème).

En période de basses eaux cette tourbière occupe une zone ovale de 1 km de diamètre environ; elle est traversée par des chenaux d'eau profonde et son alimentation en eau est dûe à l'apport des nappes phréatiques et aux eaux de ruissellement. Elle présente une légère pente vers l'aval, fermée par une zone cuirassée à latérite formant une carapace en profondeur et ramené en surface par l'érosion. (F.SOUBIES, communication personnelle)

Les sols de "Lagoa campestre" sont des latosols profonds à drainage vertical illimité et ne présentant donc pas de contraintes édaphiques spéciales pour le développement de la végétation. Leur composante principale est, comme pour la grande majorité des sols au Brésil, le quartzite.

Les roches avoisinants le site sont des pyroxéno-carbonatites au niveau de la tourbière et des pyroxéno-péridotites à filonnets de carbonatite sur les pentes voisines. Au delà, il s'agit d'une série détritique composée surtout de quartzites.

C- Echantillonnage

Notre étude a porté sur les deux mètres supérieurs d'un sondage de 6 mètres, effectué avec un carottier à vibration dans la tourbière à 20 mètres du bord environ par L.MARTIN, B.TURCQ, F.SOUBIES, K.SUGUIO en 1988.

La section est composée essentiellement de tourbe brunâtre. Les échantillons destinés à l'étude palynologique ont été prélevés à l'aide de cube en plastique de 1 cm de côté. Ces prélèvements ont été effectués à l'ORSTOM Bondy, en milieu fermé, avec un échantillonnage tous les 2 cm ou, quand le trop grand nombre de fibres organiques empêchait de resserrer les prises, tous les 4 cm.

Chaque cube est numéroté et hermétiquement fermé. D'autres échantillons ont été prélevés pour les datations ^{14}C ainsi que pour l'analyse géochimique.

C1- CHRONOLOGIE ^{14}C

Quatorze datations au radiocarbone, réalisées par M.FOURNIER de l'ORSTOM Bondy, couvrant nos 2 mètres d'échantillon s'avèrent cohérentes.

| N°BONDY | NOM | AGE B.P. | profondeur cm |
|---------|----------------|-------------------|---------------|
| 551 | LC318-20+17-18 | 3060(+ -210) | 18 |
| 574 | LC324-26 | 3900(+400-380) | 25 |
| 556 | LC330-32+32-33 | 4350(+540-510) | 32 |
| 555 | LC342-44+41-42 | 5560(+370-360) | 42 |
| 554 | LC348-50+50-51 | 6510(+310-300) | 50 |
| 569 | LC356-57+54-56 | 7990(+360-350) | 55 |
| 570 | LC360-62+59-60 | 9150(+330-320) | 60 |
| 495 | LC372-74+71-72 | 10440(+620-580) | 72 |
| 496 | LC385-87+83-85 | 10350(+910-820) | 84 |
| 550 | LC3119-123 | 12890(+390-170) | 121 |
| 571 | LC3131-139 | 14230(+610-570) | 135 |
| 552 | LC3156-159 | 16800(+440-420) | 157 |
| 470 | LC3168-172 | 28740(+1970-1580) | 170 |
| 471 | LC3202-206 | 32030(+2020-1620) | 204 |
| 477 | LC3226-230 | 27110(+1950-1570) | 228 |
| 479 | LC3274-278 | 33170(+3780-2570) | 276 |
| 472 | LC3316-320 | 34410(+5850-3360) | 318 |
| 473 | LC3347-351 | 30870(+8890-4130) | 349 |

Tableau 5-1: Datations C¹⁴ obtenues sur l'ensemble de la carotte LC3 de Salitre, MG.

Les résultats, de la base datée à 204 cm à 32030(+2020 -1620) ans B.P. au sommet situé en fait à 15 cm du sol actuel à la suite d'une perte de sédiment lors du carottage, daté à 18 cm à 3060 (+-210), couvrent l'ensemble du Pléistocène récent et de l'Holocène.

Deux particularités sont à signaler:

- 2 datations, 28740 et 16800 ans B.P., couvrent un dépôt de 34 cm seulement ce qui, si l'on observe la figure 5-4 pourrait correspondre à un hyatus dans la colonne stratigraphique ou à un arrêt de la sédimentation. La carotte n'a donc pas pu enregistrer les variations éventuelles ayant eu lieu sur cette période de temps de 28000 à 17000 ans B.P..

D'autres comptages effectués sur des échantillons situés entre 200 et 350 cm (Tableau 5-1) montrent combien ces niveaux ont été perturbés. Les âges restent les mêmes aux marges d'erreur près, sur une hauteur de 150 cm. L'analyse palynologique de cette partie de la carotte LC3 permettra de préciser davantage.

- Un palier entre 72 et 84 cm, daté à 10350 (+910 -820)ans B.P. et à 10440 (+620 -580) pourrait marquer une brusque augmentation de la vitesse de sédimentation.

La figure 5-4 permet de visualiser ces observations:

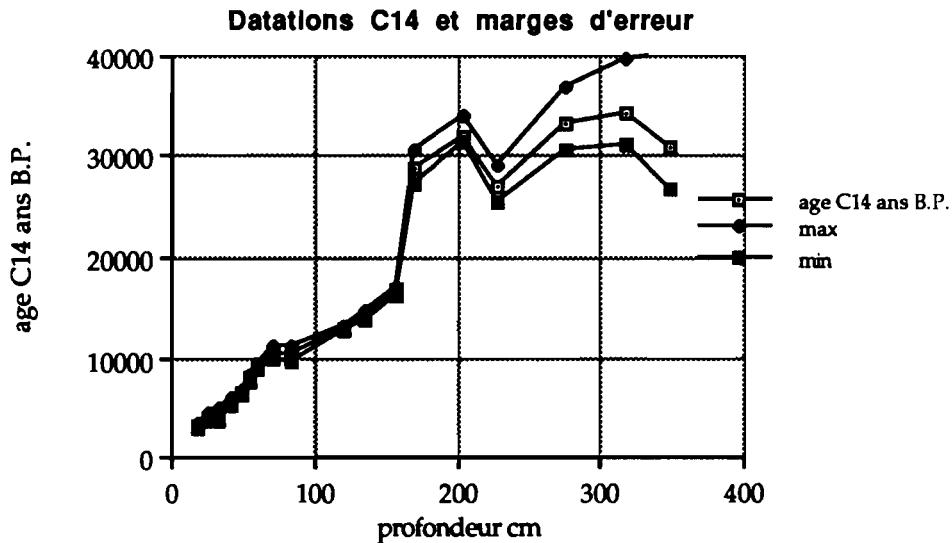


Figure 5-4: Chronologie ¹⁴C d'après les travaux de M.FOURNIER.

Ces remarques seront prises en compte lors de l'interprétation paléoclimatologique du diagramme palynologique.

C2- TRAITEMENT CHIMIQUE DES ECHANTILLONS

Ces échantillons sont très riches en matière organique, la fraction minérale y est absente. Le traitement chimique s'est donc composé des étapes suivantes:

- 1g de sédiment

- l'élimination de la fraction organique est obtenu à l'aide d'un passage à l'acide nitrique selon la technique de Lüber.

- Lavages à l'eau distillée

- concentration du matériel sporopollenique à l'aide du chlorure de zinc dont la densité de 2 est égale à celle des pollens permettant d'éliminer les impuretés restant.

- lavages à l'eau glycérinée à 10%

Les culots obtenus sont séchés et dilués dans de la glycérine phénolée à 10%. La quantité de glycérine est connue et le volume sec du culot est ainsi mesuré.

- transvasement en tube pilulier étiqueté.

- pipetage d'une prise de 50 µl après homogénéisation du mélange.

- montage entre lame et lamelle, avec un lutage à l'histolaque LRM, étiquetage.

C3- CONSTRUCTION DU DIAGRAMME

Les résultats de l'analyse sont représentés en pourcentages de chaque taxon (Figure 5-5). Ces pourcentages sont calculés par rapport à une somme de base comprenant AP (Arboreal Pollen)+ NAP (Non Arboreal Pollen)+ Varia (pollens indéterminés) de laquelle sont exclus les taxons aquatiques et hygrophiles ainsi que les spores.

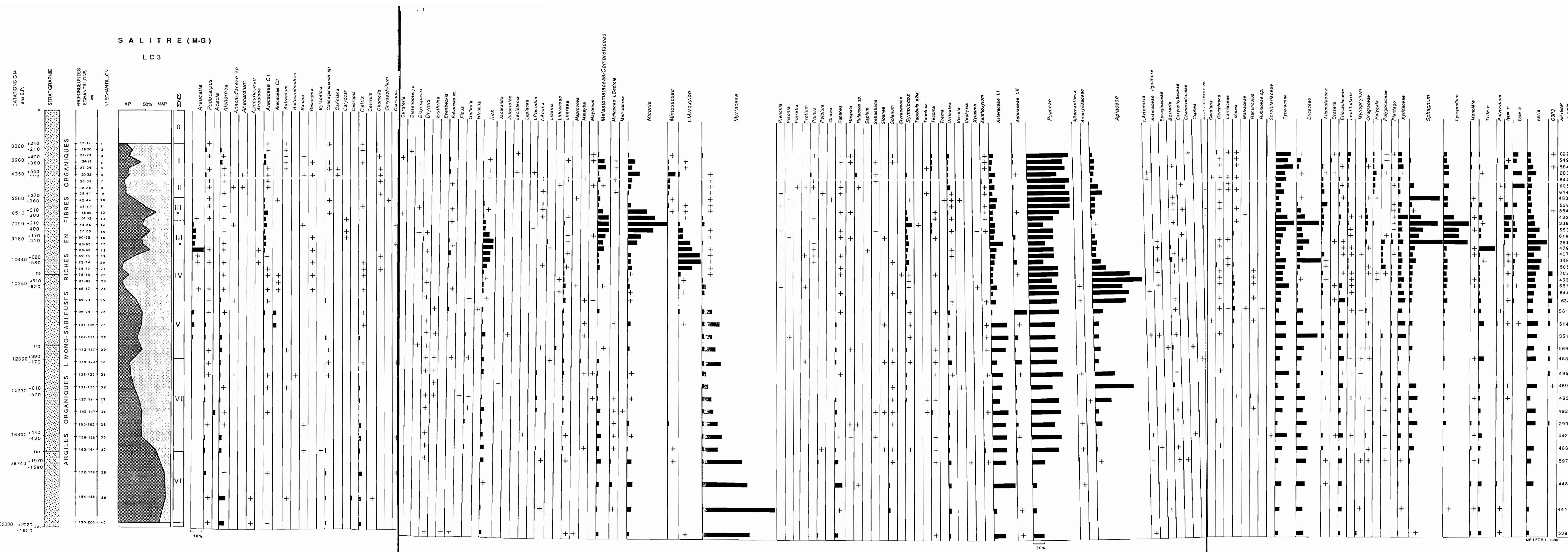
La fréquence de ces derniers est calculée par rapport à cette même somme de base.

Le diagramme est construit de la façon suivante:

en ordonnées de gauche à droite

- les datations ^{14}C placées en face de l'échantillon daté.
- la colonne stratigraphique
- la profondeur de chaque échantillon
- le numéro de l'échantillon

en abscisse de gauche à droite



- un diagramme synthétique représentant les fréquences des taxons arborés (AP) en face des taxons herbacés (NAP), toujours calculées par rapport à la somme de base.

- le détail des pourcentages obtenus pour chaque taxon. Ceux-ci sont ordonnés de la manière suivante avec de gauche à droite:

- les arbres, Gymnospermes puis Angiospermes.
- les herbacées
- les hygrophiles
- les Filicales

L'ensemble est classé par ordre alphabétique des genres botaniques.

La dernière colonne indique le nombre de grains comptés qui sont utilisés comme somme de base.

La représentation par histogramme a été choisie préférentiellement à l'utilisation des polygones de fréquence.

En effet ces polygones de fréquence sont dessinés en rejoignant 2 points entre eux et donnent alors l'illusion que les points pouvant se situer sur la droite sont également représentatifs.

D'autre part sous un couvert forestier tropical, la diversité des taxons fait place à l'abondance et ils sont souvent présents avec des pourcentages inférieurs à 1% (représentés par une croix sur le diagramme). L'emploi des polygones tenderait à relier ces croix entre-elles, donnant ainsi une image fausse de l'abondance du taxon.

Le classement des genres par ordre alphabétique a également été préféré. Il nous paraît comme étant plus objectif et le moins interprétatif possible.

Les groupements écologiques seront définis dans un deuxième temps, à la suite de l'observation des résultats de ce premier diagramme et représentés sur un autre graphique de façon à en donner une interprétation écologique (Fig.5-8 et 5-9). Ceux-ci seront construits à partir des résultats obtenus avec les échantillons actuels en ce qui concerne les forêts, c'est à dire les taxons régionaux (forêt d'araucaria, forêt mésophile semidécidue, cerrado). Les regroupements effectués pour caractériser les associations locales, c'est à dire la tourbière et les milieux hygrophiles sont réalisé à partir de la littérature ou d'après les résultats d'autres études palynologiques en attendant de pouvoir poursuivre l'étude de l'actuel au niveau de Salitre.

D- Résultats

Des variations du rapport AP/NAP sont mises en évidence et servent à délimiter 7 zones sur un intervalle de temps de 30000 ans environ.

Les 2 zones présentant un pourcentage élevé de taxons arborés se situent entre 200 et 164 cm (zone VII) et 71 et 41 cm (zone II). Les autres zones montrent un pourcentage d'herbacées plus important avec 2 pics pour les parties de la carotte situées entre 72 et 83 cm (zone IV) et 33 et 41 cm (zone II).

La zone VII, entre 200 et 164 cm, datée vers le sommet à 170 cm à 28740 ans B.P. (+1970-1580) est caractérisée par 72% à 91% de taxons arborés, avec jusqu'à 68% de Myrtacées, 7% d'*Alchornea*, 3% de *Celtis*, 5% de *Miconia Illex*, 2% et *Podocarpus* 5%. Les taxons non arborés consistent en 6 à 20% de Graminées et de 3 à 20% de Composées (Asteraceae) principalement. Les autres herbacées ne sont pas ou très peu représentées.

Le plus remarquable avec les résultats de ces comptages est l'abondance des Myrtacées.

Nous savons à la suite de l'étude des pluies polliniques actuelles que les Myrtacées sont de gros producteurs de pollen. L'abondance des pollens ne reflète donc pas tout à fait la composition réelle de la végétation.

Les Myrtacées sont associées à d'autres espèces; il s'agit de *Alchornea*, *Celtis*, Melastomataceae/Combretaceae, *Miconia* et *Rapanea*. Nous remarquons également la présence de *Cecropia* et *Ficus*.

Les Urticales comprenant Urticaceae et Moraceae sont également présentes.

Cette association de taxons arborés est caractéristique des forêts inondées amazoniennes: les Igapós (ABSY 1985, RIZZINI 1979, FERRI 1980). Les Igapós désignent un type de forêt où le drainage est insuffisant et où la végétation dépend de la nature du sol. Les sols sont inondés de façon saisonnière et à la saison des pluies les troncs des arbres sont souvent recouverts par l'eau.

Les plantes se développant sur des terrains humides sont faiblement représentées, Eriocaulaceae et Xyridaceae principalement, puis *Lentibularia*, Cyperaceae et Ericaceae sont également bien représentés.

Sphagnum est absent des spectres polliniques.

Ces herbacées hygrophiles se développent pendant les périodes où les sols ne sont pas inondés. L'absence des autres types d'herbacées tend à montrer que les sols étaient plutôt marécageux, avec un fort taux d'humidité, et acides à cause de la présence des Ericaceae et Xyridaceae.

Au point de vue climatique, la présence de ce type de forêt indique des précipitations plus abondantes qu'actuellement, une saison sèche absente ou très courte. Les températures sont chaudes, c'est à dire que les moyennes hivernales sont supérieures à 15°C en référence à notre étude de l'actuel exposé au cours du chapitre 1.

La zone VI, de 119 cm à 164 cm, datée à 16800 ans B.P. (+440-420) au niveau de l'échantillon 36, à 157 cm, et à 14230 (+610-570) à 135 cm est marquée par une diminution des taxons arborés de 72% à 24%, affectant notamment les Myrtacées (les fréquences diminuent progressivement de 37% à 3% avec une moyenne de 10%, les *Celtis* 0 à 2,5%, les *Alchornea* 2 à 1%, les *Miconia* 3,5 à 0,5%, *Rapanea* 3,5 à 0%, *Lithraea/Tapirira* apparaissent (0,5 à 1,5%) ainsi que *Symplocos* à la fin de la zone (0,6 à 0,9%). *Illex* est présent dans les mêmes proportions que précédemment et *Podocarpus* avec 2% a légèrement diminué par rapport à la zone précédente.

Des espèces arborées nouvelles apparaissent mais elles restent très peu abondantes telles que *Drymis*, *Tecoma*, *Sebastiana*, *Zanthoxylum*.

Les Méliacées sont présentes mais tendent à disparaître.

Parmi les taxons non arborés qui viennent remplacer les taxons arborés, ce sont les Graminées (24 à 59%) et les Composées (7,4 à 13%) dominent.

Les Ombellifères (Apiacées) apparaissent et leur fréquence augmente vers le sommet de cette zone VI (0,3 à 36%).

D'autres herbacées apparaissent mais avec des fréquences plus faibles. Il s'agit de *t.Artemisia*, *Borreria*, *Euphorbiaceae*, *Gomphrena*, *Alternanthera*, *Ranunculus*.

Les plantes des terrains humides sont bien représentées. Les Xyridacées (0,2 à 3%), les Eriocaulacées gardent les mêmes proportions que dans la zone précédente. D'autres taxons apparaissent: Alismataceae et Onagraceae.

Cyperaceae et Ericaceae restent constants par rapport à la zone précédente.

Les *Sphagnum* commencent à se développer avec des pourcentages variant de 1 à 8%.

Le développement des *Sphagnum* atteste de la formation de la tourbière. Les sols sont acides: Ericaceae, Xyridaceae, *Drosera* sont présents.

La forêt diminue au profit des herbacées. La végétation devient ouverte, la limite de la forêt s'éloigne du centre de la cuvette. Sa composition se rapproche de celle d'une forêt assurant la transition entre la forêt mésophile semidécidue et la forêt d'araucaria.

Les sols sont encore relativement humides, mais pas inondés, plutôt marécageux et permettent la croissance des herbacées.

La tourbière se forme, le paysage est de type "savane boisée marécageuse".

Au niveau des climats, ceci correspond à une augmentation de la durée de la saison sèche par rapport à la zone VII, les précipitations restent les mêmes; la température subit peut être une légère baisse (présence de taxons supportant des basses températures: *Drymis*, *Podocarpus*, *Symplocos*).

La zone V est définie de 89 cm à 117 cm. Elle est située entre 10350 (+910-820) et 12890 (+390-170) ans B.P.;

Les pourcentages des taxons arborés varient entre 35 et 45% et ne présentent pas de grand changement par rapport à l'ensemble précédent tout en montrant une reprise des arbres.

Les Myrtacées se développent à nouveau (7 à 17%) mais les taxons qui sont apparus au cours de la phase précédente sont maintenus (*Drymis*, *Tecoma*, *Zanthoxylum*, *Lithraea*, *Symplocos Sebastianae* disparaît des comptages).

Rapanea qui avait disparu à la fin de la zone précédente réapparaît.

Les Melastomataceae et les *Miconia* sont faiblement représentées jusqu'à disparaître complètement parfois.

A la fin de la zone de nouvelles espèces sont signalées: *Araucaria* (0,5 à 2%) et Arecaceae (Palmae).

Celtis est présent mais en très faible proportion 0,2 à 1%.

Podocarpus, *Ilex*, *Drymis*, *Symplocos* sont donc présents ensemble; ceci semble confirmer la baisse de la température ou une augmentation des jours de gelée annuels signalés au niveau de la zone VI, les précipitations sont les mêmes que précédemment et la saison sèche est très courte.

Myrtaceae, Celtis, Alchornea, Miconia, Melastomataceae, Urticales apparaissent ensemble mais en plus faible proportion que dans la zone VI.

Sphagnum enregistre une baisse de sa fréquence, de même que les fougères.

Ericaceae, Xyridaceae, Eriocaulaceae sont présentes et un pic de *Cyperaceae* et de *Ericaceae* est enregistré à la fin de la zone.

Les proportions des *Graminées* restent constantes et les *herbacées* de terrain plus sec sont également présentes: *Borreria*, *Ombellifères* bien que ces dernières enregistrent une baisse par rapport à la zone précédente, *Gomphrena, Mabea*.

La disparition des *Sphagnum* et la remontée des *Myrtacées* suggère le rétablissement d'une forêt inondée du même type que celle de la zone I mais le cortège pollinique global suggère plutôt la présence d'une forêt de transition entre la forêt semidécidue et la forêt d'araucaria.

La durée de la saison sèche diminue par rapport à la zone précédente et les précipitations restent les mêmes, d'où le retour à un sol inondé saisonnièrement. Toutefois une baisse générale de la température ou bien davantage de gelées annuelles, attestée par le cortège de *Araucaria, Podocarpus, Drymis, Symplocos, Ilex* empêche cette forêt de se développer de façon optimale.

Le paysage reste ouvert et marécageux avec un peu plus d'arbres que dans la zone précédente. Les sols sont acides.

La zone IV, de 72 à 89 cm, enregistre une forte diminution des taxons arborés (de 6 à 20%) avec *Ilex* (0,2 à 1%), *Lithraea* (0,6 à 2%), *Miconia* (0,3 à 2%), *Myrtaceae* (1 à 3%). Il faut signaler la présence de *Symplocos* (0,3 à 0,7%) ainsi que des *Asteraceae* (1,5 à 5,5%) et l'apparition de *t. Myroxylon* (0,4 à 0,7%)

Les taxons herbacés sont dominés par les *Apiacées* (28 à 47%), les *Graminées* restent en proportion constante par rapport à la zone précédente, *Mabea, Gomphrena, Ranunculus* ont également pu être déterminés.

Les *Cypéracées* restent en proportion constante alors que les *Ericacées* enregistrent une diminution de leur fréquence.

Un pic d'*Eriocaulacées* au début de cette zone précède une disparition progressive de ce taxon.

Drosera, Alismataceae, Lentibularia sont signalés en faible proportion dans ces échantillons.

Sphagnum n'enregistre pas de variations par rapport à ses pourcentages de la zone précédente.

Les fougères sont bien représentées.

Cette zone ressemble à celle définie précédemment en fin de zone VI (échantillons 30 à 32). La zone V avec une diminution de la durée de la saison sèche est venue freiner le phénomène de disparition de la forêt enregistré en fin de zone VI. Ce phénomène reprend de façon plus intense et est caractérisé principalement par une croissance des *Apiacées* (*Ombellifères*).

Le spectre pollinique associé à la zone IV caractériserait un climat plutôt aride avec une saison sèche plus longue, plus de 2 mois en moyenne, des précipitations suffisamment abondantes pour garder le sol humide et

marécageux mais des températures plus froides que pour la zone V et sans doute qu'à la fin de la zone VI car le phénomène y est plus accentué.

Le paysage est donc très ouvert, l'intérieur de la cuvette est marécageux avec des sols de tourbière acides.

La zone III, de 42 à 72 cm, est caractérisée par une remontée des fréquences des taxons arborés (33 à 72%). Seulement 2 échantillons sur 10 présentent une fréquence des taxons arborés inférieure à 50%.

Les datations ¹⁴C fournissent 4 dates à ce niveau:

9150 ans B.P., 7990 ans B.P., 6510 ans B.P., 5560 ans B.P.. Il s'agit donc d'une période située entre 9200 et 5500 ans B.P. si l'on tient compte des incertitudes.

Deux sous zones doivent être distinguées à l'intérieur de cet ensemble:

La première (IIIb) constituée des échantillons 14 à 19 (54 à 72 cm) se caractérise par une forte proportion d'*Araucaria* (2 à 11%), d'*Ilex* (4 à 11%), *Melastomataceae/Combretaceae* (1 à 7%), *t. Myroxylon* (5 à 20%), ces derniers présentant un pic au même niveau que le pic des *Araucaria*, *Symplocos* (1 à 3%), *Drymis* est également présent mais en faible proportion (0,2 à 1,2%) et de façon irrégulière.

Les autres taxons arborés présents sont *Lithraea*, *Myrtaceae*, *Podocarpus*, *Rapanea*, *Alchornea*; leur fréquence reste faible.

Les fréquences des palmiers à pollen monocolpé (Arecaceae C1) augmentent légèrement (0,4 à 2,6%), les Urticales disparaissent.

Les herbacées non hygrophiles sont dominées par les Graminées et les Apiacées bien que leurs pourcentages ne soient pas très importants (3 à 13%), puis viennent les *Borreria*, Composées liguliflores, *Gomphrena* et *Lamiaceae*

La fréquence des Cypéracées a légèrement diminué (4 à 10%) alors que celle des Ericacées a augmenté (3,5 à 23%).

Les taxons hygrophiles sont présents ainsi que les Xyridacées plus sensibles à l'acidité des sols.

Sphagnum est bien représenté avec un pic au sommet de cette zone IIIb.

Le cortège de taxons dominants est donc formé de *Araucaria*, *Ilex*, *Symplocos* principalement et accompagné de *Drymis* et *Podocarpus*.

t. Myroxylon semble suivre la même croissance que celle des taxons précédents mais l'imprécision de la détermination ne nous permet pas de conclure davantage quant à ses caractéristiques écologiques.

Les autres taxons que nous avions rencontrés au niveau des zones précédentes sont maintenus en plus faible proportion, peut être grâce à des conditions d'humidité favorables.

La tourbière est maintenue dans de bonnes conditions d'humidité, les sols restent acides.

Le climat de cette zone serait donc plutôt de type froid et humide, avec des précipitations toujours égales par rapport aux zones précédentes mais des températures beaucoup plus basses et de nombreux jours de gelée (plus de 30 jours par an). La saison sèche est très courte ou inexistante.

La sous zone, IIIa, comprenant les échantillons 10 à 13 est aussi représentée par un fort pourcentage de taxons arborés. Les araucarias ont disparu, les fréquences des *Ilex* et des *t. Myroxylon* diminuent (2,5 à 0,4% et 4,6 à 0,5% respectivement) au profit des *Miconia* (18 à 37%) et des *Melastomataceae/Combretaceae* (5,5 à 11%).

Symplocos est toujours présents avec les mêmes proportions et de nombreux taxons apparaissent ou réapparaissent: *Tabebuia*, *Tecoma*, *Zanthoxylum*, *Alchornea*, *Lithraea*, *Arecaceae*. *Drymis* disparaît.

Les fréquences des Myrtacées augmentent légèrement entre 45 cm et 50 cm.

Au niveau des taxons non arborés, ceux ci sont dominés par les graminées (27 à 62%).

Asteraceae et *Apiaceae* sont présentes; nous remarquons que les ombellifères disparaissent au moment où les Myrtacées reviennent.

Ces 2 taxons fonctionnent en phase et pourraient indiquer le degré d'humidité des sols, à la suite des observations que nous avons pu faire précédemment.

Parmi les herbacées *Borreria* et *Gomphrena* sont présentes.

Les Cypéracées enregistrent une très légère baisse par rapport aux échantillons précédents (17 à 5%).

Les Ericacées diminuent fortement également et les Xyridacées disparaissent au niveau de l'échantillon 10.

Alismataceae, *Onagraceae*, *Eriocaulaceae*, *Lentibularia* sont présents et indiquent la présence d'un sol humide.

Les fougères sont en moyenne bien représentées sauf au niveau de l'échantillon 10 où les *Sphagnum* enregistre une forte baisse.

La disparition presque totale des taxons caractérisant la forêt d'araucaria au profit des taxons caractérisant des forêts plus tempérées atteste d'un réchauffement de cette zone, entre 8000 et 5500 ans B.P..

Le pic de Myrtacées accompagné d'une disparition des Ombellifères et des *Sphagnum*, semble indiquer une augmentation du niveau d'eau sur la surface de la tourbière, dûe soit à un mauvais drainage de celle-ci soit à une forte pluviosité avec une saison sèche et une saison humide. La saison sèche doit être courte, 2 mois au maximum, car les taxons arborés présents caractérisent plutôt une forêt de type mésophile semidécidue.

La zone II, de 33 à 42 cm comprenant les échantillons 7 à 9, est caractérisée par un faible pourcentage des taxons arborés (8 à 14%).

Les arbres présents sont des *Podocarpus*, des Palmiers, des *Anacardiaceae*, des *Melastomataceae/Combretaceae*, des *Mimosaceae*, *Myrtaceae* en très faible proportion.

Les *Ilex* et *Symplocos* ont disparu.

Les taxons non arborés sont dominés par les graminées (80%). Les *Apiaceae* et les *Asteraceae* sont également présentes ainsi que *Borreria* et *Gomphrena* en plus faible quantité.

Les Cypéracées enregistrent une diminution (2,5 à 8%).

Les Ericacées disparaissent totalement ainsi que la plupart des plantes hygrophiles au niveau du maximum des fréquences des taxons non arborés.

Sphagnum, *Xyridaceae* et *Eriocaulaceae* disparaissent également, mais ceci paraît être lié davantage à des conditions plus sèches du sol qu'à une diminution d'acidité.

Le maximum de l'aridité paraît être atteint au niveau de l'échantillon 8, à 36-38 cm entre 4500 et 5500 ans B.P..

Le cortège pollinique des 2 autres échantillons témoignent de conditions un peu plus humides.

Cette zone présente donc un climat de type aride sans doute avec une très longue saison sèche.

La zone I, de 15 à 33 cm avec les échantillons 1 à 6, enregistre une reprise du couvert arboré avec de 15 à 25% de taxons arborés et un pic à 45% au niveau de l'échantillon 4.

Les résultats des datations ^{14}C sur un échantillon à 32 cm sont 4350 ans B.P. (+540-500) et à 18 cm 3060 ans B.P..

Les taxons arborés dominants sont les *Melastomataceae* (0,2 à 7,5%), les *Miconia* (3,5 à 11%) et les *Mimosaceae* (1,5 à 7%), puis viennent les *Alchornea* (0,5 à 2%) et les palmiers (0,2 à 2%).

La présence de *Astronium*, *Chomelia*, *Copaifera*, *Tecoma*, *Roupala* atteste d'un retour à des conditions climatiques plus humides.

Ilex réapparaît mais à l'état de trace seulement.

Par contre les *Urticales* sont bien représentées.

Ce sont les graminées qui dominent les taxons non arborés, suivies des *Asteracées* (2 à 6,5%) et des *Apiacées* (2 à 7%).

Les plantes hygrophiles, *Xyridaceae* et *Eriocaulaceae* ont été déterminées, les *Ericacées* voient leur fréquence augmenter à partir de l'échantillon 4, les *Sphagnum* disparaissent alors que les autres espèces de fougères persistent.

La végétation arborée caractérisée par ces spectres polliniques semble se rapprocher d'une forêt de type mésophile semidécidue avec un maximum de son développement au niveau de l'échantillon 4.

Le climat correspondant à cette zone serait donc humide avec des précipitations abondantes, bien réparties au cours de l'année, et avec une courte saison sèche, 2 mois au maximum. Les températures restent élevées, comprises entre 10 et 15°C en hiver d'après nos données de l'actuel exposées au cours des chapitres précédents, mais la région peut connaître quelques journées froides.

Le sol de la tourbière reste humide et marécageux une bonne partie de l'année.

La zone 0 n'a pu être analysée à cause d'une perturbation des dépôts superficiels lors du carottage.

E- Etude des concentrations des grains de pollen

"L'évaluation de la richesse du sédiment peut permettre de tester la validité de l'interprétation d'une variation pollinique. Autrement dit, elle

peut permettre d'évaluer si la raréfaction ou la disparition d'un taxon est réelle ou simplement dûe à un effet statistique". (ABLIN 1985)

La richesse du sédiment en grains de pollen et spores a été calculée selon COUR (1974) et ABLIN (1985).

Prenons un exemple afin de mieux détailler ce calcul:

$$f\% = v/V \times l/L \times 100$$

v volume sur la lame

V volume du culot

L largeur utile de la lamelle

l largeur du balayage ou largeur de la lamelle lue.

$$r = (n \times 100/f)/m$$

n nombre total de grains

m poids sec de sédiment

Soit par exemple dans le cas de l'échantillon 1:

$$m=1g$$

$$n=702 \text{ grains}$$

$$V=140\mu\text{l}$$

$$L=18000\mu\text{m}$$

$$v=50\mu\text{l}$$

$$l=312\mu\text{m} \times 14 \text{ lignes} = 4368\mu\text{m}$$

$$f=0,8$$

$$r=102375 \text{ grains de pollen/g}$$

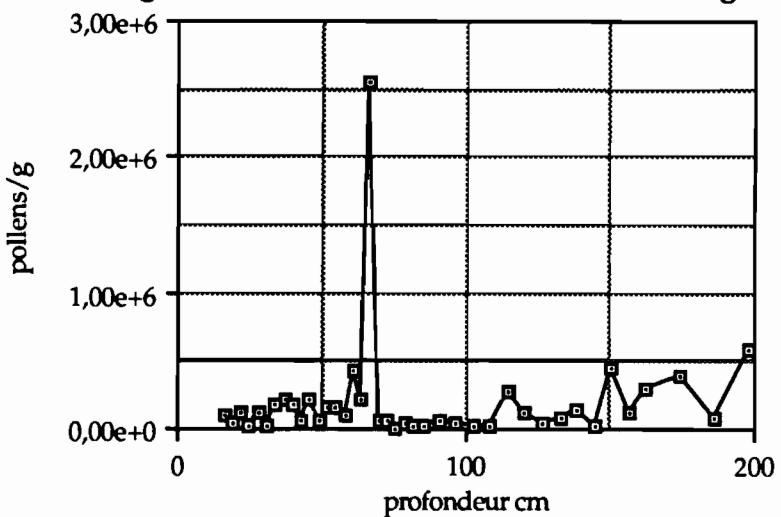
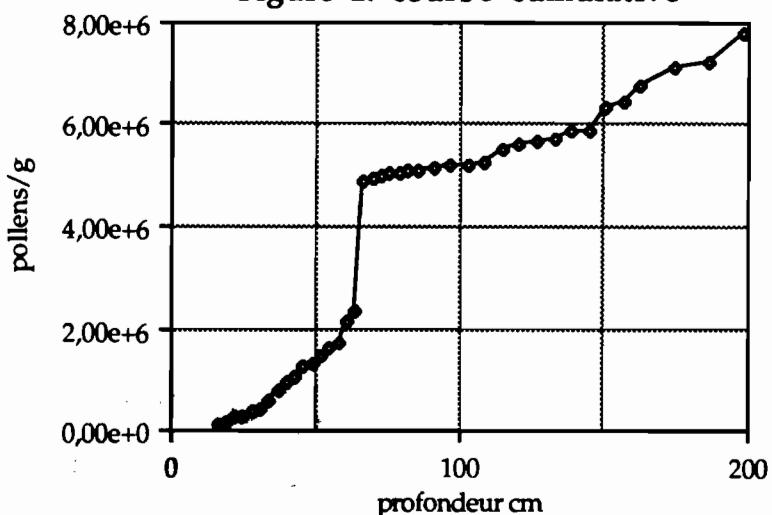
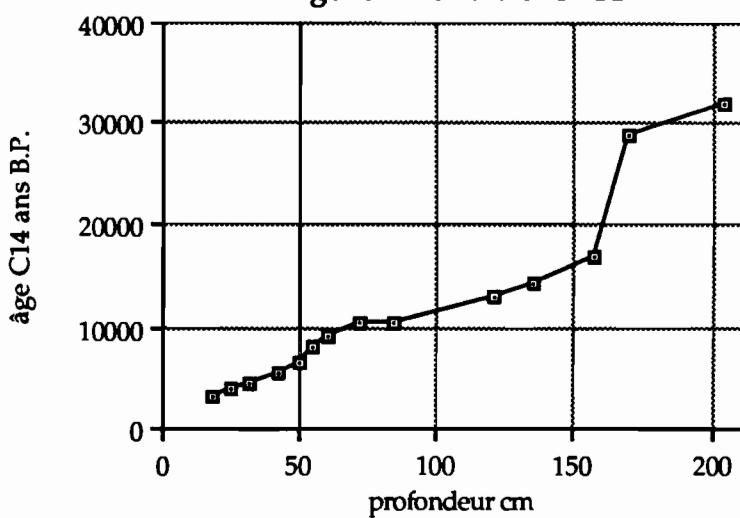
Ce calcul appliqué à tous les échantillons permet d'apprécier les variations de richesse du sédiment au long de l'analyse, la concentration en pollens et spores d'un échantillon et d'estimer la vitesse de sédimentation correspondant à l'échantillon analysé.

Les résultats de ces calculs sont reportés sur la figure 5-6/1.

La courbe cumulative (Figure 5-6/2) est tracée à partir de la somme des concentrations, c'est à dire si n_1 est le nombre de grains par gramme pour l'échantillon 1, n_2 pour l'échantillon 2, n_i pour l'échantillon i , la valeur 1 de la courbe sera égale à n_1 , la valeur 2 à n_1+n_2 , la valeur 3 à $n_1+n_2+n_3$, i à $n_1+n_2+n_3+\dots+n_i$.

Cette courbe nous permet d'observer si le dépôt des grains se fait de façon régulière.

Figure 5-6: Etude des concentrations avec 1/ courbe des concentrations des grains de pollen 2/ courbe cumulative 3/courbe des datations C14 en fonction de la profondeur des échantillons.

Figure 1: courbe de concentration des grains**Figure 2: courbe cumulative****Figure 3: datations C14**

L C 3

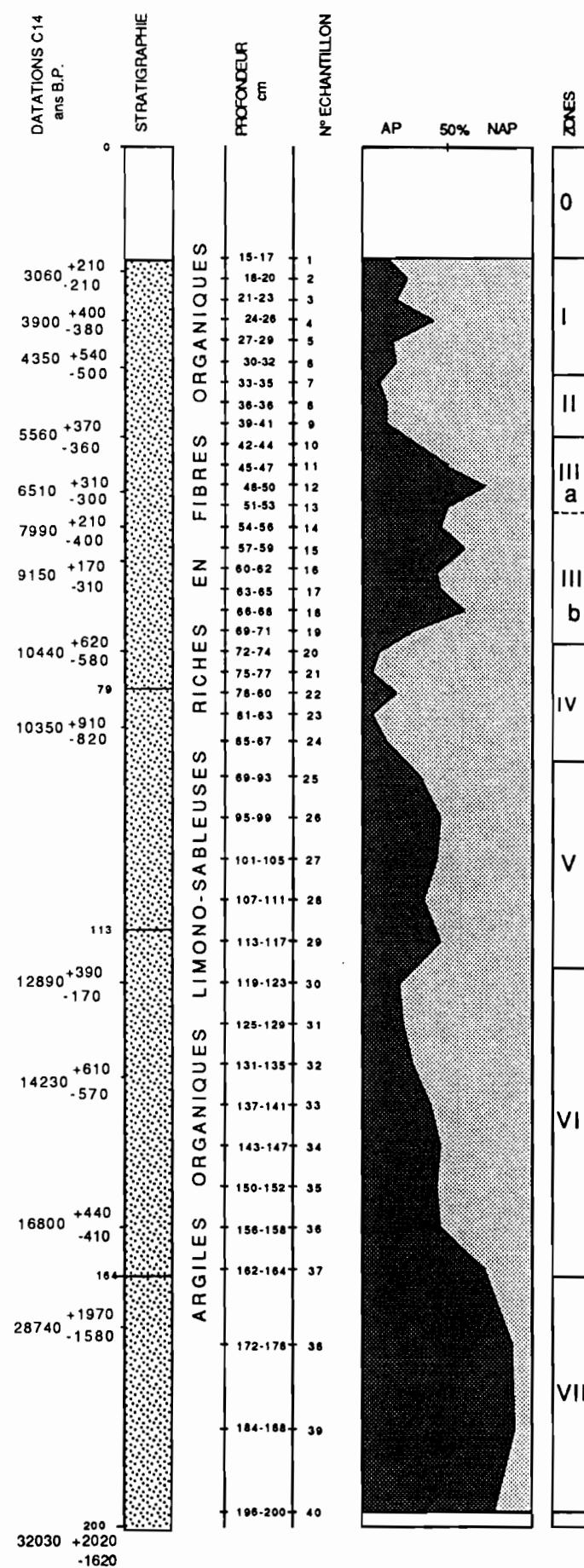


Figure 5-6bis: Délimitation des zones paléoécologiques de la carotte LC3 de Salitre.

Sur la figure 5-6 sont alignées la courbe de concentration des grains de pollen, la courbe cumulative et la courbe des datations ^{14}C exprimées en fonction de la profondeur de l'échantillon analysé. Nous remarquons que ces courbes se suivent et se complètent.

Le "hiatus" représenté sur la figure 5-6/3, marqué par une brutale ascension de la courbe entre 150 et 200 cm de profondeur se retrouve sur la courbe cumulative (Figure 5-6/2) où il est caractérisé par un court palier.

Ce palier indique que le dépôt des grains et par conséquent la sédimentation sont très ralenti ou absents durant cette période.

L'analyse palynologique indiquait à ce niveau la présence d'une forêt inondée de type igapó. Cette hypothèse est donc renforcée par les observations précédentes. En effet quand les eaux se retirent temporairement, les sédiments contenant les grains de pollen sont emportés et il n'y a pas de trace de la sédimentation. Les datations au radiocarbone viennent appuyer ces constatations: elles ne varient pas entre 164 et 204 cm aux marges d'erreur près.

Par la suite, la reprise de la sédimentation, attestée par la régularité de la courbe des âges ^{14}C (Figure 5-6/3) et de la courbe cumulative (Figure 5-6/2), se fait en phase avec la formation de la tourbière .

Cette reprise est de nouveau stoppée, mais très brièvement, entre 100 et 110 cm de profondeur. Elle est alors marquée sur les courbes par un court palier et correspond au moment où la forêt inondée se réinstalle; la nature du sol change et la formation de la tourbière est freinée pendant ce laps de temps.

La sédimentation reprend ensuite de façon régulière jusqu'à l'échantillon 18, à 66-68 cm de profondeur, où la concentration des grains de pollen dans le sédiment devient soudain très élevée. Cette brutale augmentation correspond à l'installation de la forêt au début de l'Holocène.

Puis les dépôts sont réguliers jusqu'au sommet de la carotte LC3.

Six phases de sédimentation ont donc pu être distinguées grâce à l'observation de ces courbes (Fig.5-6bis):

- 1- Zone VII: pas de dépôt
- 2- Zone VI: reprise de la sédimentation
- 3- Zone V: bref arrêt de la sédimentation
- 4- Zone IV: reprise régulière de la sédimentation
- 5- Zone IIIb: brutale augmentation avec la mise en place de la forêt

6- zones IIIa à I: reprise d'une sédimentation régulière

Ces résultats pourront être confirmés et précisés à l'aide de la minéralogie et de la géochimie (F.SOUBIES, F.SONDAG en cours).

F- Phases climatiques

Ces observations nous amènent à qualifier les caractéristiques climatiques de chaque zone palynologique; l'analyse est semiquantitative, telle que nous l'avons exposée dans le chapitre 3 où à un groupement de taxon est relié un type de végétation, lui même relié à un climat.

Au Brésil central, températures hivernales et durée de la saison sèche définissent le climat. Un épisode climatique peut donc être qualifié de froid ou chaud en fonction de ces paramètres.

Les phases froides, où les températures hivernales sont inférieures à 10°C peuvent être **humides**, c'est à dire sans saison sèche, ou **arides** avec différents degrés selon la longueur de la saison sèche.

Les phases chaudes, avec des températures hivernales plus élevées peuvent aussi être **humides** si la saison sèche est très courte ou absente, ou plutôt **arides** si la saison sèche est plus longue.

Ainsi les zones VI, V, IV et IIIb caractérisent des épisodes climatiques froids, distincts les uns des autres selon la durée de la saison sèche de chacun.

La zone VI connaît une saison sèche de 2 mois environ et les températures diminuent au cours de cette période. C'est donc une phase **froide et sèche**.

La zone V a une saison sèche beaucoup plus courte que celle caractérisant la zone VI. Cette courte saison sèche associée à la baisse des températures hivernales a permis à l'araucaria de se développer à la fin de cet épisode **froid et humide** par conséquent.

La zone IV reste froide, mais la longueur de la saison sèche augmente brutalement (l'araucaria disparaît). Cette phase climatique est **froide et aride**. Les deux datations par le radiocarbone qui encadrent cette zone IV sont identiques si l'on tient compte des marges d'erreur. Cela pourrait indiquer que les dépôts correspondants se sont mis en place rapidement et que la phase climatique a été relativement brève.

Les zones VII et II caractérisent des phases chaudes.

La zone VII enregistre des températures hivernales élevées ($>15^{\circ}\text{C}$) mais le taux d'humidité reste important tout au long de l'année; il y a peu ou pas de saison sèche. Cet épisode est donc **chaud et humide**.

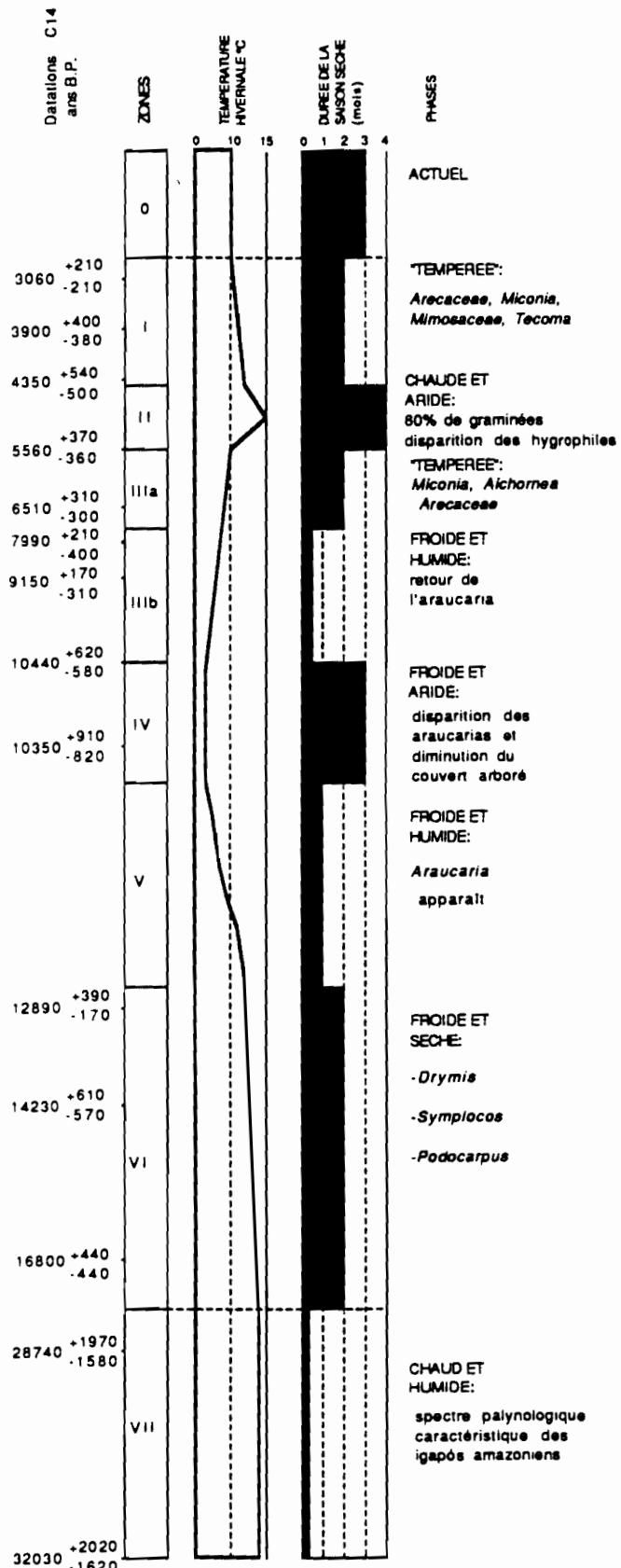


Figure 5-10 : Interprétation paléoclimatique des changements de couvert arboré enregistré à Salitre, LC3, 19°S.

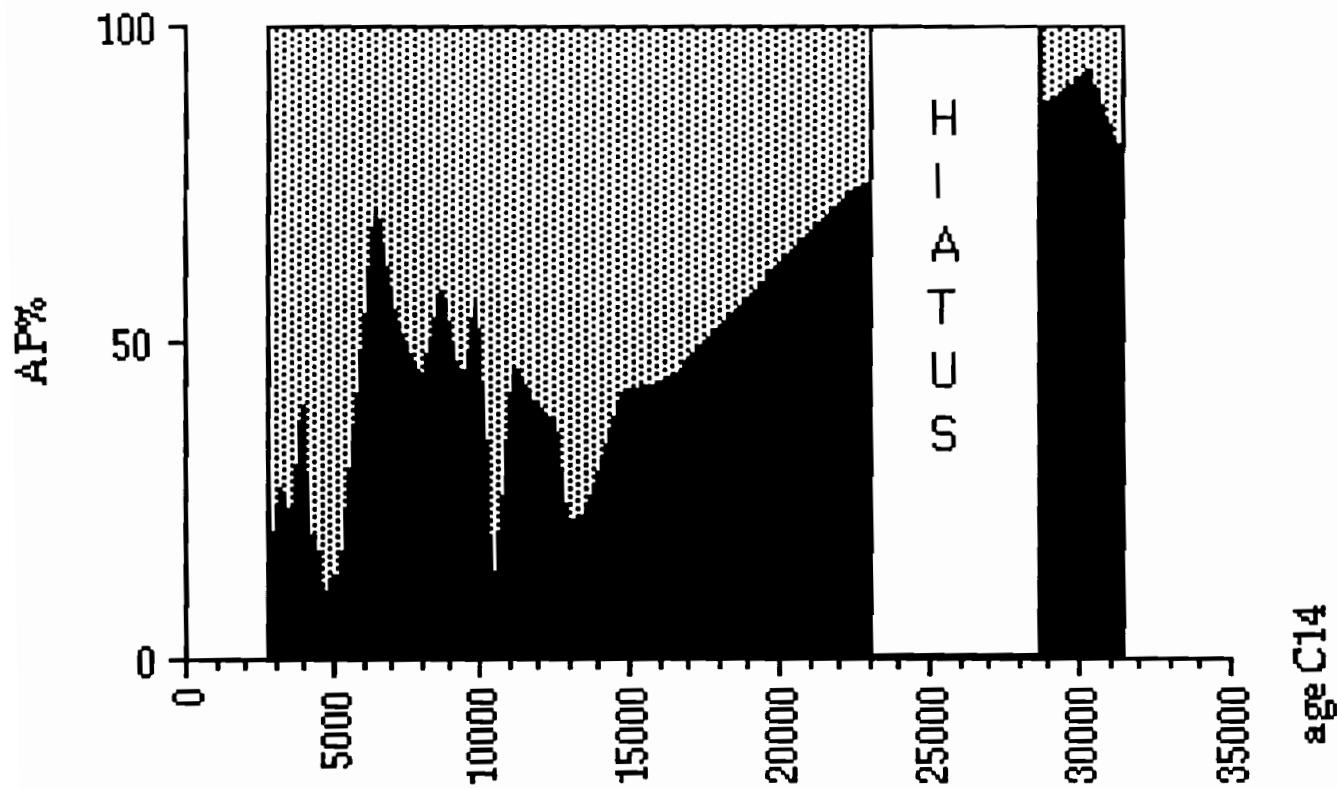


Figure 5-7: Diagramme palynologique de la carotte LC3 de Salitre (19°S) où les fréquences des pollens arborés sont exprimées en face d'une échelle chronologique.

La zone II caractérise également une phase chaude mais différente de la précédente. Très sèche, avec des précipitations peu abondantes et une longue saison sèche, il s'agit d'une phase **chaude et aride**.

Les autres **zones IIIa et I** caractérisent des conditions climatiques proches de l'actuel avec des précipitations importantes, une saison sèche à durée moyenne, 2 mois environ, et des températures hivernales moyennes, aux alentours de 10°C. Nous les avons qualifiés de **tempérées**.

La figure 5-10 résume ces observations.

G- Echelle chronologique

Nous avons construit le même diagramme que celui décrit précédemment en plaçant les pourcentages des taxons arborés (AP) non plus en face d'une échelle des profondeurs mais en face d'une échelle de temps (âge C14) (Fig.5-7).

Les âges de chaque échantillon sont calculés à partir de ceux donnés par les analyses C14. Ils sont reportés en face des fréquences des taxons arborés leur correspondant.

Le hiatus mis en évidence lors de l'étude des concentrations des grains est également reporté sur le diagramme entre 23000 et 29000 ans B.P. environ.

Les éléments importants apparaissent ainsi de façon beaucoup plus probante:

- la chute progressive des pollens d'arbre entre 23000 et 15000.
- celle-ci est freinée par une brusque remontée des taxons arborés entre 14000 et 11000 ans B.P.
- la "phase d'hésitation" entre 14000 et 11000 est très nette.
- le développement de la couverture arborée est alors freiné très brutalement entre 11000 et 10000 ans B.P. La vitesse et la brièveté de cet événement sont démontrées.
- le début de l'Holocène avec, comme nous l'avons montré au cours des paragraphes précédents, un développement de la forêt froide et humide, la forêt d'araucaria vers 9500 ans B.P., assez bref puisqu'elle est remplacée à partir de 8500 ans B.P. et jusqu'à 5500 ans B.P. par la forêt mésophile semidécidue.
- la phase aride de l'Holocène débute par une brusque régression du couvert arboré, culminant à 4500 ans B.P.

H- Diagramme synthétique

Les fréquences des différents taxons ou regroupements de taxons sont reportées en face d'une échelle chronologique établie de la même façon que pour la figure 5-7.

Les regroupements écologiques sont ceux définis lors de l'étude des échantillons de surface en ce qui concerne les taxons régionaux, c'est à dire

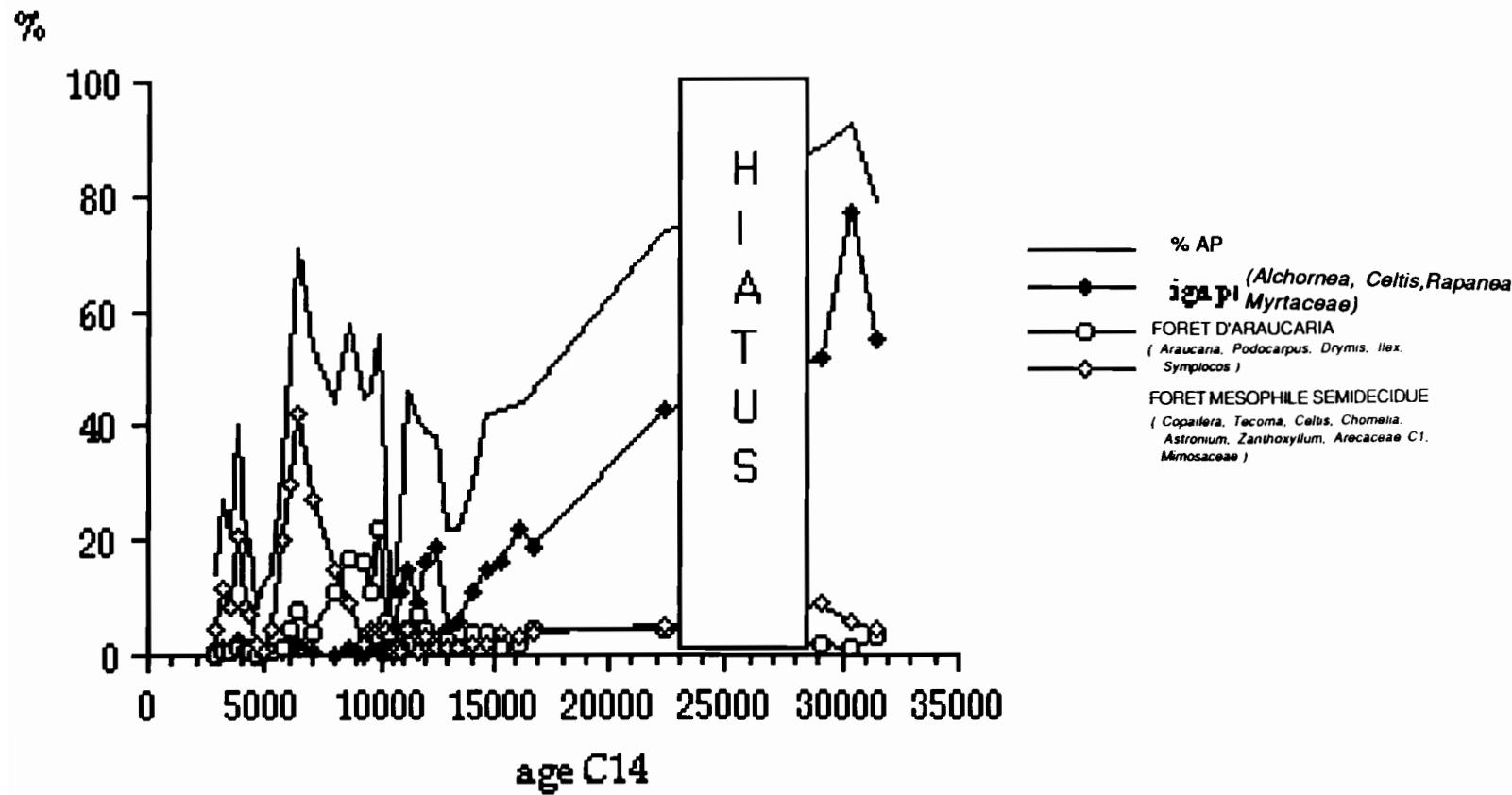
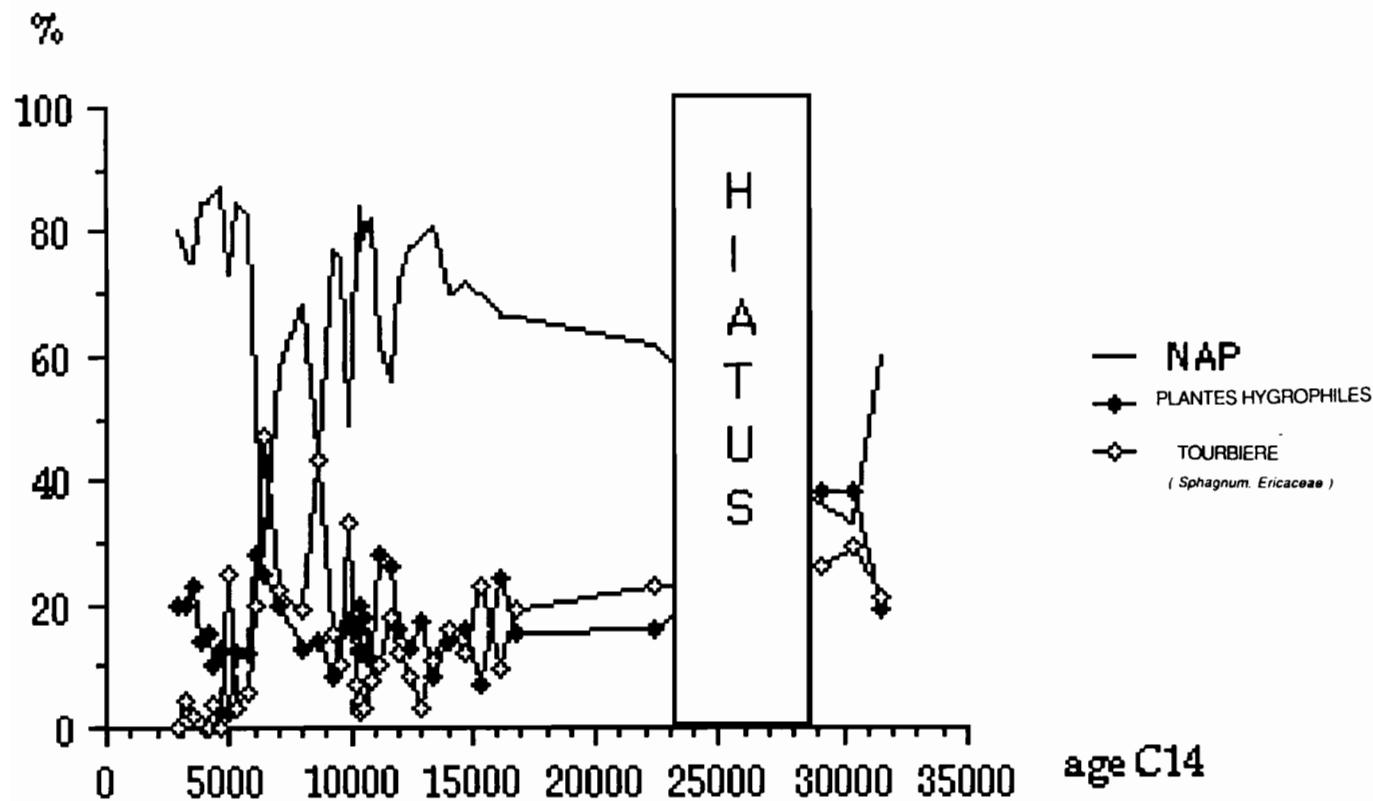


Figure 5-8: Diagramme synthétique de la carotte LC3 de Salitre (19°S) des taxons régionaux en fonction de l'échelle chronologique. Les fréquences sont calculées par rapport à la somme de base AP+NAP.



les grains qui définissent une végétation environnante sur une échelle régionale telle que la forêt d'araucaria, la forêt mésophile semidécidue, l'igapó, les éléments composant habituellement le cerrado étant absents.

Rappelons les brièvement:

A la forêt d'araucaria est associé: *Araucaria*, *Podocarpus*, *Drymis*, *Ilex* et *Symplocos*.

A la forêt mésophile semidécidue: *Copaifera*, *Tecoma*, *Celtis*, *Chomelia*, *Astronium*, *Zanyhoxylum*, Arecaceae monocolpé, Mimosaceae.

A l'igapó: *Alchornea*, *Celtis*, *Rapanea* et Myrtaceae définis à l'aide de la littérature.

En ce qui concerne les taxons dits locaux, caractérisant la tourbière et les plantes hygrophiles et se développant sur le site même, ceux-ci n'ayant pas été analysé au cours de l'étude des échantillons de l'actuel, leur classement dans ces catégories s'est fait à l'aide de références bibliographiques (JOLY, 1985) et des communications orales des botanistes de l'Université d'Amsterdam (A.CLEEF, B.VAN GEEL) et d'Utrecht (P.MAAS).

A la tourbière est associé *Sphagnum* et Ericaceae et pour les plantes hygrophiles sont pris en compte Eriocaulaceae, Xyridaceae, *Lentibularia*, *Myriophyllum*, Onagraceae, Cyperaceae.

Deux diagrammes ont été construits:

le premier (Figure 5-8) expose les variations écologiques au sein du couvert arboré. Les pourcentages de chaque groupe sont calculés par rapport à la somme totale AP+NAP.

Nous remarquons globalement que la végétation ne change pas de façon radicale tout au long de la séquence: ce sont les mêmes groupes écologiques qui sont présents au cours du Pléistocène récent et de l'Holocène.

La disparition de l'igapó se fait progressivement au cours de la fin du Pléistocène et commence à être remplacé par de la forêt d'araucaria entre 14000 et 11000 ans B.P.

Nous observons aussi très nettement au début de l'Holocène la substitution de la forêt d'araucaria par de la forêt mésophile semidécidue.

Sur le diagramme de la figure 5-9 les fréquences des groupes écologiques sont calculées par rapport à la somme NAP+Hygrophiles+Tourbière.

Nous remarquons que l'humidité des sols est à peu près constante tout au long de la séquence sauf au cours de la phase sèche de l'Holocène;

A 4500 ans B.P. les plantes hygrophiles disparaissent totalement au profit des taxons caractéristiques de la tourbière. En fait cette brutale augmentation n'est dûe qu'à une augmentation de la fréquence des *Sphagnum*, les Ericacées sont absentes à ce niveau. Or, lorsque les sphagnum se mettent à polliniser abondamment, ceci correspond en général à un assèchement de la tourbière; elle répond de cette façon aux rigueurs du climat (B. VAN

GEEL, P.VAN DEN MOLEN, communication orale). Ce pic de Sphagnum confirme l'existence d'une phase aride à ce niveau.

Les hypothèses concernant l'évolution de la tourbière sous cette latitude, ne pourront être vérifiées qu'à la suite d'une étude botanique et écologique sur les milieux actuels de tourbière au Brésil, ainsi qu'avec des analyses portant sur les 15 premiers centimètres de la carotte LC3 et sur des échantillons de surface.

Une autre remarque concerne l'observation de nombreux charbons de bois dans certains échantillons. Faute de pouvoir préciser davantage à ce stade de notre étude, nous nous contenterons d'indiquer brièvement ces niveaux.

Il s'agit donc de:

24-26 cm; 75-77 cm; 101-105 cm; 125-129 cm; 143-147 cm.

I- Discussion paléoclimatique- Correlations avec d'autres régions.

I1- AVEC L'AMERIQUE DU SUD

A l'aide de différents exemples situés sous des latitudes allant de 8°N (Panama) à 43°S (Chili) nous observons quelles sont les principales phases d'évolution de la végétation et les changements climatiques qu'elles représentent au niveau du continent sud-américain.

Au Panama, BUSH et COLINVAUX (1990), à El Valle situé dans une zone de forêt de basse altitude, à 8°27'N de latitude, le climat semble avoir été suffisamment humide pour permettre à la forêt de persister entre 30000 et 12000 ans B.P.(Fig.5-11).

Ceci est également le cas à Salitre.

L'événement le plus froid qui a été enregistré correspond à une diminution de la température de 6°C vers 14000 ans B.P. environ.

La période glaciaire s'est terminée par un épisode très froid mais humide.

L'étude palynologique du Lac Moreiru, en Guyane sous 5°N couvre l'ensemble de l'Holocène et sans doute le Tardiglaciaire (WIJMSTRA et VAN DER HAMMEN, 1966).

La composition de la végétation n'a pas changé globalement: les espèces du cerrado sont présentes tout au long de l'Holocène, seule leur fréquence se modifie (Fig.5-12).

Ceci avait été observé à Salitre au cours de la description des diagrammes détaillés: il n'a pas été observé de disparition brutale des groupes écologiques, ils sont présentstout le long de la séquence..

Nous remarquons ensuite à 6000 ans B.P. une chute de la fréquence des taxons arborés: ceci est significatif d'un assèchement.

Au Vénézuela, les changements de végétation et de climat discernés sur le site du Lac Valencia, sous une latitude de 10°16'N s'avèrent très proches de ceux de Salitre (Fig.5-13).

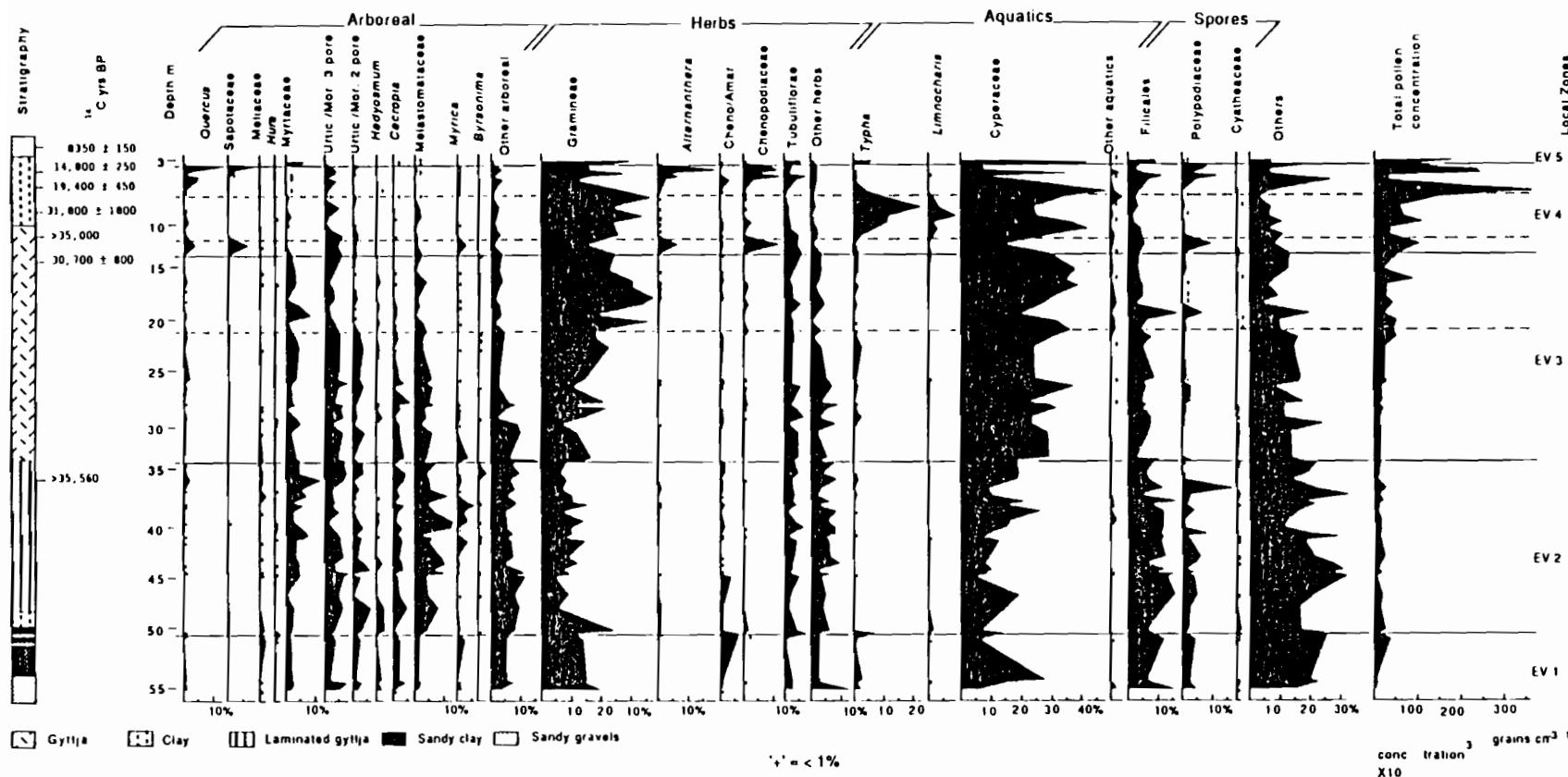


Figure 5-11: Diagramme palynologique de El Valle (Panama) in BUSH et COLINVAUX, 1990.

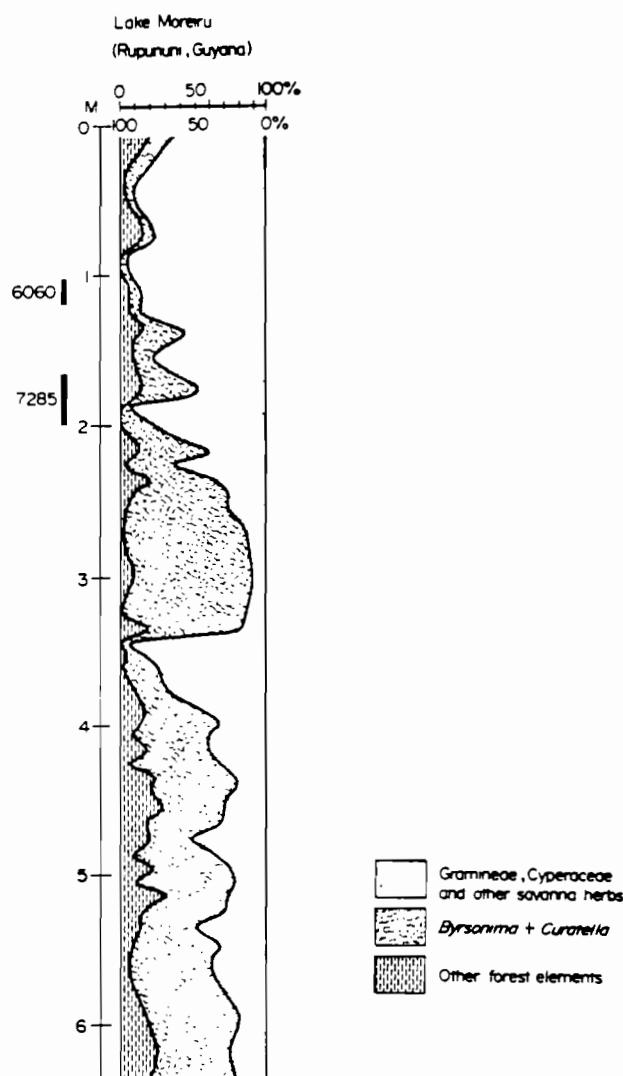


Figure 5-12: Diagramme palynologique du Lac Moreiru (Guyane)
in WIJMSTRA et VAN DER HAMMEN, 1966.

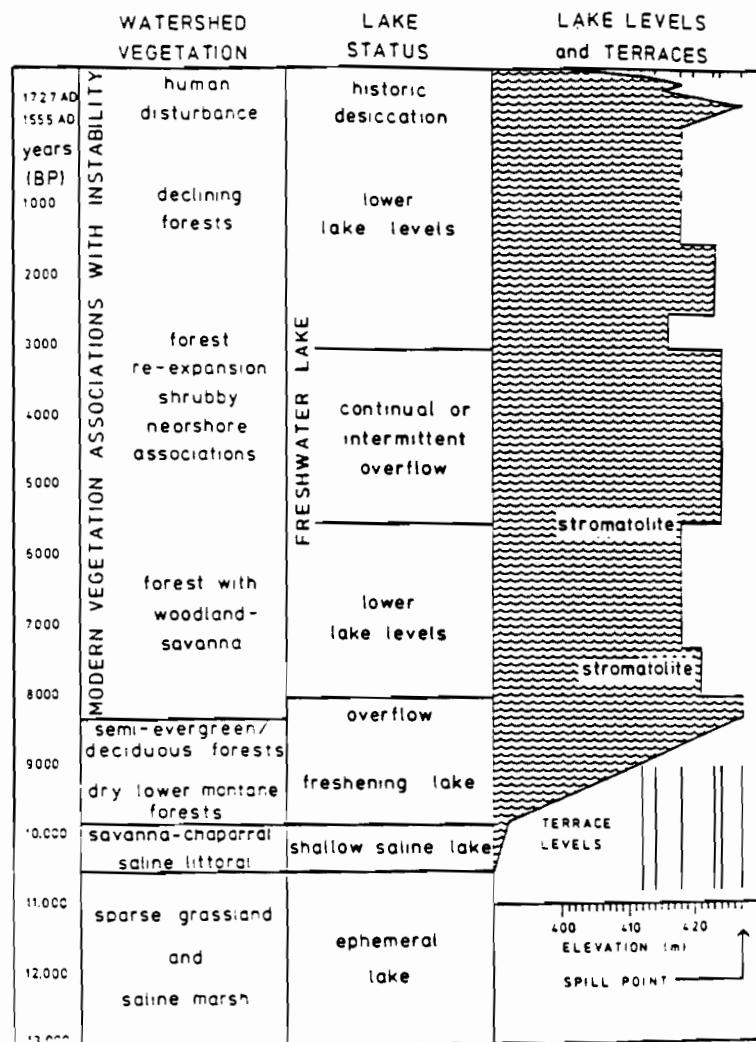


Figure 5-13: Paléoclimatologie du Lac Valencia (Venezuela) résultats de la palynologie, des diatomées et de la géochimie in LEYDEN, 1985.

L'étude des pollens et des diatomées ainsi que des analyses minéralogiques et géochimiques sont réalisées sur des échantillons provenant d'une carotte dont la partie inférieure est datée à 13000 ans B.P. (SALGADO-LABOURIAU, 1980, BRADBURY et al, 1981, LEYDEN, 1985). Entre 13000 et 10000 ans B.P., un climat sec est mis en évidence grâce à la présence de mares salées intermittentes.

A 10000 ans B.P. environ un lac permanent à salinité variable s'est formé et les arbres sont remplacés par une végétation xérique.

Ceci vient appuyer les hypothèses des géomorphologues à propos de l'aridité du Pléistocène récent, et met en évidence un début de l'Holocène humide.

A 9800 ans B.P. une forêt sèche de basse montagne s'est installée attestant de températures froides.

Cette forêt est ensuite remplacée vers 9500 ans B.P. par des forêts tropicales décidues et semidécidues. La température a donc subi une hausse.

C'est exactement ce qui a été enregistré à Salitre.

Au milieu et à la fin de l'Holocène, l'humidité a varié mais les climats n'ont pas été aussi humide qu'au début, en général des conditions arides ont dominé sauf de 5200 à 2200 ans B.P.

A Carajás, au Brésil dans la forêt amazonienne (5°50'S de latitude) des analyses palynologiques et géochimiques (ABSY et al, 1989, SIFFEDINE, 1991) ont mis en évidence des changements dans la couverture arborée au cours du Pléistocène et de l'Holocène (Fig.5-14).

De 14000 à 11000 ans B.P. une régression de la forêt est observée avec une diminution du pourcentage des arbres.

Le début de l'Holocène est marqué par un développement de la forêt.

A 6000 ans B.P. une sécheresse est mise en évidence.

Celle-ci apparaît être en léger décalage par rapport à Salitre où elle n'est enregistrée qu'à partir de 5000 ans B.P.

Au Brésil encore, les résultats de l'étude palynologique d'une carotte marine située au large des côtes de l'état du Rio Grande do Sul, à 33°33'S de latitude, montre, bien qu'il n'y ait pas de datations C¹⁴, qu'il n'y a pas eu de climat semi-aride au cours du Pléistocène récent (LORSCHETTER et ROMERO, 1985).

Celui-ci est humide et froid avec des intervalles plus chaud ou plus froid. Ces intervalles seraient dûs à la présence de vents du sud-ouest importants.

A la fin du Pléistocène un épisode plus sec est enregistré.

Au Chili, à Vaca Lauquen (37°S), une étude palynologique (MARKGRAF, 1983) montre qu'avant 10000 ans B.P. les climats étaient plus froids et secs qu'aujourd'hui sous ces latitudes.

Entre 10000 et 8500 ans B.P. les températures ont augmenté, atteignant des valeurs proches de l'actuel.

De 8500 à 6000 ans B.P. les températures étaient plus chaudes que l'actuel et les précipitations plus abondantes, puis un épisode froid caractérise la période de 6000 à 4500 ans B.P..

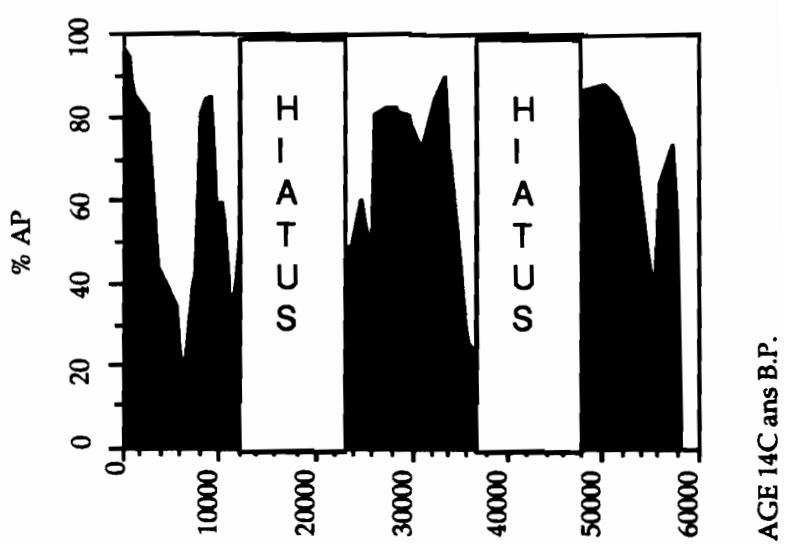


Figure 5-14: Diagramme palynologique de Carajás (Brésil) d'après les données de ABSY et al, 1989, SIFFEDINE, communication orale..

C'est ce qui est enregistré globalement à Salitre sauf pour l'épisode froid du milieu de l'Holocène qui est chaud et sec sous notre latitude.

A partir de 4500 ans B.P. les températures augmentent jusqu'à atteindre des valeurs égales à celles de l'actuel.

L'auteur a ensuite comparé ses résultats avec ceux obtenus au cours d'analyses de sites de moyenne (Argentine 48°S) et de haute latitude (Terre de Feu).

Il nous a paru intéressant d'en dégager quelques points:

les conditions humides enregistrées à 8500 ans B.P. sont les mêmes que celles de la Terre de Feu mais sont décalés par rapport aux sites de moyenne latitude où cet épisode est enregistré à 12000 ans B.P.

A la fois à Vaca Lauquen et sur la Terre de Feu, des épisodes climatiques froids et secs sont enregistrés avant 10000 ans B.P. puis des conditions climatiques chaudes et sèches prédominent entre 10000 et 8500 ans B.P..

L'épisode sec de l'Holocène mis en évidence à Salitre ainsi que sur d'autres sites par différents auteurs, est enregistré entre 6000 et 4500 ans B.P. à la fois à Vaca Lauquen et sur la Terre de Feu alors que sous des latitudes moyennes cet épisode est situé entre 8500 et 7000 ans B.P.

Une opposition des signaux climatiques à 6000 ans B.P. est également intéressante à noter entre les sites de haute et moyenne latitude: une augmentation des précipitations est enregistrée au sud de la Patagonie (MOORE, 1978) alors qu'une diminution des précipitations est enregistrée au Chili et en Argentine (MARKGRAF, 1989).

La latitude paraît être un facteur important. Un changement climatique peut être retardé par rapport à un autre ou opposé (sec-humide) selon la latitude des sites que l'on compare entre-eux. Ceci ressemble dans certains cas aux effets engendrés par le "El Niño" décrits au cours du chapitre 1; nous avions vu alors que les oppositions de signaux climatiques étaient fréquents (Fig.1-5bis) sur l'ensemble du continent sud-américain.

Une synthèse concernant des études palynologiques et hydrologiques réalisées par MARKGRAF (1989) sur le continent sud-américain exclusivement, reconstitue les grandes phases climatiques des 18000 dernières années.

Ainsi à propos de l'existence du Dryas récent en Amérique du Sud, enregistré à Salitre et observé également au sud du Chili (HEUSSER et STREETER, 1980), MARKGRAF remarque qu'il existe actuellement autant d'études l'ayant enregistrées que d'études ne l'ayant pas enregistrées. La question de son existence sur ce continent reste donc ouverte en attendant d'autres études.

En Bolivie, sur le lac Titicaca, des études géomorphologiques ainsi que l'analyse des diatomées et des ostracodes ont montré (SERVANT et FONTES, 1978, SERVANT-VILDARY, 1978, MOURGUIART, 1987):

une sécheresse après 22000 et avant 13000 ans B.P., puis une remontée des eaux du lac à 13000 ans B.P. et enfin une autre sécheresse holocène à 6000 ans B.P. De nombreuses situations de type "El Niño" sont enregistrées entre 6000 et 5000 ans B.P..

Sur le Rio Doce au Brésil, SERVANT et al (1989) ont observé d'intenses ravinements sur les versants et ont émis l'hypothèse d'une absence de la végétation arborée à cette époque. Cette sécheresse est datée à 8000 ans B.P. grâce à la présence d'un charbon de bois.

D'autre part de nombreuses traces d'incendie sont détectées en Amazonie entre 6000 et 3500 ans B.P. (SOUBIES, 1980).

I2- AVEC D'AUTRES CONTINENTS

L'étude palynologique de Salitre, appuyée par les datations ^{14}C , montre que l'évolution de la végétation au cours des trente derniers millénaires a suivi les changements climatiques globaux.

Nous utiliserons, afin de le démontrer, la synthèse effectuée par HASTENRATH (1985) à partir de l'observation des glaciers, des niveaux lacustres et d'analyses palynologiques dans les zones tropicales des 3 continents: Amérique, Afrique et Australasie.

Il s'avère que des variations globales sont enregistrées sur les 3 continents à la fois. Ce sont:

1- la limite supérieure de la forêt est restée basse pendant l'épisode allant de 25000 à 15000 ans B.P.; il s'agit donc d'une période froide.

A Salitre, la période 25000-15000 ans B.P. est ramenée à 17000-15000 à cause d'un hyatus au niveau de la partie inférieure; c'est également une phase climatique froide.

2- Il y a eu des conditions plus sèches et plus froides aux alentours de 10000 ans B.P., suivi d'un retour à des conditions plus humides.

A 10000 ans B.P., à Salitre, un bref épisode climatique froid et sec est enregistré; il peut être apparenté au Dryas récent de l'hémisphère boréal.

3- Une phase mal caractérisée climatiquement à l'échelle du globe, remarquable par un changement de la végétation entre 14000 et 10000 ans B.P. est appelée "les 4000 ans d'hésitation".

Ces "4000 ans d'hésitation" sont définis à Salitre par la présence de conditions climatiques froides et humides et le développement du couvert arboré; cette phase est située entre 2 épisodes froids et sec/aride.

D'autre part la sécheresse observée à Salitre de 17000 à 13000 ans B.P. puis l'instauration de conditions plus humides (remise en eau des lacs) vers 13000 ans B.P et développement du couvert arboré à partir de 10000ans B.P.. sont des phénomènes déjà observés en Afrique (SERVANT, 1970, MALEY, 1983, 1987, BRENAC, 1988) et en Amérique du Sud (MARKGRAF, 1989).

HASTENRATH (1985) fait également état d'une extension de la savane dans les basses terres tropicales sud-américaines au cours des périodes glaciaires.

A Salitre, ceci n'a pas été enregistré; les forêts se sont plutôt maintenues pendant toute la période glaciaire, entre 17000 et 11000 ans B.P., avec toujours une fréquence de 50% de taxons arborés sauf à 14000 ans B.P. où la fréquence des arbres diminue jusqu'à atteindre 20% (Fig.5-7). Ceci peut être attribué à une particularité plus régionale, du fait de la latitude de Salitre, la position des masses d'air et à la remontée éventuelle des advections polaires. La carte (Fig. 5-2) montre l'isolement de Salitre par rapport aux autres études palynologiques réalisées sur le continent sud-américain. Ces particularités régionales sont donc à prendre en compte en attendant que d'autres études soient réalisées dans cette région.

I3- CONCLUSION

Globalement il apparaît difficile à la vue de ces résultats d'adopter un modèle de changement climatique pour le continent sud-américain couvrant le Pléistocène et l'Holocène.

Quelques constatations sont à souligner en ce qui concerne le Brésil:
 -l'humidité est persistante au cours du Pléistocène récent contrairement à ce qu'avaient supposé AB'SABER et BIGARELLA.

-la composition de la végétation n'a pas changé globalement au cours de l'Holocène: les groupes écologiques restent présents tout le long de la séquence, seule leur fréquence change.

En ce qui concerne l'ensemble du continent sud-américain nous remarquons qu'il y a eu un changement climatique global vers le milieu de l'Holocène.

Ce changement peut être daté à 7000 ans B.P., à 6000 ans B.P. ou à 5000 ans B.P. selon la latitude sous laquelle on se trouve.

Ce changement se traduit par une plus grande sécheresse ou davantage de précipitations selon la latitude sous laquelle on se trouve.

Ceci est une première particularité.

Une deuxième particularité est à retenir à propos d'un début de l'Holocène plutôt humide observé sur l'ensemble du continent.

Toutefois il ne nous est pas permis de procéder à des conclusions générales comme ceci a pu être réalisé sur l'ensemble de l'hémisphère nord à propos des changements climatiques globaux tant que certains points n'auront pas été davantage approfondi:

Cette étude montre que le rôle joué par les advections polaires est déterminant sur les climats de tout le continent et du Brésil en particulier (variation des températures hivernales, apport de gelées et fortes précipitations) donc:

-quel est le rôle exact joué par l'Antarctique sur les climats de l'hémisphère Sud?

est-il analogue à celui joué par le Groenland dans l'hémisphère Nord?

-peut-on imaginer une situation de "El Niño" extrêmement prolongée qui se traduirait par un changement climatique global et des variations de la couverture arborée et non plus par des oscillations saisonnières et qui nous permettrait alors, au vue des données de l'actuel (voir chapitre 1) d'imaginer des scenarios climatiques?

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Rappelons tout d'abord quels étaient les objectifs à atteindre au début de ce travail:

1- Etablir les caractéristiques phytogéographiques et climatiques du Brésil central en regroupant sous une forme synthétique des données dispersées dans la littérature.

2- donner une "image palynologique" des forêts du Brésil central à travers la définition des marqueurs écologiques.

3- Rechercher une méthode statistique adaptée à la région et permettant de relier numériquement les données climatiques, phytosociologiques et palynologiques entre elles.

4- Reconstituer les paléoclimats du Brésil central à travers l'évolution du couvert arboré à l'aide des données de l'environnement actuel.

Tout ceci représente une énorme quantité de données à rassembler puis à analyser.

Le temps et les moyens dont je disposai ne me permettaient pas d'entreprendre une approche exhaustive des problèmes. J'ai donc délibérément choisi de ne traiter que les grandes lignes de ce vaste sujet à travers une approche globale.

De ce fait chaque fin de chapitre m'amène à proposer un axe de recherche ou une solution aux différents problèmes soulevés au fur et à mesure de la réalisation de ce travail. Ceci pourra peut être aider les futures investigations dans ce domaine.

1- La relation climat-végétation

Une étude bibliographique conjuguée à un travail de terrain a permis de définir de façon qualitative une première relation végétation-climat.

Les climats sont définis à l'aide de 2 paramètres: durée de la saison sèche et température moyenne hivernale; les moyennes annuelles des précipitations sont les mêmes pour toutes les forêts du Brésil central.

Le rôle des advections polaires et l'impact du "El Niño" sur les variations saisonnières sont mis en évidence à l'aide d'exemples précis.

Trois principaux types de forêt associés à trois types de climat sont mis en évidence:

-Forêt d'araucaria et climat froid-humide sans saison sèche et une température moyenne hivernale inférieure à 10°C.

-Forêt mésophile semidécidue et climat tempéré, à courte saison sèche et température moyenne hivernale comprise entre 10° et 15°C.

-Cerrado et climat chaud, à longue saison sèche et température moyenne hivernale supérieure à 15°C.

Le cerradão et la forêt galerie, autres types de forêt du Brésil central sont reliés respectivement au cerrado et à la forêt mésophile semidécidue, grâce à leurs particularités pédologiques; ce paramètre vient alors s'ajouter aux paramètres climatiques.

Il est évident qu'il existe de nombreux autres types de végétation dans cette région. Notamment lorsque l'on passe d'une forêt à une autre, il faut bien sûr envisager tous les types intermédiaires comme, par exemple, lorsque les caractéristiques pédologiques deviennent déterminantes.

Du point de vue des climats il serait possible de les définir de façon plus précise à l'aide du nombre de jours de gelée annuelle au lieu de la température moyenne hivernale mais ces données n'étaient pas disponibles lorsque j'ai démarré cette recherche.

Il faudrait aussi envisager de définir les étapes intermédiaires au niveau de la longueur de la saison sèche, entre 0 et 5 mois avec les types de végétation assurant cette transition.

Ces questions restent à préciser.

2- Image palynologique de la végétation

Cette analyse m'a permis de mettre au point une collection de pollens de référence comprenant les principaux taxons des forêts du Brésil central, qui n'existaient pas encore.

La détermination des grains de pollen associée à celle des arbres réalisée par les botanistes dans le cadre d'études phytosociologiques, a

permis de caractériser pour la première fois également le mode de transport des grains de pollen au sein de ces forêts.

Il s'agit pour la grande majorité d'entre eux d'une pollinisation entomophile. Ceci soulève le problème du dépôt aléatoire des grains de pollen sur les sols de ces forêts. Une étude plus approfondie doit être entreprise à ce sujet.

Les marqueurs des forêts ont pu être définis: ceux-ci devaient être présents à la fois dans les relevés botaniques et dans les comptages palynologiques.

Il s'agit de:

-Forêt d'araucaria: *Araucaria, Podocarpus, Drymis, Symplocos, Sloanea, Sapium, Clethraceae, Canelaceae.*

-Forêt mésophile semidécidue: *Copaifera, Chrysophyllum, Metrodorea, Chorisia, Guazuma, Diatenopteryx, Maytenus, Caricaceae.*

-Cerrado: *Didymopanax, Byrsinima, Davilla, Curatella, Diospyros.*

Toutefois le nombre réduit de données phytosociologiques disponibles a entraîné un petit nombre de sites d'étude. Ce nombre doit donc être augmenté.

3- Analyse numérique

Dans le but de définir de façon quantitative et non plus qualitative la relation pollen/végétation/climat, j'ai procédé à une recherche bibliographique à propos des méthodes d'analyse statistique utilisées en palynologie.

2 méthodes ont été retenues: la régression linéaire et l'analyse des composantes principales.

La régression linéaire donne des bons résultats dans l'hémisphère nord en milieu tempéré mais reste une méthode très limitée en milieu forestier tropical.

L'analyse des composantes principales, par contre, semble mieux adaptée à notre terrain.

Données palynologiques et botaniques sont mises en parallèle et l'observation de la répartition des variables le long des axes des composantes principales a montré qu'il n'était pas possible de distinguer cerradão/cerrado et forêt galerie/forêt mésophile semidécidue à l'aide de mes données.

Davantage de sites sont nécessaires pour obtenir une meilleure application de la méthode.

Les marqueurs définis sont:

-Forêt d'araucaria: *Araucaria, Podocarpus, Drymis.*

-Forêt mésophile semidécidue/Forêt galerie: *Esenbeckia*.

-Cerrado/Cerradão: *Qualea*, *Caryocar*, *Connarus*.

4- Etude du paléoenvironnement

Les informations obtenues à la suite de l'étude des milieux actuels permettent pour la première fois d'envisager l'étude palynologique des paléoenvironnements du Brésil central.

Sans faire appel à une quantification des phénomènes climatiques en présence, nos données actuelles définies dans l'espace permettent néanmoins de caractériser l'évolution des couverts arborés et par conséquent l'évolution des climats associés sur une période couvrant les trente derniers millénaires environ.

De 17000 à 13000 ans B.P., le climat est froid et sec; ceci correspond aux enregistrements globaux du Pléistocène récent avec toutefois à Salitre la particularité de conserver une fréquence élevée de taxons arborés sauf vers 14000-13000 ans B.P. où elle diminue fortement.

La période comprise entre 13000 et 11000 ans B.P. caractérise une phase froide et plus humide que la précédente, c'est à dire sans saison sèche marquée, les températures diminuent ainsi que la durée de la saison sèche.

Sous la latitude de Salitre la fin du Pléistocène est donc caractérisée par une saison sèche relativement réduite permettant le maintien de conditions climatiques humides et le développement du couvert arboré. Ceci pourrait être dû à la remontée des advections polaires vers le nord du continent sud-américain.

Entre 11000 et 10000 ans B.P., une phase climatique froide et aride, très brève, est enregistrée. Les autres études consultées à ce sujet permettent d'envisager l'existence d'un phénomène analogue au Dryas récent de l'hémisphère nord.

Le début de l'Holocène est caractérisé par une diminution de la durée de la saison sèche et une reconstitution des couverts arborés avec tout d'abord des températures hivernales basses donc une phase plutôt froide et humide couvrant la période 10000-8000 ans B.P., immédiatement suivie d'une phase à température hivernale plus élevée, avec une courte saison sèche jusqu'à 5500 ans B.P.

La période de 5500 à 4500 ans B.P. caractérise une phase chaude et aride, avec une longue saison sèche également enregistrée sur d'autres sites du continent sud-américain mais souvent en décalage les unes par rapport aux autres: elles se situent entre 7000 et 5000 ans B.P.. Cet épisode correspond à un optimum climatique dans l'hémisphère nord et en Afrique.

De 4500 à 3000 ans B.P., un retour du couvert arboré attestant un retour à des conditions climatiques plus humides marque le sommet de la carotte LC3 de Salitre.

Cette étude montre que le rôle joué par les advections polaires est déterminant sur les climats de la région du Brésil central; il se traduit par des variations des températures hivernales et de la durée de la saison sèche, et l'apport de gelée immédiatement ressentis par la végétation.

D'autre part les effets du "El Niño" sur cette région sont également à prendre en compte si l'on envisage des scénarios paléoclimatiques. Mais les données restent encore insuffisante dans ce domaine pour pouvoir préciser davantage.

L'objectif du programme GEOCIT est globalement atteint; même si la reconstitution paléoclimatique n'est que qualitative, les bases permettant d'accéder à une reconstitution quantitative sont tracées. La continuation de ce programme et l'apport des études minéralogiques et géochimiques qui sont en cours devrait permettre d'atteindre ce but et de préciser davantage les variations paléoclimatiques de cette région.

BIBLIOGRAPHIE

- ABLIN D., 1985
Analyse pollinique des dépôts lacustres de Ceyssac (Plio-Pléistocène du Velay, Massif Central français): Flore, Végétation, Climat. Thèse de 3ème cycle, M.N.H.N et Université Pierre et Marie Curie, 121 p.
- AB'SABER A.N., 1977
Espaços ocupados pela expansão dos climas secos na America do Sul por ocasião dos períodos glaciais quaternarios. *Paleoclimas.* 3:1-19.
- AB'SABER A.N., 1982
The paleoclimate and paleoecology of brazilian Amazonia, *in Biological diversification in the Tropics*, G.T.Prance ed., New York, p.41-59.
- AB'SABER A.N., JUNIOR M.C., 1951
Contribuição ao estudo do Sudoeste Goiano, *Bol. Geogr.*, 9 (98):123-138.
- ABSY M.L., 1975
Polem e esporos do Quaternário de Santos (Brasil), *Hoehnea*, vol.5:1-26.
- ABSY M.L., 1979
A palynological study of Holocene sediments in the Amazon basin. Ph D. Thèse Univ.d'Amsterdam.
- ABSY M.L., 1980
Dados sobre as mudanças do clima e da vegetação da Amazônia durante o Quaternário. *Acta Amazonica*, 10(4):929-930.
- ABSY M.L., 1982
Quaternary Palynological studies in the Amazon Basin *in Biological diversification in the Tropics*, ed. by G.T.Prance, New York, p.67-73.
- ABSY M.L., 1985
Palynology of Amazonia: The History of the Forests as revealed by the palynological record, *in Amazonia*, G.T.Prance ed., Pergamon Press, p.72-82.
- ABSY M.L., CLEEF A., FOURNIER M., SERVANT M., SIFFEDINE A., SILVA M.F.F., SOUBIES F., SUGUIO K., TURCQ B., van der HAMMEN T., 1990
New data change of vegetation and climate in eastern Amazonia, Carajas, Brazil. à paraître.
- ALVIM P.de T., ARAUJO W.A., 1952
Soil as an ecological factor in the development of vegetation in the Central Plateau of Brazil, *Turrialba*, 2:153-160.
- ANDERSEN S.Th., 1970
The relative pollen productivity and pollen representation of north european trees and correction factors for tree pollen spectra., *Danmarks Geol. Undersøgelse*, Séries II, n°96.

- ANDRADE LIMA de D., 1966
 A vegetação *in Atlas Nacional do Brasil, Inst.Brasil.Geogr. e Est. (I.B.G.E.), Cons.Nac.Geogr.*
- ARENS K., 1958
 O cerrado como vegetação oligotrófica, *Bol.Fac.Fil.Ciênc.Letr., USP 224, Botânica 15:59-77.*
- ARENS K., 1963
 As plantas lenhosas dos campos cerrados como flora adaptada ás deficiências minerais do solo, *Símpsio sobre o cerrado*, ed.USP, p.285-303.
- ASSUMPÇÃO C.T., LEITÃO FILHO H.F., OSWALDO C., 1982
 Descrição das matas da fazenda Barreiro Rico, São Paulo, *Rvta Bras.Bot., 5:53-66.*
- AUBRÉVILLE A., 1959
 As florestas do Brasil. Estudo fitogeográfico e florestal, *An.Bras.Econ.Flora, 11:201-232.*
- AUBRÉVILLE A., 1961
Etude écologique des principales formations végétales du Brésil et contribution à la connaissance des forêts de l'Amazonie brésilienne, Centre Technique Forestier Tropical, Nogent, 268 p.
- AZEVEDO L.G., 1965
 Contribuição a delimitação dos tipos de vegetação do estado de São Paulo, região de campos de Jordão, *Arquivos de Botânica do Estado de São Paulo, 4(1):11-21.*
- BACKES A., 1973
 Contribuição ao conhecimento da ecologia da mata da Araucaria, *Tese de doutoramento*, Univ.São Paulo, 235 pages.
- BAWA K.S., BULLOCK S.H., PERRY D.R., COVILLE R.E., GRAYUM M.H., 1985
 Reproductive biology of tropical lowland rain forest trees, II, Pollination systems, *Amer.Journ.Bot., 72:331-345.*
- BERTONI J.E. de A., MARTINS F.R., 1987
 Composição florística de uma floresta ripária na Reserva Estadual de Porto ferreira, SP, *Acta Bot.Bras., 1(1):17-26.*
- BIGARELLA J.J., 1971
 Variações climáticas no Quaternario Superior do Brasil e sua datação radiométrica pelo método do carbono 14, *Paleoclimas* , 1:1-22.
- BIGARELLA J.J, ANDRADE LIMA de D., 1982
 Paleoenvironmental changes in Brazil *in Biological diversification in the tropics*, G.T.Prance ed.,New York p.27-40.
- BIRKS H.J.B., 1976
 Late Wisconsinan vegetational history at Wolf Creek, Central Minnesota, *Ecol.Monogr., 46:395-429.*

- BIRKS H.J.B., 1980
 Modern pollen assemblages and vegetational history of the moraines of the Klutlan glacier and its surroundings, Yukon Territory, Canada, *Quaternary Research*, 14:101-129.
- BIRKS H.J.B., 1985,
 Recent and possible future mathematical developments in quantitative palaeoecology, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 50:107-147.
- BIRKS H.J.B., BIRKS H.H., 1980
Quaternary Palaeoecology, Ed. Arnold ed., London, 289 p.
- BIRKS H.J.B., WEBB III T., BERTI A.A., 1975
 Numerical analysis of pollen samples from central Canada: a comparison of methods, *Review of Palaeobotany and Palynology*, 20(1975):133-169.
- BONNEFILLE R., 1969
 Analyse pollinique d'un sédiment récent: vases actuelles de la rivière Awash (Ethiopie), *Pollen et Spores*, 11(1):7-16.
- BONNEFILLE R., 1972
Association polliniques actuelles et quaternaires en Ethiopie, vallées de l'Awash et de l'Omô, Thèse de doctorat d'état, Univ. Paris VI, 2 volumes, 513 pages, 91 tableaux, 50 fig., 29 pl.h.t.
- BONNEFILLE R., VINCENS A., BUCHET G., 1987
 Palynology stratigraphy and paleoenvironment of a Pliocene hominid site (2,9-3,3 Millions years), Hadar, Ethiopia, *Pal.Pal.Pal.*, 60:249-281.
- BONNEFILLE R., ROELAND J.C., GUIOT J., 1990
 Temperature and rainfall estimates for the past 40,000 years in equatorial Africa, *Nature*, vol.346, p.347-349.
- BOTTEMA S., BARKOUDAH Y., 1979
 Modern pollen precipitation in Syria and Lebanon and its relation to vegetation, *Pollen et Spores*, vol. XXI, n°4, p.427-480.
- BRADBURY J.P., LEYDEN B., SALGADO-LABOURIAU M.L., LEWIS W.M.Jr., SCHUBERT C., BENFORD M.W., FREY D.G., WHITEHEAD D.R., WEIBEZAHN F.H., 1981
 Late Quaternary environmental history of Lake Valencia, Venezuela, *Science*, vol.214, p.1299-1305.
- BRADSHAW R.H.W., 1981
 Quantitative reconstruction of local woodland vegetation using pollen analysis from a small basin in Norfolk, England, *Journal of Ecology*, 69:941-955.
- BROWN K.S.Jr., 1982
 Paleoecology and regional patterns of evolution in neotropical forest butterflies, in *Biological diversification in the Tropics*, G.T. Prance ed., New York, p

- BUSH M.B., COLINVAUX P.A., 1980
 A pollen record of a complete glacial cycle from lowland Panama, *Journal of Vegetation Science*, 1:105-118.
- CAMPOS L.F.G. de, 1912
Mappa Florestal, Rio de Janeiro, 102 p., Ed.Fac.Similar, SEMA,1987.
- CAVASSAN O., CESAR O., MARTINS F.R., 1984
 Fitossociologia da vegetação arbórea da reserva Estadual de bauru, estado de São Paulo, *Rvta Bras. Bot.*, 7(2):91-106.
- CAVASSAN O., MARTINS F.R., 1988
 Composição florística de uma área de cerrado no município de Bauru, SP, in Anais do 39º Congresso Nacional de Botânica, Belém-Pará, SBB ed.
- COLE M.M., 1960
 Cerrado, Caatinga and Pantanal; the distribution and origin of the savanna vegetation of Brazil, *Geogr.J.*, 126, p.168-179.
- COLINVAUX P., BUSH M., LIU K.B., DE OLIVEIRA P., STEINITZ-KANNAN M., RIEDINGER M., MILLER M., 1989
 Amazon without refugia: vegetation and climate of the Amazon basin through a glacial cycle, *International Symposium on Global Changes in South America During the Quaternary Past-Present-Future*, São Paulo, Brazil, May 8-12, 1989.
- COTTAM G., CURTIS J.T., 1956
 The use of distance measures in phytosociological sampling, *Ecology*, 37:17-22.
- COUR P., 1974
 Nouvelles techniques de détection des flux et des retombées polliniques: étude de la sédimentation des pollens et des spores à la surface des sols, *Pollen et Spores*, 16(1):103-141.
- DAVIS M.B., 1967
 Pollen accumulation rates at Rogers Lake, Connecticut during late and post glacial time, *Rev. Palaeobot.Palynol.*, 2:219-230.
- DAVIS M.B., WEBB T.III, 1975
 The contemporary distribution of pollen in Eastern North America: a comparison with vegetation, *Quaternary Research*, 5:395-434.
- DAVIS M.B., BRUBAKER L.B., WEBB T.III, 1973
 Calibration of absolute pollen influx, in *Quaternary Plant Ecology*, H.J.B Birks and R.G.West eds, p.9-25, Blackwell, Oxford.
- DRAPER N., SMITH H., 1981
Applied regression analysis, 2nd ed., Wiley pub. Comp., 709 p.
- DURIGAN G., GARRIDO M.A. de O., 1988
 Fitossociologia de uma mata ciliar remanescente no município de Assis-SP- in Anais do 39º Congresso Nacional de Botânica, Belém-Pará, SBB ed.

- EDORH T.M., 1986
Végétation et pluie pollinique actuelles au Togo, Thèse de Doctorat, Univ. d'Aix-Marseille III.
- EITEN G., 1963
 Habitat flora of Fazenda Campininha, São Paulo, in *Simpósio sobre o cerrado*, ed.USP.
- EITEN G., 1972
 The cerrado vegetation of Brazil, *Bot.Rev.*, 38(21):1-341.
- ELENGA H., ROLLET G., BUCHET G., 1989
 Pluie pollinique actuelle au Congo. Données préliminaires in *Annales du 11e Symposium de l'APLF*, Orléans, BRGM ed.
- ELHAI H., 1978
Biogéographie, Paris, Armand Colin, 404 pages, Collect.U.
- EMBRAPA, 1974
Anteprojeto de implantação de um centro de pesquisa para o Desenvolvimento de Recursos dos Cerrados, Brasília, 95 p.
- FAEGRI K., IVERSEN J., 1975
Textbook of Pollen Analysis, (3rd ed.), Blackwell.
- FAISSOL S., 1953
 Vegetação e solos no sudeste do Planalto Central, C.N.G., Rio de Janeiro, p.1-5.
- FERRI M.G., 1963
 Evolução do conceito de xerofitismo, *Bol.Fac.Fil.Ciênc.Letr.*, USP 267, Botânica 19:101-113.
- FERRI M.G., 1969
Plantas do Brasil. Espécies do cerrado., Ed. USP e Ed.Blücher, 239p.
- FERRI M.G., 1980
Vegetação brasileira, Ed. USP e da Itatiaia. 158 pages.
- FLENLEY J., 1973
 The use of modern pollen rain samples in the study of the vegetation history of tropical regions, in *Quaternary Plant Ecology*, H.J.B.Birks and R.G.West eds., P.131-142.
- FOURNIER M., PRESSINOTI M.N., SOUBIES F., SUGUIO K., TURCQ B., 1987
 Dépôts fluviatiles du Quaternaire récent au Brésil. Datations C14, in *Annales du Séminaire Paléolacs-Paléoclimats en Amérique Latine et en Afrique (20000 ans B.P.-Actuel)*, ORSTOM, p.55-58.
- FRANKIE G.W., OPLER P.A., BAWA K.S., 1976
 Foraging behavior of solitary bees: implications for outcrossing of a neotropical forest tree species, *Jour. Ecol.*, 64:1049-1057.

- GENTRY A., 1974
 Coevolutionary patterns in Central American Bignoniaceae,
Am.Mo.Bot.Gard.
 61:728-759.
- GIBBS P.E., LEITÃO FILHO H.F., 1978
 Floristic composition of an area of gallery forest near Mogi-Guaçu, São Paulo, S_E Brazil, *Rvta Bras. Bot.*, 1:151-156.
- GIBBS P.E., LEITÃO FILHO H.F., ABBOTT R.J., 1980,
 Application of the point centered quarter method in a floristic survey of an area of gallery forest at Mogi Guaçu, São Paulo, Brazil, *Revista Brasileira de Botânica*, 3:17-22.
- GOODLAND R., 1971, *Oligotrofismo e Alumínio no cerrado*, in III Simpósio sobre o cerrado, coord. M.G.Ferri, p.44-60, Ed. USP et Ed. E.Blücher, 239 p.
- GOODLAND R., FERRI M.G., 1979, *Ecologia dos cerrados*, Ed.USP e Itatiaia, 193 p.
- GORDON A.D., BIRKS H.J.B., 1974
 Numerical methods in Quaternary palaeoecology. II-Comparison of pollen diagrams, *New Phytol.*, 73:221-249.
- GRABANDT R.A.J., 1980
 Pollen rain in relation to arboreal vegetation in the Colombian Cordillera Oriental, *Rev.of Palaeobotany. and Palynology*, 29:65-147.
- GRABANDT R.A.J., 1985 a
Pollen rain in relation to páramo vegetation in Colombian Cordillera Oriental, in The Quaternary of Colombia, vol.11, 110 p., T. van der Hammen ed.
- GRABANDT R.A.J., 1985 b
 The use of data concerning the present vegetation between pollen rain and vegetation in the Colombian Cordillera Oriental in the interpretation of Andean pollen diagrams, 36 p., in The Quaternary of Colombia, vol.11, T. van der Hammen ed.
- HASTENRATH S., 1985
Climate and circulation of the tropics, D.Reidel ed.
- HAFFER J., 1969
 Speciation in Amazonian forest birds, *Science*, vol.165, p.131-137.
- HAFFER J., 1982
 General aspects of the refuge theory, in Biological diversification in the Tropics, G.T.Prance ed., New York, p.6-24.
- HAMILTON A.C., PERROT R.A., 1980
 Modern pollen deposition on a tropical african mountain, *Pollen et Spores*, 22(3-4):437-468.

- HEITHAUS E.R., 1974
The role of plant-pollinator interactions in determining community structure, *Ann. Missouri Bot. Gard.*, 61:675-691.
- HEITHAUS E.R., 1979
Flower visitation records and resource overlap of bees and wasps in northwest Costa Rica, *Brenesia*, 16:9-52.
- HEUSSER C.J., 1971
Pollen and spores of Chile : Modern Types of the Pteridophita, Gymnospermae and Angiospermae., Tucson, The University of Arizona Press, 95 p., 4 fig., 60 pl.
- HEUSSER L.E., 1983
Contemporary pollen distribution in coastal California and Oregon, *Palynology*, 7:19-42.
- HEUSSER C.J., STREETER S.S., 1980, A temperature and precipitation record of the last 16 000 years in Southern Chile, *Science*, vol.210, p.1345-1347.
- HOOGHIEMSTRA H., 1984
Vegetational and climatic history of the high plain of Bogotá, Colombia: a continuous record of the last 3,5 million years, Dissertatines Botanicae, Ed.J.Cramer,
- HUECK K., 1953
Distribuição e habitat natural do pinheiro do Paraná (*Araucaria angustifolia*), *Bol.Fac.Fil.Ciênc.Letr.USP*, 156, Botânico nº10, p.1-24, 4 fig., 1 tab.
- HUECK K., 1957
Sobre a origem dos campos cerrados no Brasil e algumas novas observações no seu limite meridional, *Rev.Bras.Geogr.*, 14:67-82.
- HUECK K., 1972
As florestas da America do Sul, Ed. USP e Ed.Polygono.
- HUECK K., SEIBERT P., 1981
Vegetationskarte von Sudamerika, 2nd ed., G.Fischer, Stuttgart, 90 P.
- ISTOE 1986
Desleixo perigoso, 31/12/86.
- JANSSEN C.R., 1967
A comparison between the recent regional pollen rain and the sub-recent vegetation in four major vegetation types in Minnesota (USA), *Rev.Palaeobotany and Palynology*, 2:331-342.
- JANSSEN C.R., 1973
Local and regional pollen deposition, in *Quaternary Plant Ecology*, H.J.Birks and R.G.West ed., Blackwell, Oxford.
- JANSSEN C.R., 1984

Modern pollen assemblages and vegetation in the Myrtle Lake Peatland, Minnesota, *Ecol.Monogr.*, 54(2):213-252.

JANZEN D.H., 1971

Euglossine bees as long distance pollinators of tropical plants, *Science*, 171:203-205.

JOLY A.B., 1970

Conheça a vegetação brasileira, São Paulo, ed.USP e Polígono, 181 pages.

JONGMAN R.H.G., ter BRAAK C.J.F., van TONGEREN O.F.R., 1987

Data analysis in community and landscape ecology, ed. Pudoc Wageningen, Nederland, 290 p.

KLEIN R.M., 1960

O aspecto dinâmico do pinheiro brasileiro, *Sellowia*, ano XII, p.17-44, 4est., 3 gráf., 3 mapas.

KLEIN R.M., 1972

Arvores Nativas da Floresta Subtropical do Alto Uruguai, *Sellowia*, 24:9-62.

KLEIN R.M., 1975

Southern brazilian phytogeographic features and the probable influence of upper quaternary climatic changes in the floristic distribution, *Bol.Parana.Geoscienc.*, 33:67-88.

KOUSKY V.E., 1979

Frontal influences on Northeast Brazil, *Mon.Wea.Rev.*, 107, 1140-1153.

LEITÃO FILHO H.de F., 1982

Aspectos taxonómicos das florestas do Estado de São paulo, *Silvicultura em São Paulo*, 16A, 197-206.

LEYDEN B.W., 1985

Late Quaternary aridity and Holocene moisture fluctuations in the Lake Valencia Basin, Venezuela, *Ecology*, 66(4), pp.1279-1295.

LEZINE A.M., 1987

Paléoenvironnements végétaux d'Afrique Nord Tropicale depuis 12000 BP. Analyse pollinique de séries sédimentaires continentales (Sénégal, Mauritanie), Thèse d'état, Univ. d'Aix-Marseille, 2 vol.

LINDMAN C.A.M., FERRI M.G., 1974

A vegetação no Rio Grande do Sul, Ed.USP e Livraria Itatiaia

LIVINGSTONE D.A., 1968

Some interstadial and postglacial pollen diagrams from eastern Canada, *Ecol. Monogr.*, 38:87-125.

LÖFGREN A., EDWALL G., 1897-1905

Flora Paulista, 1-4, *Bol.Comm.Geogr.Geol.São Paulo*, p.12-15.

- LORSCHETTER M.L., ROMERO E.J., 1985
Palynology of Quaternary sediments of the core T15 Rio Grande Cone, South Atlantic, Brazil, in Quaternary of South America and Antarctica Peninsula, ed. by J.Rabassa, vol.3, p.55-92, Balkema ed.
- LUND P.W., 1835
Bemaerkninger over Vegetationen paa de indre Hogsletter af Brasilien, isaeer i planthistoriske henseende. Kgl. Danske Videnskab. Selsk. Skrifer, VI, S.145-88.
- MAACK R., 1949
Notas complementares à apresentação do mapa fitogeográfico do Estado do Paraná(Brasil), Arq.Mus.Paran., vol.7, p.351-362.
- MAACK R., 1950
Mapa Fitogeográfica do Estado do Paraná, Inst. de Biol. e Pesq.Tecnol. e Inst.Nac.Pinho.Curitiba.
- MALEY J., 1972
La sédimentation pollinique actuelle dans la zone du Lac Tchad (Afrique centrale), Pollen et Spores, 14(3):263-307.
- MALEY J., 1983
Histoire de la végétation et du climat de l'Afrique nord-tropicale au Quaternaire récent, Bothalia, 14(3 et 4):377-389., Prétoria, Actes du 10ème congrès AETFAT.
- MALEY J., 1987
Fragmentation de la forêt dense humide africaine et extension des biotopes montagnards au quaternaire récent: nouvelles données polliniques et chronologiques. Implications paléoclimatiques et biogéographiques, in Palaeoecology of Africa, vol.18, A.A.Balkema, Rotterdam.
- MARKGRAF V., 1983
Late and postglacial vegetational and paleoclimatic changes in subantarctic, temperate and arid environments in Argentina, Palynology, 7:43-70.
- MARKGRAF V., 1987
*Paleoenvironmental changes at the northern limit of the subantarctic *Nothofagus* forest, lat.37°S, Argentina, Quaternary Research, 28, 119-129.*
- MARKGRAF V., 1989
Paleoclimates in central and south America since 18000 BP based on pollen and lake-level records, Quaternary Science Reviews, vol.8, p.1-24.
- MARKGRAF V., ANTONI d' H.L., AGER T.A., 1981
Modern pollen dispersal in Argentina, Palynology, 5:43-63.
- MOORE D.M., 1978
*Postglacial vegetation in the south Patagonian territory of the giant ground sloth, *Mylodon*.Botanical Journal Linnean Society, 77:177-202.*
- MOURGUIART P., 1987

Les ostracodes lacustres de l'Altiplano bolivien. Le polymorphisme, son intérêt dans les reconstitutions paléohydrologiques et paléoclimatiques de l'Holocène, Thèse de 3ème cycle, Université de Bordeaux I, 263p.

NOBRE C.A., OLIVEIRA A.S. de, 1986

Precipitation and circulation anomalies in South America and the 1982-83 El Niño/Southern Oscillation episod., pp.442-445 in Extended Abstracts of the Second International Conference on Southern Hemisphere Meteorology, Wellington, new Zealand, December 1-5, 1986, 482p.

OLIVEIRA FILHO A.T., 1984

Estudo florístico e fitossociológico em um cerrado na Chapada dos Guimarães, Mato Grosso. Uma análise de gradientes. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas.

OLIVEIRA FILHO A.T., MARTINS F.R., 1986

Distribuição, caracterização e composição florística das formações vegetais da região da Salgadeira, na Chapada dos Guimarães (MT), *Rev.Bras.Bot.*, 9:207-223.

OLIVEIRA Y.M.M., ROTT A., 1982

Levantamento da estrutura horizontal de uma mata de Araucária do 1º planalto paranaense, *Boletim de Pesquisa Florestal*, 4:1-46.

OVERPECK J.T., WEBB III T., PRENTICE I.C., 1985

Quantitative interpretation of fossil pollen spectra: dissimilarity coefficients and the method of modern analogs, *Quaternary Research*, 23:87-108.

PAGANO S.N., 1985

Estudo florístico, fitossociológico e de ciclagem de nutrientes em mata mesófila semidecidua no município de Rio Claro, SP, Tese de Livre-Docência, Instituto de Biociências, Rio Claro, UNESP, 201 p.

PAGANO S.N., LEITÃO FILHO H.de F., 1987

Composição florística do estado arbóreo de mata mesófila semidecidua, no município de Rio Claro (Estado de São Paulo), *Rvta Brasil. Bot.*, 10:37-47.

PAGANO S.N., LEITÃO FILHO H.de F., SHEPHERD G.J., 1987

Estudo fitossociológico em mata mesófila semidecidua no Município de Rio Claro (Estado de São Paulo), *Rvta Bras. Bot.*, 10:49-61.

PAGNEY P., 1976

Les climats de la Terre, Masson, 150 p.

PARSONS R.W., PRENTICE I.C., 1981

Statistical approaches to R-values and the pollen-vegetation relationship, *Rev.Palaeobotany and Palynology*, 32:127-152.

PRENTICE I.C., 1985

Pollen representation source area and basin size: toward a unified theory of pollen analysis, *Quaternary Research*, 23:76-86.

PUNT W., 1962

Pollen morphology of the Euphorbiaceae with special reference to taxonomy, 116 p., XXIII pls., North Holland publishing company, Amsterdam.

RADAMBRASIL, 1982

Levantamento de recursos naturais. Geologia. Geomorfologia. Pedologia. Vegetação. Uso potencial da terra., vol.26, Folha SD.21, Cuiabá, Rio de Janeiro, 540 p.

RAMBO P.B., 1956

A Fisionomia do Rio Grande do Sul, 2º ed., ed.da Livraria Selbach.

RATTER J.A., 1971

Some notes on two types of cerradão occurring in north eastern Mato Grosso, in III Simpósio sobre o cerrado, p.100-102, coord. M.G.Ferri, ed.Bücher Ltd., Ed.USP, 239 p.

RATTER J.A., ASKEW G.P., MONTGOMERY R.F., GIFFORD D.R., 1978

Observation on forests of some mesotrophic soils in central Brazil, *Revista Brasileira de Botanica*, 1:47-58.

RAWITSCHER F., 1948

The water economy of the campos cerrados in southern Brazil, *Journ. Ecol.*, 36(21):237-268.

RIBEIRO J.F., SOUZA SILVA J.C., BATMANIAN G.J., 1985

Fitossociologia de tipos fisionômicos de cerrado em Planaltina-DF-, *Rvta Brasil.Bot.*, 8:131-142.

RITCHIE J.C., 1977

The modern and late quaternary vegetation of the Campbell Dolomite Uplands, near Inuvik, N.W.T. Canada, *Ecological Monographs*, 47:401-423.

RITCHIE J.C., YARRANTON G.A., 1978

The late quaternary history of the boreal forest of central Canada, based on standard pollen stratigraphy and principal component analysis, *Journ. Ecol.*, 66:199-212.

RIZZINI C.T., 1963

A flora do cerrado, p.125-178, in Símposio sobre o cerrado, coord.M.G.Ferri, ed.USP, 424 p.

RIZZINI C.T., 1979

Tratado de fitogeografia do Brasil. Aspectos sociológicos e florísticos, 2 vol., Ed. HUCITEC e USP.

RIZZINI C.T., PINTO M.M., 1964

Areas climático-vegetacionais do Brasil segundo os métodos de Thorntwait e Mohr, *Rev.Bras.Geogr.*, 4, 26:523-547.

ROELAND J.C., GUIOT J., BONNEFILLE R., 1988

Pollen et reconstruction quantitative du climat. Validation des données d'Afrique orientale, *C.R.Acad.Sci.Paris*, t.307, Série II, p.1735-1740.

- SAINT-HILAIRE A de, 1824
Histoire des plantes les plus remarquables du Brésil et du Paraguay, t.I
- SALGADO-LABOURIAU M.L., 1973
Contribuição á palinologia dos cerrados, Ed.Ac.Bras. de Ciências, Rio de Janeiro, 290 p.
- SALGADO-LABOURIAU M.L., SCHUBERT C., 1976
Palynology of Holocene peatbogs from the central venezuelan Andes, *Pal.Pal.Pal.*, 19:147-156.
- SALGADO-LABOURIAU M.L., SCHUBERT C., VALASTRO S., 1977
Paleoecologic analysis of a late quaternary terrace from Mucubaji, Venezuelan Andes, *Journ. of Biog.*, 4:313-325.
- SALGADO-LABOURIAU M.L., 1980
A pollen diagram of the Pleistocene-Holocene boundary of Lake Valencia, Venezuela, *Rev.of Paleobotany and Palynology*, 30:297-312.
- SALIS S.M., JOLY C.A., 1988
Estudo florístico e fitossociológico de um reícto de mata ciliar do rio Jacaré-Pepira, Brotas, SP, *in Anais do 39º Congresso Nacional de Botânica, Belém-Pará*, SBB ed.
- SERVANT M., 1970
Données stratigraphiques sur le Quaternaire supérieur et récent au Nord-est du lac Tchad, *Cah. ORSTOM, sér. Géol.* (1970), II, 1, 95-114.
- SERVANT M., FONTES J.C., 1978
Les lacs quaternaires des hauts plateaux des Andes boliviennes. Premières interprétations paléoclimatiques., *Cah. ORSTOM, sér. Géol., vol.X, n°1*, p.9-24, 1978.
- SERVANT M., FOURNIER M., SOUBIES F., SUGUIO K., TURCQ B., 1989
Sécheresse holocène au Brésil (18-20° latitude Sud). Implications paléométéorologiques. *C.R.Acad.Sci.Paris*, t.309, Série II, p.153-156.
- SERVANT-VILDARY S., 1978
Les diatomées des dépôts lacustres quaternaires de l'Altiplano bolivien, *Cah. ORSTOM, sér. Géol., vol.X, n°1*, p.25-36, 1978.
- SCHNELL R., 1961
Le problème des homologies phytogéographiques entre l'Afrique et l'Amérique tropicale, *Mém. du Mus. Nat. d'Hist. Naturelle, N.S. Botan.* 11, n°2, pp.137-241.
- SCHNELL R., 1970
Introduction à la phytogéographie des pays tropicaux, I, Les flores-les structures, ed.Gauthier-Villars, Paris, 499 p.
- SCHNELL R., 1971
Introduction à la phytogéographie des pays tropicaux, II, Les groupements végétaux, ed.Gauthier-Villars, Paris, 452 p.

SICK H., 1955

O aspecto fitofisionômico da paisagem do medio Rio das Mortes, Mato Grosso, e a avifauna da região, *Arquivos do Museu Nacional*, vol.42, P;541-576, Rio de Janeiro.

SIFFEDINE A., 1991

Thèse en préparation

SILBERBAUER-GOTTSBERGER I., GOTTSBERGER G., 1975

Über sphingophile Angiospermen Brasiliens, *Plant.Syst.Evol.*, 123:157-184.

SILVA da F.C., MARCONI L.P., 1988

Fitossociologia de Floresta com Araucária no Município de Colombo-PR- in Anais do 39º Congresso Nacional de Botânica, Belém-Pará, SBB ed.

SILVA da A.F., SHEPHERD G.J., 1986

Comparações florísticas entre algumas matas brasileiras utilizando análise de agrupamento, *Rvta Brasil.Bot.*, 9:81-86.

SOUBIES F., 1980

Existence d'une phase sèche en Amazonie brésilienne datée par la présence de charbons dans les sols (6000, 3000 ans B.P.), *Cah. ORSTOM, sér. Géol.*, 11, I, p.133-148.

SOUZA REIS A.C. de, 1971

Climatologia dos cerrados, in III Simpósio sobre o cerrado, p.15-26, coord. M.G.Ferri, Ed.Bücher Ltd. e EdUSP, 239 p.

TURCQ B., MELLO M.S.de, 1989

O Quaternario da Grande São Paulo, *Boletim do Unstituto de Geociencias*, Universidade de São Paulo, sous presse.

TURCQ B., LACERDA L.D., 1990

Workshop sobre o ciclo do carbono e as mudanças paleoclimáticas no Brasil, dpto de Geoquímica, Instituto de Química, Universidade Federal Fluminense, 23-24 Janvier 1990, sous presse.

van der HAMMEN T., 1983

The palaeoecology and palaeogeography of savannas, in *Tropical savannas*, F.Bourliere ed., p.19-35.

van der HAMMEN T., 1974

The Pleistocene changes of the vegetation and climate in tropical South America, *Journ. of Biog.*, 1:3-26.

van der HAMMEN T., MUELLER-DOMBOIS D., LITTLE M.A., 1989

Manual of methods for mountain transect studies, IUBS-Unesco, 66 p.

VANZOLINI P.E., WILLIAMS E.E., 1970

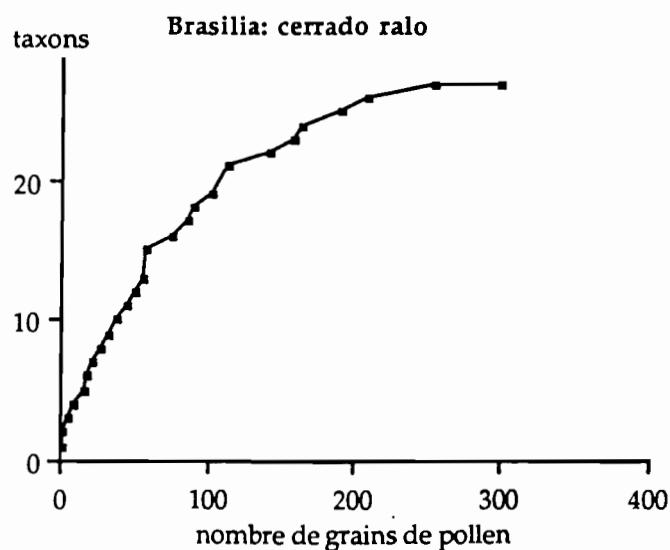
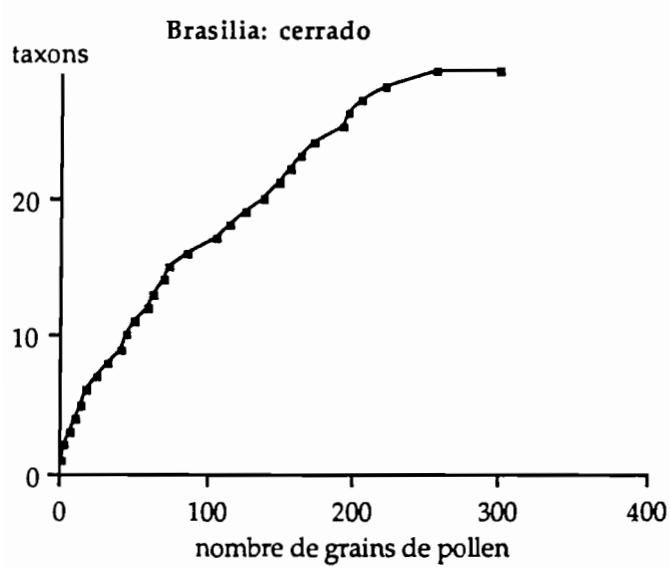
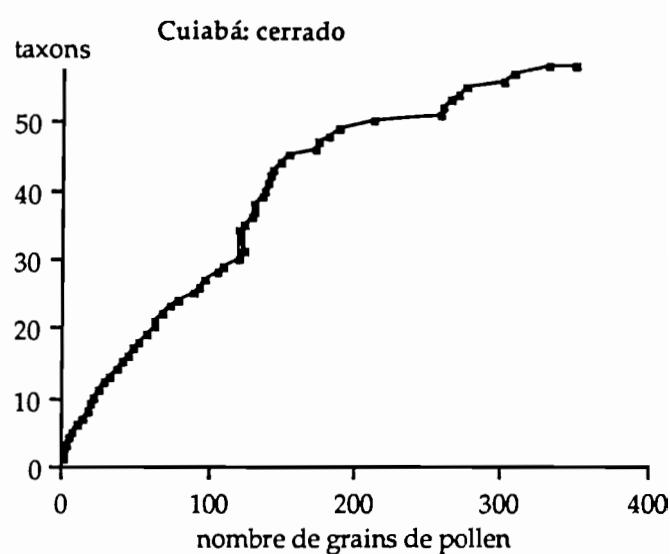
South American anoles: geographic differentiation and evolution of the *Anolis chrysolepis* group (Sauria, Iguanidae), *Arq.Zool.São Paulo*, 19:1-298.

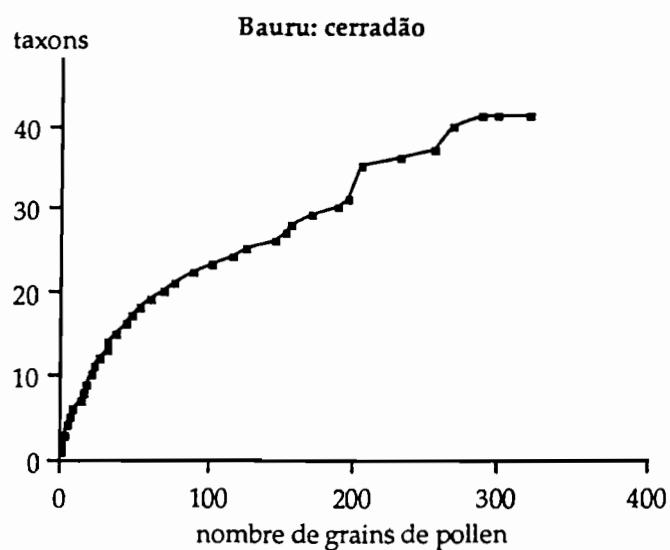
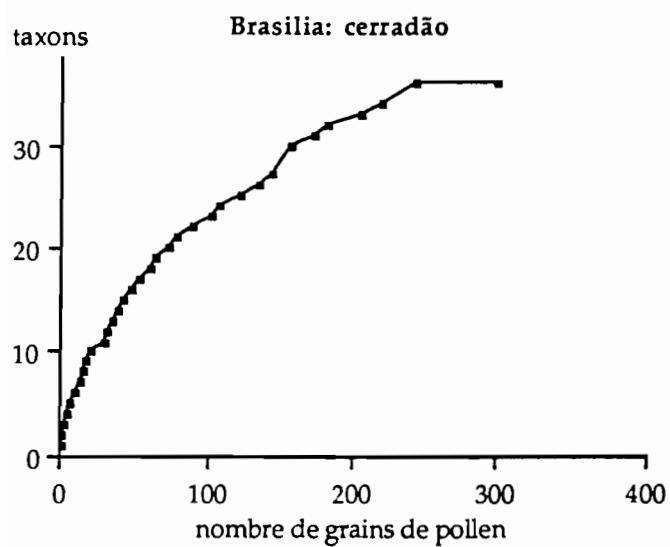
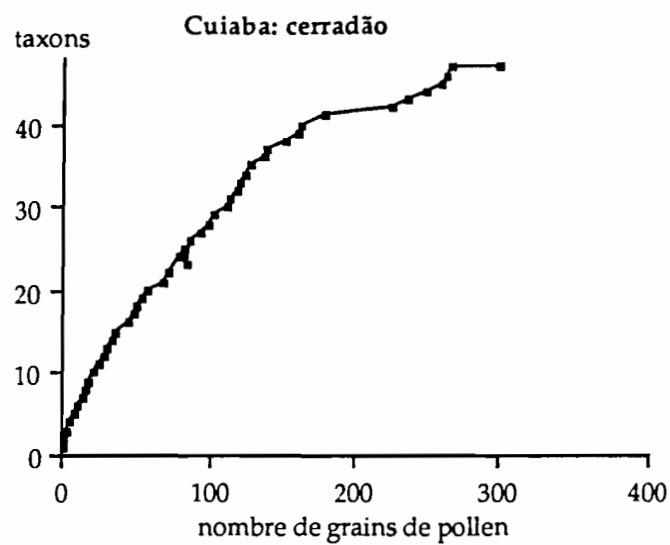
- VAUGHAN-WILLIAMS P., 1988
Brasil. A concise thematic geography, ed. Unwin Hyman Limited.
- VELOSO H.P., 1946
Considerações gerais sobre a vegetação do Estado do Mato Grosso,
Mem. Inst. Oswaldo Cruz, 44:579-604.
- VELOSO H.P., 1963
Os grandes climas do Brasil. III: Considerações gerais sobre a vegetação da região Centro-Oeste. Memorias do Instituto Oswaldo Cruz, 61:357-370.
- VIALOU D., VILHENA-VIALOU A., 1984
Un nouveau site préhistorique brésilien daté: l'abri à peintures et gravures de Ferraz Egreja, *C.R. Acad. Sc. Paris*,
- VIALOU D., VILHENA-VIALOU A., 1986
Préhistoire au cœur du Brésil, *Archeologia*, n°213, p.36-48.
- VINCENS A., 1982
Palynologie, environnements actuels et plio-pleistocènes à l'est du lac Turkana (Kenya), Thèse d'état, Univ. d'Aix-Marseille II, 2 vol.
- VINCENS A., 1984
Environnement végétal et sédimentation pollinique lacustre actuelle dans le bassin du lac Turkana (Kenya), in *Palynologie et Paléobotanique* (A.P.L.F., Genève, 1981), *Rev. Paleobiol.*, 12 p.
- VIRJI H., KOUSKY V.E., 1983
Regional and global aspects of a low latitude frontal penetration in Amazonas and associated tropical activity, pp.215-220, in *Preprints of the 1rst international Conference on Southern Hemisphere Meteorology*, São José dos Campos, Brazil, July 31-August 6 1983, 380 p.
- VOGEL S., 1969
Chiropterophilie in der neotropischen Flora- Neue Mitteilungen II. *Spezieller Teil. Flora*, Abt.B., 158:185-222.
- WAIBEL L., 1948
Vegetation and land use in the planalto central of Brazil, *Geogr. Rev.*, 38:529-554.
- WALTER H., 1971
Ecology of tropical and sub-tropical vegetation, ed. Oliver and Boyd, Edinburgh, 539 p.
- WALTER H., 1979
Vegetation of the Earth and ecological systems of the geobiosphere, 2nd ed., Springer Verlag ed.
- WALTER H., BRECKLE S.W., 1984
Ecological systems of the geobiosphere, vol.2: *Tropical and sub-tropical zonobiomes*, Springer Verlag ed.

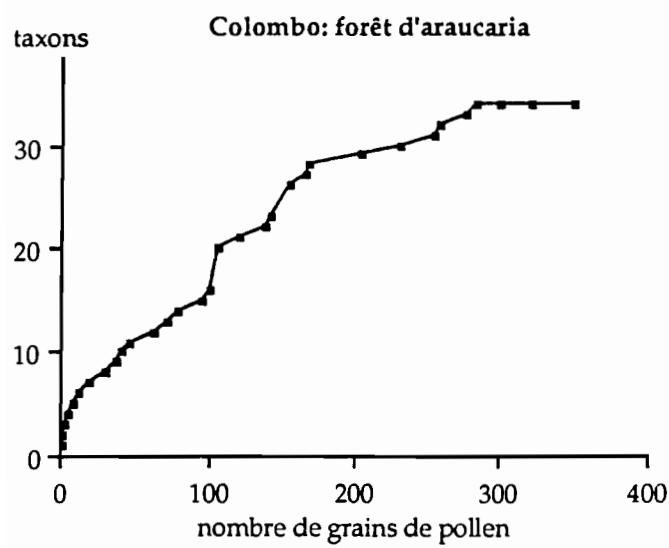
- WALTER H., HARNICKELL E., MUELLER-DOMBOIS D., 1975
Climate maps of the individual continents and the ecological climatic regions of the Earth, 9 cartes, 14 figures, Springer Verlag ed.
- WARMING E., FERRI M.G., 1973
Lagoa Santa e a vegetação de cerrados brasileiros, ed. USP e livraria Itatiaia ed., 396 p.
- WEBB III T., 1973
A comparison of modern and presettlement pollen from southern Michigan (U.S.A.), *Rev. Palaeobot. Palynol.*, 16:137-156.
- WEBB III T., HOWE S.E., BRADSHAW R.H.W., HEIDKE.M., 1981
Estimating plant abundances from pollen percentages: The use of regression analysis, *Review of Paleob. and Palynology*, 34:269-300.
- WIJMSTRA T.A., van der HAMMEN T., 1966
Palynological data on the history of tropical savannas in northern South America, *Leidse Geol. Med.*, vol.38, p.71-90.
- WIJMSTRA T.A., 1967
A pollen diagram from the upper Holocene of the lower Magdalena Valley, *Leidse Geol. Med.*, vol.39, p.261-267.
- WRIGHT H.E.Jr, 1967
The use of surface samples in quaternary pollen analysis, *Rev. Paleobot. Palynol.*, 2:321-330.
- WRIGHT H.E.Jr, MAC ANDREWS J.H., VANZEIST W., 1967
Modern pollen rain in western Iran and its relation to plant geography and quaternary vegetational history, *Journ. Ecol.*, 55:415-443.

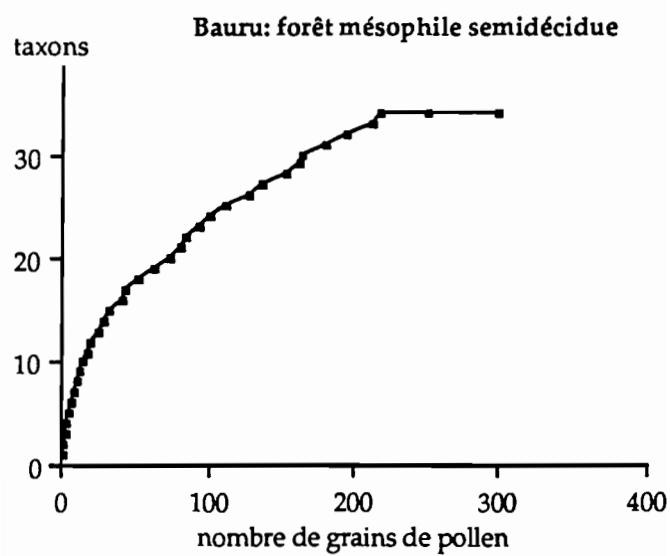
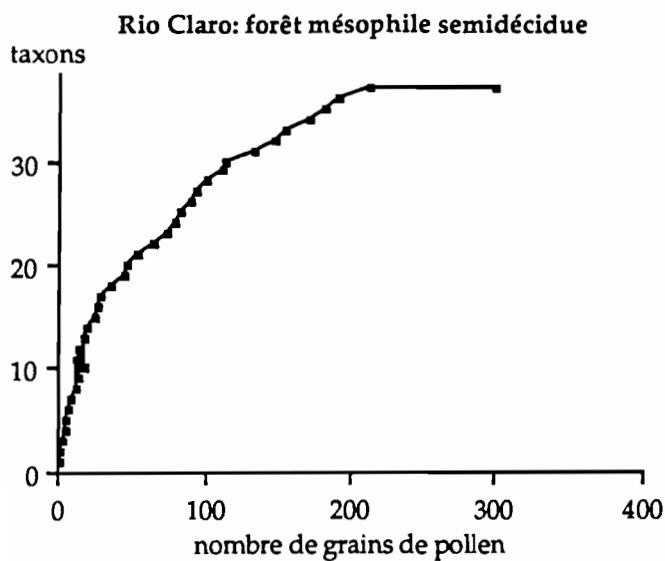
ANNEXE 1

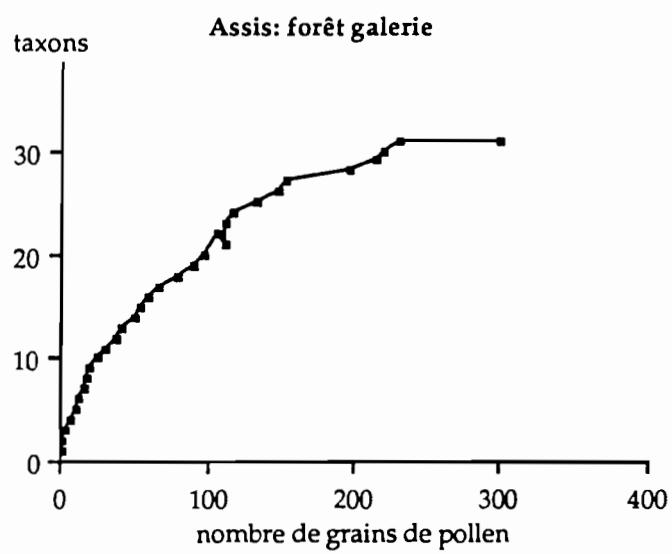
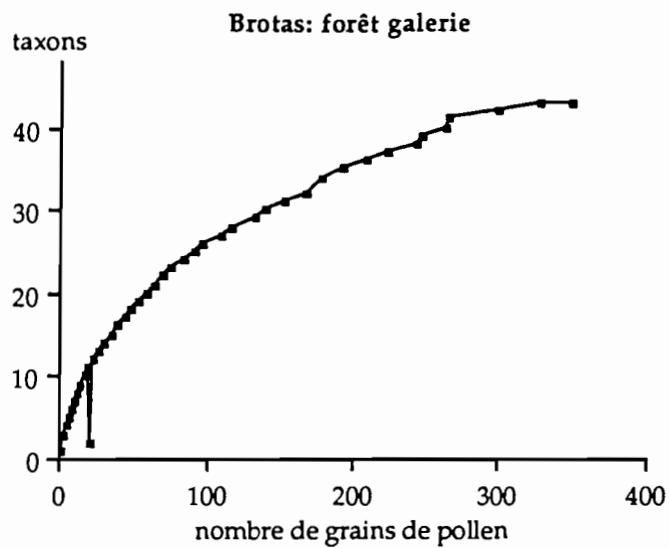
**DISTRIBUTION DU NOMBRE DE TAXONS
EN FONCTION DU NOMBRE DE GRAINS DE POLLEN**











ANNEXE 2

DESCRIPTION DES GRAINS DE POLLEN

DESCRIPTION DES GRAINS DE POLLEN

GYMNOSPERMES

Araucariaceae

Araucaria

inaperturé, à contour circulaire.

exine avec des petites épines, souvent cassée en surface et localement détachée de l'endexine.

Ce taxon est un marqueur de la forêt d'araucaria.

Il a été déterminé à Salitre dans les niveaux

Description: Pokrovskiaia (1958)

Photo: pl.I, fig.1.

Podocarpaceae

Podocarpus

Grain à ballonnets aérifères, réticulés à larges mailles.

Le corps central est tecté.

Description: Pokrovskiaia (1958), Absy (1979)

)

Photo: pl.I, fig.2.

ANGIOSPERMES

Anacardiaceae

Astronium

tricolporé, exine réticulée-striée à grandes columelles, à grandes mailles ou avec un large espacement entre les stries.

Photo: pl.I, fig.3.

Lithraea

tricolporé, à contour triangulaire.

exine striée, pore étroit et allongé en vue équatoriale, stries fines parallèles aux sillons.

Photo: pl.I, fig.4.

Aquifoliaceae

Ilex

tricolpé, exine clavulée à clavules denses et épaisses; les clavules diminuent vers la marge de l'aperture.

Description: Erdtman (1952), Salgado-Labouriau (1973), Absy (1979).

Photo: pl.I, fig.5.

Araliaceae

Didymopanax

tricolporé, sillon fin, bien marqué.
contour polaire triangulaire, anguloaperturé.
réticulé à exine s'épaississant vers les apertures; la largeur des mailles est irrégulière.

Description: Salgado-Labouriau (1973), Absy (1979)

Photo: pl.I, fig.6.

Bignoniaceae

Cybistax

tricolporé mais le pore n'est pas toujours visible, sillon émargé, long.
contour circulaire, aire polaire réduite.
réticulé à grande maille, baculé.
Photo: pl.I, fig.7.

Tecoma

tricolporé, mais le pore n'est pas toujours visible.
contour circulaire, aire polaire réduite.
réticulé, à réticulation très fine et très serrée, finement baculée.
Photo: pl.I, fig.8.

Boraginaceae

Patagonula

tricolporé, sillon émargé, petit pore.
aire polaire réduite.
réticulé finement, baculé.
Description: Erdtman (1952)
Photo: pl.I, fig.9.

Celastraceae

Maytenus

tricolporé, pore circulaire.
aire polaire réduite.
réticulé, tégilé.
Description: Erdtman (1952)
Photo: pl.II, fig.10.

Clethraceae

Clethra

tricolporé, pore allongé en vue équatoriale, saillant en vue polaire, sillon émargé;

aire polaire réduite.

réticulé

Description: Erdtman (1952)

Photo: pl.II, fig.11.

Clusiaceae

Vismia

tricolporé.

contour triangulaire, anguloaperturé.

aire polaire réduite.

réticulé, à exine plus épaisse au niveau des pôles.

Description: Absy (1979)

Photo: pl.II, fig.12.

Cunoniaceae

Belangeria

dicolporé, pore circulaire.

psilète, exine épaisse

Description: Erdtman (1952)

Photo: pl.II, fig.13.

Elaeocarpaceae

Sloanea

tricolporé, le pore n'est pas toujours visible.

psilète, à exine épaisse, tectée.

Photo: pl.II, fig.14.

Euphorbiaceae

Alchornea

tricolporé, à contour circulaire.

présence d'un opercule.

réticulé fin.

Description: Absy (1979)

Photo: pl.II, fig.15.

Dallechampia

diade

réticulé, à grandes columelles.

Photo: pl.II, fig.16.

Mabea

tricolporé, sillon étroit, pore oval, aperture saillante caractéristique des euphorbes en vue polaire.

réticulé

Description: Absy (1979)

Photo: pl.II, fig.17.

Pera

tricolporé, sillon étroit, fin traversant le pore.

contour circulaire.

réticulé fin, tecté

Photo: pl.II, fig.18.

Sebastiana

tricolporé, avec un décollement du sillon au niveau du pôle.

fossaperturé.

aire polaire réduite.

contour triangulaire.

pilé, tecté.

Description: Salgado-Labouriau (1973)

Photo: pl.III, fig.19.

Flacourtiaceae

Banara

tricolporé, le pore n'est pas toujours visible.

fossaperturé.

réticulé, tecté.

Photo: pl.III, fig.20.

Casearia

tricolporé, à sillon fin et pore allongé.

psilète pour les espèces du cerrado ou à réticulation fine.

exine plus épaisse près des apertures que dans les régions polaires.

Description: Salgado-Labouriau (1973)

Photo: pl.III, fig.21.

Xylosma

tricolporé.

réticulé, à exine épaisse et tectée.

Photo: pl.III, fig.22.

Lecythidaceae

Cariniana

tricolporé, sillon long et fin

réticulé-pilé finement, à exine épaisse et tectée.

Photo: pl.III, fig.23.

Leguminosae

t.Andira

tricolporé, sillon émargé, pore large et rectangulaire.
contour triangulaire convexe.
psilète.
Description: Salgado-Labouriau (1973)
Photo: pl.III, fig.24.

Copaifera

tricolporé.
contour triangulaire à côtés droits, anguloaperturé.
aire polaire réduite ou nulle;
forme "étirée" caractéristique en vue équatoriale.
psilète
Description: Salgado-Labouriau (1973)
Photo: pl.III, fig.25.

Erythrina

triporé, gros pore rond.
contour triangulaire, convexe.
réticulé, à exine épaisse.
Photo: pl.III, fig.26.

Myroxylon

tricolporé, pore rond, sillon émargé.
contour triangulaire convexe.
psilète, tégilé
Photo: pl.III, fig.27.

Malpighiaceae

Byrsonima

tricolporé, pore large allongé, traversé par le sillon en vue équatoriale.
contour circulaire.
réticulé, à exine épaisse.
Description: Salgado-Labouriau (1973)
Photo: pl.III, fig.28.

Melastomataceae

Miconia

tricolporé avec trois pseudo-sillons supplémentaires, pore rond, sillon étroit.
psilète.
Description: Absy (1979)
Photo: pl.III, fig.29.

Rubiaceae

Chomelia

tricolporé, pore rond, sillon large.
réticulé, tecté
Photo: pl.III, fig.30.

Metrodorea

tricolporé, sillon étroit se resserrant au niveau du pore en vue équatoriale, pore allongé.
aire polaire réduite.
strié
Photo: pl.III, fig.31.

Rutaceae

Balfourodendron

tricolporé, sillon court en vue polaire, pore rond.
strié, tecté à exine épaisse.
Photo: pl.III, fig.32.

Esenbeckia

tricolporé.
fossaperturé.
réticulé, tecté à exine épaisse.
Photo: pl.III, fig.33.

Gallesia

tricolporé;
psilète, l'exine a un aspect déchiré près du sillon, épaisse.
Photo: pl.IV, fig.34.

Zanthoxylum

tricolporé, sillon fin émargé.
réticulé à grandes mailles fines.
exine épaisse à columelles.
Photo: pl.IV, fig.35.

Sapindaceae

Diatenopteryx

tricolporé, pore rond, sillon étroit et long.
aire polaire réduite.
contour triangulaire.
strié à stries fines.
Photo: pl.IV, fig.36.

Matayba

tricolporé, sillon syncolpé.

contour triangulaire.
réticulé très finement.
Photo: pl.IV, fig.37.

Sapotaceae

Chrysophyllum

tétracolporé, long sillon étroit, pore rond.
réticulé fin.
exine tectée, s'épaississant vers les pôles.
Photo: pl.IV, fig.38.

Pouteria

tricolporé, pore rectangulaire et étroit, sillon large à granulations internes.
psilète.
Photo: pl.IV, fig.39.

Sterculiaceae

Guazumz

tricolporé, pore allongé.
contour circulaire.
réticulé à grandes mailles épaisses et columelles.
Photo: pl.IV, fig.40.

Symplocaceae

Symplocos

di ou tricolporé.
contour triangulaire dans le cas d'un grain tricolporé et anguloaperturé.
contour oval dans le cas d'un grain dicolporé.
psilète ou granulé à exine épaisse.
Photo: pl.IV, fig.41.

Velloziaceae

Vellozia

tétrade.
monocolpé, avec le sillon situé sur le pôle distal.
psilète à exine épaisse.
Description: Salgado-Labouriau (1973)
Photo: pl.IV, fig.42.

Vochysiaceae

Qualea

tricolporé, sillon long et étroit:
contour triangulaire convexe, aire polaire réduite.

réticulé-strié finement à exine tectée.
Description: Salgado-Labouriau (1973)
Photo: pl.IV, fig.43.

Vochysia

tricolporé, pore allongé, long sillon étroit, aire polaire réduite.
contour triangulaire aux côtés convexes et à apertures saillantes, anguloaperturé;
psilète.
Description: Salgado-Labouriau (1973)
Photo: pl.IV, fig.44.

Winteraceae

Drymis

tétrade
réticulé, à grandes mailles fines.
Photo: pl.IV, fig.45.

Xyridaceae

Xyris

monocolpé.
réticulé finement à exine tectée.
Photo: pl.IV, fig.46.

Spore

Sphagnum

trilète
psilète
contour triangulaire-convexe
Photo: pl.IV, fig.47.

Planche I

- Fig.1: Araucariaceae, *Araucaria* (x 1000)
- Fig.2: Podocarpaceae, *Podocarpus* (x 1000)
- Fig.3: Anacardiaceae, *Astronium* (x 1000)
- Fig.4: Anacardiaceae, *Lithraea* (x 1000)
- Fig.5: Aquifoliaceae, *Ilex* (x 1000)
- Fig.6: Araliaceae, *Didymopanax* (x 1000)
- Fig.7: Bignoniaceae, *Cybistax* (x 1000)
- Fig.8: Bignoniaceae, *Tecoma* (x 1000)
- Fig.9: Boraginaceae, *Patagonula* (x 1000)

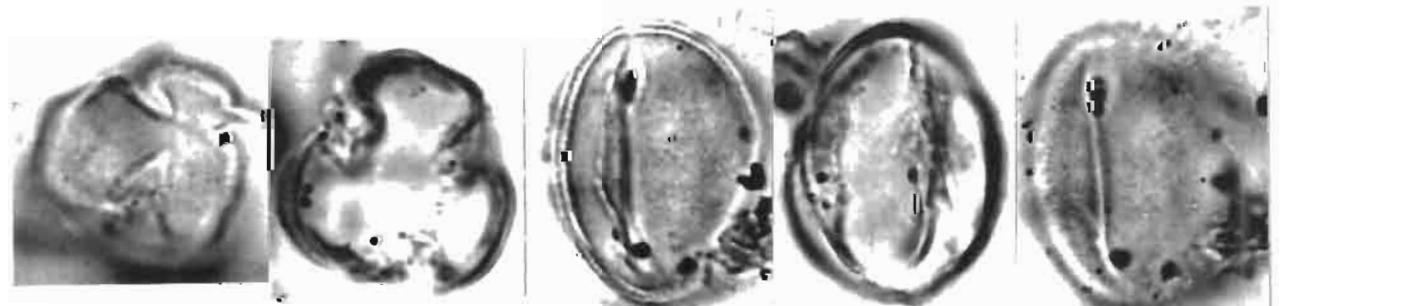
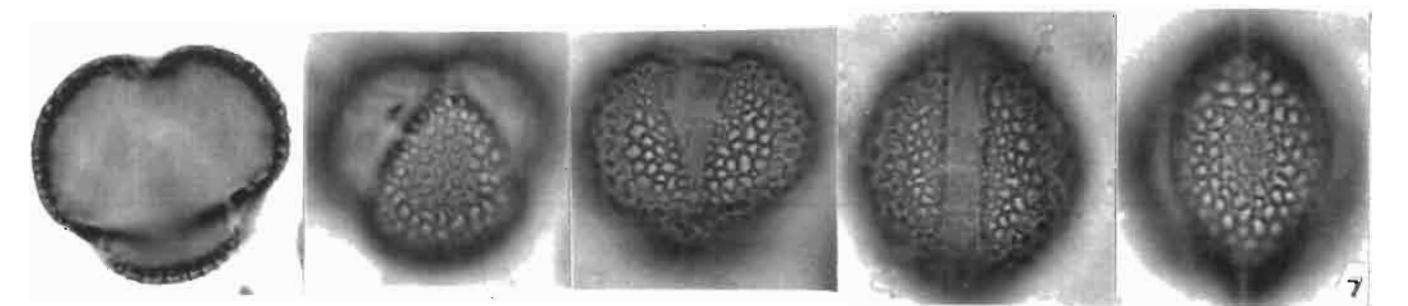
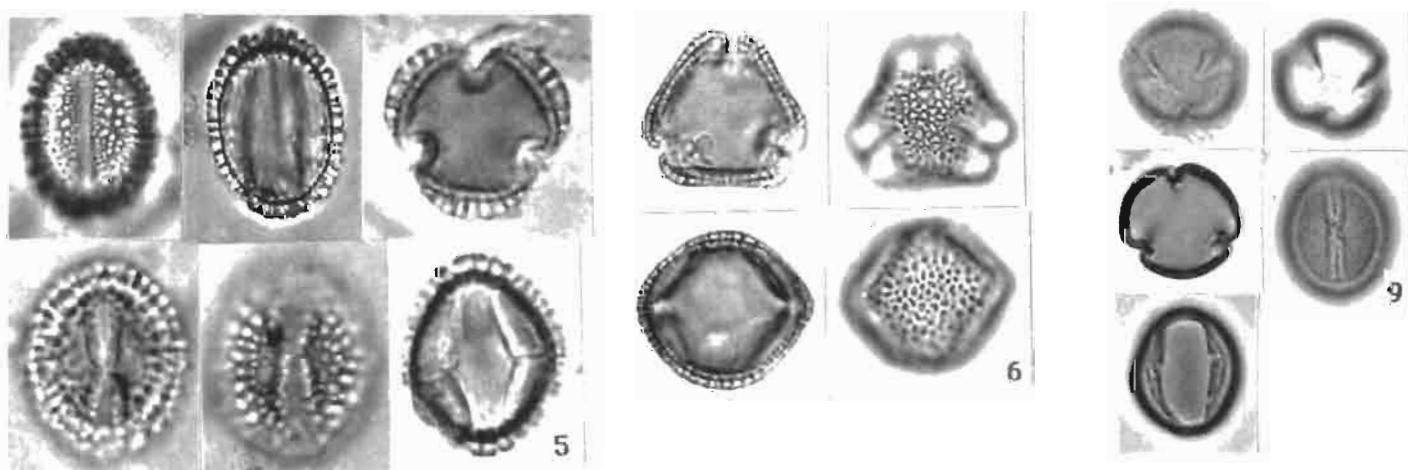
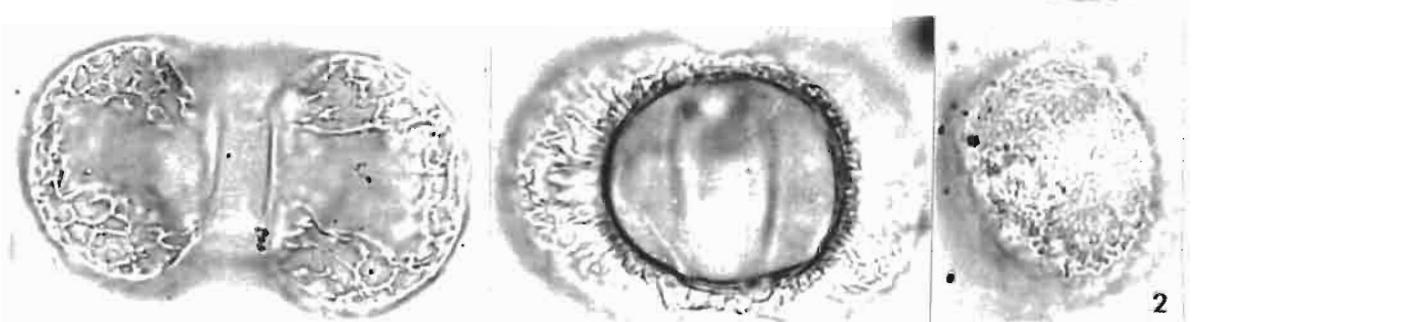
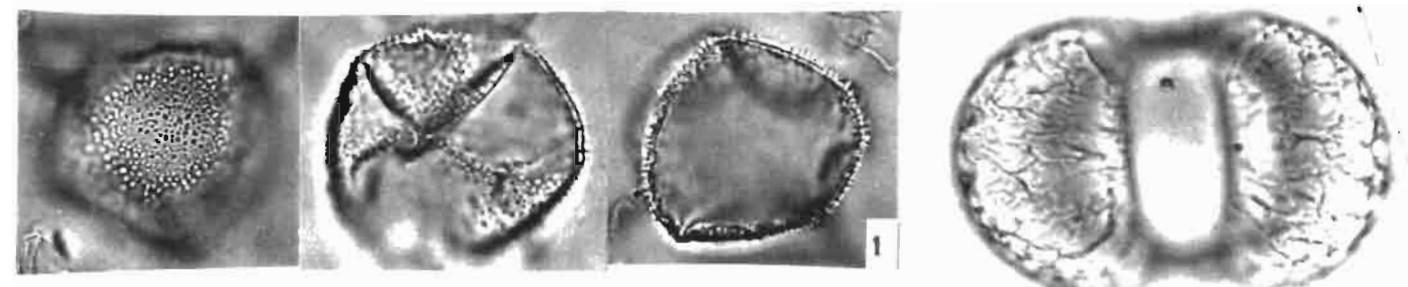
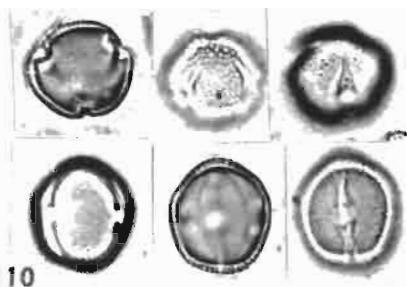
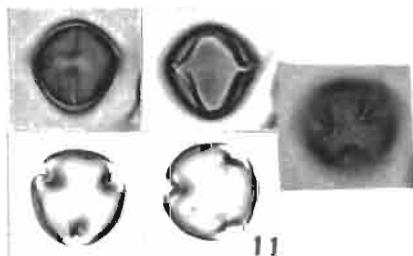


Planche II

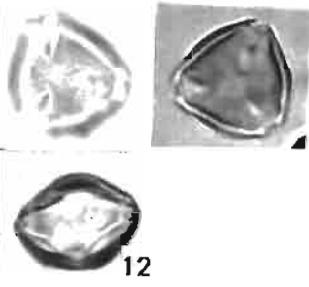
- Fig.10: Celastraceae, *Maytenus* (x 1000)
- Fig.11: Clethraceae, *Clethra* (x 1000)
- Fig.12: Clusiaceae (Guttiferae), *Vismia* (x 1000)
- Fig.13: Cunoniaceae, *Belangeria* (x 1000)
- Fig.14: Elaeocarpaceae, *Sloanea* (x 1000)
- Fig.15: Euphorbiaceae, *Alchornea* (x 1000)
- Fig.16: Euphorbiaceae, *Dallechampia* (x 1000)
- Fig.17: Euphorbiaceae, *Mabea* (x 1000)
- Fig.18: Euphorbiaceae, *Pera* (x 1000)



10



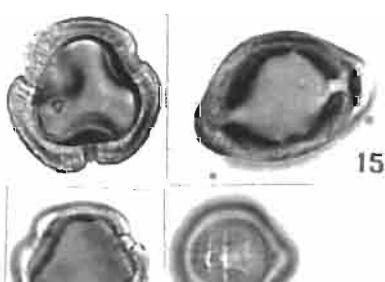
11



12

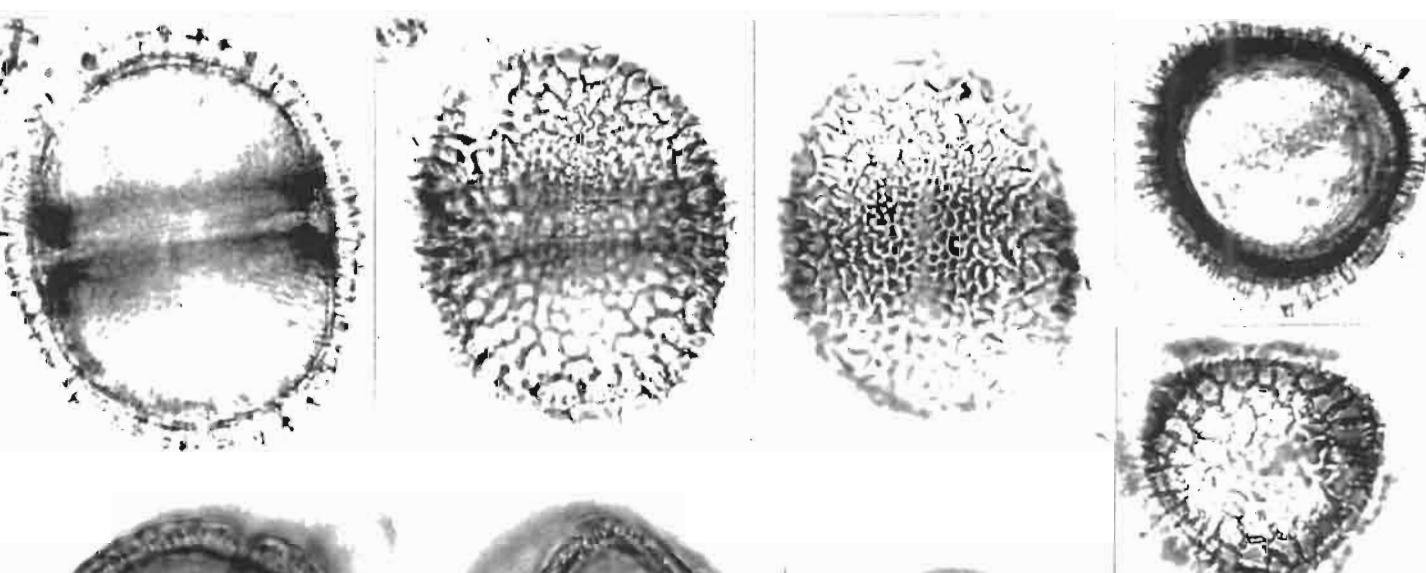


13

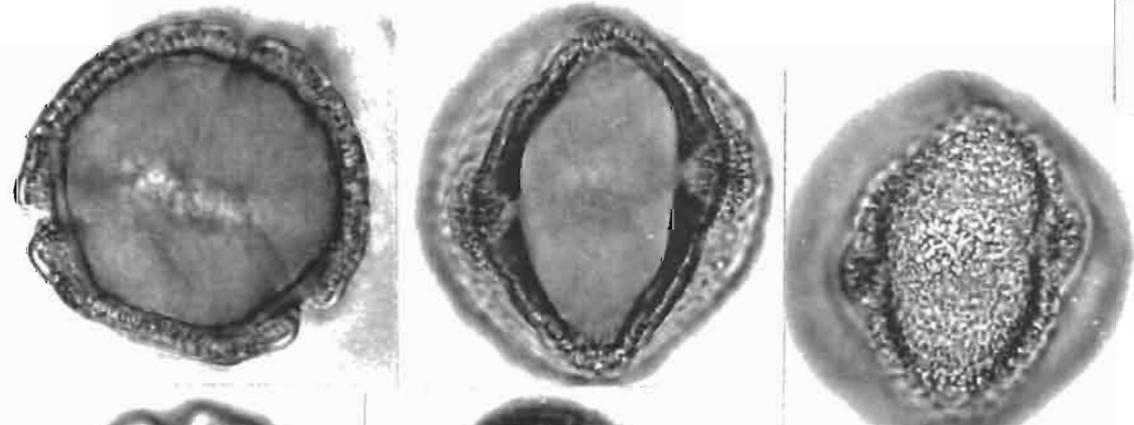


14

15



16



17



18

Planche III

- Fig.19: Euphorbiaceae, *Sebastiana* (x 1000)
- Fig.20: Flacourtiaceae, *Banara* (x 1000)
- Fig.21: Flacourtiaceae, *Casearia* (x 1000)
- Fig.22: Flacourtiaceae, *Xylosma* (x 1000)
- Fig.23: Lecythidaceae, *Cariniana* (x 1000)
- Fig.24: Leguminosae (Fabaceae), t.*Andira* (x 1000)
- Fig.25: Leguminosae (Caesalpiniaceae), *Copaifera* (x 1000)
- Fig.26: Leguminosae (Fabaceae), *Erythrina* (x 1000)
- Fig.27: Leguminosae (Fabaceae), *Myroxylon* (x 1000)
- Fig.28: Malpighiaceae, *Byrsonima* (x 1000)
- Fig.29: Melastomataceae, *Miconia* (x 1000)
- Fig.30: Rubiaceae, *Chomelia* (x 1000)
- Fig.31: Rubiaceae, *Metrodorea* (x 1000)
- Fig.32: Rutaceae, *Balfourodendron* (x 1000)
- Fig.33: Rutaceae, *Esenbeckia* (x 1000)

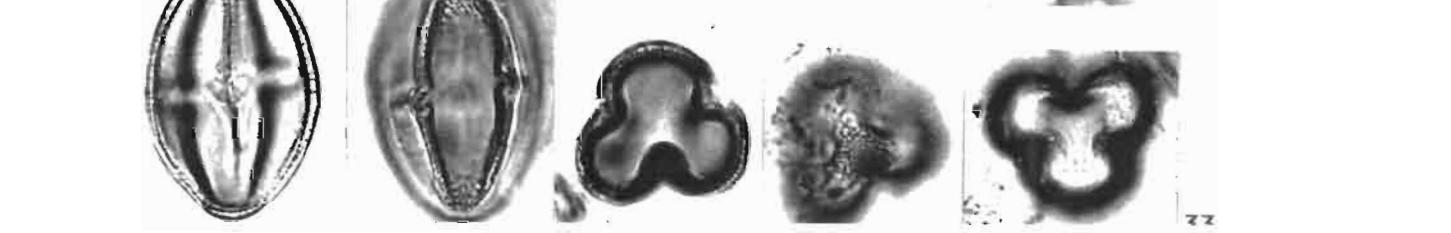
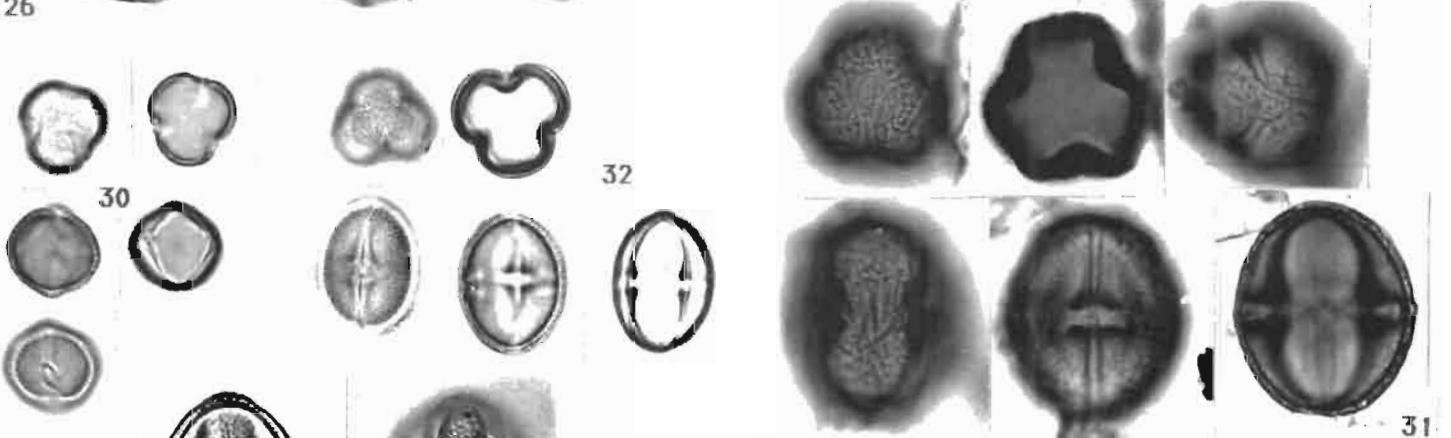
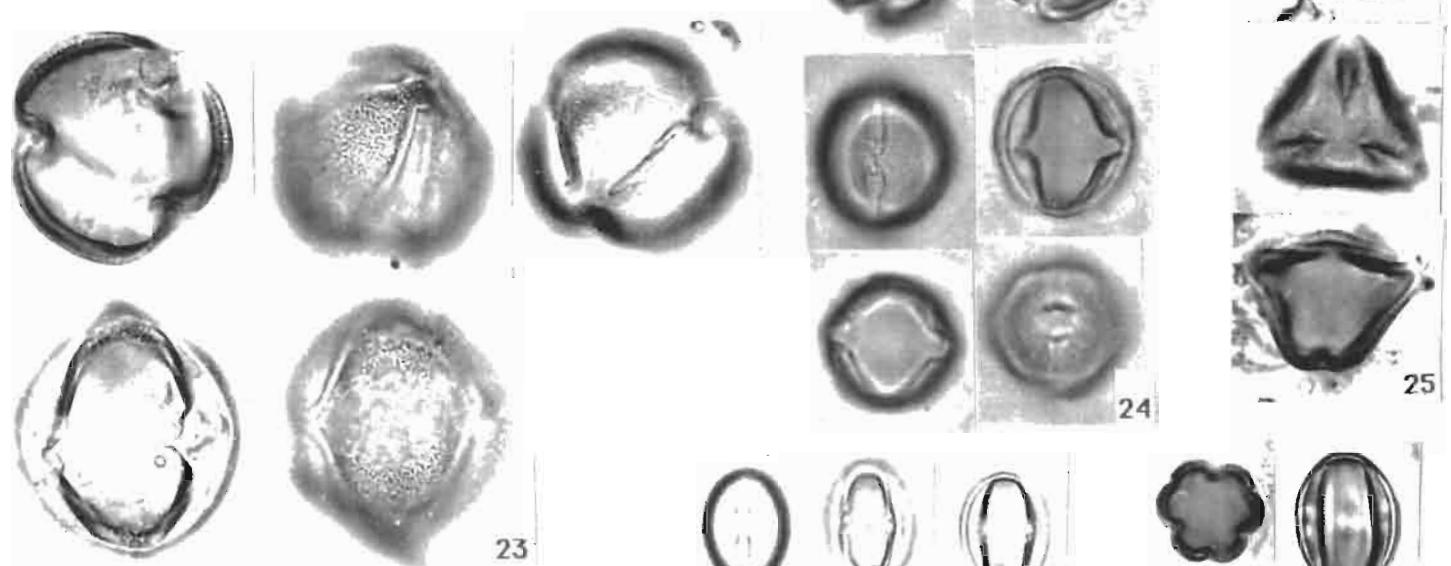
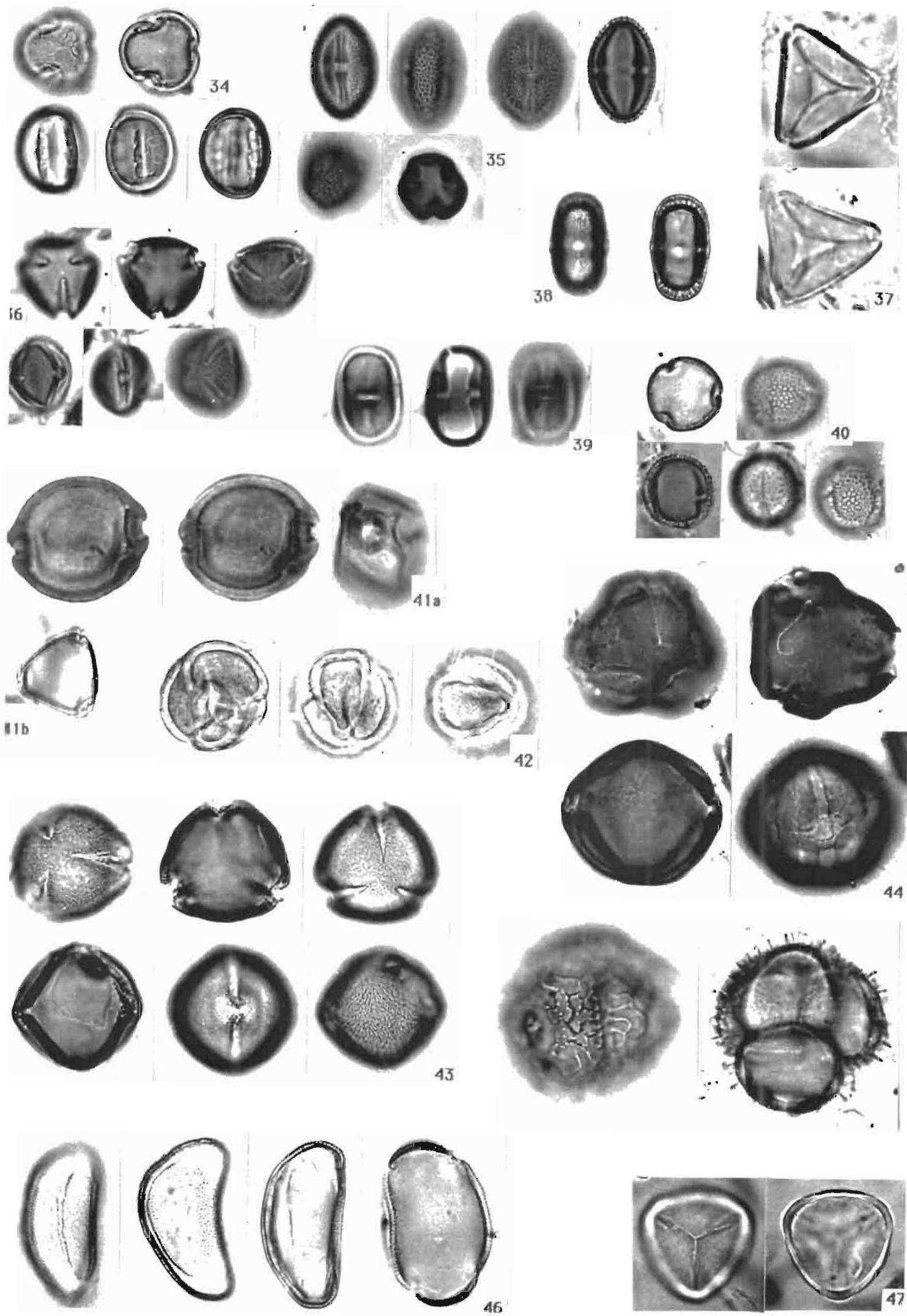


Planche IV

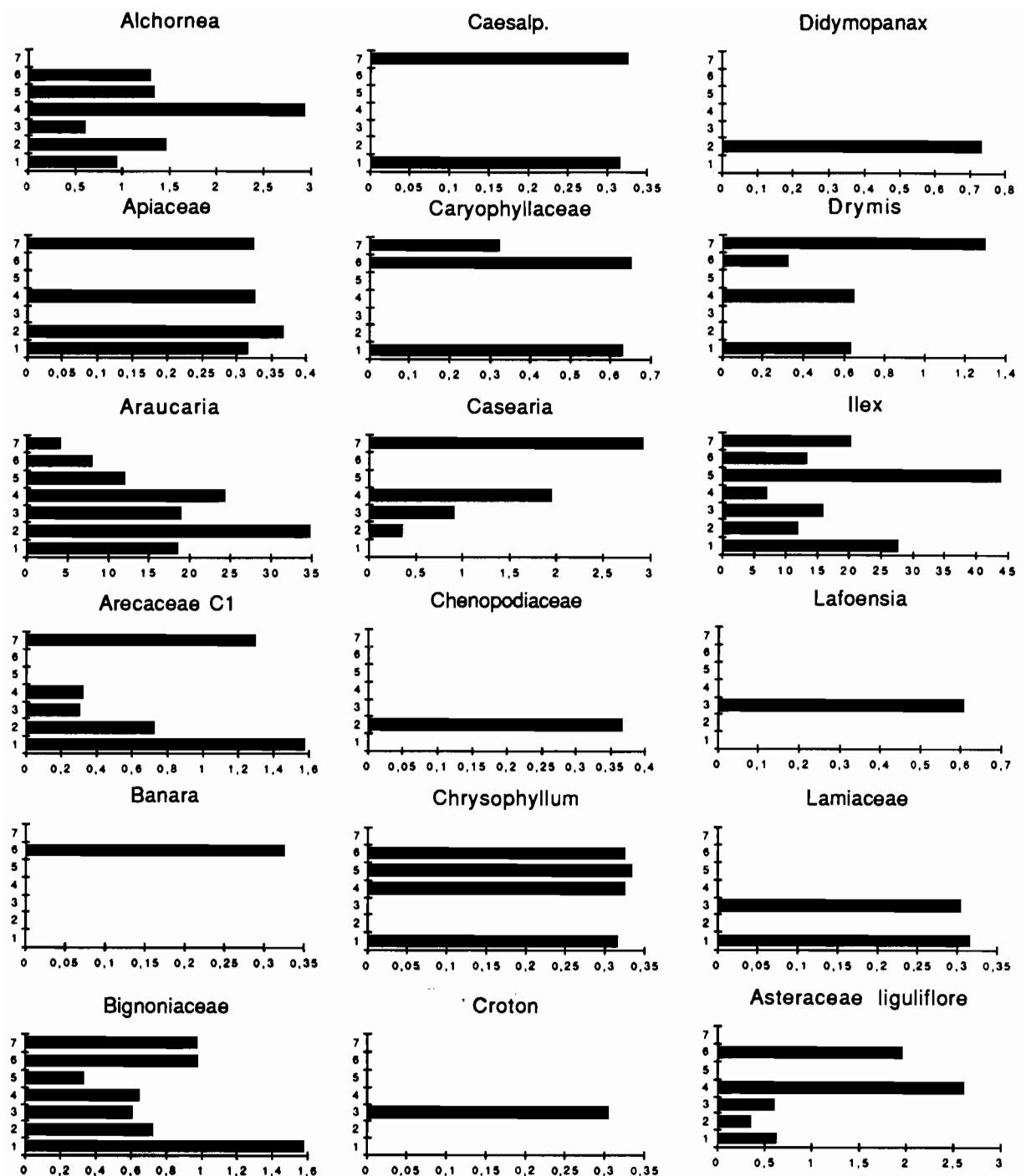
- Fig.34: Rutaceae, *Gallesia* (x 1000)
- Fig.35: Rutaceae, *Zanthoxylum* (x 1000)
- Fig.36: Sapindaceae, *Diatenopteryx* (x 1000)
- Fig.37: Sapindaceae, *Matayba* (x 1000)
- Fig.38: Sapotaceae, *Chrysophyllum* (x 1000)
- Fig.39: Sapotaceae, *Pouteria* (x 1000)
- Fig.40: Sterculiaceae, *Guazuma* (x 1000)
- Fig.41: Symplocaceae, *Symplocos* 41a: dicolporé (x 1000)
41b: tricolporé (x 1000)
- Fig.42: Velloziaceae, *Vellozia* (x 1000)
- Fig.43: Vochysiaceae, *Qualea* (x 1000)
- Fig.44: Vochysiaceae, *Vochysia* (x 1000)
- Fig.45: Winteraceae, *Drymis* (x 1000)
- Fig.46: Xyridaceae, *Xyris* (x 1000)
- Fig.47: *Sphagnum* (x 1000)

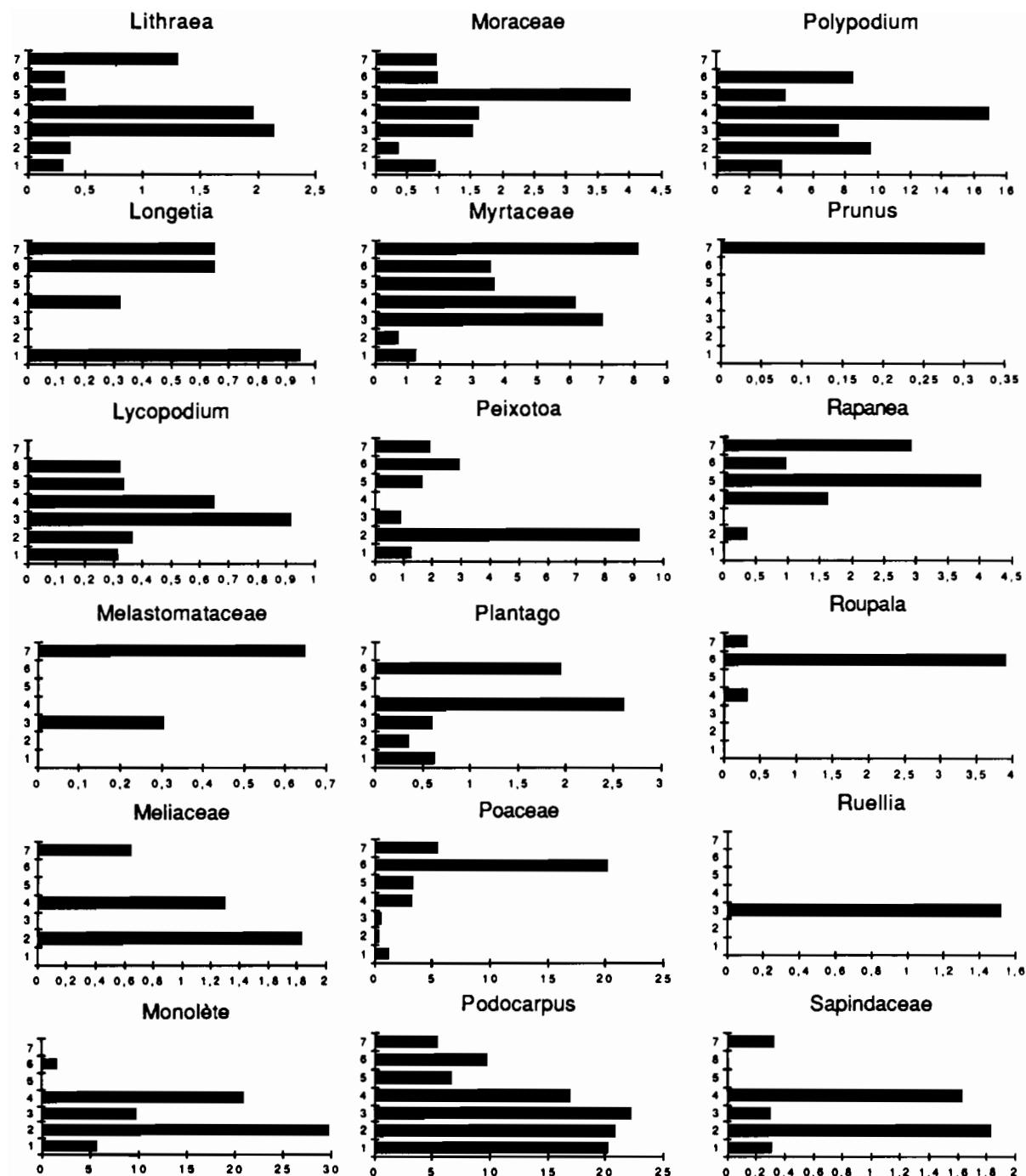


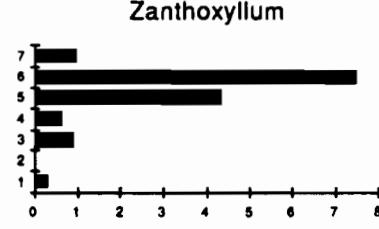
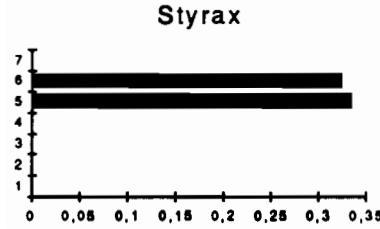
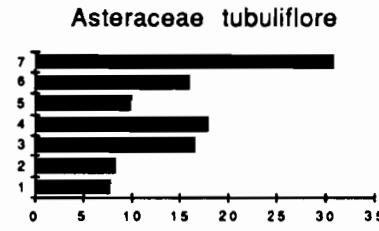
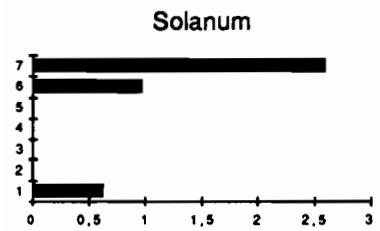
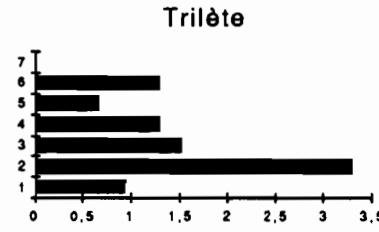
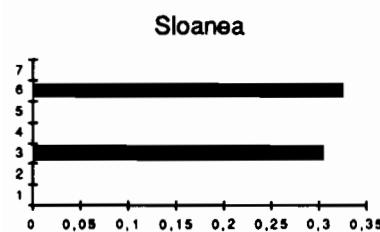
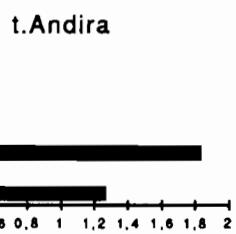
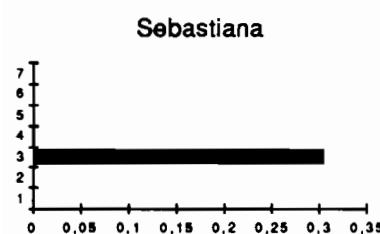
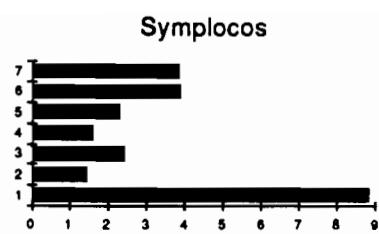
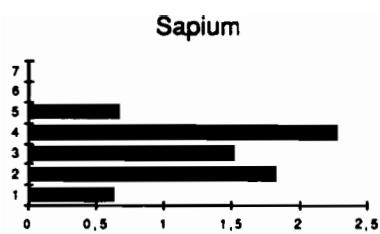
ANNEXE 3

**RESULTATS PALYNOLOGIQUES PAR ECHANTILLON
POUR L'ETUDE DE L'ACTUEL**

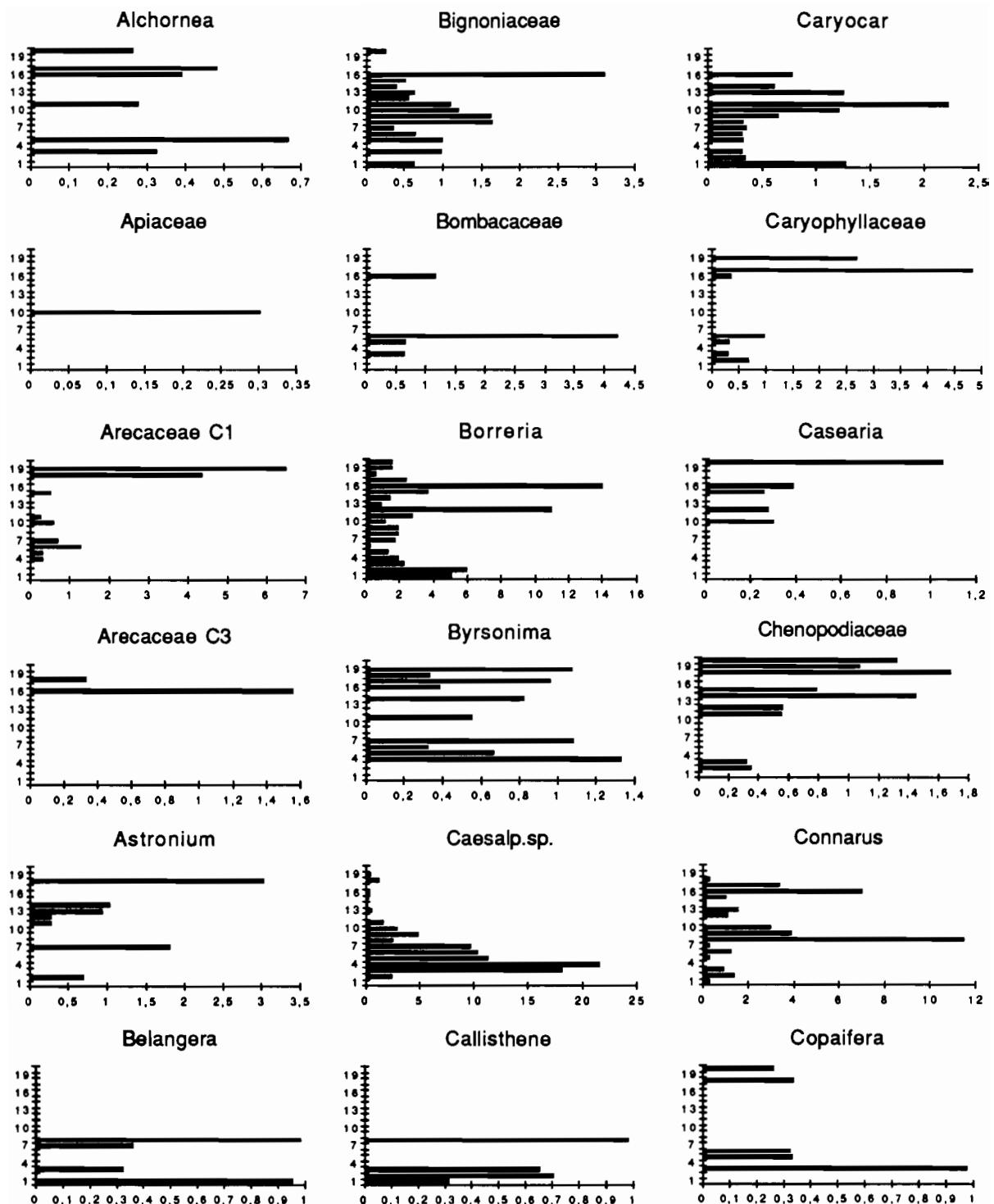
BROTAS: Comptages détaillés

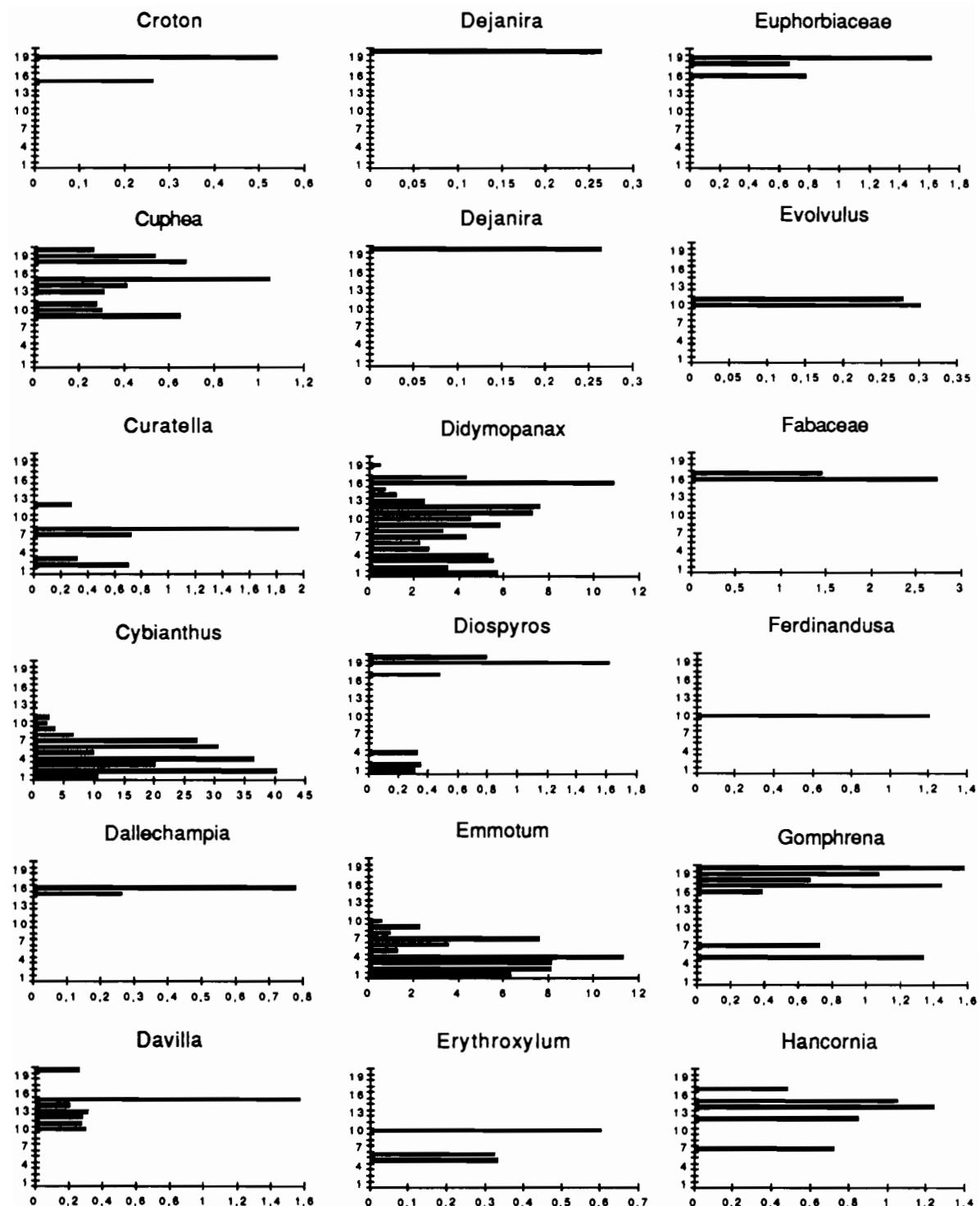


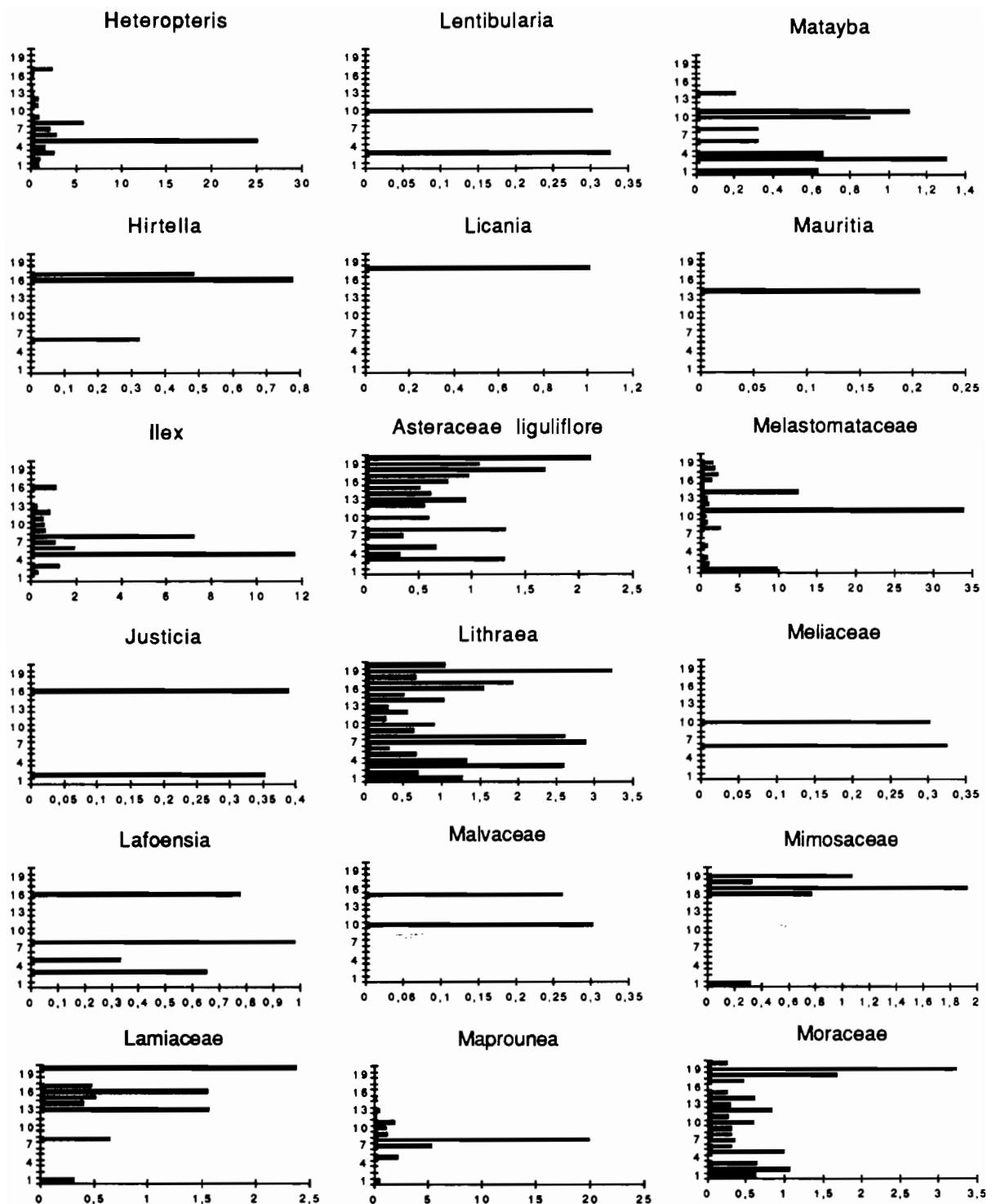


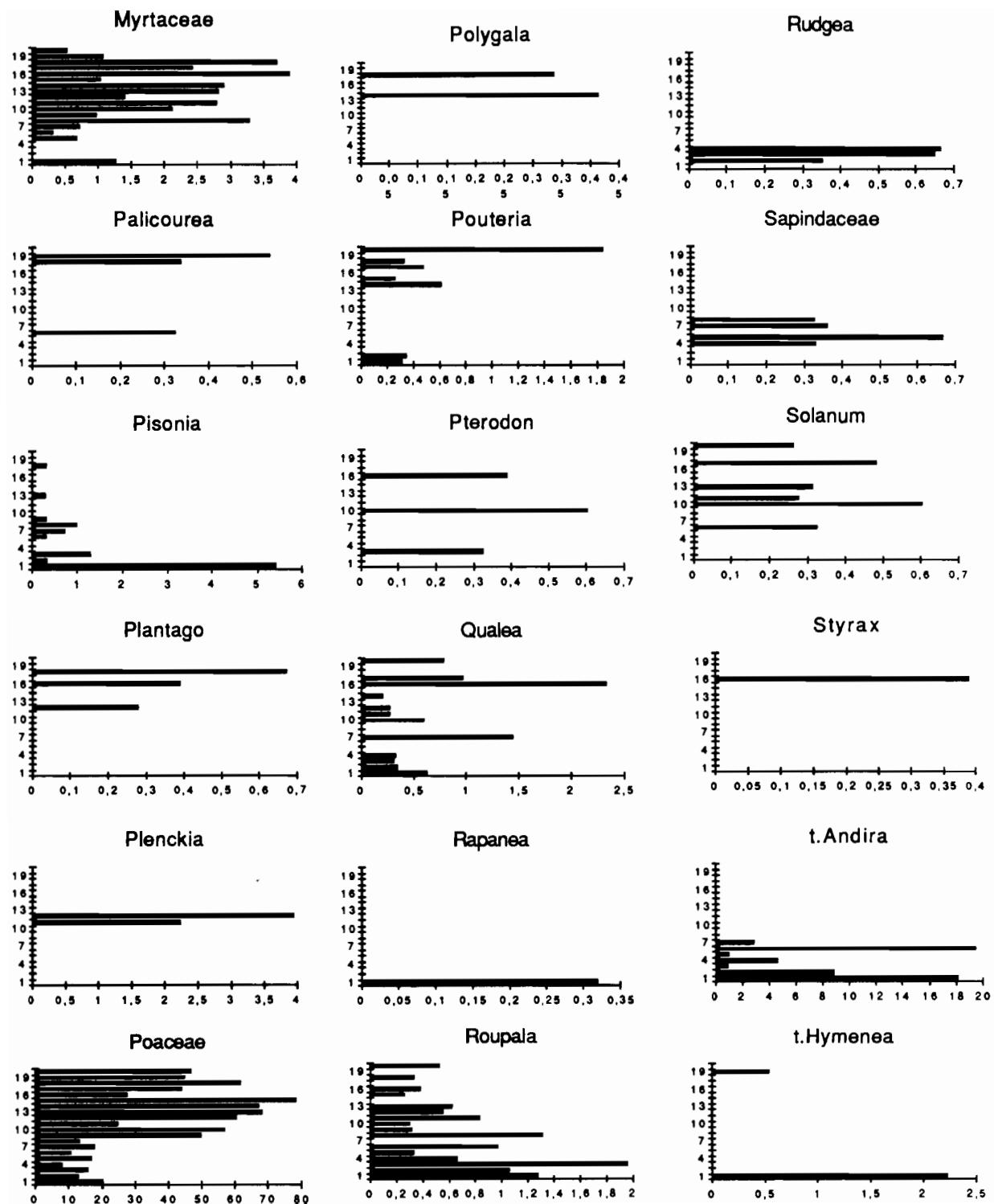


BRASILIA: Comptages détaillés

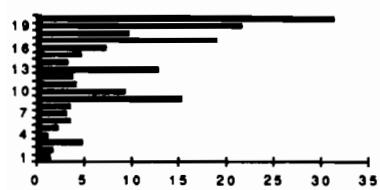




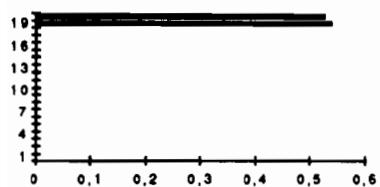




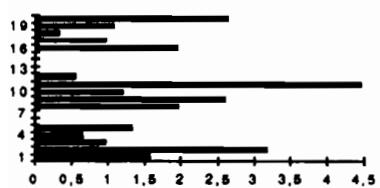
Asteraceae tubuliflore



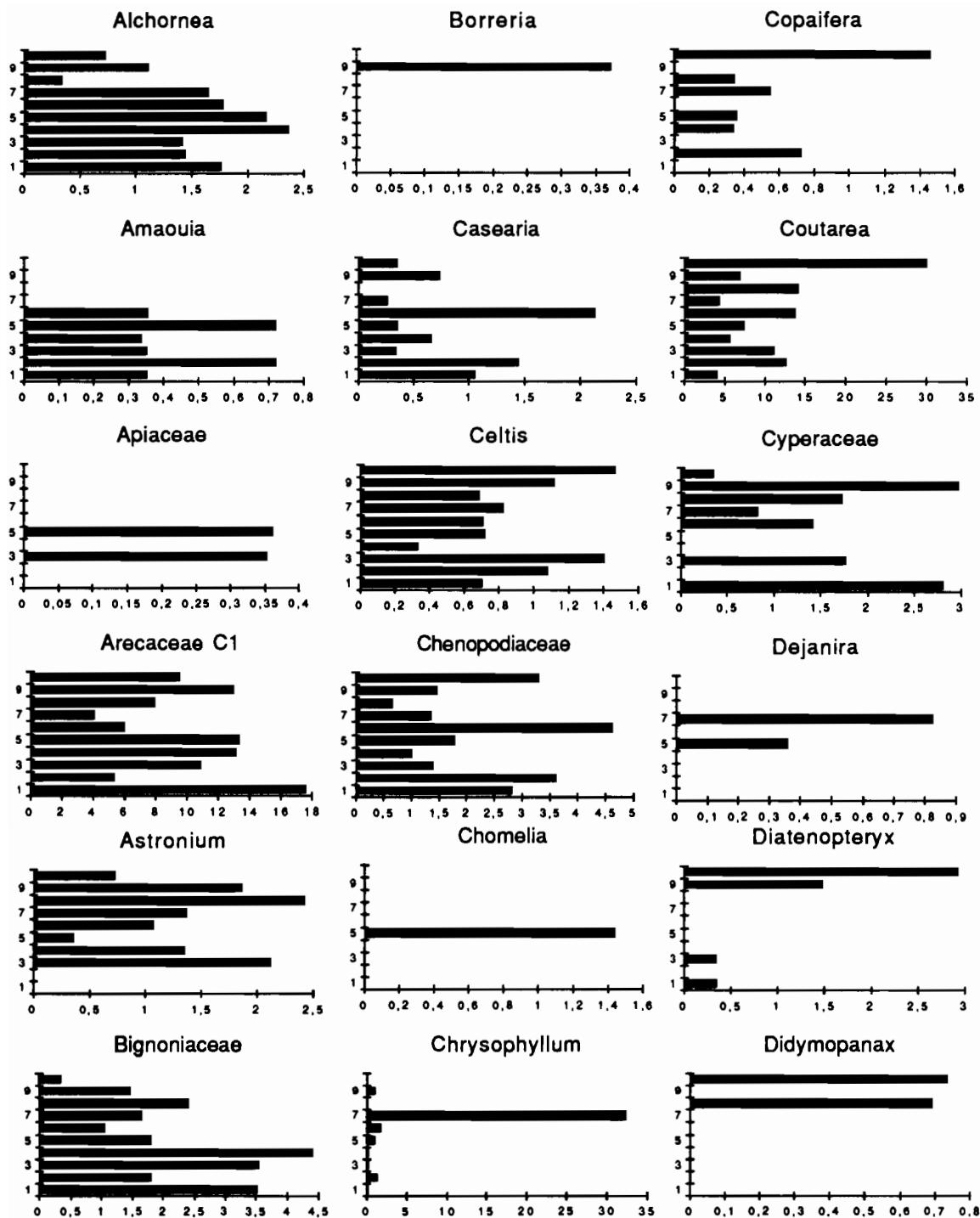
Vellozia

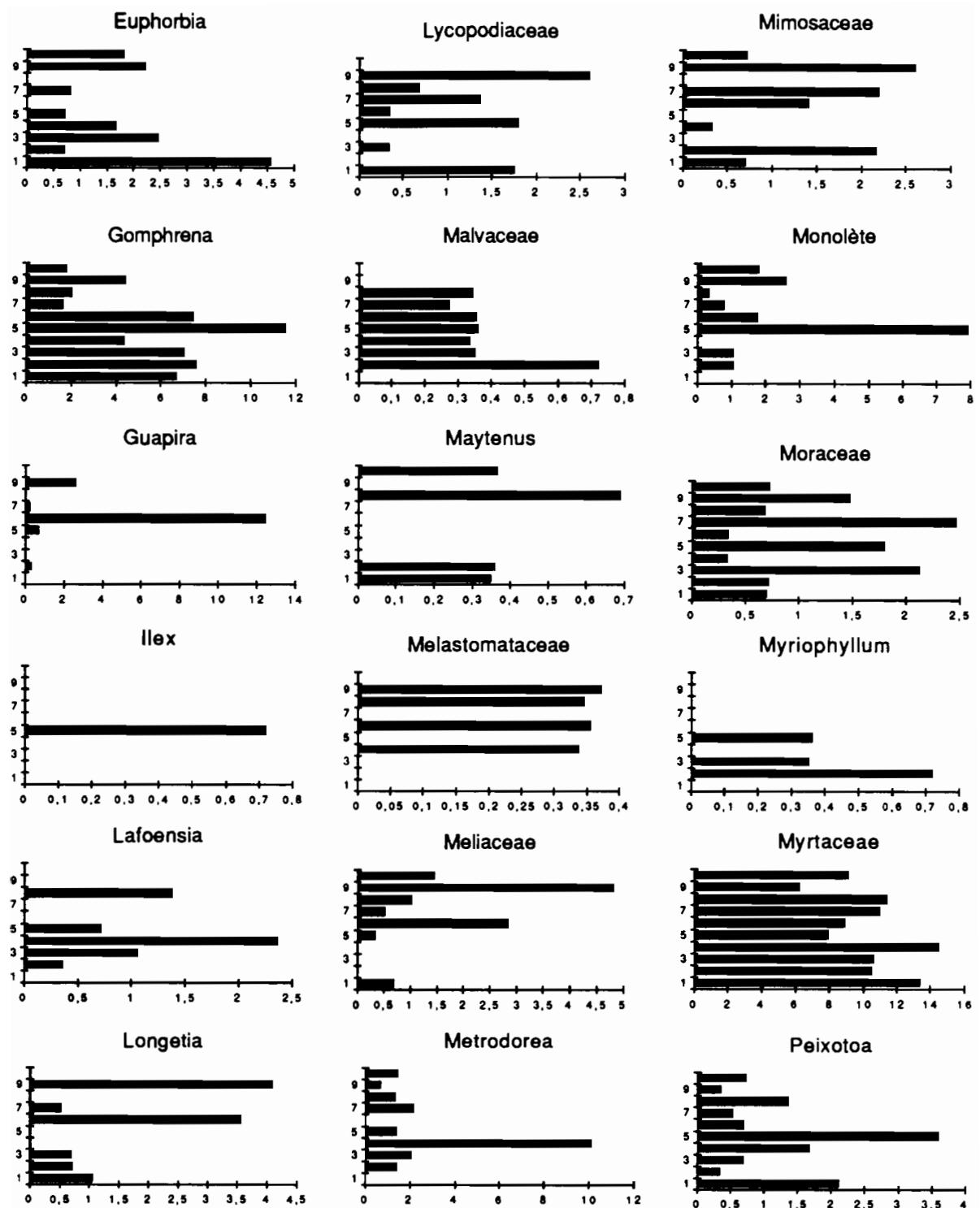


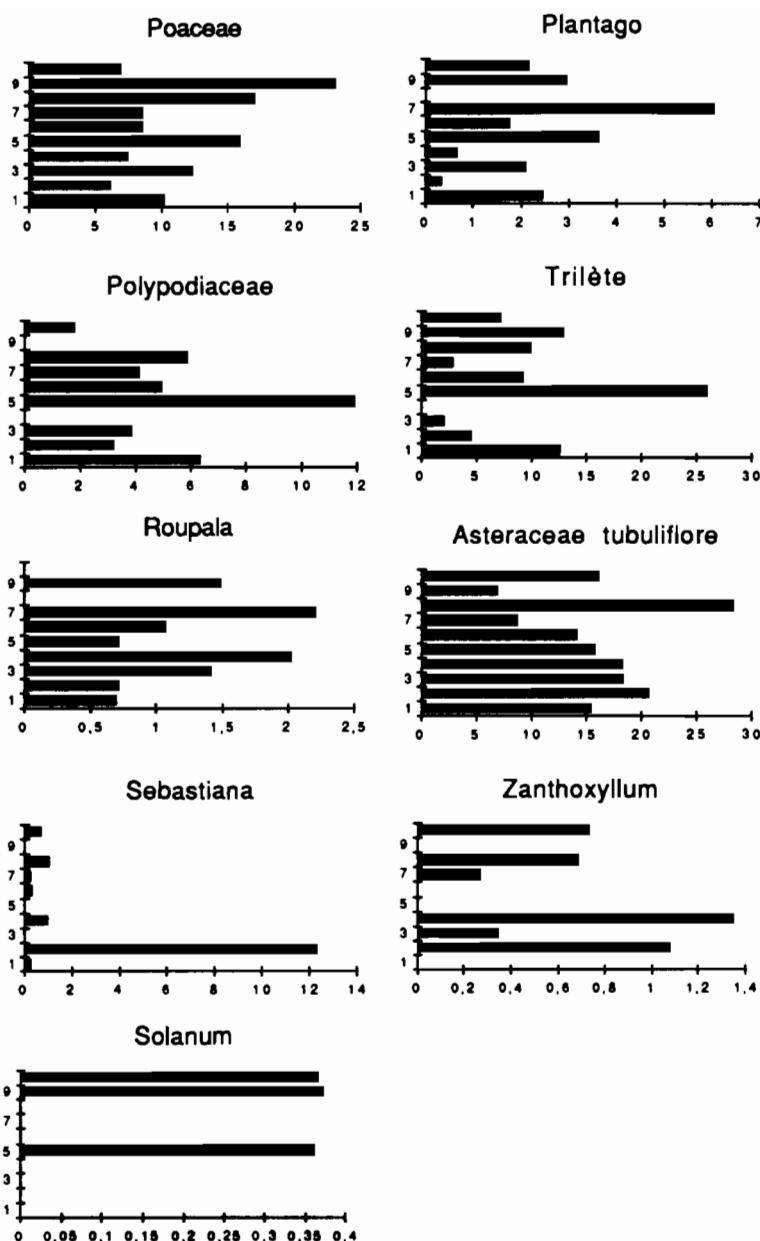
Vochysia



COLOMBO: Comptages détaillés

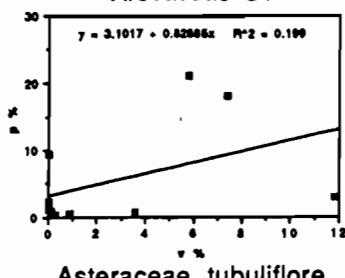
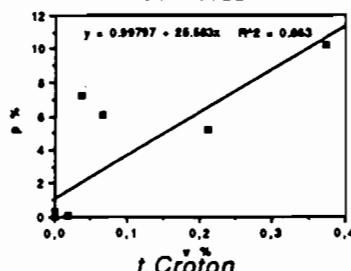
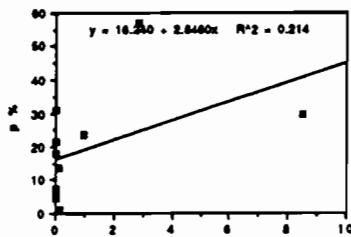
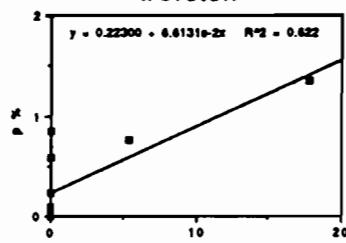
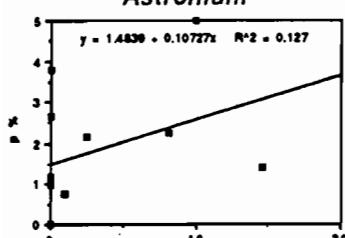
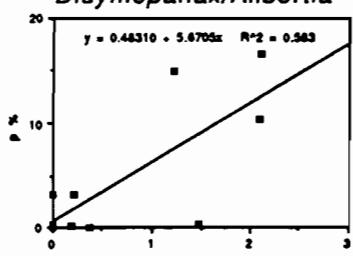
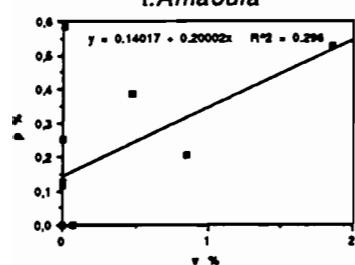
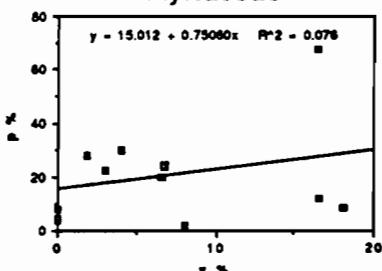
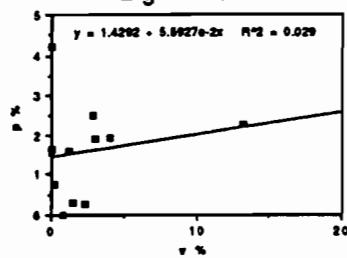
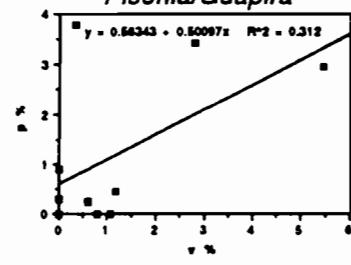


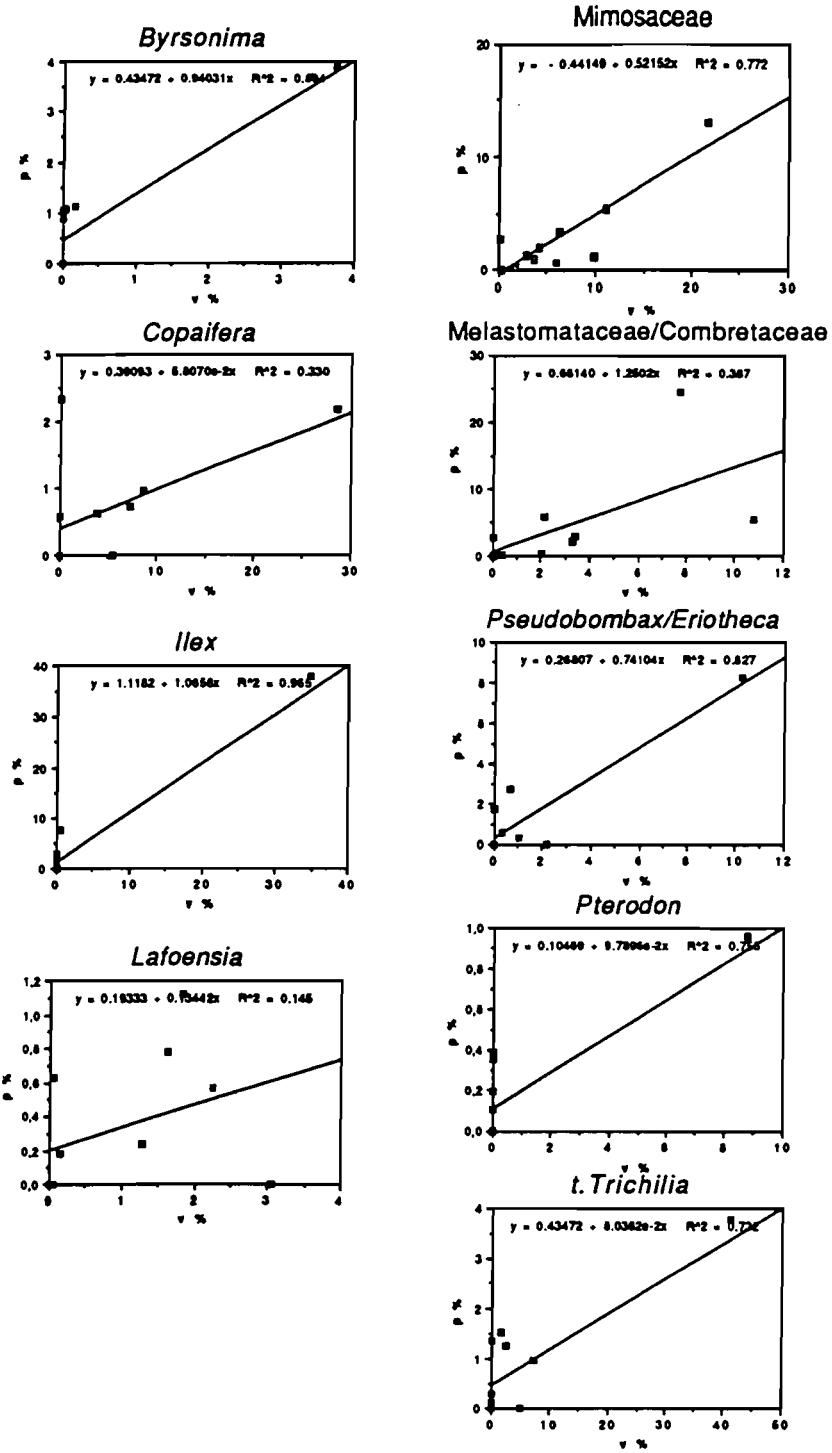




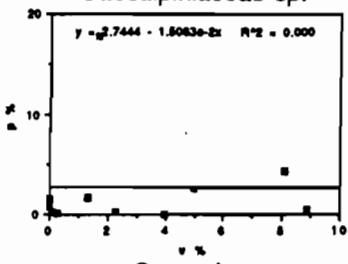
ANNEXE 4

REGRESSION LINEAIRE

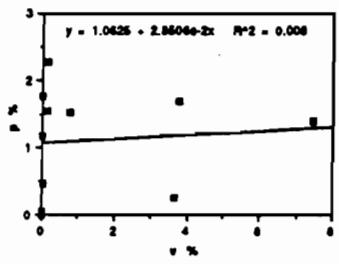
Arecaceae C1**Connarus****Asteraceae tubuliflore****t. Croton****Astronium****Didymopanax/Alibertia****t. Amaouia****Myrtaceae****Bignoniaceae****Pisonia/Guapira**



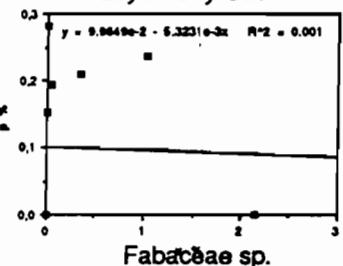
Caesalpiniaceae sp.



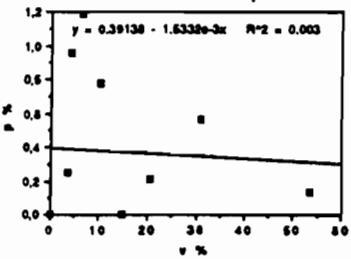
Casearia



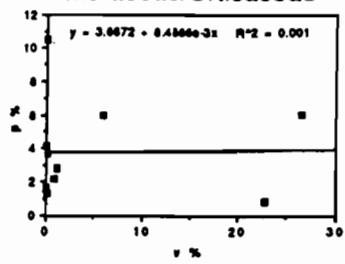
Erythroxylum



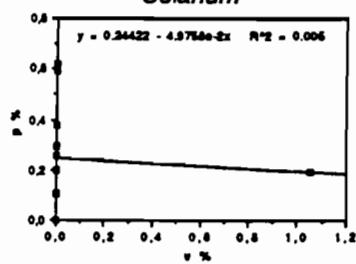
Fabaceae sp.



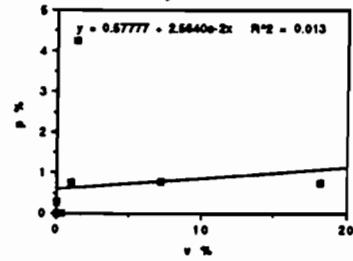
Moraceae/Urticaceae



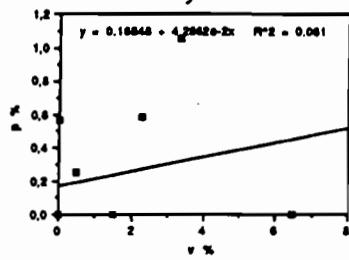
Solanum



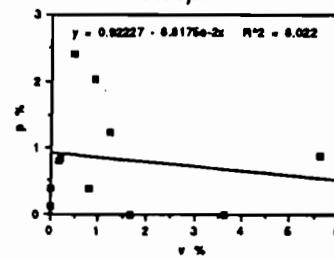
Hymenea



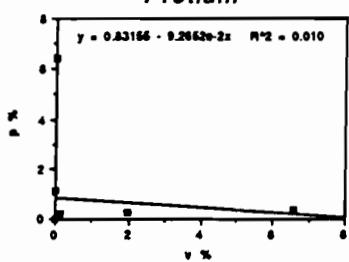
Caryocar



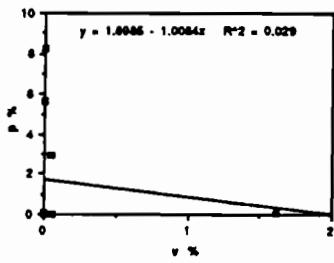
Roupala



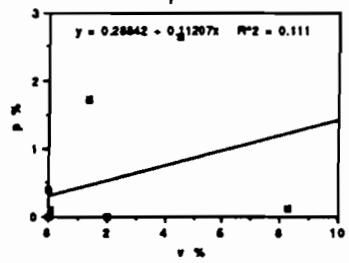
Protium



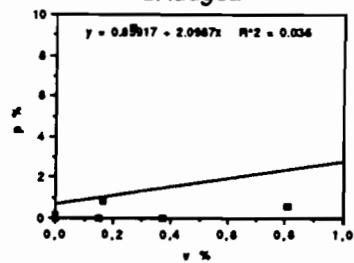
Sebastiana



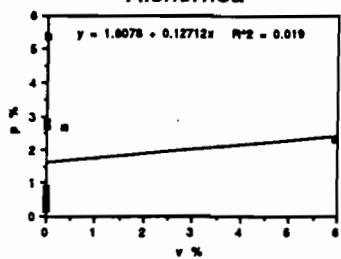
Rapanea



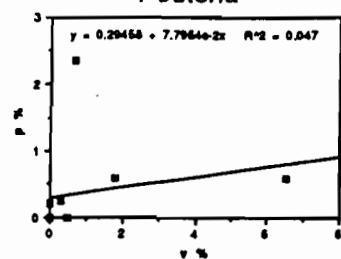
Rudgea



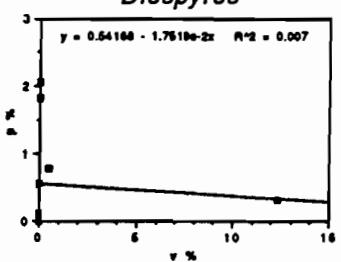
Alchornea



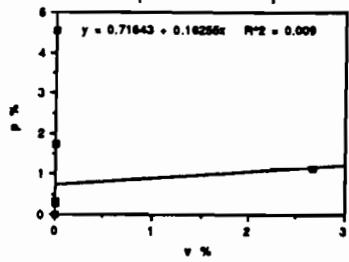
Pouteria



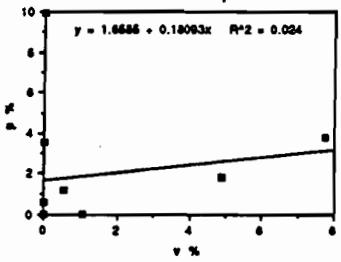
Diospyros



Sapindaceae sp.



Lithraea/Tapirira



ANNEXE 5

COMPTAGES

COMPTAGES PALYNOLOGIQUES: NOMBRE DE GRAINS

| | Bras coré | Bras coré | Bras coré | Bras coré | Cuivre coré | Cuivre coré | Céram. arauc | Bras coré ad | Rio Clare coré ad | Asunc coré gal | Bras coré gal |
|-------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|--------------|--------------|-------------------|----------------|---------------|
| Callithere | 8 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quiles | 9 | 13 | 3 | 4 | 14 | 36 | 0 | 0 | 0 | 10 | 1 |
| Salvertia | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Vochysia | 29 | | 13 | 23 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Arnoniacées | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Kleinmayersia | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Copalea | 6 | 0 | 2 | 43 | 0 | 12 | 0 | 0 | 11 | 5 | 0 |
| t.Hymenaea | 7 | 0 | 1 | 0 | 15 | 4 | 0 | 0 | 0 | 4 | 1 |
| Cassipiriacées sp. | 169 | 36 | 0 | 4 | 9 | 9 | 2 | 6 | 3 | 8 | 2 |
| Pteroced | 1 | 3 | 0 | 19 | 0 | 2 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| t.Andira | 170 | 0 | 0 | 3 | 0 | 4 | 11 | 16 | 1 | | 11 |
| Fabacees sp. | 2 | 10 | 0 | 5 | 2 | 4 | 0 | 0 | 2 | 5 | 0 |
| Myrsinacées/Prægymne | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 66 | 0 | 0 | 0 |
| Acacia | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 116 |
| Mimosaacées | 2 | 6 | 3 | 86 | 4 | 14 | 0 | 10 | 30 | 28 | 61 |
| Roupeia | 23 | 0 | 3 | 16 | 3 | 2 | 14 | 1 | 31 | 2 | 0 |
| Car yucca | 10 | 0 | 0 | 6 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Aspidosperma | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hamelia | 2 | 14 | 0 | 112 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Himatanthus | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Metla tomataceas/Combre | 52 | 207 | 9 | 57 | 21 | 11 | 3 | 0 | 4 | 2 | 1 |
| Styracacées | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Myrsinacées | 19 | 67 | 16 | 479 | 79 | 62 | 95 | 636 | 302 | 144 | 117 |
| Letecidea | 6 | 2 | 0 | 0 | 2 | 4 | 2 | 0 | 17 | 0 | 0 |
| Didymopanax/Albertia | 98 | 140 | 1 | 294 | 11 | 16 | 2 | 0 | 4 | 0 | 0 |
| Curatella | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Strychnos | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Erythroxylum | 2 | 2 | 0 | 3 | 1 | 1 | | | | | |
| Bignoniacées | 18 | 21 | 1 | 16 | 8 | 10 | 18 | 13 | 64 | | 1 |
| Asteraceas t.Gochnata | | | | 8 | | | | | | | |
| t.Coussarea/Farmea | | | | 43 | | | | | | | |
| t.Arasoula/Tooyena | | 1 | | 4 | | 3 | | 1 | 8 | 2 | 1 |
| t.Rudgea/Tabebuia | 8 | | | | | | | 1 | 1 | 3 | 37 |
| Fendleridus | | 4 | | | | 3 | | | | | |
| Metrodorea | | | | | | | | 3 | 60 | 6 | 5 |
| Coutarea | | | | | | | | | 314 | | 4 |
| Chemella | | | | | | | | | 4 | | |
| Irica | | | | | | | | | | 37 | |
| Quettarda | | | | 27 | | | | | | | |
| Palloniacea | 1 | | 2 | 10 | | | | | 4 | 1 | |
| Psychotria | | | | | | | | | | | |
| Byssinina | 16 | 9 | 3 | 22 | 13 | 20 | | | | | |
| t.Heteropteris | 127 | 18 | | | | | | | 57 | | 12 |
| t.Petrea | | | | 409 | 3 | 6 | 60 | | 36 | | 27 |
| Psuedobombax/Eriotheca | 17 | 3 | | 12 | 29 | 14 | | | | | |
| Chorisia | | | | | | | | | 1 | 1 | 6 |
| Pisonia/Guapira | 28 | 2 | 1 | 9 | 1 | | | 7 | 62 | | 15 |
| Nass | | | | | | | | | | | |
| Celastracées sp. | | | | | | | | | | | |
| Meyenius | | | | | | | | 18 | | | |
| Pflendia | | 23 | | | | | | | | | |
| Banera | | | | | 2 | 1 | 1 | | | | |
| Cassertia | 4 | 4 | 1 | 8 | 8 | 19 | 14 | 21 | 8 | | 1 |
| Xylosma | | | | | | | | 26 | 3 | 25 | |
| Cornus | 49 | 61 | 1 | 2 | 36 | 31 | | | | | |
| Psorea | | | | | | | | | | | |
| Devilla | 11 | 1 | | 2 | 2 | | | | | | |
| Curassia | 11 | 1 | | | 7 | 1 | | | | | |
| Enneanum | 141 | | | | 1 | | | | | | |
| Laureacees | | | | | | | | | | | |
| Annonacées sp. | | | | | 1 | | | | 18 | | |
| Astrenium | 7 | 10 | 9 | | 6 | 6 | | 18 | 33 | 24 | 16 |
| Lithraea/Tapirira | 30 | | 12 | 23 | 2 | 81 | 21 | | | | |
| Bohinia | | | | | | | | | | | |
| Mangifera | | | | | | | | | | | |
| Euphorbiacées sp. | | | | | | | | 8 | 29 | 48 | |
| Acherneas | 3 | 3 | 1 | 16 | 19 | 14 | 26 | 21 | 43 | 3 | 1 |
| t.Creton | 2 | 2 | 1 | 3 | | | 1 | | 1 | 7 | 3 |
| Maprounia | 86 | | | | 3 | | | | | | |
| Pera | | | | 9 | | | | | | | |
| Saxa | | | | | | | | 12 | | | |
| Euphorbia | | | | | | | | | 18 | | |
| Actinidia | | | | | | | | | 1 | | |
| Sapindus | | | | | 1 | 21 | | | | | |
| Sebastiana | | | | 1 | 29 | 1 | | | 45 | | |
| Diospyros | 3 | 1 | 7 | 36 | 2 | 4 | | | 1 | | |
| Couepia | | | 1 | 6 | | 12 | | | | | |
| Hirtella | 1 | 1 | | | | 12 | | | | | |
| Licania | | 3 | 2 | 3 | 15 | | | | | | |
| Myristicacées | | | | | | | | | | | |
| Simarubacées | | | | | | | | | | | |
| Sapindacées sp. | 3 | | | | | | 13 | 36 | 5 | 9 | 1 |
| Maprounia | | | | | | | | | | | |
| Monyle | 12 | 8 | | | 3 | | | | | | |
| Diospyros | | | | | | | | | 14 | 5 | |
| Moracees/Artocarpacées | 13 | 13 | 14 | 73 | 6 | 54 | 32 | 7 | 33 | 31 | 24 |
| Hippocrateacées | | | | | | 3 | | | | | |
| Verbenacées | | | | | | | 1 | 2 | | | 1 |
| Bix | 71 | 13 | | | | 16 | 429 | | 2 | | |
| Meliosma t.Trichilia | 1 | 1 | | | 1 | 7 | 11 | 30 | 23 | | 5 |
| t.Guarea | | | | | | | | | | | |
| Cyathocarpus | 539 | | | | | | | | | | |
| Papaya | 1 | | | 34 | | 2 | 30 | 1 | | | |
| Luxia | | | | | | | 7 | | 2 | | |
| Christiana | | | | | | | | | | | |
| Solanacees | 1 | 5 | 1 | 5 | | | 7 | 3 | 3 | 1 | |
| Rubacees t.Golpia | | | | | | | | | | 86 | |
| Zanthoxylum | | | | | | | 46 | | 13 | 2 | 11 |
| Bauhinia | | | | | | | | | | | 12 |
| Grewia | | | | | | | | 4 | | 1 | |

COMPTAGES PALYNOLOGIQUES: NOMBRE DE GRAINS

| | | | | | | | | | | |
|------------------------|------|-----|-----|------|-----|-----|------|------|------|-----|
| Ricocarpus | | | | | | | 3 | | | 1 |
| Canellaceae | | | | | | | | | | |
| Araucaria | | | | | | 365 | | | | |
| Podocarpus | | | | | | 313 | | | | |
| Styraceae | | | | | | 2 | 16 | | | |
| Prunus | | | | | | 1 | 6 | | | |
| Clethraceae | | | | | | | | | | |
| Drimis | | | | | | 9 | | | | |
| Symplocos | | | 12 | | | | 76 | | | |
| Persea | | | | 7 | 4 | 33 | | | | |
| Leiodendron | | | | 1 | | | | | 1 | 1 |
| Thymelaeaceae | | | | | | | | | | |
| Opiliaceae | | | | | | | | | | |
| Chrysophyllum | | | | 1 | | | 4 | | 136 | |
| Psidium | 2 | 6 | 8 | 6 | | 2 | | | | |
| Vellereaceae | | | 3 | | | | | | | |
| Siparuna | | | | 2 | | | | | | |
| Arecaceae C1 | 8 | 6 | 32 | 6 | 4 | 16 | 12 | 11 | 273 | 109 |
| Arecaceae C5 | | 4 | 1 | 1 | 5 | 1 | | 1 | 2 | 1 |
| Piperaceae | | | | | | | | 1 | | 1 |
| Mauritia | | 1 | | | 1 | 26 | | | | |
| Gnetaceae | | | | | | | | 277 | | 51 |
| Coccoloba | | | | | | | | 26 | | |
| Rhamnaceae | | | | | | | | | | |
| Psammodia | | | | | | | | | | |
| Cordia | | | | | | | 18 | 14 | | 1 |
| Cercidiphyllaceae | | | | | | | | | | 7 |
| Celtis | | | | | | | | 26 | | |
| Trema | | | | | | | | | | |
| Gommaceae | | | | | | | | | 9 | 3 |
| Caricaceae | | | | | | | | | 4 | 19 |
| Molinaceae | | | | | | | | | | |
| Poaceae | | | | | | | | | | |
| Ardisia | | | | | | | | | | |
| Heisteria | | | | | | | 1 | | | |
| Belangeria | | | | | | | | | | 1 |
| Asteraceae tubuliflora | 67 | 198 | 193 | 269 | 16 | 7 | 331 | 60 | 466 | 113 |
| total | 1580 | 929 | 351 | 2178 | 413 | 599 | 1977 | 1280 | 2184 | 783 |
| | | | | | | | | | | 682 |

| | Bras. cerr | Bras. cerr | Bras. cerr | Bauru cerr | Culaba cerr | Cuiba cerr | Colom. arauc. | Bauru for ad | Flor Claro for ad | Asais for gal | Brotas for gal |
|------------------|------------|------------|------------|------------|-------------|------------|---------------|--------------|-------------------|---------------|----------------|
| Callisthene | 0,5125 | 0 | 0 | 0 | 0,3301 | 0 | | | | | |
| Cuilea | 1,0063 | 3,0581 | 0,5089 | 2,4252 | 0,0415 | 4,273 | 0 | 0 | 0 | 0,0975 | 0,1 |
| Salvertia | 0 | 0,0804 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Vochysiidae | 0,0787 | 0,2504 | 0,1718 | 5,2322 | 0 | 0,383 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Antoniacaceae | 0,3826 | 0,9476 | 0,0125 | 2,1686 | 0,0054 | 0,173 | 0,122 | 0 | 0,2985 | 0,1822 | 0,035 |
| Kilmeyera | 0,009 | 0,1438 | 0,1438 | 0,0338 | 0,0329 | 0,9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Copaiera | 0,3487 | 0 | 0 | 8,4688 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,1499 | 1 | 0,6 |
| L.Hymenes | 0,081 | 0 | 0 | 0,1008 | 0,0203 | 1,21 | 0 | 0 | 2,1181 | 0 | |
| Casuarinaceae | 0,1489 | 0,5486 | 0,038 | 0,6744 | 0,0733 | 0,221 | 0,0364 | 0 | 0,0028 | 0 | 0,97 |
| Pterodon | 0 | 0 | 0 | 2,608 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| L.Andira | 0 | 0 | 0 | 0,0833 | 0 | 0 | 0,3796 | 0 | 0,5331 | 0,8463 | 2,105 |
| Fabaceae sp. | 1,8532 | 0,4323 | 0 | 1,0652 | 0,4583 | 1,679 | 0 | 0 | 1,1004 | 0,4915 | 1,618 |
| Myroxylon/Pt | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,1712 | 0 | 0,0717 | 0 |
| Acacia | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0608 | 0,1601 | 3,706 |
| Mimosaceae | 0,1585 | 0,4102 | 0,0363 | 1,8787 | 0,1448 | 0,018 | 0,0281 | 0,2247 | 0,0871 | 1,29 | 2,368 |
| Roupala | 0,043 | 0,2487 | 0,0533 | 0,0525 | 0,0029 | 0,131 | 0,1551 | 0 | 0,0187 | 0 | 0,184 |
| Caryocar | 0,3023 | 0,4371 | 0,0141 | 1,406 | 0 | 0,381 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Aspidosperma | 0,0784 | 0,2391 | 0 | 0,0644 | 0,0252 | 0,339 | 0 | 8,0438 | 0 | 0,7694 | 2,42 |
| Hancornia | 0 | 0,0232 | 0 | 0 | 0,0147 | 0,014 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Himatanthus | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,009 | 0,032 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Melastomatace | 0,9793 | 0,5225 | 0 | 1,0132 | 0,0314 | 0,549 | 0,0478 | 0 | 0,0062 | 0,2353 | 0 |
| Styracaceae | 0 | 0,26 | 0,0317 | 0,0588 | 0 | 0 | 0,1514 | 0 | 0 | 0,1896 | 0 |
| Myrtaceae | 0,7262 | 0 | 0 | 2,0126 | 0,0442 | 2,768 | 2,279 | 1,275 | 0,1347 | 0,2152 | 0,437 |
| Lafoensis | 0,0051 | 0,0855 | 0,029 | 0,0144 | 0,0332 | 0,273 | 0,0178 | 0 | 0,0375 | 0 | |
| Didymopanax | 0,1901 | 0,1428 | 0,0141 | 0,3626 | 0 | 0,035 | 0,022 | 0 | 0 | 0,0438 | 0 |
| Curatella | 0,0294 | 0,0586 | 0 | 0,2544 | 0 | 0,012 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Strychnos | 0 | 0,318 | 0 | 0,0135 | 0 | 0,033 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Erythroxylum | 0,0306 | 0,0699 | 0,0204 | 0,001 | 0 | 0,006 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Bignoniaceae | 0,2746 | 0,1937 | 0,0141 | 0,0557 | 0,195 | 0,675 | 0,1513 | 0 | 0 | 0,0923 | 0,247 |
| Asteraceae tC | 0 | 0 | 0 | 0,1086 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Rubiaceae sp.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0786 | 0 | 0 |
| Rubiaceae sp.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0017 | 0 | 0 |
| Rubiaceae sp.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0008 | 0 | 0 |
| L.Ceuaserae/F | 0,2085 | 0 | 0 | 3,1948 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| L.Amarula/Tec | 0 | 0 | 0 | 0,2528 | 0,0011 | 0,001 | 0 | 0 | 0,0382 | 0,0551 | 0 |
| R.Rudgea/Sabice | 0,015 | 0,0102 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0473 | 0 | 0 | 0,094 | 0,029 |
| Ferdinandea | 0 | 0,0254 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Metrodorea | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,2029 | 0,412 | 0,8282 | 0,487 |
| Coutarea | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0357 | 0,03 |
| Chomelia | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0483 | 0 | 0 |
| Izera | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,1136 | 0 |
| Guettarda | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0181 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pellicourea | 0 | 0,082 | 0 | 0,0032 | 0 | 0,001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Psychotria | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,168 | 0 | 0,0045 | 0,3369 | 0 |
| Byrsinima | 0 | 0,0025 | 0 | 0,0471 | 0,0502 | 0,626 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| L.Heteropteris | 0 | 0,0297 | 0,0035 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| L.Peltiota | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pseudobombax | 0 | 0,0696 | 0 | 0,0836 | 0,1514 | 0,114 | 0 | 0 | 0 | 0,2564 | 0 |
| Chorisia | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,1272 | 0 | 2,8325 | 4,421 |
| Pisonia/Guapé | 0,4985 | 0,0407 | 0 | 0,3472 | 0 | 0,178 | 0 | 0 | 0,0574 | 0,0936 | 0,035 |
| Neesia | 0,0323 | 0,0045 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Celastraceae t | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0361 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Maytenus | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0698 | 0,009 | 0,1024 | 0 |
| Pentadesma | 0 | 0,0283 | 0 | 0 | 0,0777 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Banana | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0166 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Cassearia | 0 | 0,0023 | 0 | 0 | 0,0023 | 0,027 | 0,4759 | 0 | 0,1535 | 0,0883 | 0,398 |
| Xylosma | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0483 | 0,8444 | 0 | 0 | 0 |
| Connarus | 0,0182 | 0,0025 | 0 | 0,0052 | 0,0056 | 0,011 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Rourea | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,182 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Devillea | 0 | 0,0011 | 0 | 0 | 0 | 0,736 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Curatella | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0004 | 0,057 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ermomelum | 4,6457 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,012 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Laurocerasus | 3,1221 | 0 | 0 | 2,1355 | 0 | 0,203 | 5,0554 | 2,9826 | 0,0227 | 0,9119 | 0,445 |
| Annonaceae | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Astronium | 0,0884 | 0 | 0 | 0 | 0,215 | 0 | 0 | 0,629 | 0,0502 | 1,1547 | 0 |
| Lithraea/Tapi | 0,7042 | 0 | 0 | 0,1624 | 0 | 0 | 0,6149 | 0 | 0 | 0,1231 | 0 |
| Schinus | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,3081 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Mangifera | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0556 | 0 | 0 | 0 |
| Euphorbiaceae | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,1548 | 0 | 0 | 0 |
| Alchornea | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,7481 | 0,0285 | 0 | 0 | 0 |
| L.Creton | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,004 | 0 | 0 | 0 | 2,0675 | 0,586 |
| Magnourea | 0,8207 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0496 | 0 |
| Pera | 0,3758 | 0 | 0 | 0,6786 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0254 | 0 |
| Sevia | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,089 | 0 | 0,5125 | 0 |
| Euphorbia | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0074 | 0 | 0 |
| Actinostemon | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,3306 | 0,1442 | 0 | |
| Sapindus | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,6729 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sobiseana | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,2041 | 0 | 0,0008 | 0,0067 | 0 |
| Diospyros | 1,1172 | 0 | 0 | 0,0045 | 0 | 0,078 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Couepia | 0 | 0 | 0 | 0,1287 | 0 | 0,538 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hirtella | 0,4546 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Licania | 0 | 0 | 0 | 0,066 | 0 | 0,881 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Myristicaceae | 0,4201 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Samaranubium | 0,038 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,04 | 0 | 0,1882 | 0 |
| Sapindaceae | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,3385 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Maguirea | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,3548 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Malayea | 0,0432 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,1001 | 0 |
| Dipterocarpaceae | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0487 | 0,8216 | 0,22 |
| Moraceae/URB | 0,0177 | 0 | 0 | 0,0538 | 0 | 0 | 0,1382 | 1,764 | 0,0183 | 0,6821 | 2,802 |
| Hippocrateace | 0,0857 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,209 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Verbenaceae | 0,1108 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0172 | 0 | 0 | 0,005 | 0,272 |
| Irix | 0,0585 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4,3687 | 0 | 0 | 0,0133 | 0 |
| Meliaceae LT | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,9078 | 3,1944 | 0,0316 | 0,5861 | 0,267 |
| L.Guarea | 0,0419 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,2657 | 0 | 0,0178 | 0 |
| Cyathostethus | 0,0141 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Rapanea | 0,0102 | 0 | 0,0182 | 0,402 | 0 | 0 | 0,5645 | 0,6416 | 0 | 0,0079 | 0 |
| Luzeeia | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0232 | 0 | 0,2039 | 0 | 0,0528 | 0,0498 | 0,061 |
| Christiana | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,2448 | 0 | 0 | 0 | 0,189 |
| Solenium | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,1223 | 0 |
| Rubaceae t Gal | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,37 | 0 |

COMPTAGES PHYTOSOCIOLOGIQUES: AIRES BASALES EN M²

| | | | | | | | | | | | |
|----------------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|---------|--------|---------|--------|
| Zanthoxylum | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,6728 | 0 | 0,0382 | 0,1834 | 0,014 |
| Battouredendr | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0844 | 1,146 |
| Esenbeckia | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0709 | 0 | 0,2561 | 0 |
| Pilocarpus | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0048 | 0 |
| Cannaceae | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,0874 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Araucaria | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,5258 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pedunculus | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,5342 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sloanea | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,7813 | 0,0617 | 0 | 0,0172 | 0 |
| Prunus | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,1786 | 0,4686 | 0 | 0,0532 | 0 |
| Clethraceae | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,9287 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Drymis | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0526 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Symplocos | 0 | 0 | 0 | 0,0638 | 0 | 0 | 0,2266 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pretium | 0 | 0 | 0 | 1,9551 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0177 | 0,216 |
| Lacistema | 0 | 0 | 0 | 0,0121 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Thymelaeaceae | 0 | 0 | 0 | 0,0074 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Opiliaceae | 0 | 0 | 0 | 0,0008 | 0 | 0,007 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Chrysophyllum | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,7581 | 0,2244 | 0,0878 | 0,302 |
| Pouteria | 0 | 0,1202 | 0,0063 | 0,0868 | 0,0072 | 1,08 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Velloziaceae | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Siparuna | 0,306 | 0 | 0 | 2,1744 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0058 | 0 |
| Arecaceae C1 | 0,3216 | 0,0591 | 0 | 0,0834 | 0 | 1,976 | 0,0109 | 0 | 0,1526 | 0,6779 | 0 |
| Arecaceae C3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0316 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,037 |
| Piperaceae | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0583 | 0 | 0,0027 | 0 |
| Mauritia | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,472 | 0 | 0 | 0 |
| Geiselia | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,2578 | 0 | 0 | 2,36 |
| Colubrina | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0452 | 0 |
| Rhamnium | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,175 |
| Patagonula | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,7128 | 0 | 0,0855 | 0,131 |
| Cordia | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0118 | 0,467 |
| Cercaceae | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,1999 | 0,287 |
| Celtis | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0008 | 0,188 | 0 |
| Trema | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Guazuma | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,3962 | 0 |
| Cariniana | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,5632 | 0,11 |
| Mollinedia | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,058 | 0,016 |
| Pithecellobium | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,191 |
| Ardalsia | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,06 |
| Heisteria | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0146 | 0 | 0 |
| Belangeria | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,6122 | 0 | 0 | 0 |
| Asteraceae | 0 | 0,0653 | 0,027 | 0,0288 | 0 | 0,021 | 1,0714 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| total | 20,8176 | 8,0120 | 1,1428 | 40,8793 | 2,4685 | 21,045 | 29,3192 | 26,5277 | 4,4245 | 23,8431 | 30,644 |

Comptages de la carotte LC3 de Salltre

| | Araucaria | Podocarpus | Acaci | Alchornea | Anacard.sp | Anacardiur | Apocynace | Arrabidea | Arecaceae | Areca | Astronium | Balfourodendro | Banara | Belangera | Byrsomima | Caesalp.sp | Cariniana | Caryoca | Cecropia | Celtis | Cestrum | Chomelia |
|-------|-----------|------------|-------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-------|-----------|----------------|--------|-----------|-----------|------------|-----------|---------|----------|--------|---------|----------|
| éch.1 | | 2 | | | | | | | 1 | | 1 | | | | | 1 | | | 1 | | 5 | |
| 2 | | 4 | | 5 | | | | | 1 | | 2 | | | | | | | | 2 | | 7 | |
| 3 | 2 | | 2 | | | | | | 12 | 1 | 1 | | 1 | | | | | | | | 1 | |
| 4 | | | 5 | | | | | | 4 | 1 | | | | 1 | | | | | | | | |
| 5 | 2 | 3 | | | | | | | 2 | 1 | | | | | | 3 | 1 | | | | 2 | |
| 6 | 4 | 2 | | 3 | | | | | 2 | | | | 1 | 2 | | | 1 | | | | 1 | |
| 7 | 2 | 3 | 1 | | | | | | 2 | | | | | | | | | | | | 1 | |
| 8 | 1 | | | 2 | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 | |
| 10 | | 1 | | | | | | | 11 | 1 | | | | | | 1 | | | | | | |
| 11 | | 1 | 1 | | | | | | | 10 | | | | | | | | | | | 1 | |
| 12 | | | | | | | | | 13 | | | | | | | 1 | | | | | | |
| 13 | 1 | 2 | 1 | | | | | | 10 | | | | | | | | 1 | | | | | |
| 14 | 5 | | | 1 | | | | | 15 | | | | | 3 | | | | | | | | |
| 15 | 7 | | 1 | | | | | | | 2 | | | | | | | | 1 | | | | |
| 16 | 12 | | | 1 | | | | | 8 | | | | | 1 | | | 1 | | | | | |
| 17 | 9 | | 2 | | | | | | 7 | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 33 | 1 | 1 | | | | | | 1 | 2 | | | | 1 | | | | | | | | |
| 19 | 2 | | | | | | | | | 2 | | | | | | | | | | | 1 | |
| 20 | 3 | 1 | 1 | | | | | | 1 | | | | | 1 | | | | | | | | |
| 21 | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | 1 | 1 | |
| 22 | | 2 | | | | | | | | 2 | 2 | | | 1 | | | | | | 3 | | |
| 23 | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | |
| 24 | 2 | 2 | 1 | | | | | | 1 | 1 | | | | 1 | | | | | | | 1 | |
| 25 | | 1 | 4 | | | | | | 1 | | | | | | | 6 | | | | | | |
| 26 | 10 | 1 | 1 | | | | | | 7 | 13 | | | | | | | | | | | 1 | |
| 27 | 6 | 2 | 3 | | | | | | | 10 | | | | | | | | | | | 1 | |
| 28 | 3 | 5 | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 7 | |
| 29 | | 1 | 6 | | | | | | 3 | | 1 | | | | | 4 | | | | | | |
| 30 | 1 | | 4 | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | 2 | | |
| 31 | 1 | | 4 | 1 | | | | | | 1 | | | 4 | | | 1 | | | | | | |
| 32 | 5 | | 1 | | | | | | | 1 | | 1 | | | | 2 | | | | 4 | | |
| 33 | 6 | | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | 4 | | |
| 34 | | 1 | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | 10 | | |
| 35 | 1 | | 2 | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | 8 | |
| 36 | 3 | | 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 4 | |
| 37 | 4 | | 10 | | | | | | | | | | | 1 | | 1 | 5 | | | | 4 | |
| 38 | 7 | 2 | | | | | | | 2 | | | | 1 | | | 3 | | | | 14 | | |
| 39 | 1 | | 28 | | | | | 2 | | 1 | | | | | | 3 | | | 3 | 9 | | |
| 40 | 2 | | 26 | | | | | 2 | 1 | | | | | | | 6 | | | 13 | 2 | | |

Comptages de la carotte LC3 de Salitre

Comptages de la carotte LC3 de Saitre

| Styracaceae | Symplocos | Tabebuia alb | Tabebuia | Tecoma | Trema | Urticaceae | Vismia | Vochysiidae | Xylosma | Zanthoxylum | Asteraceae | t | Asteraceae | t | Poaceae | Alternanthera | Amaryllidaceae | Aplidium | t. | Artemisia | Asteraceae | lignifid | Boraginaceae |
|-------------|-----------|--------------|----------|--------|-------|------------|--------|-------------|---------|-------------|------------|----|------------|-----|---------|---------------|----------------|----------|----|-----------|------------|----------|--------------|
| | | | | | 5 | | 10 | | | 1 | 24 | 4 | 486 | | | | | 9 | | | | | |
| | | | | | 3 | | 6 | | | 1 | 16 | 5 | 360 | | | | | 24 | | | | | |
| | | | | | 1 | 3 | 5 | | | 1 | 12 | | 400 | | | | | 21 | | | | | |
| 2 | | | | | | 2 | | | | | 17 | 1 | 144 | | | | | 8 | 1 | | | | |
| | | | | | | 6 | | | | 7 | 18 | | 471 | | | | | 12 | 1 | | | | |
| | | | | | | 16 | | | | 3 | 29 | 4 | 421 | | | | | 41 | | | | | |
| | | | | | 2 | | 2 | | | 1 | 17 | | 496 | | | | | 69 | | | | | |
| 1 | | | | | 3 | 2 | 1 | | | | 35 | | 378 | | | | | 19 | | | | | |
| | | | | | | 2 | | | | 1 | 30 | | 410 | | | | | 22 | | | | | |
| 5 | | | | | 2 | 6 | | | | 2 | 29 | 2 | 513 | | | | | 37 | | | | | |
| 10 | | | | | 2 | 1 | | | | 1 | 13 | | 190 | | | | | 3 | | | | | |
| 16 | 1 | | | | 2 | | | | | | 14 | | 84 | | | | | 1 | | | | | |
| 5 | | | | | 3 | 1 | | | | 1 | 2 | 26 | | 230 | | | | 3 | | | | | |
| 13 | | | | | | 1 | | | | | 25 | 14 | 279 | | | | | 18 | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | 29 | | 79 | | | | | 13 | | | | | 1 |
| 8 | | | | | | 2 | | | | | 27 | 3 | 216 | | | | | 14 | | | | | 2 |
| 5 | | | | | | 1 | | | | | 18 | | 185 | | | | | 17 | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | 13 | 6 | 84 | | | | | 24 | | | | | 1 |
| 8 | | | | | | | | | | | 15 | | 287 | | | | | 62 | | | | | |
| 1 | 1 | | | 2 | | | | | | | 13 | 2 | 350 | | | | | 226 | | | | | 4 |
| | 2 | | | | | | | | | | 7 | | 200 | | | | | 214 | | | | | |
| 2 | | | | | | 4 | | 1 | | | 35 | | 320 | 1 | | | | 169 | | | | | 2 |
| | | | | | | | | | | | 11 | | 297 | | | | | 176 | 1 | | | | |
| 4 | | | | | | 1 | | | | | 28 | | 319 | 1 | | | | 181 | | | | | |
| 1 | | | 1 | 11 | | | | | | | 7 | 62 | 285 | | | | | 47 | | | | | |
| 2 | | | | 3 | | | | | | | 67 | 2 | 220 | | | | | 22 | | | | | |
| 1 | | | | 3 | | | | | | | 52 | 10 | 153 | | | | | 15 | 2 | | | | 1 |
| 5 | | | 1 | 4 | | | | | | | 69 | 5 | 286 | | | | | 30 | | | | | 1 |
| 1 | | | 1 | 12 | | | | | | | 22 | 27 | 223 | | | | | 20 | | | | | |
| 3 | | | 1 | 2 | | | | | | | 45 | 2 | 278 | 2 | | | | 83 | | | | | |
| 4 | | | | 7 | 1 | | | | | | 39 | 6 | 165 | | | | | 151 | | | | | |
| 4 | | 1 | 1 | | | | | | | | 35 | 5 | 249 | | | | 2 | 73 | | | | | |
| | 2 | 3 | 4 | | | | | | | | 66 | 5 | 240 | | | | | 13 | | | | | |
| | | | 3 | | | | | | | | 34 | 6 | 124 | 1 | | | | 17 | | | | | |
| | | | | 1 | 3 | | | | | | 56 | 2 | 220 | | | | | 4 | 1 | | | | |
| 1 | | | | 5 | | | | | | | 60 | 6 | 231 | 2 | | | | 3 | | | | | 1 |
| | | | 3 | 10 | 2 | | | | | | 69 | 4 | 140 | | | | | 2 | 1 | | | | |
| | | | | | | 7 | | | | | 84 | | 38 | 2 | | | | | | | | | |
| | | | | | | 8 | | | | | 16 | 1 | 27 | | | | | | | | | | 1 |
| | | | | | 2 | 6 | | | | | 59 | 2 | 104 | | | | | 1 | | | | | |

Comptages de la carotte LC3 de Saitre

| Lentibularia | Myriophyllum | Onagracea | Plantag | Xyris | Sphagnum | Lycopodium | Monoliète | Triliète | Polypodium | t.C | O | Indéterminé | C3P2 |
|--------------|--------------|-----------|---------|-------|----------|------------|-----------|----------|------------|-----|----|-------------|------|
| 17 | | | | 1 | 18 | 16 | 4 | 9 | | 31 | 20 | 1 | |
| 14 | | | | 3 | 19 | 3 | 17 | | 4 | 1 | 16 | 19 | |
| 8 | | | 1 | 3 | 29 | | 26 | 5 | 3 | | 19 | 27 | 2 |
| | | | | | 1 | | 12 | 1 | | | 22 | 21 | |
| 4 | | | | 4 | 11 | | | | | | | 45 | |
| 9 | | | | 2 | 4 | 22 | 31 | | | 1 | 6 | 66 | 22 |
| | | | | | 13 | | | | | | | 18 | |
| | | | | 1 | | 136 | 20 | 1 | | 1 | | 16 | |
| 3 | | | | 2 | 16 | 10 | 22 | 3 | 16 | | 16 | 22 | 21 |
| 5 | | | | 7 | 4 | 18 | 1 | | | | | 23 | 1 |
| 1 | 1 | | 8 | 1 | 36 | 44 | 39 | 2 | 13 | | 27 | 5 | 25 |
| 2 | | | 6 | 1 | 11 | 84 | 75 | 1 | | | 12 | 8 | 23 |
| 1 | | | 6 | 1 | 19 | 65 | 73 | 1 | 12 | | 32 | 19 | 54 |
| 3 | | | 6 | 11 | 51 | 85 | | 15 | | | 23 | 11 | 45 |
| | | | 4 | 5 | 11 | 77 | 55 | | | | 3 | | 43 |
| 1 | | | 2 | | 4 | 20 | 12 | 1 | 66 | | | | 52 |
| 1 | 1 | | | 1 | 14 | 14 | 8 | 1 | 6 | | 2 | 1 | 23 |
| 3 | | | | | 13 | 19 | 19 | 1 | | | 1 | 6 | 40 |
| 5 | | | 1 | 3 | 18 | 17 | 20 | | 3 | | | 6 | 56 |
| 2 | | | 1 | 5 | 24 | 22 | 18 | | 6 | | 1 | 6 | 54 |
| 2 | | | | 6 | 26 | 11 | 20 | 1 | 5 | | | | 34 |
| 3 | | | | | 20 | 16 | 18 | 1 | 8 | | 1 | 3 | 50 |
| 1 | | | | 7 | 30 | 15 | 11 | | 4 | | | | 30 |
| 7 | | | | | 39 | 12 | 22 | | 12 | | 3 | 5 | 33 |
| 2 | 1 | 3 | | 23 | 7 | 5 | 1 | 13 | 1 | 1 | | | 6 |
| | | 1 | 3 | 26 | 16 | 5 | | 22 | | 3 | 1 | 1 | 51 |
| 2 | | | 4 | 3 | 27 | | | | | | | | 30 |
| 1 | 1 | 1 | | 19 | 15 | | | | | | | | 33 |
| 1 | 1 | 1 | | 4 | 6 | 7 | 1 | 21 | | | | | 7 |
| 1 | 1 | | | 13 | | | | | | | | | 3 |
| | | | | 11 | 31 | 10 | | 4 | | 4 | 2 | | 40 |
| 1 | 2 | 2 | | 15 | 37 | 5 | 1 | 6 | | 2 | | | 17 |
| | | 1 | | 13 | 14 | 6 | | 12 | | | | | 36 |
| | | | | 5 | 29 | 8 | 2 | 2 | | | | | 22 |
| 1 | | 5 | | 13 | 11 | | 2 | 11 | | | | | |
| | | 2 | | 8 | 21 | 3 | 3 | 11 | | | | | 27 |
| 1 | 1 | 1 | | 1 | 5 | | 3 | 4 | | | | | 22 |
| | | | | | 4 | | 4 | 12 | 5 | | | | 27 |
| 2 | | | | 2 | | 1 | 1 | 6 | 1 | | | | 10 |
| 4 | | | | 5 | 1 | | 6 | 15 | 1 | | | | 9 |

Comptages de la carotte LC3 de Sallière

| Borreria | Caryophyllaceas | Chenopodiaceas | Cuphea | Euphorbiaceas | Gentiana | Gomphrena | Lamiaceas | Mabesia | Malvaceas | Polygona | Polygonum | Ranunculus | Rubiaceae sp | Scrophulariaceas | SUM | Cyperaceas | Ericaceas | Alismataces | Drosera | Eriocaulas |
|----------|-----------------|----------------|--------|---------------|----------|-----------|-----------|---------|-----------|----------|-----------|------------|--------------|------------------|------|------------|-----------|-------------|---------|------------|
| | - | 2 | | | | 8 | 1 | 1 | | 8 | 1 | | | | 608 | 85 | 1 | 2 | 4 | |
| 1 | | | | | | 2 | | 1 | | 4 | 1 | | | | 542 | 62 | 20 | | 5 | |
| | | | | | | 1 | 1 | 1 | | 4 | 5 | | | | 546 | 85 | 10 | 4 | | 2 |
| | | | | | | | | | | 8 | 1 | | | | 273 | 24 | 1 | 1 | 1 | |
| 3 | | | | | | 1 | 1 | 1 | | 8 | | | | | 602 | 59 | | 4 | | 4 |
| | | | | | | | | | | 4 | | | | | 589 | 30 | | 9 | | 3 |
| | | | | | | 2 | 2 | 1 | 1 | 7 | | | | | 631 | 49 | | 14 | | 9 |
| 1 | 7 | | | | | | | | | 2 | | | | | 468 | 12 | 1 | | | 1 |
| 2 | | | | | | 2 | | | | | | | | | 508 | 25 | 6 | 12 | | 3 |
| 1 | 2 | | | | | 2 | 1 | 2 | | | | | | | 830 | 41 | 39 | 7 | | |
| | | | | | | 1 | | | 1 | | | | | | 398 | 43 | 32 | 7 | | 7 |
| 1 | | | | | | | | | 1 | | 2 | | | | 309 | 51 | 64 | 6 | | 3 |
| | | | | | | | | | | | | | | | 499 | 50 | 25 | 4 | | |
| 1 | | | | | | | | | | 4 | 2 | | | | 572 | 40 | 37 | | | |
| 2 | | | | | | 1 | 1 | | | 8 | | | | | 249 | 13 | 29 | | 1 | 1 |
| 3 | | | | | | | 1 | | | 6 | | | | | 445 | 18 | 29 | | | 1 |
| 2 | | | | | | | | | | 4 | | | | | 388 | 17 | 14 | 7 | | 1 |
| 5 | 1 | | | | | | 1 | 4 | | 5 | | | | | 304 | 30 | 70 | 1 | | |
| 2 | | | | | | 4 | 1 | | | 20 | | | | | 509 | 45 | 17 | 2 | | |
| 2 | | | | | | 1 | 4 | | | 1 | 3 | 1 | | | 652 | 45 | 10 | 7 | | 1 |
| | | | | | | 2 | 12 | 2 | | | | 1 | | | 461 | 31 | 2 | 2 | | |
| | | | | | | 2 | 5 | 1 | | | | 1 | | | 614 | 79 | 6 | 10 | 1 | 18 |
| | | | | | | | 8 | | | | | | | | 520 | 29 | 7 | 4 | | 7 |
| 1 | | | | | | 3 | 15 | | | | | 1 | | | 586 | 33 | 8 | | 1 | 35 |
| 2 | | | | | | 3 | 1 | 5 | | | | | 1 | | 519 | 16 | 30 | | | 8 |
| | | | | | | | 1 | | | | | | | | 459 | 45 | 26 | 12 | | 27 |
| 1 | | | | | | | 1 | 2 | | | 2 | | | | 318 | 32 | 62 | 7 | | 12 |
| 3 | 1 | | | | | | | | | | | | | | 532 | 40 | 37 | 1 | | 10 |
| | | | 2 | 2 | | | | | | | | | | | 442 | 17 | 24 | | | 23 |
| 1 | | | 1 | 1 | | | | | | 6 | | | | | 476 | 60 | 16 | 4 | | 2 |
| 3 | | | | 3 | | | | | | 4 | | | | | 428 | 7 | 15 | | | 16 |
| | | | 1 | | | | | | | 1 | 3 | | | | 475 | 40 | 40 | 1 | | 7 |
| 2 | | | | | | | | | | 1 | 2 | | | | 455 | 34 | 30 | | | 10 |
| | 2 | | 1 | 2 | | | | | 2 | | | | | | 270 | 5 | 27 | | | 6 |
| | 2 | | | 1 | | | | | | 2 | | | | | 1417 | 44 | 23 | 3 | 1 | 18 |
| 1 | | | | 1 | | | | | | 1 | | | | | 460 | 34 | 50 | 6 | | 7 |
| 1 | 1 | | | | | | | | | 1 | | | | | 576 | 17 | 50 | 2 | | 16 |
| | | | | | | | | | | | | | | | 5417 | 27 | 33 | 2 | | 14 |
| | | | | | | 3 | | | | | | | | | 431 | 18 | 26 | | | 12 |
| | | | | | | | | | | | | | | | 527 | 16 | 37 | | | 10 |

Résumé

La plupart des végétations du Brésil central se trouvent situées sous des conditions climatiques et édaphiques qui ne les caractérisent pas habituellement: la question de leur origine est donc posée.

Après avoir défini les caractéristiques climatiques à l'aide des paramètres durée de la saison sèche et température moyenne hivernale des 5 types de forêt du Brésil central: forêt d'araucaria, forêt mésophile semidécidue, forêt galerie, cerrado et cerradão, une méthode d'analyse numérique permettant de donner la meilleure image palynologique possible de leur composition botanique est recherchée. La méthode retenue est basée sur une analyse des composantes principales réalisée à la fois sur les données phytosociologiques (aire basale des arbres) et les données palynologiques. Des marqueurs botanique et palynologique sont définis.

L'utilisation des informations obtenues avec les données de l'actuel nous permet d'accéder à l'interprétation d'une séquence de 30000 ans environ situé sous la latitude de 19°S dans le Brésil central.

-2 phases sèches de nature différente sont mises en évidence: l'une très brève à 10500 ans B.P. et l'autre à 5000 ans B.P.

-le Pléistocène récent n'a pas été sec

-le début de l'Holocène se déroule en 2 étapes climatiques:

à 9500 ans B.P., de fort taux d'humidité et des températures hivernales plus basses qu'aujourd'hui favorisent le développement de la forêt d'araucaria

à 8500 ans B.P. les taux d'humidité diminuent et les températures hivernales augmentent.

L'étude palynologique de la carotte LC3 de Salitre apporte de nouveaux éléments d'information à propos des effets du El Niño et des advections polaires sur le Brésil.

Mots clé: Brésil central, pollen, forêt, actuel, phytosociologie, climatologie, Pléistocène récent.