

MUSEUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE
Ecole Doctorale du Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris

THESE

présentée pour obtenir le grade de Docteur du Muséum National d'Histoire Naturelle

Spécialité : Sciences de la terre

**Evolution des environnements de l'Ouest Cameroun depuis
6 000 ans, d'après l'étude des diatomées actuelles et fossiles
dans le lac Ossa. Implications paléoclimatiques.**

par **Victor François NGUETSOP**

Soutenue le 30 Juin 1997 devant le Jury d'examen composé de :

Mr. Henry de Lumley, Professeur, MNHN	Président
Mme Françoise Gasse, Directeur de Recherche CNRS	Rapporteur
Mr Maurice Roux, Professeur Université Aix-Marseille II	Rapporteur
Mme Simone Servant-Vildary, Directeur de Recherche ORSTOM	Directeur de thèse
Mr. Alain Pavé, Directeur de Recherche CNRS	Examineur
Mr. Jacques Bonvalot, Directeur de Recherche ORSTOM	Examineur
Mr. Michel Servant, Directeur de Recherche ORSTOM	Directeur de thèse

Remerciements

Cette thèse est le résultat d'un travail commencé en Décembre 1993 au Laboratoire de Géologie du Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris. J'ai pu la conduire à son terme grâce à une allocation de recherche qui m'a été accordée par le Département « Terre Océan Atmosphère » de l'Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (ORSTOM).

Mes recherches ont été financées par le Programme CNRS-ORSTOM « Ecosystèmes et Paléoécosystèmes des Forêts Intertropicales » (ECOFIT) en étroite relation avec le Laboratoire de Géologie du Muséum et l'Unité de Recherche 12 de l'ORSTOM (Programme AIMPACT).

Je souhaite tout d'abord exprimer tous mes remerciements aux membres du Jury qui ont bien voulu prendre sur leur emploi de temps pour juger mon travail :

Monsieur Henry de Lumley, Directeur du Muséum National d'Histoire Naturelle ;

Monsieur Alain Pavé, Directeur du Programme « Environnement, Vie et Sociétés » du CNRS.;

Monsieur Jacques Bonvallot, Chef des Relations Extérieures de L'ORSTOM ;

Madame Françoise Gasse, Directrice de Recherche au CNRS et Monsieur Maurice Roux, Professeur à l'Université d'Aix-Marseille II qui ont accepté d'être les rapporteurs.

Je tiens tout particulièrement à remercier mes directeurs de thèse, Mme Simone Servant et Mr Michel Servant. Monette et Michel m'ont proposé un sujet de recherche qui était d'autant plus motivant pour moi qu'il concerne le Cameroun. Je leur suis profondément reconnaissant pour l'intérêt et l'attachement qu'ils ont porté à ma formation. J'ai beaucoup bénéficié de leur grande expérience dans leur spécialité respective. Je n'oublie pas de souligner leurs qualités humaines qui m'ont beaucoup marqué et qui m'ont aidé à surmonter de nombreuses difficultés. A vrai dire, je ne me suis jamais senti dépaysé en France.

Je dois également beaucoup à mon « grand frère » Gaston Achoundong, chercheur à l'Herbier National de Yaoundé, qui a été à l'origine de mon contact avec l'ORSTOM. En tant que responsable camerounais du Programme ECOFIT, il n'a cessé de me soutenir à travers de nombreux échanges épistolaires et je lui dois d'avoir mieux compris l'intérêt de mon travail pour la compréhension des écosystèmes forestiers. Je n'oublie pas mon ancien Professeur Roger Atangana Etémé qui m'a initié à l'étude des algues lorsque j'étais étudiant à l'Université de Yaoundé.

De nombreuses personnes ont apporté une contribution scientifique à la réalisation de ce mémoire et je les en remercie très sincèrement :

Denis Wirmann, qui a effectué la plupart des prélèvements sur lesquels j'ai travaillé et qui m'a fourni les données physico-chimiques. Je n'oublie pas les discussions que j'ai eues avec lui, de même que les journées passées avec lui et Monette sur le terrain sous le soleil tropical et en compagnie de moustiques particulièrement féroces !

Jacques Bertaux et Alice Bitom ont eu la gentillesse de me faire part de leur travaux sur les constituants minéralogiques des sédiments du lac Ossa.

Isabelle Reynaud-Farrera a été chargée des études palynologiques sur le matériel dont j'ai analysé les diatomées. Les informations qu'elle m'a données bien avant de soutenir sa thèse ont été très motivantes pour moi.

Maurice Roux, qui a participé à plusieurs réunions de travail lorsque j'ai commencé ma thèse a beaucoup contribué à mon intérêt pour le traitement statistique des données et il est d'ailleurs le co-auteur du logiciel Biomeco que j'ai utilisé.

Jean Landré a mis au point sous ACCESS un programme ayant permis de constituer la base de données (DIATUS) qui regroupe actuellement des données africaines et sud-américaines.

La réalisation de ce mémoire doit beaucoup au personnel du Laboratoire du Muséum. Ma reconnaissance s'adresse à Mesdames Agathe Cambreleng pour la réalisation et le montage des figures de ce mémoire, Michelle Baconnat pour les corrections qu'elle a apportées à la bibliographie et Michelle Destarac pour le tirage des photos.

De nombreux problèmes parfois « épineux » ont dû être résolus notamment en ce qui concerne ma carte de séjour et mon logement en France. Mme Sylvie Truchon, Directrice du Service du Personnel du Centre de Recherche Ile de France de l'ORSTOM (Bondy) m'a beaucoup aidé à les surmonter et je l'en remercie.

J'ai partagé avec « mes soeurs » Florence Sylvestre et Naïma Miskane pendant trois ans l'ambiance d'une préparation de thèse, cela est à l'origine de liens amicaux dont j'espère qu'ils se maintiendront dans l'avenir. Je les remercie chaleureusement.

Merci à Edem pour le soutien qu'elle m'a toujours apporté quand il fallait durant ce travail.

Un très grand Merci à tous mes copains de l'hôtellerie de Bondy et particulièrement à Jérôme Tondoh, Jean marie Leunté, Athanase Bopda, Joseph Youta Happi, et Jules-Remy Ndam et Joseph Tamché.

A toute la famille Tégnidza'aa, j'adresse mes remerciements pour des encouragements qu'ils n'ont cessé de m'apporter.

SOMMAIRE

I. ETAT DES CONNAISSANCES SUR LES PALEOENVIRONNEMENTS DES 6 000 DERNIERES ANNEES EN AFRIQUE.....	1
II. L'ETUDE DES DIATOMEES.....	5
III. LE SITE D'ETUDE.....	7
IV. PRESENTATION DU MEMOIRE.....	7
B. DIATOMEES ET ENVIRONNEMENTS ACTUELS	9
I. LE LAC OSSA ET SON ENVIRONNEMENT.....	10
I.1. PRESENTATION GENERALE.....	10
I.1.1. Le Cameroun.....	10
I.1.2. La rivière Sanaga.....	19
I.1.3. La région du lac Ossa.....	21
I.2. CARACTERISATION DES MILIEUX AQUATIQUES ACTUELS EN VUE D'UNE ETUDE DES DIATOMEES.....	28
I.2.1. Présentation des différents milieux étudiés ("habitats").....	28
I.2.2. Mesure des paramètres physico-chimiques.....	29
I.2.3. Profondeur.....	30
I.2.4. pH.....	32
I.2.5. Chimie des eaux.....	32
II. DIATOMEES SUB-ACTUELLES DES SEDIMENTS SUPERFICIELS	41
II.1. ECHANTILLONNAGES, PREPARATIONS ET ETUDES AU LABORATOIRE.....	41
II.1.1. Prélèvements sur le terrain.....	41
II.1.2. Méthodes de préparation pour étude au microscope.....	43
II.1.3. Etude au microscope.....	44
II.1.4. Les assemblages des sédiments superficiels : une synthèse de la production de diatomées sur les dernières années.....	46
II.2. CARACTERES GENERAUX DE LA FLORE SUB-ACTUELLE.....	48
II.2.1. Diversité spécifique de l'ensemble des échantillons.....	48
II.2.2. Diversité spécifique en fonction des échantillons.....	49
II.2.3. Répartition des espèces en fonction des échantillons.....	49
II.3. AFFINITES ECOLOGIQUES DES ESPECES DOMINANTES ET DISTRIBUTION SPATIALE.....	52
II.3.1. Introduction.....	52
II.3.2. Diatomées considérées comme caractéristiques de la profondeur d'après la littérature.....	54
II.3.3. Diatomées considérées comme caractéristiques du pH d'après la littérature.....	61
II.3.4. Les diatomées considérées comme caractéristiques du niveau trophique d'après la littérature.....	65
II.3.5. Les diatomées apportées par le vent.....	67
II.4. TENEURS EN DIATOMEES DES SEDIMENTS.....	68
II.5. CONCLUSION : LES CARACTERES MAJEURS DE LA DISTRIBUTION SPATIALE DES DIATOMEES.....	72
II.6. MISE EN EVIDENCE DES ESPECES LES PLUS SIGNIFICATIVES ET CLASSIFICATION DES ECHANTILLONS PAR TRAITEMENTS STATISTIQUES.....	74
II.6.1. Méthodes.....	74
II.6.2. Ordination des échantillons en fonction des espèces (AFC) et interprétations.....	78
II.6.3. Classification des échantillons en fonction des espèces (CAH) et interprétations.....	88
II.6.4. Conclusion.....	99
C. DIATOMEES DES SEDIMENTS HOLOCENES (CAROTTE OW4, 5 500 ANS B.P. - ACTUEL)	103
III. LA CAROTTE OW4.....	104
III.1. LITHOLOGIE.....	104

III.2. CHRONOLOGIE.....	106
III.3. VITESSE DE SEDIMENTATION.....	106
III.4. ECHANTILLONS AYANT FAIT L'OBJET D'UNE ETUDE DES DIATOMEES.....	107
IV. DIATOMEES FOSSILES	111
IV.1. CARACTERES GENERAUX DE LA FLORE FOSSILE	111
IV.1.1. Diversité spécifique.....	111
IV.1.2. Abondances des principales espèces	112
IV.1.3. Comparaison avec la flore actuelle	115
IV.2. TENEURS EN DIATOMEES ET PALEOPRODUCTIVITES.....	117
IV.2.1. Teneurs en diatomées.....	117
IV.2.2. Paléoproduktivités en diatomées.....	119
IV.3. VARIATIONS DE L'ABONDANCE DES GROUPES D'ESPECES CARACTERISTIQUES	120
IV.3.1. Introduction	120
IV.3.2. Diatomées considérées comme étant caractéristiques de la profondeur d'après la littérature	120
IV.3.3. Diatomées considérées comme étant caractéristiques du pH d'après la littérature	125
IV.3.4. Diatomées considérées comme étant caractéristiques du niveau trophique d'après la littérature.....	127
IV.3.5. Diatomées apportées par le vent.....	129
IV.4. MISE EN EVIDENCE DES ESPECES LES PLUS SIGNIFICATIVES ET CLASSIFICATION DES ASSEMBLAGES PAR TRAITEMENTS STATISTIQUES.	129
IV.4.1. Analyse factorielle des correspondances (AFC)	131
IV.4.2. Classification Ascendante Hiérarchique (CAH).....	139
IV.4.3. Conclusion	145
IV.5. LES GRANDS EPISODES DE L'EVOLUTION DU LAC.	147
D - ANALYSE DES DONNEES DANS UN OBJECTIF DE QUANTIFICATION DES PARAMETRES PALEO-ENVIRONNEMENTAUX (FONCTION DE TRANSFERT)	157
V. METHODES UTILISEES POUR L'ORDINATION DES PARAMETRES ENVIRONNEMENTAUX ET LES ESTIMATIONS FOSSILES.....	159
V.1. L'ANALYSE CANONIQUE DES CORRESPONDANCES (ACC)	159
V.2. PRINCIPE ET METHODOLOGIE DE LA FONCTION DE TRANSFERT.....	160
V.2.1. Méthode des moyennes par classe	161
V.2.2. Méthode des moyennes pondérées (weighted averaging)	163
VI. RELATIONS DIATOMEES/PARAMETRES DU MILIEU DANS LE LAC OSSA.....	165
VI.1. PREPARATION DES DONNEES	165
VI.2. RESULTATS DE L'ANALYSE CANONIQUE DES CORRESPONDANCES (ACC).....	166
VI.3. REGRESSION ET CALIBRATION : FONCTION DE TRANSFERT SUR LA PROFONDEUR.....	170
VI.4. APPLICATION : ESTIMATION DE LA PALEOBATHYMETRIE AU POINT DE PRELEVEMENT DE LA CAROTTE OW4	176
E. DISCUSSIONS ET CONCLUSIONS	181
VII. LES MILIEUX ACTUELS	182
VII.1. LES DONNEES ACTUELLES.....	182
VII.2. LES EAUX D'ALIMENTATION DU LAC OSSA	184
VII.2.1. Les eaux en provenance du drainage des sols sous forêts.	184
VII.2.2. Les eaux en provenance du lac Mévia	184
VII.2.3. Les eaux de pluies sur le lac.	187
VII.2.4. Les eaux de la rivière Sanaga.....	187
VII.3. LES EAUX LACUSTRES.....	187
VII.4. LA BATHYMETRIE.....	188
VII.5. LES INDICATEURS D'APPORTS EN POUSSIERES PAR L'HARMATTAN	190
VIII. LES MILIEUX DE L'HOLOCENE MOYEN ET RECENT	190
VIII.1. LES DONNEES FOSSILES	190
VIII.1.1. Le matériel d'étude	190

VIII.1.2. Les « signaux » relatifs à l'enregistrement des modifications de l'environnement par les diatomées.	191
VIII.1.3. Comparaison avec les signaux palynologiques.	198
IX. LES GRANDES ETAPES DE L'EVOLUTION DU CLIMAT DEPUIS 5 500 ANS. COMPARAISONS AVEC D'AUTRES REGIONS.....	200
X. CONCLUSION GENERALE.....	205
Bibliographie	207
Liste des figures et des tableaux	217
Annexes	
Annexe I : Caractéristiques physico-chimiques des sites de prélèvement au moment de l'échantillonnage	221
Annexe II : Lac Ossa et lacs voisins : distribution spatiale des teneurs en nitrates (mg/L) pendant la période de basses eaux	222
Annexe III : Lac Ossa et lacs voisins : distribution spatiale des pH pendant la période de basses eaux	223
Annexe IV: Tableau des abondances (%) des espèces de diatomées dans la carotte FOW1	224
Annexe V : Tableau des abondances (%) des espèces de diatomées dans la carotte FOW2 et dans les horizons de sols superficiels	225
Annexe VI : Lac Ossa et lacs voisins : nature des sédiments (1), nombre d'espèces rencontrées (2) et teneurs en diatomées dans les sédiments superficiels de basses eaux	226
Annexe VII : Tableau des abondances (%) des espèces de diatomées actuelles	227
Annexe VIII : Distribution spatiale des diatomés considérées comme caractéristiques de la tranche d'eau (Fig. A1 à A5), du pH (Fig. A6 et A7) et du caractère trophique (Fig. A8 et A9)	237
Annexe IX : Tableau des abondances (%) des espèces de diatomées dans la carotte OW4	247
Annexe X : Liste taxonomique des espèces	257
Annexe XI : Remarques taxonomiques et écologiques des espèces les plus abondantes dans la flore sub-actuelle	263
Planches photographiques	275

A. INTRODUCTION GENERALE

I. ETAT DES CONNAISSANCES SUR LES PALEOENVIRONNEMENTS DES 6 000 DERNIERES ANNEES EN AFRIQUE.

Les grandes tendances du climat depuis 6 000 ans en Afrique tropicale

Les derniers millénaires correspondent à un changement majeur du climat entre une situation caractérisée par des conditions humides dans le Sud du Sahara vers 6 000 ¹⁴C ans B.P. et la situation actuelle caractérisée dans cette même région par des conditions arides. Un changement significatif a également eu lieu dans les régions subéquatoriales actuellement occupées par la forêt. Il a été enregistré durant les 6 000 dernières années par un abaissement d'environ 40 mètres du niveau du lac Bosumtwi (6° 30') au Ghana (Talbot et Delibrias, 1980).

La tendance générale du climat depuis 6 000 ¹⁴C ans B.P. a été expliquée par un affaiblissement de la mousson (celle-ci correspond à une pénétration de masses d'air humide issues de l'Atlantique à l'intérieur du continent africain durant l'été boréal). Les simulations par des modèles climatiques globaux (Kutzbach et Street-Perrot, 1985) suggèrent que cet affaiblissement de la mousson est corrélé à une diminution de l'insolation de l'été boréal en relation avec les paramètres de l'orbite terrestre.

Les variations séculaires à millénaires

La grande tendance climatique qui caractérise les 6 000 dernières années a été compliquée par de fortes variations séculaires à millénaires.

Dans le Sud du Sahara, plusieurs oscillations climatiques ont été mises en évidence :

(1) On sait de longue date qu'une diminution de l'humidité, entre 5 500 et 3 500 ¹⁴C ans B.P. a probablement culminé un peu avant 3 500 ¹⁴C ans B.P. (Servant et Servant, 1970). Des observations plus récentes basées sur un grand nombre de datations radiocarbone suggèrent qu'une amélioration climatique a eu lieu au sein de cette période vers 4 500 - 4 000 ¹⁴C ans B.P. (voir par exemple Vernet, 1995).

(2) Une autre phase d'amélioration climatique, enregistrée notamment par une remontée des niveaux lacustres a été mise en évidence dans le Nord du Tchad et au Niger oriental autour de 3 200 ¹⁴C ans B.P. (Servant-Vildary, 1978). Elle est aujourd'hui connue dans d'autres régions du Sahara (Vernet, 1995). Cette phase humide coïncide avec l'émergence des techniques de la métallurgie au sein des populations néolithiques qui occupaient le Sud du Sahara (Quéchon, 1995).

(3) Un renforcement de la sécheresse est marqué vers 2 500 ¹⁴C ans B.P. par la disparition des nappes d'eau qui existaient localement durant la période humide antérieure. L'évolution du climat jusqu'à la période actuelle n'est pas connue avec précision. La présence en quelques points de gisements archéologiques autour du X^e siècle de l'ère chrétienne indique que des conditions encore favorables à la métallurgie existaient localement dans le Sud du Sahara (Grébénart, 1983). Dans la zone sahélienne, une reconstitution des variations du niveau du lac Tchad (Maley, 1981) suggère que des conditions plus humides qu'actuellement ont eu lieu entre le XI^{ème} et le XIV^{ème} siècle et durant le XVII^{ème} siècle. Ces variations ne sont pas forcément liées au climat local car le lac Tchad est alimenté par des rivières qui drainent en amont des régions humides aujourd'hui forestières de la République Centrafricaine et du Cameroun.

Dans les régions forestières subéquatoriales de l'Afrique occidentale, les données du lac Bosumtwi au Ghana (Talbot et Delibrias, 1980) révèlent que des modifications séculaires à millénaires du climat se sont, comme au Sahara, superposées aux tendances générales. Ces modifications ont été enregistrées par :

(1) un abaissement du niveau lacustre qui a eu lieu entre environ 4 500 et 4 000 ¹⁴C ans B.P.

(2) une élévation du plan d'eau vers 3 700 suivie d'une relative stabilisation entre 3 000 et 1 000 ¹⁴C ans B.P.

(3) un abaissement drastique (le plus intense de toute l'histoire holocène) durant le dernier millénaire à une date qui n'est pas précisément connue.

(4) une forte remontée du plan d'eau au cours du ou des derniers siècles.

Dans les régions forestières subéquatoriales de l'Afrique centrale autour du Golfe de Guinée, des travaux récents ont montré des changements importants de végétation.

(1) Un recul et/ou une ouverture de la forêt dense a été enregistré vers 2 500 ¹⁴C ans B.P. par une modification de la composition isotopique de la matière organique des sols dans le Sud-Congo (Schwartz, 1991), de même que par des modifications importantes dans les spectres palynologiques de tous les sites étudiés au Cameroun (Maley, 1992, 1995 ; Reynaud-Farrera, 1995 ; Reynaud-Farrera *et al.*, 1996) et dans le Sud Congo (Vincens *et al.*, 1994). Jusqu'à présent, on ne sait pas si le changement de végétation a été accompagné par un abaissement des niveaux lacustres ; seul le site de Sinnda (Sud-Congo) en savane a révélé un assèchement après 4 000 ¹⁴C ans B.P. à une date non déterminée avec précision.

Ce changement est chronologiquement proche de l'émergence de la métallurgie vers 2 500 ¹⁴C ans B.P. autour de Yaoundé (Essomba, 1989) et dans la vallée de l'Ogooué au Gabon (Oslisly et Fontugne, 1993). Cette ouverture de la forêt s'est maintenue au moins jusqu'à 1 000 ¹⁴C ans B.P., alors que la métallurgie était devenue généralisée vers le début de l'ère chrétienne (Dupré et Pinçon, 1997).

Dans l'Ouest du Cameroun, à Ossa et Barombi Mbo, l'ouverture de la forêt vers 2 500 ¹⁴C ans B.P. a été accompagnée par la disparition d'un taxon arboré (*Podocarpus latifolius*) auparavant représenté de manière significative dans les spectres polliniques de l'Holocène ancien et moyen. Ce taxon, aujourd'hui surtout connu en montagne dans la forêt humide à brouillards quasi permanents, a donc été présent à proximité des deux sites étudiés respectivement situés à 8 m et 300 m d'altitude. Maley (1995, 1996) considère que l'existence de *Podocarpus latifolius* en basses altitudes durant l'Holocène ancien et moyen implique des conditions climatiques caractérisées par des brouillards fréquents, une forte nébulosité et corrélativement une température relativement basse (faible ensoleillement).

(2) Une reconquête forestière est enregistrée dans les sols et les diagrammes palynologiques à des dates qui varient selon les lieux entre 1 000 et 400 ¹⁴C ans B.P. Cette reconquête forestière ne semble pas liée à une régression de la métallurgie car celle-ci est attestée jusque vers le début du XX^e siècle.

(3) La période actuelle (dernières décennies) est marquée par une transgression de la forêt sur la savane au Nord du massif forestier (Guillet *et al.*, 1996 ; Youta

Happi et Bonvallot, 1996) et au Sud (Schwartz, 1996) dans les régions où les activités anthropiques ne sont pas trop accentuées.

Les données disponibles en Afrique centrale atlantique posent un certain nombre de problèmes :

1) La présence de *Podocarpus latifolius* est la seule donnée permettant d'envisager les conditions climatiques particulières (forte nébulosité?) durant l'Holocène moyen (avant 2 500 ¹⁴C ans B.P.). Il est donc nécessaire de rechercher de nouveaux éléments pour définir les conditions climatiques de cette époque. La palynologie suggère le maintien d'une forêt dense humide, mais celle-ci a peut-être connu de faibles modifications.

2) Tous les auteurs s'accordent à dire que le recul et/ou l'ouverture de la forêt à 2 500 ¹⁴C ans B.P. sont dus à des variations climatiques. Mais plusieurs causes peuvent être envisagées tels que la diminution des précipitations moyennes, un changement de la saisonnalité, l'exploitation de la forêt par les métallurgistes. Il faut noter qu'aucun changement significatif de la végétation n'a été révélé à cette même date par les travaux effectués en zone forestière au Ghana. Par contre dans le Sud du Sahara on note un renforcement de la sécheresse (assèchement des lacs).

3) En l'état actuel des observations, les auteurs distinguent de très grands événements hydrologiques au Ghana durant le dernier millénaire. En Afrique centrale atlantique les auteurs voient une reprise forestière mais celle-ci reste encore imprécisément datée.

II. L'ETUDE DES DIATOMEES

Le présent travail se propose d'apporter une contribution aux problèmes précédents. En parallèle aux études palynologiques effectuées par ailleurs il s'appuiera sur l'étude des diatomées considérées comme des marqueurs des modifications de l'environnement. Ce type d'étude est depuis longtemps développé sur les dépôts lacustres quaternaires des régions sèches ou arides (voir par exemple Servant-Vildary, 1978; Gasse, 1987). Mais il est peu développé sur les dépôts des régions humides forestières subéquatoriales notamment en Afrique.

Les diatomées sont des algues à carapace siliceuse qui sont généralement très bien conservées dans les sédiments. Elles présentent une très grande diversité

spécifique (12 000 espèces au moins ont été dénombrées sur le globe). Dans les milieux aquatiques actuels, les assemblages d'espèces sont étroitement contrôlés par les paramètres physico-chimiques, tels que la bathymétrie (Round, 1981 ; Pailles, 1989), le pH (Charles, 1985 ; Birks *et al.*, 1990 ; Battarbee, 1990), la salinité et la composition ionique des eaux (Servant-Vildary et Roux, 1990b, Fritz, *et al.* 1993 ; Gasse *et al.*, 1995), les caractères trophiques etc. Il est donc possible d'utiliser les assemblages fossilisés dans les sédiments pour reconstituer les changements passés des milieux aquatiques et en déduire des interprétations climatiques.

Les auteurs utilisent généralement deux approches complémentaires :

1) Dans un assemblage de diatomées, les espèces sont classées en fonction de leurs affinités écologiques lorsque celles-ci sont précisées dans la littérature. On peut par exemple identifier les diatomées de milieux acides, neutres ou alcalins ; les diatomées des milieux littoraux et profonds ; etc. Les variations en pourcentages des différents groupes de diatomées au cours du temps dans une colonne sédimentaire reflètent les modifications relatives des paramètres de l'environnement, le pH ou la profondeur par exemple.

2) Dans une région donnée, les échantillons des sédiments sont classés en fonction de leur contenu en diatomées par des traitements statistiques (Analyse Factorielle des Correspondances, Classification Ascendante Hiérarchique). Les classes d'échantillons peuvent alors être interprétées en fonction des affinités écologiques des différentes espèces de diatomées telles qu'elles sont connues par la littérature.

3) Pour les échantillons de sédiments actuels, il est intéressant de comparer les affinités écologiques attribuées à un groupe d'espèces ou aux assemblages d'une classe d'échantillons avec les paramètres physico-chimiques du milieu aquatique où ces échantillons ont été prélevés. Cette comparaison permet de vérifier que les données de la littérature sont en accord avec les caractéristiques du milieu étudié. Cela permet d'élaborer un modèle de distribution des diatomées actuelles et ensuite d'utiliser ce modèle pour interpréter les assemblages fossiles et en tirer une reconstitution des paléoenvironnements.

4) Les relations entre les échantillons, les assemblages de diatomées et les paramètres sont vérifiées par des traitements particuliers (Analyse Canonique des

Correspondances). Ces traitements feront par exemple apparaître une relation privilégiée avec certains paramètres tels que la profondeur des milieux aquatiques, le pH etc. Il est alors possible d'appliquer un modèle de régression (par exemple régression des moyennes par classe ou régression par moyennes pondérées) afin d'estimer le ou les paramètres auxquels les assemblages sont les plus fortement liés.

III. LE SITE D'ETUDE

Les méthodes précédentes seront ici appliquées à un lac de l'Ouest Cameroun (le lac Ossa). L'étude de ce lac a été abordée dans le cadre d'une opération pluridisciplinaire du programme CNRS-ORSTOM "ECOFIT". L'objectif général de ce programme est d'étudier la réponse de la forêt tropicale aux changements climatiques de l'Holocène en Afrique et en Amérique du Sud. L'opération du lac Ossa a regroupé :

1) Des études botaniques (G. Achoundong) et palynologiques (I. Reynaud-Farrera) ayant pour objectif de reconstituer l'histoire de la végétation au cours des 5 500 dernières années.

2) Des études sédimentologiques ayant pour objectif de caractériser la sédimentation actuelle dans un environnement forestier et d'en préciser l'évolution au cours de l'Holocène moyen et récent (D. Wirrmann, A. Bitom-Kossoni et J. Bertaux).

3) La présente étude sur les diatomées.

IV. PRESENTATION DU MEMOIRE

La première partie sera consacrée à l'étude du lac Ossa actuel. La deuxième partie concernera l'étude des diatomées fossiles d'une carotte lacustre (OW4) qui recouvre les 5 500 dernières années.

Le chapitre I présentera le lac Ossa et son environnement régional d'après les données de la littérature (climat, végétation, etc.) et d'après des données inédites concernant les paramètres physico-chimiques du lac et des lacs voisins.

Le chapitre II sera centré sur l'étude des diatomées des sédiments superficiels. Après avoir présenté les échantillonnages et les caractères généraux de la flore, nous aborderons successivement : (1) la distribution spatiale exprimée en pourcentage des principaux groupes de diatomées telle qu'on peut la définir d'après les nombreuses études écologiques ayant été effectuées dans différentes régions du globe ; (2) l'identification des assemblages de diatomées telle qu'on peut la définir par le traitement statistique et la distribution spatiale de ces assemblages dans les sédiments sub-actuels.

Le chapitre III présentera une description de la carotte OW4 de même que les évaluations chronologiques basées sur des datations radiocarbone.

Le chapitre IV sera consacré à l'étude des diatomées fossiles. Nous aborderons successivement : (1) la distribution temporelle exprimée en pourcentage des principaux groupes de diatomées telle qu'on peut la définir d'après la littérature, (2) l'identification des assemblages de diatomées et leur distribution temporelle. Cela permettra de définir précisément les principales étapes de l'évolution du lac en tenant compte de l'ensemble des espèces.

Les chapitres V et VI seront consacrés aux croisements des données floristiques (actuelle et fossile) et des paramètres actuels de l'environnement. Nous montrerons que la profondeur est le paramètre le plus déterminant pour les diatomées du lac Ossa. Une estimation quantitative de ce paramètre sera proposée à partir de deux approches différentes. Nous verrons que ces estimations sont en bon accord avec les variations relatives de la profondeur antérieurement définies.

Le chapitre de discussions et de conclusions reprendra les données de l'étude sur les sédiments superficiels, pour en extraire les caractéristiques générales du modèle actuel. Ce modèle sera ensuite appliqué aux données fossiles de la carotte OW4. Cela va nous conduire à trois principales conclusions : (1) l'environnement climatique de la période 5 500-2 800 *cal.* ¹⁴C ans B.P. était probablement plus humide qu'actuellement, ce qui n'exclue pas de faibles variations du climat ; (2) un changement climatique majeur à 2 700 *cal.* ¹⁴C ans B.P. a été provoqué par un renforcement de l'harmattan durant l'été boréal et a entraîné de fortes perturbations de la végétation ; (3) ce changement a été suivi par un épisode de forte variabilité entre 2 700 et 2 000 ans B.P. environ et ensuite par une évolution assez complexe ; (4) une phase relativement sèche aux alentours de 500 - 200 ans, suivie par une amélioration du climat durant les derniers siècles. Cette dernière explique probablement la transgression forestière identifiée sur la bordure du massif forestier.

B. DIATOMEES ET ENVIRONNEMENTS ACTUELS

I. LE LAC OSSA ET SON ENVIRONNEMENT

I.1. Présentation générale

Le lac Ossa est situé dans la zone littorale de l'Ouest Cameroun à 8 mètres d'altitude, à 3,3° de latitude nord, et 9,36° de longitude Est.

I.1.1. Le Cameroun

Localisation et reliefs

Le Cameroun, situé à la charnière de l'Afrique Centrale et de l'Afrique de l'Ouest, partage 4700 km de frontière avec le Nigéria à l'Ouest, le Tchad au Nord, la République Centrafricaine à l'Est, le Congo, le Gabon, et la Guinée équatoriale au Sud. Il s'ouvre sur le golfe de Guinée par un littoral de 320 km environ. Il s'étend du Sud au Nord entre les latitudes 1°38' N et 13°05' N et d'Ouest en Est entre les longitudes 8°33' E et 16°11' E. Cette position géographique implique une grande diversité de paysages en fonction de la latitude et de la position par rapport à l'océan. Le relief et l'altitude sont également un facteur important dans la diversité des paysages (Morin, 1979) (figure I.1).

Les régions de basse altitude comprennent :

- au Sud les plaines côtières (moins de 200 m), drainées par les cours inférieurs du Mungo, du Wouri, de la Sanaga, du Nyong et du Ntem ;
- au Nord les vallées de la Benoué et ses affluents et la bordure sud de la Cuvette tchadienne (environ 280-350 m d'altitude) à remplissage cénozoïque.

Les régions de haute altitude occupent 63 % de la superficie du pays. Elles comprennent :

- au Nord, les Monts Mandara, avec une altitude moyenne de 900 m, dominent la plaine du Diamaré. Ils correspondent à un panneau du socle précambrien qui a été soulevé et disséqué en un ensemble d'inselbergs et de petits massifs ;
- le plateau de l'Adamaoua au Sud des Monts Mandara avec une altitude moyenne de 1 100 m prend en écharpe le Cameroun médian et constitue le « château d'eau » du pays ;

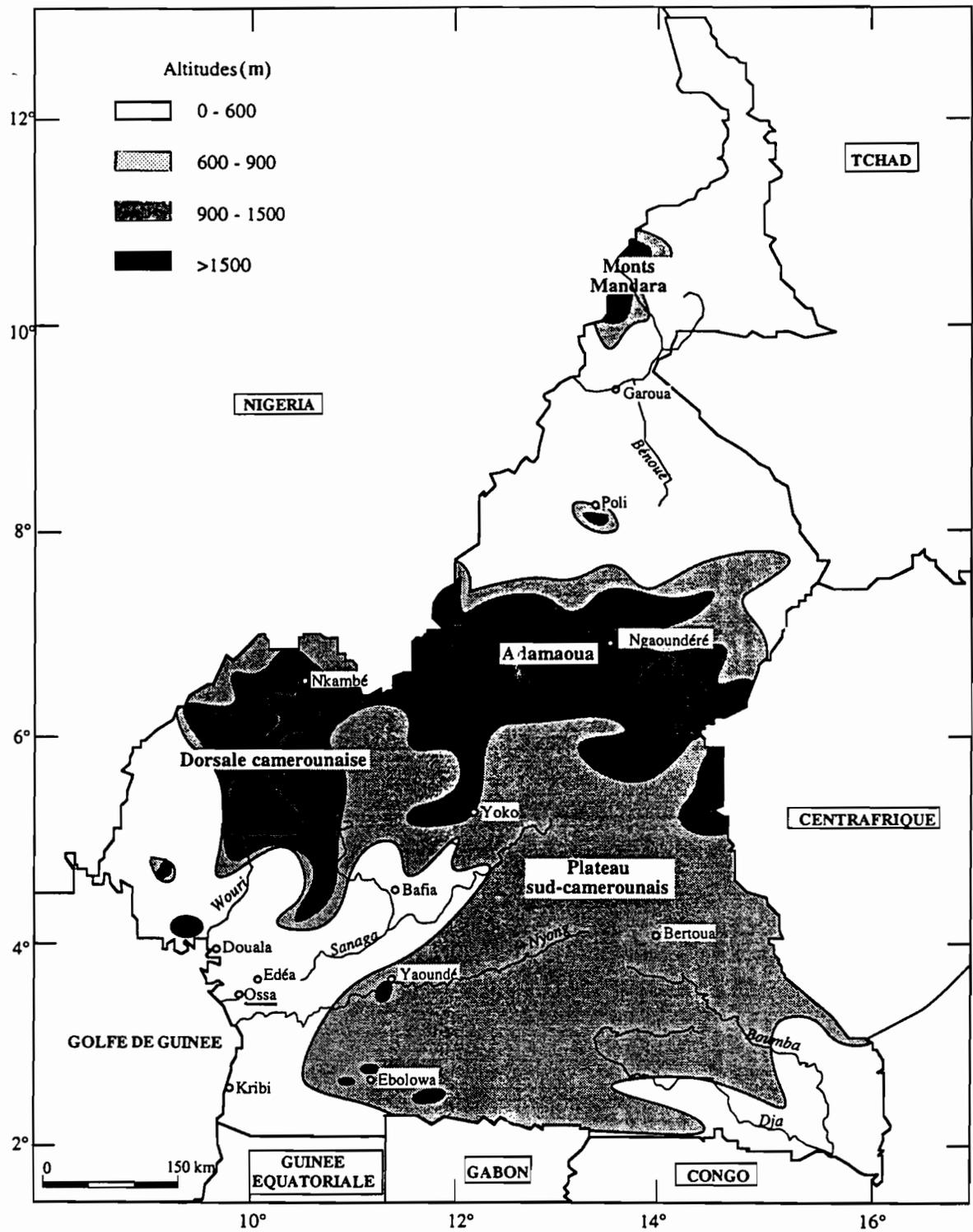


Figure I.1. Carte physique du Cameroun (Morin, 1979)

- Les hautes terres de l'Ouest Cameroun sont localisées entre la vallée du Mbam, le bassin de Douala et la frontière nigériane. Elles sont constituées par des montagnes moyennes, des plateaux étagés, des bassins déprimés et de grands édifices volcaniques. Les massifs volcaniques qui s'ordonnent suivant une orientation SSW-NNE (« Dorsale camerounaise ») constituent les plus hauts sommets de la région (4 100 m au Mont Cameroun).

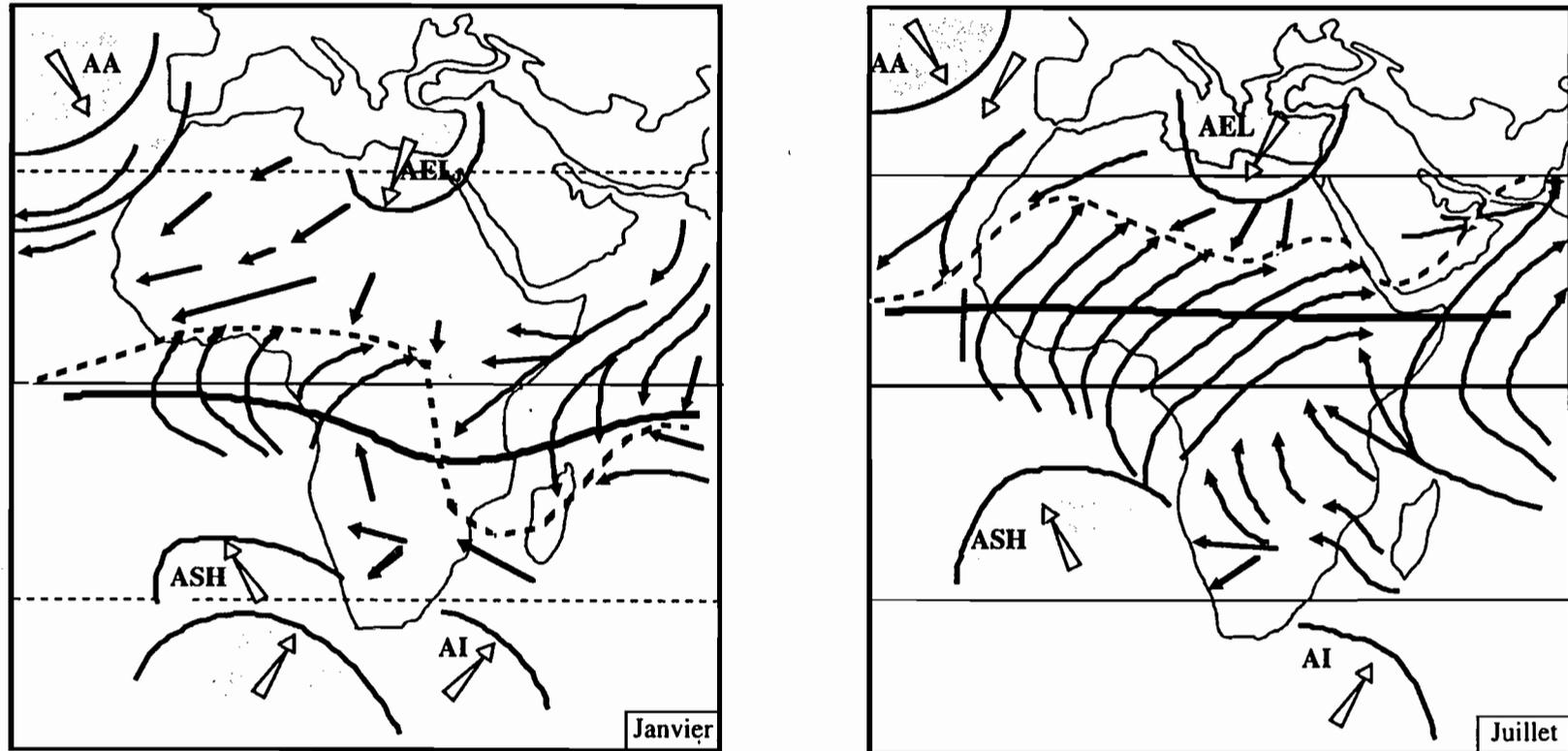
Le plateau sud-camerounais avec 650 à 900 m d'altitude se situe en contrebas des hautes terres de l'Ouest-Cameroun. Cet ensemble s'abaisse doucement au sud-est vers la cuvette congolaise.

Circulation atmosphérique et climat

En raison de sa situation géographique, le Cameroun est soumis aux grands flux atmosphériques de la zone intertropicale (figure 1.2)

Une zone de basses pressions située vers l'Equateur est encadrée au Nord par les hautes pressions des Açores du Sahara et égypto-lybien, et au Sud par les hautes pressions des anticyclones de Sainte-Hélène, Sud-Africain et Indien (Leroux, 1983).

Entre les zones anticycloniques boréale et australe s'établit un grand flux de secteur Est dirigé vers la zone de basses pressions. Ce flux est matérialisé au Sud et au Nord de l'Equateur par les alizés. Les alizés de l'hémisphère austral et de l'hémisphère boréal convergent dans la région subéquatoriale déterminant la zone de convergence intertropicale (ZCIT) ou équateur météorologique (EM). La ZCIT se repère au-dessus de l'océan par un ou deux alignements de nuages convectifs à fort développement vertical (cumulo-nimbus). L'air issu des fortes ascendances qui ont lieu au niveau de la ZCIT diverge en altitude vers l'hémisphère nord et l'hémisphère sud et contribue à alimenter les anticyclones subtropicaux. De chaque côté de la ZCIT, il y a donc formation dans un plan vertical méridien de deux cellules appelées cellules de Hadley. Au-dessus du continent, l'équateur météorologique présente une structure en front de pente très inclinée s'abaissant de l'équateur vers le Nord. Cette trace au sol sur le continent est appelée front intertropical (FIT).



AA Anticyclone des Açores
 AEL Anticyclone égypto-lybien
 ASH Anticyclone de Sainte-Hélène
 AI Anticyclone indien

▷ Déplacement des Anticyclones
 → Ligne des flux de surface
 - - Front Intertropical (FIT)
 — Trace de l'équateur météorologique dans les couches moyennes

Figure I.2. Schéma des principaux flux atmosphériques (Janvier et Juillet) et localisation des zones de haute pression (Leroux, 1983)

La ZCIT se déplace au cours de l'année du côté de l'hémisphère le plus chaud. Durant l'hiver boréal (été austral), les anticyclones des Açores et égypto-lybien sont très marqués et il y a renforcement des alizés boréaux. Le FIT se trouve alors dans sa position la plus méridionale. Sur l'Afrique, dans les basses couches de l'atmosphère, l'alizé boréal est un vent chaud et sec appelé harmattan. L'harmattan peut étendre son influence jusque dans la zone de la forêt ombrophile guinéo-congolaise, en particulier au Nigéria, dans le Sud du Cameroun, voire même jusqu'à Libreville au Gabon. Il transporte des poussières issues du Sahara qui peuvent être exceptionnellement très abondantes jusqu'au Golfe de Guinée (figure I.3).

Au cours de l'été boréal, la situation est inversée : les anticyclones de Sainte Hélène et Indien sont très marqués. Les alizés austraux sont renforcés et repoussent le FIT vers le Nord. La présence de basses pressions dans les basses couches de l'atmosphère sur le Sahara alors fortement réchauffé contribue à un appel d'air en provenance du Sud. Les alizés de l'hémisphère sud se chargent en vapeur d'eau au-dessus de l'océan et pénètrent sur le continent africain après avoir traversé l'Equateur. Ils prennent alors une direction SW-NE en raison de la force de Coriolis. Ce flux atmosphérique chargé en vapeur d'eau est appelé flux de mousson en Afrique nord équatoriale.

Les positions extrêmes du FIT sont en moyenne le vingtième parallèle nord en Juillet et le quatrième parallèle nord en Janvier. Plusieurs types de temps peuvent être distingués selon qu'on se trouve au Nord ou au Sud du FIT.

- Au Nord du FIT dans la zone de l'harmattan, le ciel est clair ou peu nuageux (rares cirrus aux niveaux supérieurs). Les vents de sables et les brumes sèches sont fréquents.

- Immédiatement au Sud du FIT, une zone de 400 km environ caractérisée par un ciel peu nuageux (présence de cumulus peu développés).

- Plus au Sud une zone d'environ 1200 km de largeur caractérisée par un ciel couvert ou très nuageux (gros cumulus ou cumulus-nimbus). Les orages, grains, et lignes de grains y sont fréquents.

- Encore plus au Sud se situe une zone caractérisée par des nuages stratiformes sans ou avec très peu de précipitations.

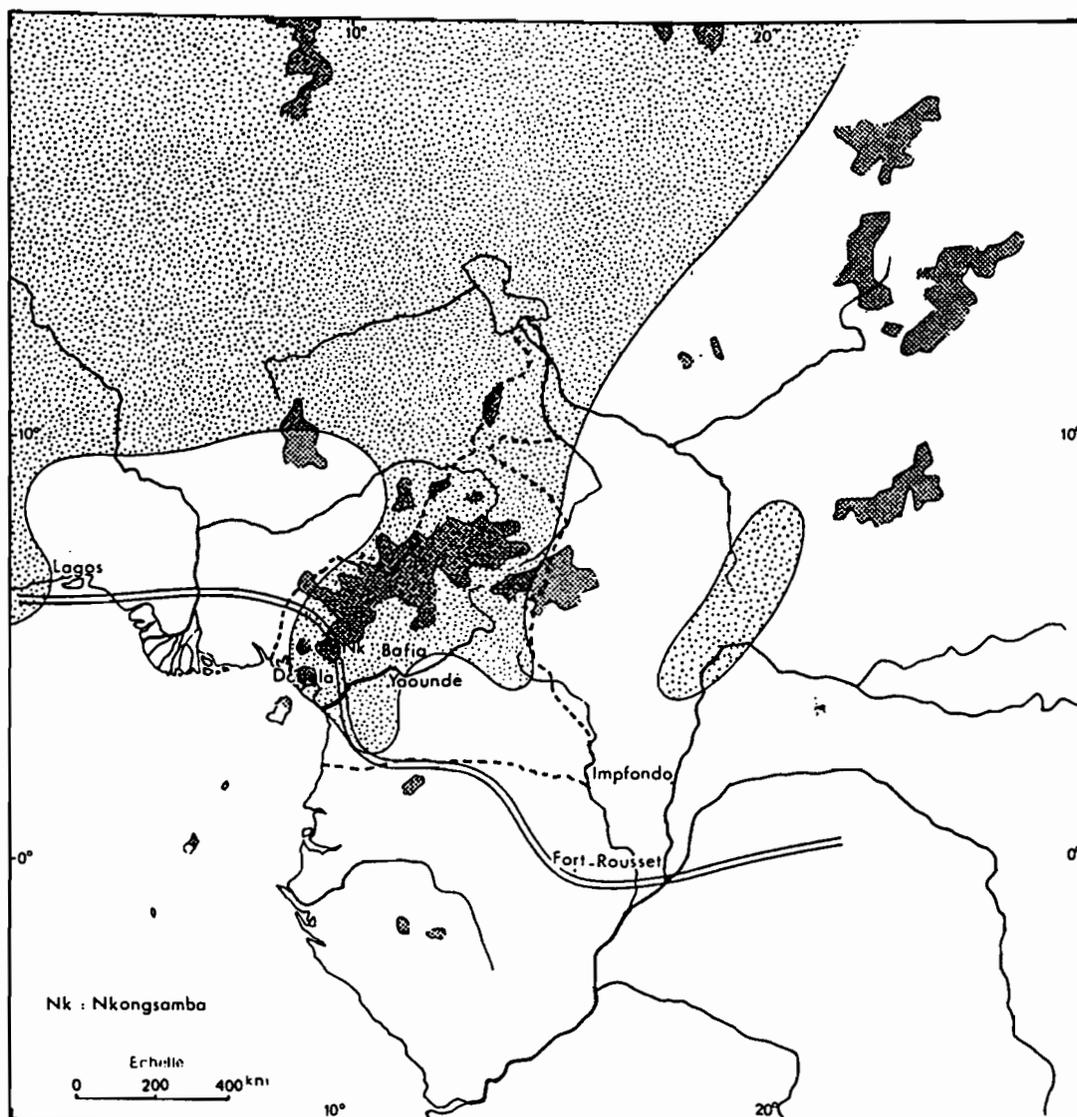


Figure I.3. Extension des brumes sèches : 29 janvier 1969, 15 h. T.U. (Suchel, 1988).
 (Brumes sèches : [stippled box] Relief : [dark shaded box] FIT [double line box])

Le déplacement en latitude de ces quatre zones détermine les saisons. Au Nord le climat est caractérisé par une saison sèche centrée sur l'hiver boréal et une saison des pluies centrée sur l'été boréal. Au Sud l'année comprend deux saisons sèches et deux saisons des pluies (climat équatorial) (figure I.4).

Végétation

La végétation camerounaise représente un condensé de celle de l'Afrique intertropicale avec la forêt dense humide au Sud, les savanes au Centre et les steppes au Nord. Il y a en outre une zonation de la végétation en fonction de l'altitude. Les grandes formations végétales suivent la répartition des pluies annuelles et surtout leurs variations saisonnières. Cette répartition est aussi fonction de la nature du sol et de la température, elle-même liée au relief (figure I.5).

D'après les travaux de Aubreville (1948, 1962) et Letouzey (1968, 1985), on distingue :

1) Les forêts denses humides

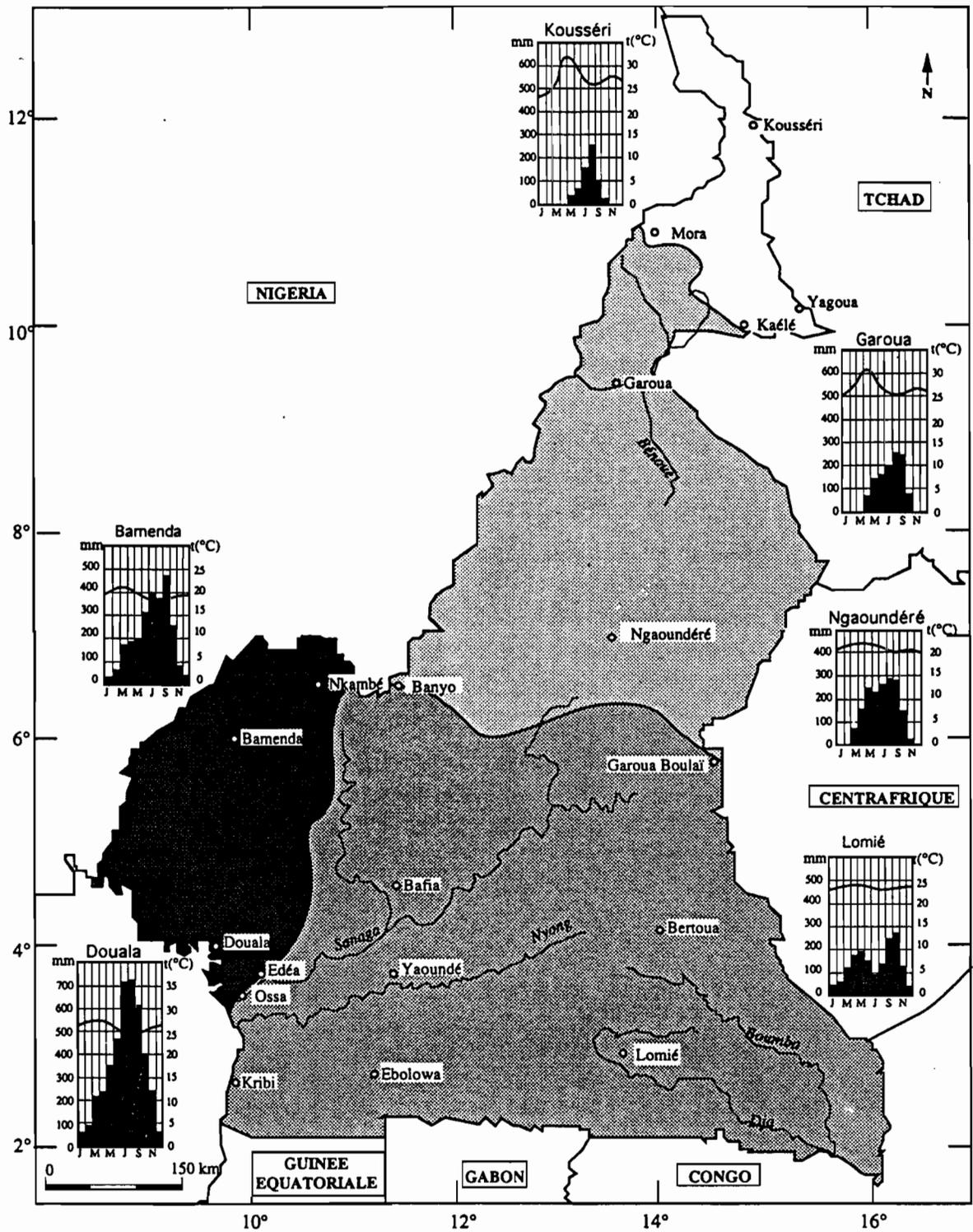
- La forêt sempervirente. Entre 800 et 200 m, se rencontre régionalement la forêt sempervirente de moyenne altitude ou forêt biafréenne qui est caractérisée par l'importance des Caesalpiniaceae. Un sous-type de la forêt biafréenne, la forêt littorale atlantique à *Lophira alata* (Ochnaceae) et *Sacoglottis gabonensis* (Humiriaceae) se développe à des altitudes plus basses (plaine littorale) ne dépassant pas 100 à 200 m. Elle se distingue aussi de la forêt biafréenne par la faible importance des Caesalpiniaceae.

- La forêt humide congolaise. Elle se développe sur la bordure occidentale de la cuvette congolaise entre 600 et 700 m d'altitude. Elle est caractérisée par des peuplements purs de *Gilbertiodendron dewevri* (Caesalpiniaceae).

- La forêt humide semi-caducifoliée. C'est une forêt ombrophile qui se développe à la périphérie du massif forestier. Elle est caractérisée par la prédominance des Sterculiaceae et des Ulmaceae.

2) Les forêts afromontagnardes.

Elles se développent sur les massifs montagneux de l'Ouest dès 800 m sur la façade atlantique et à partir de 1200 m (et plus) au Nord. Elles sont caractérisées



- Climat équatorial de type camerounien ou de mousson équatoriale (0 à 3 mois "moins humides")
- Climat équatorial de type guinéen à quatre saisons (2 mois moins humides)
- Climat soudanien ou tropical humide (3 à 6 mois secs)
- Climat soudano-sahélien (7 mois et plus de sécheresse)

Figure I.4. Les grandes zones climatiques du Cameroun (d'après Mabi Etia, 1969 ; Olivry, 1986 ; Suchel, 1988 ; in Reynaud-Farrera, 1995).

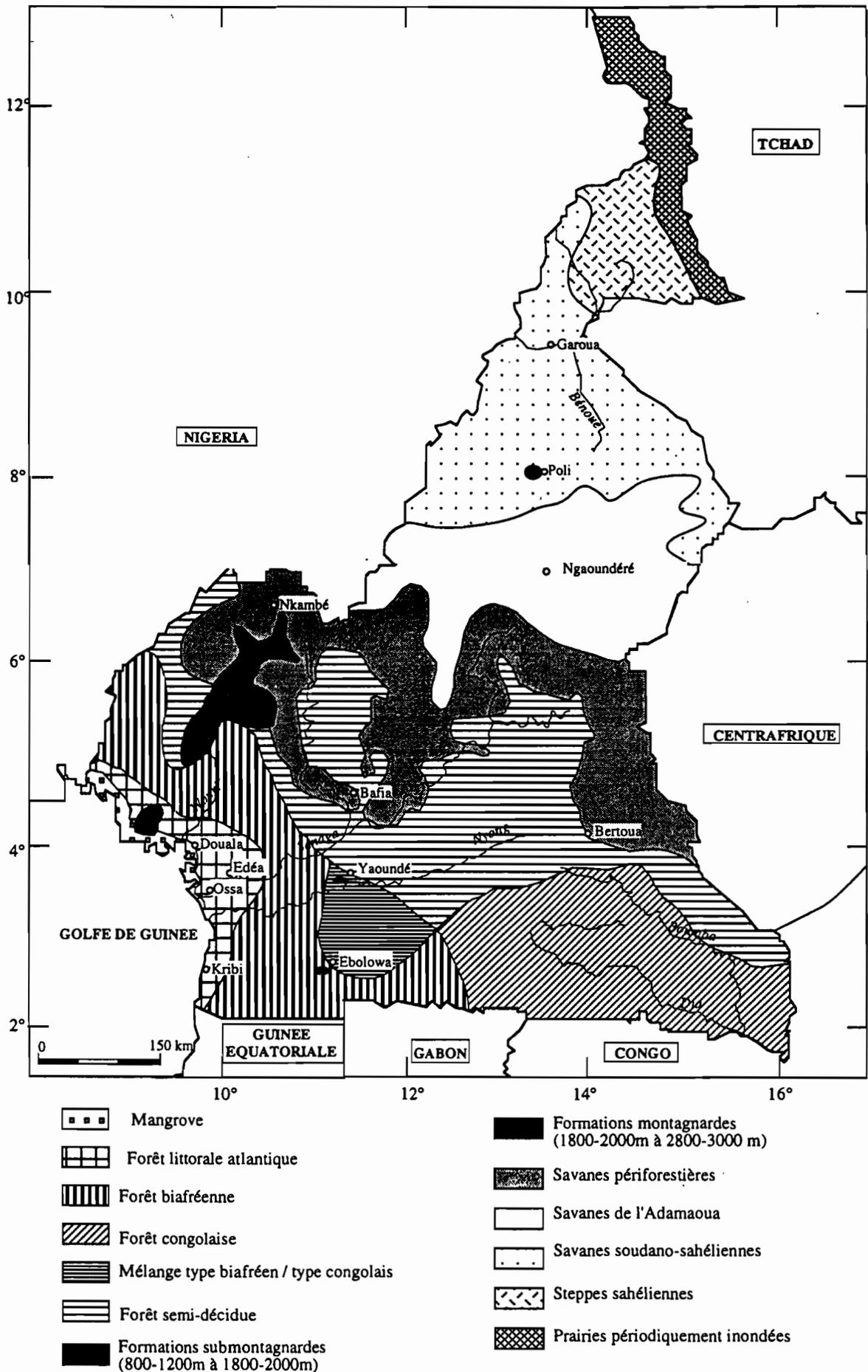


Figure I.5. Carte phytogéographique du Cameroun (Letouzey, 1968, 1985)

selon l'altitude par *Podocarpus latifolius*, *Olea capensis*, *Syzygium staudtii*, *Scheffera sp.*, *Nuxia congesta* et *Ilex mitis*.

3) La mangrove

C'est une végétation forestière qui se développe en bordure de la mer, sur des dépôts vaseux qui s'accumulent près des embouchures de la plupart des fleuves et rivières côtiers.

4) Les savanes

- Les savanes périforestières. Elles se localisent au Nord du massif forestier jusqu'au pied méridional du plateau de l'Adamaoua. Le paysage est caractérisé par une mosaïque de savanes entrecoupées de massifs isolés de forêt dense, de taches de recrus forestiers et de galeries forestières dans les thalwegs.

- Les savanes arborées et arbustives du Plateau de l'Adamaoua.

- Les savanes boisées et forêts claires sèches. Elles se rencontrent au Nord de l'Adamaoua dans les bassins du Faro et de la Benoué.

Des études récentes (Guillet *et al.*, 1996 ; Youta Happi et Bonvallot, 1996) ont montré que le ou les derniers siècles sont caractérisés par une transgression de la forêt sur la savane.

5) Les steppes et prairies périodiquement inondées.

Elles sont présentes dans l'extrême Nord du pays. Ces formations végétales sont dans certains cas très riches en épineux.

I.1.2. La rivière Sanaga

La Sanaga est le plus grand fleuve du Cameroun. Avec ses 25 bassins intermédiaires, elle draine environ 133 000 km² soit plus de 25 % de la superficie totale du pays. Une infime partie (200 km²) à l'Est se trouve en République Centrafricaine dans la région de Garoua-Boulaï (figure I.6) .

Le bassin s'étend entre 3°32 et 7°22 de latitude Nord et entre 9°45 et 14°57 longitude Est. Il a la forme d'une ellipse dont le grand axe qui a une longueur d'environ 550 km est orienté NNE-WSW et une largeur maximale de 320 km. Il couvre ainsi des régions climatiques différentes, passant du Nord au Sud d'un climat

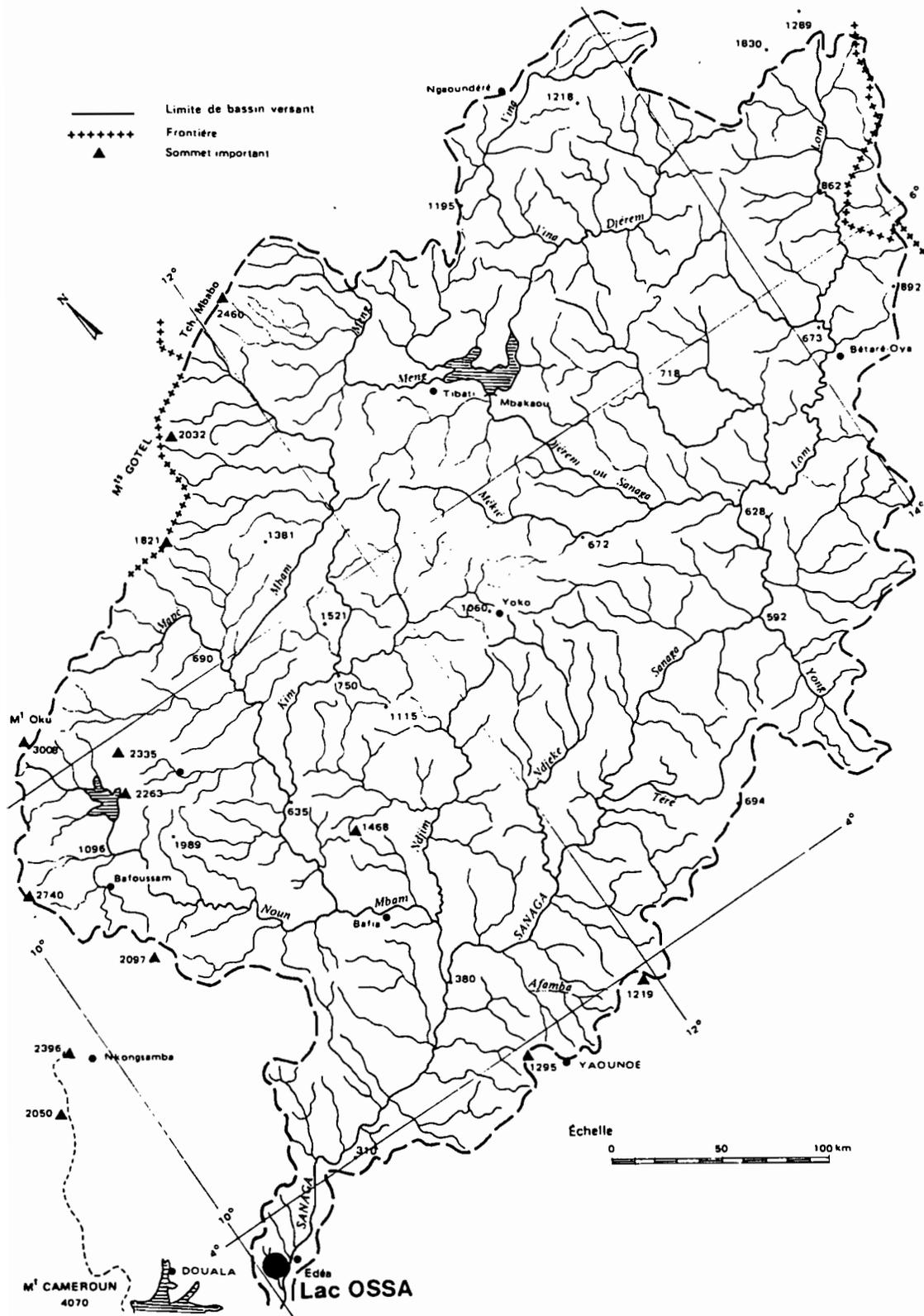


Figure I.6. Le bassin de la rivière Sanaga et localisation du Lac Ossa.

tropical avec une longue saison sèche à un climat tropical de transition ou équatorial de transition avec deux saisons sèches d'inégale importance. La Sanaga traverse des paysages phytogéographiques, géologiques et pédologiques très variés.

La Sanaga a un module médian de 2072 m³/s pour un débit d'étiage médian de 310 m³/s (Olivry, 1986). L'érosion spécifique du fleuve est de 38 t/km²/an soit l'équivalent de 5 x 10⁶ tonnes/an de matériaux solides exportés vers l'océan. Le fleuve a été régulé par deux barrages déversoirs à partir de 1970. La courbe d'évolution de la moyenne (1970-1980) des débits mensuels montre que les plus forts débits sont enregistrés aux mois de Septembre et Octobre (4063 et 4755 m³/s) et les débits les plus faibles (< 700 m³/s) aux mois de Janvier, Février, Mars et Avril (figure I.7).

I.1.3. La région du lac Ossa

Géomorphologie

La région du lac Ossa, administrativement située dans le département de la Sanaga maritime se rattache aux basses terres du Cameroun. Le paysage se présente sous la forme d'un plateau où les rivières affluentes de la Sanaga se sont enfoncées d'environ 80 m.

Le lac Ossa (figure I.8) est inclu dans un petit bassin géologique délimité par deux faisceaux de failles majeures (N40° E à N65° E et N150° E à N170° E) affectant un substratum composé de grès crétacé. Le jeu de ces failles d'âge surtout Miocène a eu pour conséquence le relèvement à l'Ouest du massif de grès Crétacé formant ainsi un horst puis son basculement suivant un axe Nord-Sud. La partie centrale s'est alors effondrée (Njike Ngaha, 1984).

Climat

La région du lac Ossa est soumise à la variante océanique du climat équatorial de type guinéen. Le régime pluviométrique correspond à la transition entre le climat équatorial à régime bimodal et le climat «camerounien» à maximum unique. D'après Suchel (1988), «ce compromis entre les deux régimes traduit la lutte d'influence entre l'inhibition pluviométrique imputable à la masse d'air australe anticyclonique et les gros abatements propres à la masse d'air de mousson».

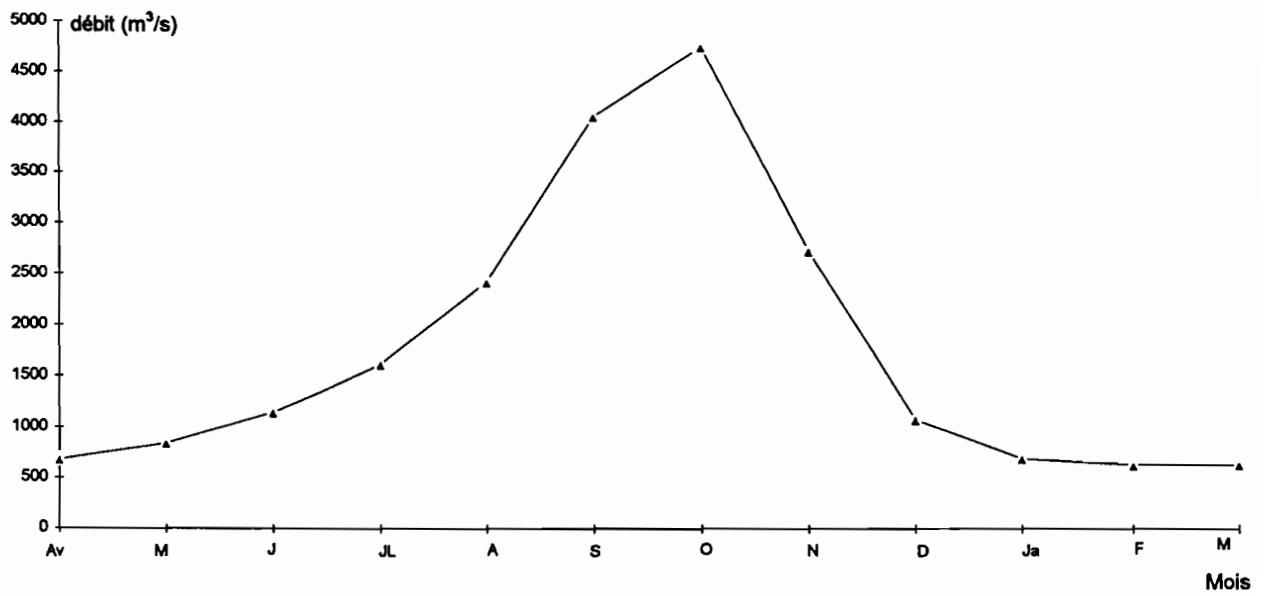


Figure I.7. Débits moyens mensuels (m³/S) de la rivière Sanaga à Edea entre 1970 et 1980 (Olivry, 1986)

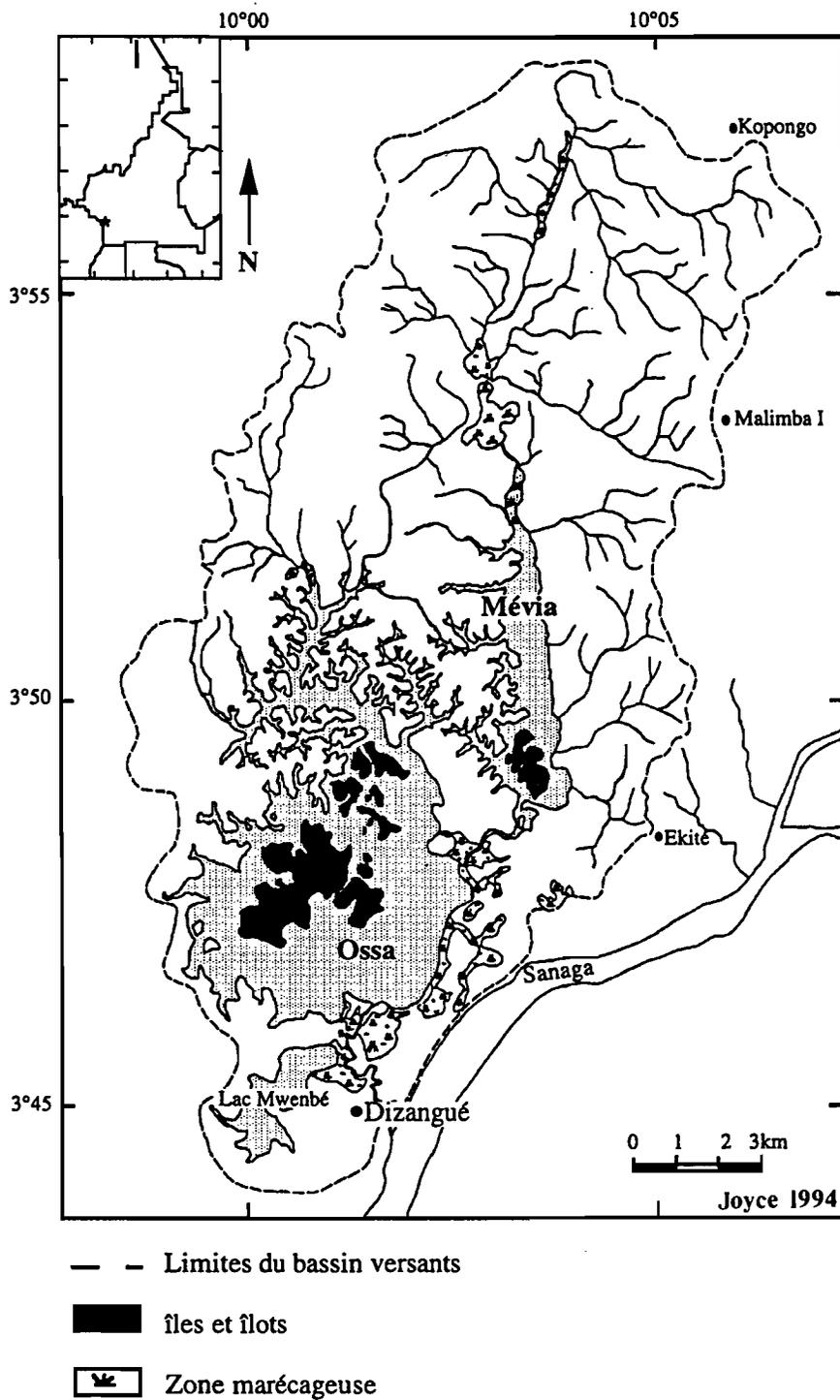


Figure I.8. Le Lac Ossa et son bassin versant (Wirrmann, 1994)

D'après les données de la station météorologique la plus proche du lac Ossa (Safacam, plantation de palmier à huile et d'hévéa présente sur la rive occidentale du lac Ossa) (tableau I.a), les précipitations moyennes sont de 2953 mm/an. Elles affichent un minimum absolu de Décembre à Février (grande saison sèche) et un fléchissement en Juin (petite saison «sèche» en réalité seulement moins humide car les précipitations peuvent être supérieures à 50 mm). Deux maxima de pluviosité apparaissent, le premier, de Juillet à Novembre (grande saison des pluies) et le second de Mars à Mai (petite saison des pluies).

A la station d'Edéa, situé à 14 km à l'Est du lac Ossa, les précipitations moyennes annuelles enregistrées sont de 2631 mm/an. Le fléchissement des précipitations, noté en Juin au lac Ossa, apparaît en Juin et surtout Juillet à Edéa. Ainsi, à Ossa le surplus d'efficacité de la mousson lié à la proximité de l'océan tend à effacer le creux estival des précipitations (Suchel, 1988).

Les autres paramètres ne sont pas mesurés à la station de la Safacam mais nous pouvons nous reporter aux données de la station d'Edéa :

- Les vents dominants sont de secteur ouest, quadrant sud-ouest, avec une majorité (75%) de vents calmes (vitesse du vent inférieure ou égale à 1m/s).

- La température moyenne annuelle est de 26,5 °C (29 ans de données). Les variations de la température minimale sont de faible amplitude et le minimum est observé durant la petite saison sèche. Les valeurs les plus élevées des températures maximales moyennes mensuelles s'observent de Février à Avril. La plus forte valeur (32,5 °C) est enregistrée en Février (fin de la grande saison sèche). Le minimum des températures maximales est observé en Juillet-Août (27,6-27,3 °C), ce qui correspond à des périodes de brouillards et de forte nébulosité. Les variations des températures moyennes annuelles suivent les variations des températures maximales avec un maximum en Février-Mars (27,9-27,6 °C) et un minimum en Juillet-Août (24,6°C).

- L'humidité relative maximale varie peu d'un mois à l'autre. Les valeurs sont toutes proches de la saturation (supérieure à 90 %). L'humidité relative minimale montre un minimum (64 %) en Février (grande saison sèche) et une valeur maximale en Août (83 %).

- L'évaporation de Piche moyenne est de 677,5 mm /an. Le maximum est observé en Mars (79,2 mm) et le minimum en Août (32,4 mm).

SAFACAM

Altitude : 8 m

Latitude : 3° 02' N

Longitude : 10° 01' E

Durée des observations : 29 ans

Mois	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Dec	Total année
Précipitations moyennes (mm)	2,9	44,1	151,8	239,7	317,3	284,1	345,6	456,3	539,3	393,2	118,8	34,4	2952,6

Pluviométrie moyennes à la station de la SAFACAM

Edéa

Altitude : 32 m

Latitude : 3° 48' N

Longitude : 10° 08' E

Durée des observations variables

Mois	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Dec	Total année
précipitations moyennes (mm)	41,2	58,5	149,5	235,5	275,5	247,7	240	340,4	471,3	374,2	153,2	41,3	2631
Température moyenne (°C)	27,3	27,9	27,6	27,6	27,4	25,9	24,6	24,5	25,4	26,1	26,8	27,3	26,5
Moyenne mensuelle des températures maximales journalières (°C)	32	32,7	32,5	32,5	32	30	27,6	27,3	28,8	30,3	31,2	31,9	30,7
Moyenne mensuelle des températures minimales journalières (°C)	22,5	23,1	22,6	22,6	22,7	21,9	21,6	21,7	21,9	21,9	22,4	22,6	22,2
Ecart diurne moyen mensuel (°C)	9,5	9,6	9,9	9,9	9,3	8,1	6	5,6	6,7	8,4	8,8	9,3	8,4
Humidité relative à 6h	97	96	96	96	96	96	96	97	97	97	97	97	97
moyenne de l'air (%) à 12h	66	64	67	70	70	76	81	83	80	75	71	68	73
Evaporation de Piche (mm)	67,5	73,7	79,2	69,6	66	47,1	35,2	32,4	37,1	52	56,2	61,4	677,5

Données climatiques brutes - Station d'Edéa (d'après Olivry, 1986 ; Suchel, 1988)

Tableau I.a : Données climatiques à la Safacam et à Edéa, stations météorologiques les plus proches de Ossa.

En résumé, le climat humide de la région de Ossa ne peut pas être considéré comme typiquement équatorial en raison de l'existence d'une saison sèche encore bien marquée. La fréquence hivernale des brumes sèches (6 jours en janvier) (figure I.9) et les minimums absolus d'humidité relative (29 % en Janvier, 31 % en Février) révèlent une influence non négligeable de l'harmattan.

Le lac Ossa

Le lac occupe le fond d'une ancienne rivière («*ria lake*») qui semble avoir été barrée vers l'aval par des alluvions sableuses de la rivière Sanaga probablement vers la fin de la dernière époque glaciaire (Wirrmann *et al.*, 1997). Sa superficie est de 3706 hectares (soit 37 km²). Il se subdivise en deux bassins : le lac Mévia (6 km² de superficie) et le lac Ossa *sensu stricto* (30 km² de superficie) qui communiquent par un chenal étroit (figure I.8). La profondeur moyenne maximale est de 4 m environ . Les rives du lac sont des pentes raides, s'élevant rapidement jusqu'à des hauteurs maximales de 70-80 m. Elles sont moins abruptes dans la partie sud où existent des zones plates périodiquement inondables.

Le lac est pourvu d'un exutoire : ses eaux se déversent dans un chenal qui débouche dans la rivière Sanaga. La morphologie et la topographie de ce chenal ne sont pas connues de manière détaillée. Il est possible que la rivière Sanaga puisse alimenter le lac lorsqu'elle est en période de très hautes eaux (Wirrmann, 1992).

Le bassin versant s'étend sur 165 km², la majorité des apports par les ruisseaux provient du Nord. Ces apports sont issus du drainage des sols sous forêt. En raison d'une faible présence en Caesalpiniaceae, la végétation a été distinguée de la forêt biafréenne et rattachée à un faciès particulier : la forêt littorale à *Lophira alata* et *Sacoglottis gabonensis*. Les sols sont des sols ferrallitiques jaunes dérivés des roches sédimentaires (Vallerie, 1971; Segalen, 1967). La ferralitisation est caractérisée par une hydrolyse totale des minéraux primaires autres que le quartz, l'élimination de la majeure partie des bases et de la silice, une accumulation d'argile (kaolinite) et d'oxyhydroxydes de fer et d'aluminium (gibbsite, hématite). Le plateau qui domine le Sud-Ouest de ce lac est occupé par une plantation industrielle d'hévéas et de palmiers à huile qui date du début du siècle.

Au Sud du lac Ossa, dans un paysage comparable existent d'autres petits lacs dont les diatomées ont été étudiées.

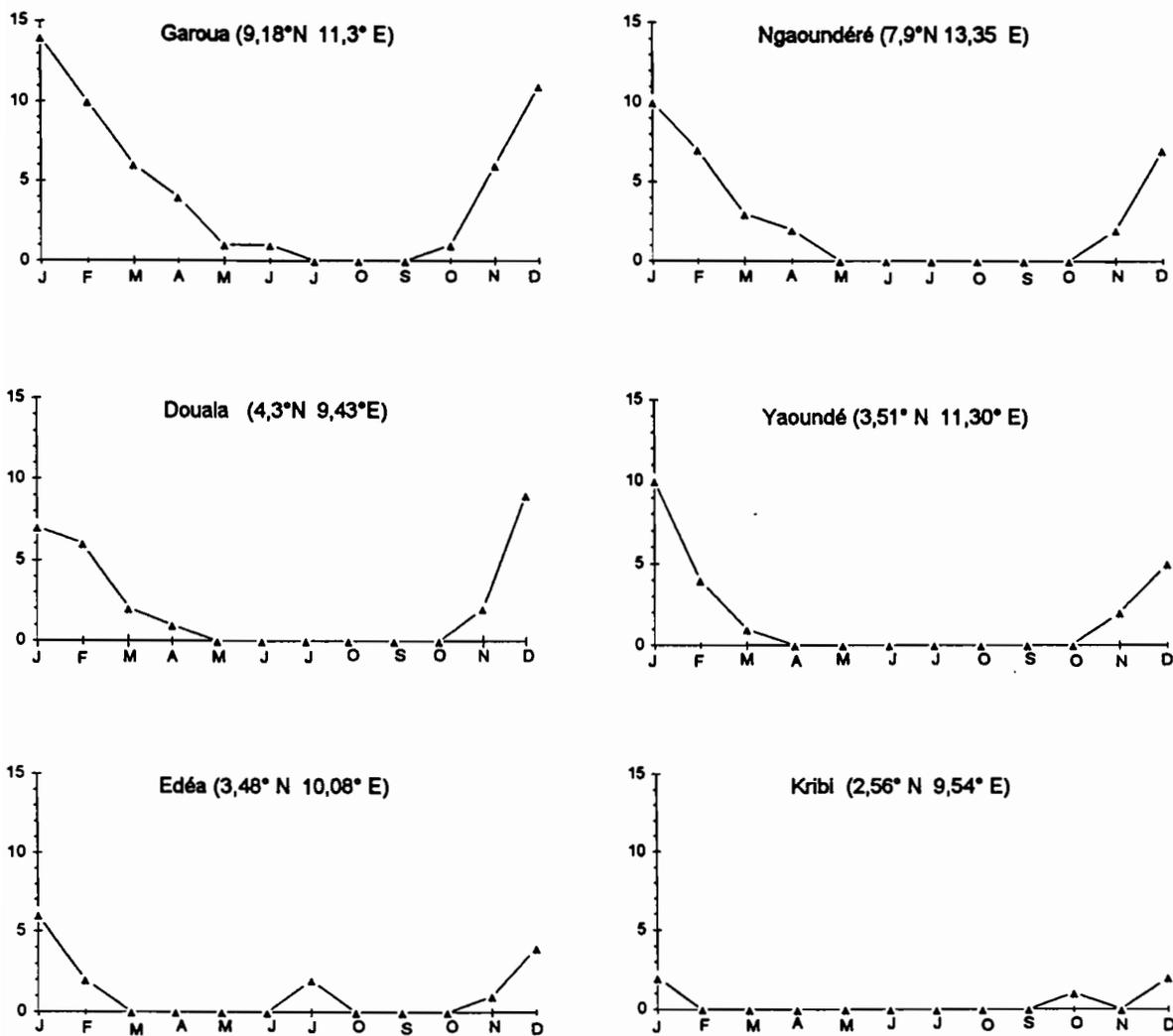


Figure I.9. Evolution mensuelle comparée des nombres moyens (années 1951 à 1960) de jours de brume sèche dans quelques sites du Cameroun (entre 9°18' et 2°56' lat.N) (Suchel, 1988)

I.2. Caractérisation des milieux aquatiques actuels en vue d'une étude des diatomées

I.2.1. Présentation des différents milieux étudiés ("habitats")

Les diatomées se développent dans les habitats les plus divers depuis les grands lacs profonds jusqu'aux mares temporaires, colonisées ou non par la végétation aquatique. Chaque taxon présente un optimum de développement dans un habitat qui lui est préférentiel.

Le lac Ossa et les lacs environnants fournissent des types d'habitats assez variés :

Les habitats lacustres. Ils correspondent à ceux situés à l'intérieur des cuvettes lacustres proprement dites. Les espèces vont y vivre soit à la surface des eaux libres, soit dans la zone photique sur les fonds boueux ou fixées sur un support organique (plantes ou algues) ou minéral (pierres ou sédiment).

Les marécages. Ce sont des milieux colonisés par les végétaux supérieurs (fougères, herbes et arbustes) et caractérisés par la présence d'eau. La température et l'éclairement sont plus faibles par rapport à la cuvette lacustre car le couvert végétal amortit leurs intensités. Les diatomées peuvent y vivre soit à l'état libre dans la fine pellicule d'eau permanente, soit fixées à la base immergée des macrophytes.

Les milieux inondés périodiquement. Ils sont occupés par une végétation dense de plantes supérieures composée d'herbes, d'arbustes et parfois de grands arbres. Pendant les hautes eaux, ils se présentent sous l'aspect soit de larges étendues d'eau libre, soit de marécages où les arbres ont les pieds dans l'eau. *A priori*, on peut présumer que la flore de diatomées de ces milieux sera constituée en période de hautes eaux principalement d'espèces vivant en eau libre et en période de basses eaux principalement d'espèces vivant à l'air libre dans des milieux humides.

Les chenaux, les ruisseaux et les sources. L'eau est courante. Les particules détritiques et biologiques, selon leur taille peuvent être transportées avant de se déposer. Les espèces qui s'y développent sont adaptées au courant et à une bonne oxygénation. Une fois déposés, les sédiments peuvent subir un mixage important ou être érodés sous l'effet du courant. Les ruisseaux sont généralement étroits et plus ou moins envahis par une végétation herbacée. L'eau n'est pas directement

exposée à l'ensoleillement et peut donc avoir des températures plus faibles que dans les zones d'eau libre exposées au soleil.

La rivière Sanaga. Les sédiments superficiels peuvent être très érodés ou mixés en raison du courant qui peut être très fort en saison des pluies. Notre étude a été limitée ici aux diatomées fixées sur des galets.

Les prairies flottantes. Bien représentées à la périphérie des lacs, elles sont composées d'*Echinochloa pyramidalis* (Poaceae). Ces prairies flottantes peuvent s'élever ou s'abaisser en fonction des variations saisonnières du plan d'eau. Leur plus grande extension s'observe à l'Est de la partie centrale du lac Ossa.

Les trous d'eau. On les rencontre en saison sèche dans les zones périodiquement inondées. L'eau est stagnante et très peu profonde. L'étendue est réduite à quelques centimètres carrés.

Les sous-bois forestiers. Le sous-bois en milieu forestier tropical est caractérisé par une forte humidité atmosphérique. Il nous a paru intéressant d'échantillonner les horizons superficiels de sol afin de savoir s'ils contiennent ou non des diatomées adaptées à ce type de milieu.

D'autres microhabitats ont été visités et échantillonnés, ils comprennent : les cascades, les rochers, et les macrophytes immergés (*Nymphaea sp.*, *Dyssotis sp.* etc.).

1.2.2. Mesure des paramètres physico-chimiques.

La profondeur du lac en chaque point de prélèvement (exprimée en cm) a été mesurée dans les milieux peu profonds directement à l'aide d'un double décimètre. Dans les milieux profonds, elle a été mesurée à l'aide d'un fil gradué muni d'une masse qui permet d'entraîner l'extrémité du fil vers le fond.

Le pH, la turbidité exprimée en unité NTU, l'oxygène dissous (mg l^{-1}), la température ($^{\circ}\text{C}$) et la conductivité (μScm^{-1}) ont été mesurés à l'aide d'une sonde multiparamètre (contrôleur de qualité d'eau) de marque U-10 HORIBA. La valeur du paramètre mesuré est lue directement sur l'écran de la sonde.

Les échantillons d'eaux prélevés ont été décantés sur le terrain et ensuite filtrés au laboratoire. Les analyses chimiques ont été effectuées à l'unité de Géochimie des sols et des solutions du Laboratoire des Formations Superficielles au Centre ORSTOM de Bondy. L'oxyde de silicium (SiO_2) ainsi que les cations Ca^{2+} et Mg^{2+} ont

été dosés par spectrométrie d'émission de plasma à couplage inductif (ICP-AES) (marque Varian modèle Liberty 200), K^+ et Na^+ par spectrométrie d'absorption atomique (AAS) (marque Varian modèle AA10), limites de détection $\pm 0,1$ ppm ($\mu\text{g/g}$). Les anions Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} ont été dosés par chromatographie ionique (marque Dionex modèle 2010i). L'anion HCO_3^- est mesuré par titration potentiométrique avec H_2SO_4 à 0,1N. Le pH est mesuré sur un pH-mètre de marque Orion et la conductivité sur un conductimètre Tacussel.

I.2.3. Profondeur

Quelques mesures sont disponibles sur l'altitude du niveau lacustre entre Mai 1992 et Août 1993. La différence d'altitude («marnage») entre les plus hautes eaux (moyenne des mois de Septembre et Octobre) et les plus basses eaux (moyenne des mois de Janvier, Février, Mars, et Avril) est de 452 cm. Les précipitations mesurées à la station de Dizangué montrent une assez bonne corrélation (figure I.10, d'après Wirrmann, communication orale).

La majorité des mesures de profondeur a été effectuée à la faveur des différentes missions sur le terrain à des dates différentes entre les mois de Décembre et Avril c'est-à-dire durant les périodes de bas niveaux lacustres (saison sèche).

L'étude des diatomées actuelles doit prendre en compte non seulement les profondeurs en saison sèche mais aussi les profondeurs en saison humide. C'est pourquoi nous utiliserons comme donnée de référence la profondeur moyenne annuelle. Celle-ci a été calculée en utilisant les mesures de l'altitude du plan d'eau qui ont été faites par D. Wirrmann.

Exemple : à l'échantillon FOW1 dont la profondeur mesurée est de 150 cm en Avril 1993 (basses eaux), nous avons affecté une profondeur en hautes eaux de 602 cm et une moyenne annuelle de 376 cm.

Exemple : pour l'échantillon FOW3 prélevé en saison intermédiaire au mois de Mai 1993, nous avons estimé d'après les données de Wirrmann (différence entre l'altitude du plan d'eau en Mai et l'altitude moyenne en Janvier, Février, Mars et Avril) que la profondeur en basses eaux est de 154,5 cm. En nous appuyant sur l'altitude moyenne du plan d'eau en Septembre et Octobre, nous avons estimé que la profondeur en hautes eaux est de 606,5 cm. Nous affectons à l'échantillon une profondeur moyenne annuelle de 381 cm.

Les valeurs calculées de la profondeur moyenne annuelle ont été regroupées en cinq classes de profondeurs : 180-241 cm (classe I), 242-288 cm (classe II), 289-355 cm (classe III), 356-373 (classe IV), 374-411 cm (classe V) (figure I.11). Nous

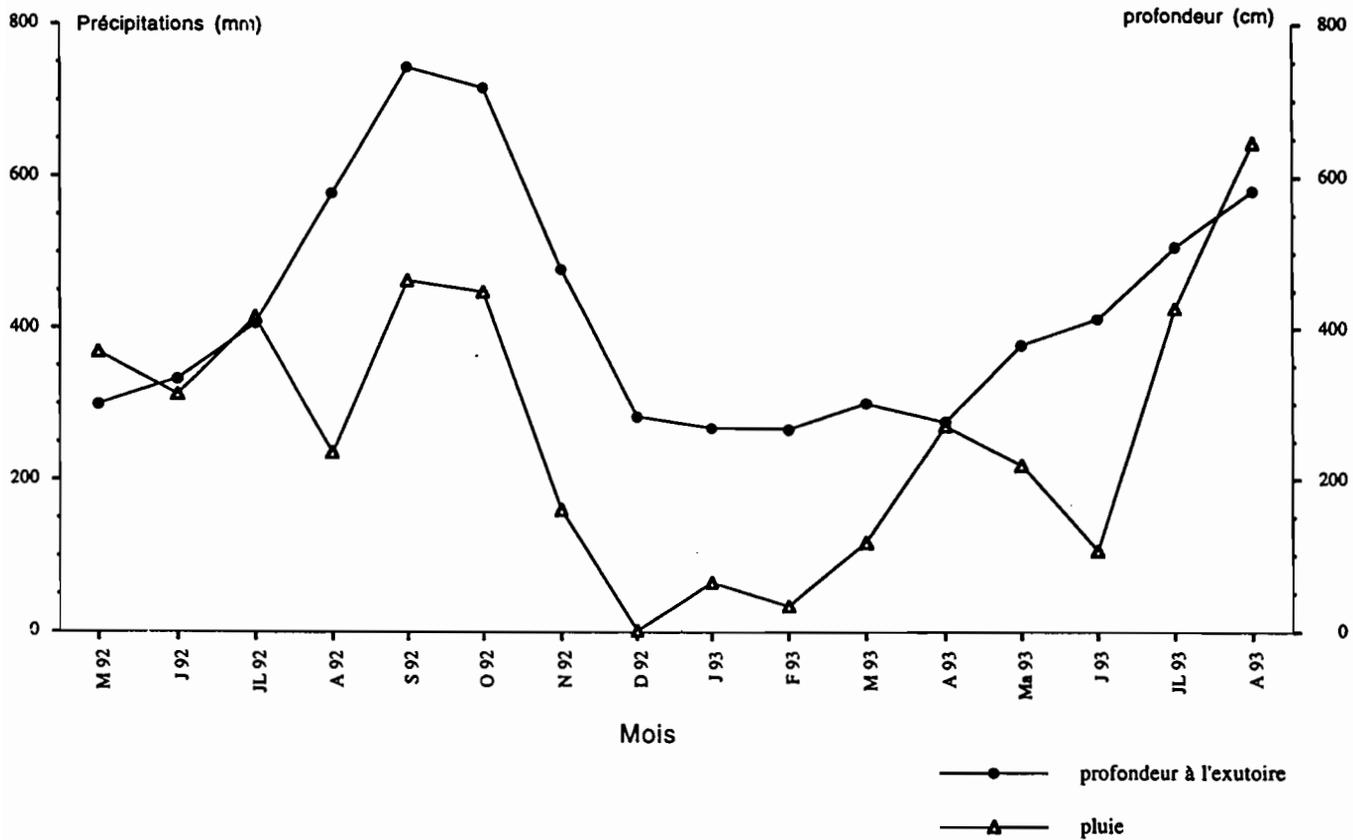


Figure I.10. Comparaison entre les précipitations moyennes mensuelles à Dizangué entre Mai 1992 et Août 1993 et la profondeur mesurée dans l'exutoire (Wirrmann, communication orale)

verrons au chapitre V que les bornes entre ces différentes classes ont été choisies de manière à ce que le nombre d'échantillons affecté à chacune des classes soit approximativement le même.

En raison de la morphologie des lacs (ceux-ci sont limités par des pentes abruptes), les faibles profondeurs moyennes (classe I et II) ont une extension très limitée. Les plus fortes profondeurs (classe V) s'observent au Sud-Est de l'île qui se situe dans la partie centrale du lac Ossa. Les profondeurs moyennes (classes III et IV) caractérisent la plus grande partie du lac Ossa et des lacs voisins.

1.2.4. pH

Les mesures de pH concernent en majorité des périodes de basses eaux. Elles permettent de distinguer :

- Les eaux du lac Mévia (à l'exception de l'extrême Nord), de la bordure Est et Sud-Sud-Est du lac Ossa et les eaux de la Sanaga caractérisées par des pH alcalins (> 8).

- Les eaux de la partie nord du lac Ossa, des lacs Mwembé, Nsipés, Iléka et Mboli caractérisées par des pH acides. Les valeurs les plus faibles (< 5) sont observées à l'extrême Nord du lac Ossa au débouché des ruisseaux. Les eaux de l'extrême Nord du lac Mévia sont un peu moins acides (pH compris entre 5,86 et 6,91) probablement parce qu'elles ont traversé les fonds marécageux avant de déboucher dans le lac.

- Les eaux de la partie centrale du lac Ossa faiblement alcalines (pH compris entre 7 et 7,6) à l'exception de quelques points isolés où le pH est un peu inférieur à 7.

1.2.5. Chimie des eaux

L'annexe I présente 74 analyses physico-chimiques qui ont été réalisées sur des stations de prélèvement des diatomées. La date de l'échantillon est mentionnée. D'autres analyses d'eaux sont disponibles (D. Wirrmann, inédit) mais nous ne disposons pas de prélèvements en période des plus hautes eaux.

Les mesures des concentrations en ions majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , HCO_3^- , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}) et de silice (SiO_2) exprimées en mg l^{-1} montrent que les eaux sont très peu minéralisées (tableau I.b). La TDS (*total dissolved salt*) varie entre 6,178 et

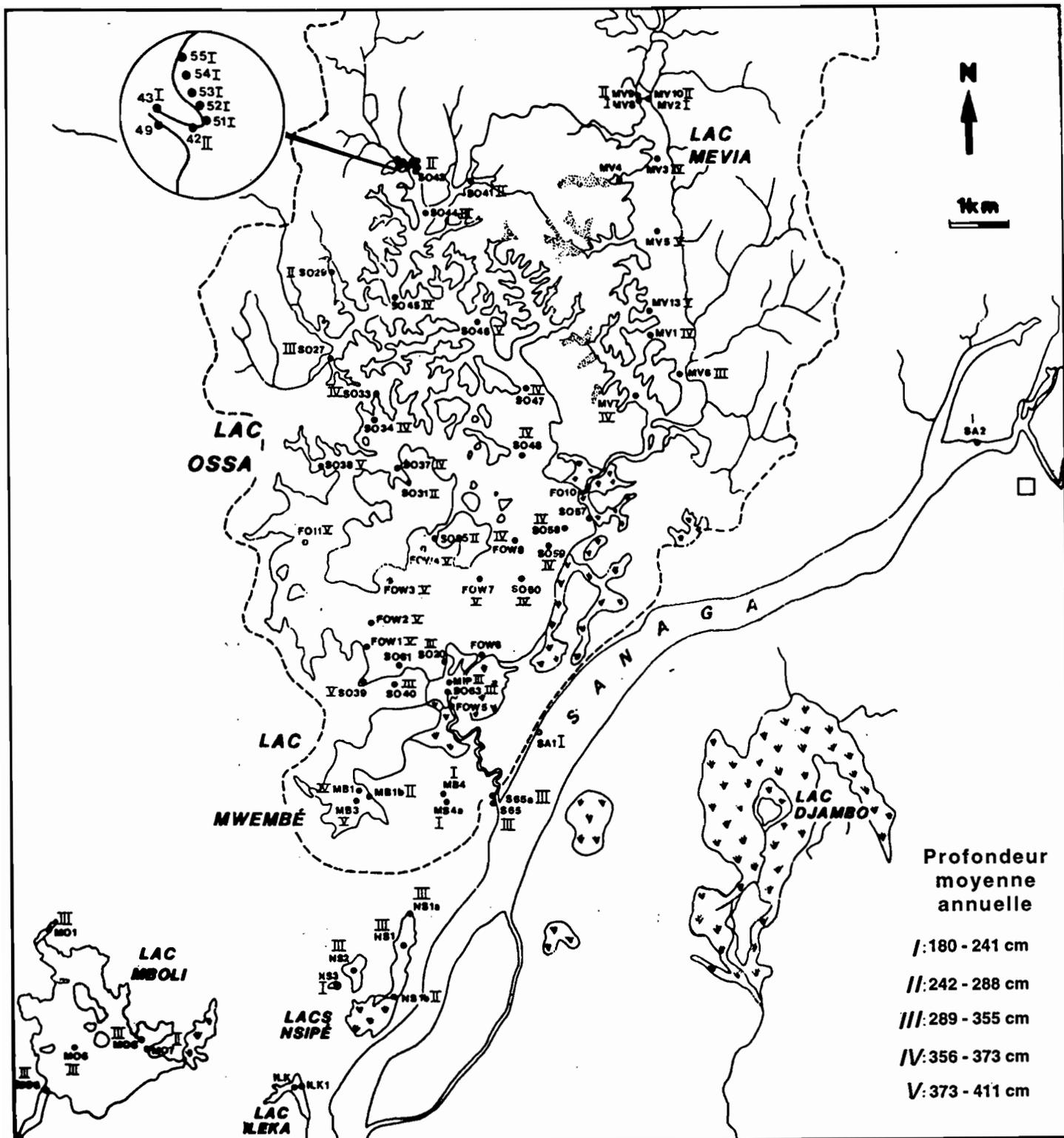


Figure I.11. Profondeur moyenne annuelle dans le lac Ossa et les lacs voisins, de la zone la moins profonde à la zone la plus profonde : Zone I (180-241 cm), II (242-288 cm), III (289-355 cm), IV (356-373 cm), V (374-411 cm).

36,042 mg^l⁻¹, les eaux correspondent donc aux eaux douces (TDS < 500 mg^l⁻¹) d'après la classification de Gasse (1987). On observe une forte corrélation ($R^2=0,96$) entre les concentrations (meq^l⁻¹) en cations et en anions (figure I.12, en haut), le rapport cations/anions est donc toujours égal ou proche de 1.

La figure I.12 (en bas) montre une faible corrélation ($R^2 = 0,54$) entre la TDS et la conductivité. Cela est dû à 6 échantillons qui montrent des conductivités anormalement élevées par rapport aux TDS : ces échantillons, FOW5, SO63, FOW6 situés dans le chenal reliant le lac Ossa à la Sanaga, MIP et SO40 dans les plaines d'inondation et FOW1, FOW2 près du débouché du chenal sont des zones où le brassage est important. Ces fortes conductivités pourraient donc être expliquées par la présence dans les eaux de particules électriques (telles que les ions OH⁻ des argiles) qui n'ont pas été mis en évidence par les mesures des ions majeurs.

Ions mesurés	Concentrations minimales (mg ^l ⁻¹)	concentrations maximales (mg ^l ⁻¹)	Concentrations moyennes (mg ^l ⁻¹)
Ca ²⁺	0,02	2,044	0,4016
Mg ²⁺	0,049	1,192	0,3056
K ⁺	0,274	2,19	0,85
Na ⁺	0,391	2,3	1,51
HCO ₃ ⁻	0	18,306	4,634
Cl ⁻	0,355	1,631	0,896
NO ₃ ⁻	0	5,767	0,586
SO ₄ ²⁻	0	3,938	0,561
SiO ₂	0,576	20,28	5,38
TDS	6,178	36,042	15,136

Tableau I.b Concentrations minimales, maximales et moyennes des ions et salinité (TDS) des ions et salinité (en mg^l⁻¹)

NO₃⁻ Les teneurs en nitrates sont nulles dans le Nord du lac Ossa (annexe II) dans le lac Mévia (à l'exception de deux échantillons), dans les lacs Mboli et Nsipés. Ces milieux sont proches des arrivées d'eau en provenance du ruissellement dans le paysage forestier. Les nitrates sont présents (0,1-5,4) dans tous les autres milieux, tels que les grandes surfaces d'eau libre ou les zones périodiquement inondées du lac Ossa où la turbidité est souvent assez élevée. Il est donc probable qu'ils sont issus d'une remise en solution à partir des sédiments du fond des lacs. Néanmoins, les plantations industrielles qui se situent au Sud-Ouest du lac pourraient aussi être à l'origine d'une pollution en nitrates.

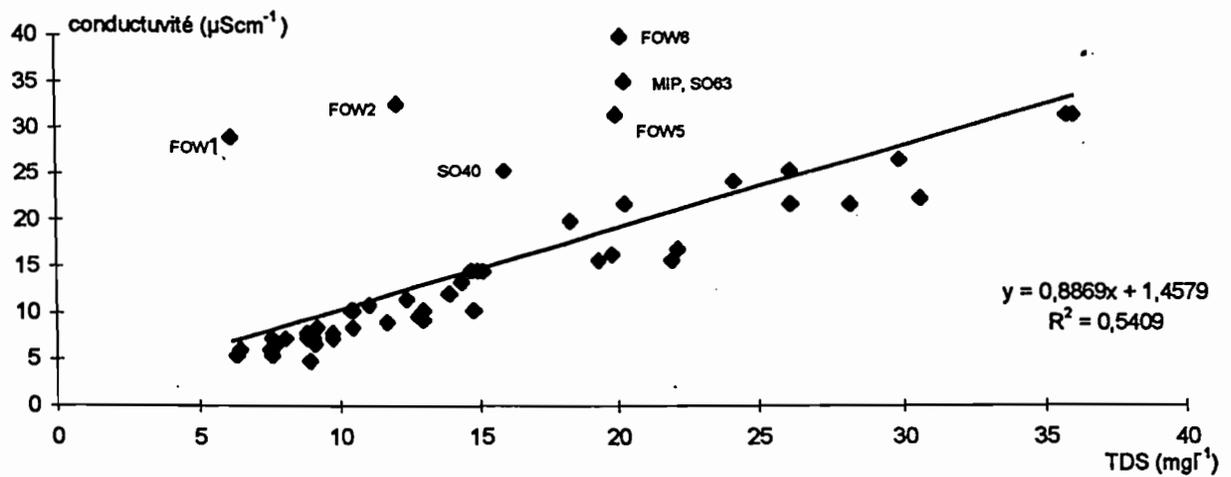
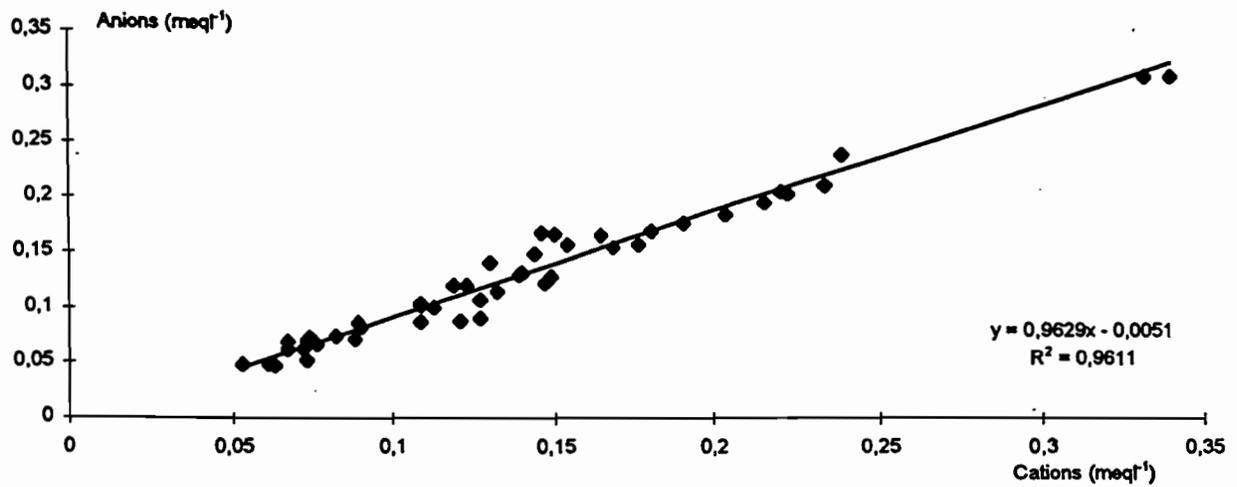


Figure I.12. Lac Ossa et lacs voisins. Composition ionique des eaux, en haut, relation anions/cations; en bas, relation conductivité/ TDS (*total dissolved salts*)

HCO_3^- Les plus fortes teneurs sont observées dans la Sanaga (18,3 $mg\ l^{-1}$, Mars 95) et dans le lac Mwembé (11,3 $mg\ l^{-1}$, Décembre 94). Les plus faibles valeurs concernent le lac Mboli (1,5 à 2,4 $mg\ l^{-1}$, Décembre 94 et Mars 95), le lac Iléka (1,2 $mg\ l^{-1}$, Mars 95), l'extrême Nord du lac Ossa (1 à 1,8 $mg\ l^{-1}$, Mars 1995). Les autres secteurs sont caractérisés par des teneurs moyennes qui fluctuent entre 3 et 10,7 $mg\ l^{-1}$.

Cl^- Les teneurs sont uniformément faibles et toujours inférieures à 1 $mg\ l^{-1}$.

SO_4^- Les teneurs sont faibles (moins de 1 $mg\ l^{-1}$) parfois nulles (Sanaga, Mars 95). Quelques secteurs présentent néanmoins des teneurs un peu plus élevées : 1,3 à 1,6 $mg\ l^{-1}$ (Mai et Décembre 94, Janvier 95) dans les zones périodiquement inondables au Sud du lac Ossa, 2,4 à 3,9 $mg\ l^{-1}$ (Mars 95) dans quelques échantillons à l'extrême Nord du lac Mévia.

K^+ Les teneurs sont proches de 1 $mg\ l^{-1}$ dans la majorité des échantillons (lac Mévia et zone centrale du lac Ossa). Elles atteignent 1,6 $mg\ l^{-1}$ dans la Sanaga. Les valeurs les plus faibles (0,2 à 0,5 $mg\ l^{-1}$) caractérisent l'extrême Nord du lac Ossa, le lac Mboli et le lac Iléka. Quelques échantillons ont des teneurs nettement supérieures à 1 $mg\ l^{-1}$: 1,6 (Sanaga), 1,5 -2 (Mwembé).

Mg^{++} Les teneurs sont uniformément faibles (moins de 0,2 $mg\ l^{-1}$) sauf dans la Sanaga où elles atteignent 1,1 $mg\ l^{-1}$.

Ca^{++} Les teneurs passent de valeurs très faibles ($< 0,1\ mg\ l^{-1}$) dans l'extrême Nord du lac Ossa à des valeurs de l'ordre de 0,3 à 0,6 $mg\ l^{-1}$ dans le Sud. Elles atteignent très ponctuellement 1,1 $mg\ l^{-1}$ dans le Nord du lac Mévia. Elles s'élèvent à 2 $mg\ l^{-1}$ dans la Sanaga. Elles sont faibles dans le lac Mboli et Iléka ($< 0,2$).

Na^+ Les teneurs passent de 1 à l'extrême Nord du lac Ossa à 1,9 dans le Sud et 2 dans le lac Mwembé. Elles sont de 2,3 dans la Sanaga.

SiO_2 Les teneurs les plus élevées (> 10) sont rencontrées dans le lac Mwembé et dans la Sanaga.

Afin d'individualiser les grandes masses d'eaux, une analyse factorielle des correspondances (le détail de la méthodologie de l'AFC sera donné au paragraphe II.6) a été effectuée sur les échantillons d'eaux définis par leur composition physico-chimique.

L'axe 1 du plan 1-2 (figure I.13) individualise du côté positif le *groupe a* composé par les échantillons des zones périodiquement inondables du Sud du lac Ossa, et

-0,3754

2 (52,53%)

1,5662
0,94

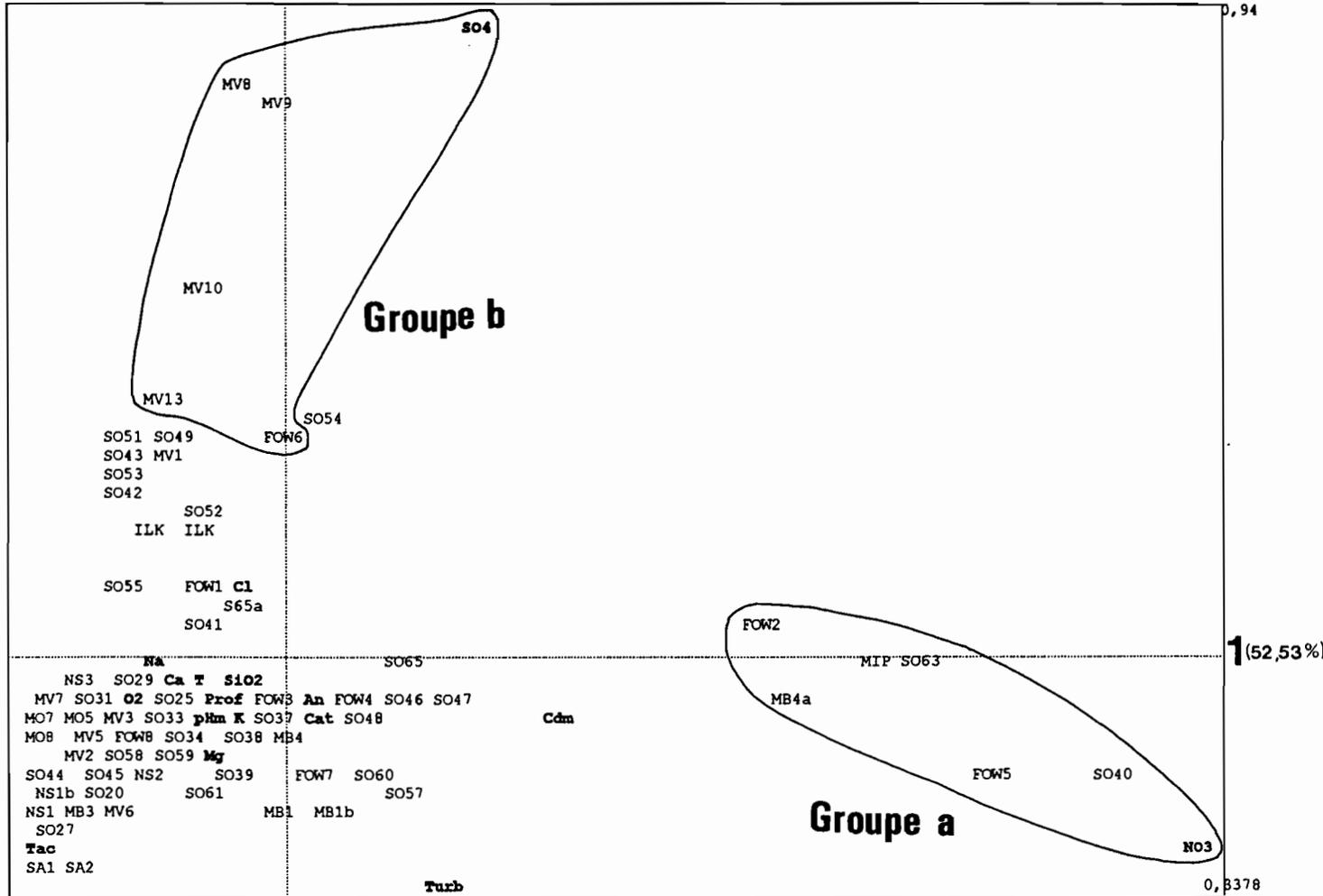


Figure I.13. Lac Ossa et lacs voisins. AFC, plan 1/2. Ordination des points de prélèvement des sédiments superficiels, définis par la composition ionique des eaux.

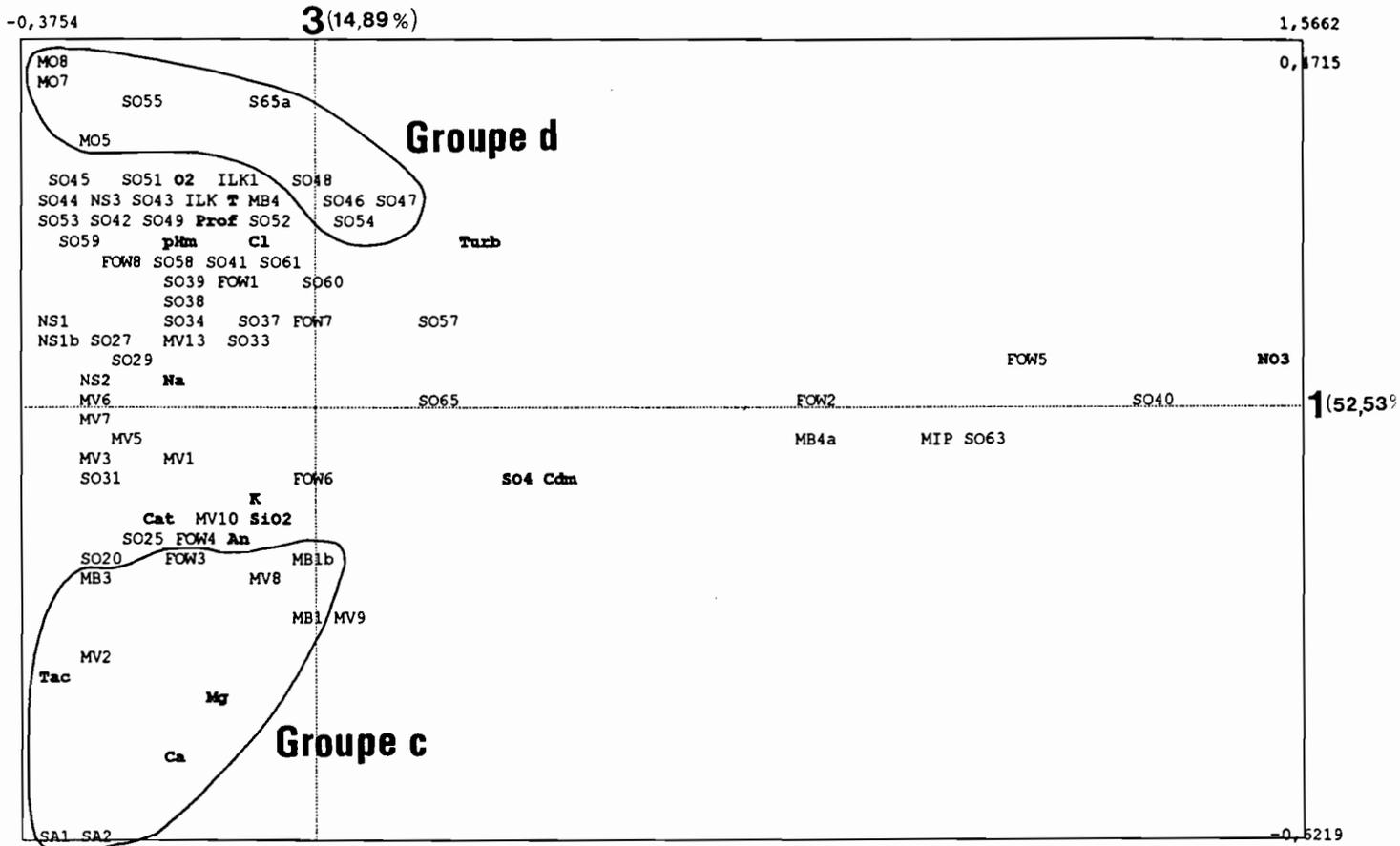


Figure I.14 Lac Ossa et lacs voisins. AFC, plan 1/3. Ordination des points de prélèvement des sédiments superficiels définis par la composition ionique des eaux.

deux échantillons de la partie centrale du lac Ossa. Ces échantillons sont caractérisés par des nitrates.

L'axe 2 individualise du côté positif le *groupe b* composé par les échantillons MV8, MV9, MV10, MV13 du lac Mévia et FOW6 du lac Ossa caractérisés par les sulfates.

L'axe 3 du plan 1-3 (figure I.14) individualise du côté négatif le *groupe c* composé par les échantillons de la Sanaga, les échantillons du lac Mwembé, un échantillon de l'extrême nord du lac Mévia et un échantillon de la partie centrale du lac Ossa. Ce groupe est caractérisé par le calcium, le magnésium et les bicarbonates.

Le *groupe c* s'oppose le long de l'axe au *groupe d* composé par les échantillons du lac Mboli, un échantillon de l'extrême nord du lac Ossa, les échantillons situés au Nord-Est de la partie centrale du lac Ossa et un échantillon situé sur la bordure du chenal reliant le lac Ossa à la Sanaga au débouché d'un petit ruisseau. Les éléments chimiques associés à ces échantillons sont l'O₂ dissous et le chlore. Par contre, les échantillons du *groupe d* ne montrent pas des teneurs particulièrement élevées de ces éléments chimiques. Leur opposition au *groupe c* situé du côté négatif serait liée à de faibles teneurs en Ca⁺⁺ et en Mg⁺⁺.

En résumé, on peut distinguer :

- les eaux du lac Mévia, qui sont les plus sulfatées.
- les eaux de l'extrême Nord du lac Ossa et du lac Iléka qui sont les plus faiblement minéralisées.
- les eaux des zones périodiquement inondables au Sud du lac Ossa, et très ponctuellement des eaux du lac Ossa toutes caractérisées par des fortes valeurs en nitrates.
- les eaux des autres secteurs (la plus grande partie du lac Ossa, le lac Mboli, les lacs Nsipés et le lac Mwembé) sont moins bien caractérisées.
- Les eaux de la Sanaga, du lac Mwembé et très ponctuellement du Nord du lac Mévia sont caractérisées par HCO₃⁻ Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺
- Les eaux du lac Mboli, de l'extrême nord du lac Ossa, de la zone nord-est de la partie centrale du lac Ossa et de la bordure du chenal reliant le lac Ossa à la Sanaga au débouché d'un petit ruisseau, sont caractérisées par de faibles teneurs en Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺.

II. DIATOMÉES SUB-ACTUELLES DES SEDIMENTS SUPERFICIELS

II.1. Echantillonnages, Préparations et Etudes au laboratoire

II.1.1. Prélèvements sur le terrain

Dans les zones profondes, supérieures à 1 m d'eau, quelques prélèvements ont été réalisés avec un carottier à gravité construit au centre ORSTOM de Bondy par J. Feltens et D. Wirrmann. Ce carottier a permis d'obtenir 10 carottes de 5 à 10 cm de profondeur dans la partie sud-est du lac. Le premier centimètre de chacune de ces carottes a été utilisé comme échantillon représentatif de la flore sub-actuelle. Les autres prélèvements dans les zones profondes ont été obtenus en enfonçant dans le sédiment une masse contenant une petite logette, attachée à un fil de 10 m environ de long. Au contact du sédiment, la masse s'enfonce dans la vase par pesanteur et les premiers centimètres sont piégés dans la logette.

Dans les zones peu profondes, accessibles à pied, les différents supports (rochers, sols nus, troncs d'arbres morts etc.) ont été raclés à la cuillère, au couteau ou au scalpel. Les plantes aquatiques ont été exprimées pour récupérer les diatomées fixées sur les tiges ou les racines immergées. Dans certains cas, les macrophytes ont été prélevés et lavés intensivement en laboratoire.

Au total 112 échantillons sub-actuels ont été prélevés (figure.II.1) dont 106 dans les milieux aquatiques et 6 dans les horizons superficiels de sol sous forêt. L'étude des diatomées a été faite sur 74 échantillons des milieux aquatiques et 6 échantillons de sols. (tableau II.a).

Les prélèvements ont été effectués par D. Wirrmann en Avril 1993, Mai 1994, Juillet 1994 et Décembre 1994 (Rapport Ecofit, Wirrmann *et al.*, 1994) et par D. Wirrmann, S. Servant-Vildary et F. Nguetsop en Mars 1995 (Rapport ECOFIT, Wirrmann *et al.*, 1995).

- Avril 1993, l'échantillon SO6, et les petites carottes FOW1 et FOW2 (partie centrale du lac Ossa).

- Mai 1994 les petites carottes FOW3 à FO11 (partie centrale du lac Ossa).

- Juillet 1994, les échantillons SO21, SO22 (lac Mwembé), les échantillons SO20, SO24 et SO25.

- Décembre 1994 : 16 dans la partie nord-ouest du lac Ossa : 16 échantillons (SO27 à 39) ; 3 échantillons dans la plaine d'inondation sud (MIP/T, MIP/T2 et SO40) ; 3 échantillons dans le Mwembé (MB 1, MB1b et MB3) ; 9 échantillons dans les lacs Nsipé (NS1 à NS3) ; 6 échantillons dans le Mboli (MO1 à MO6).

-Janvier 1995 : 7 échantillons dans le Mévia (MV1 à 7)

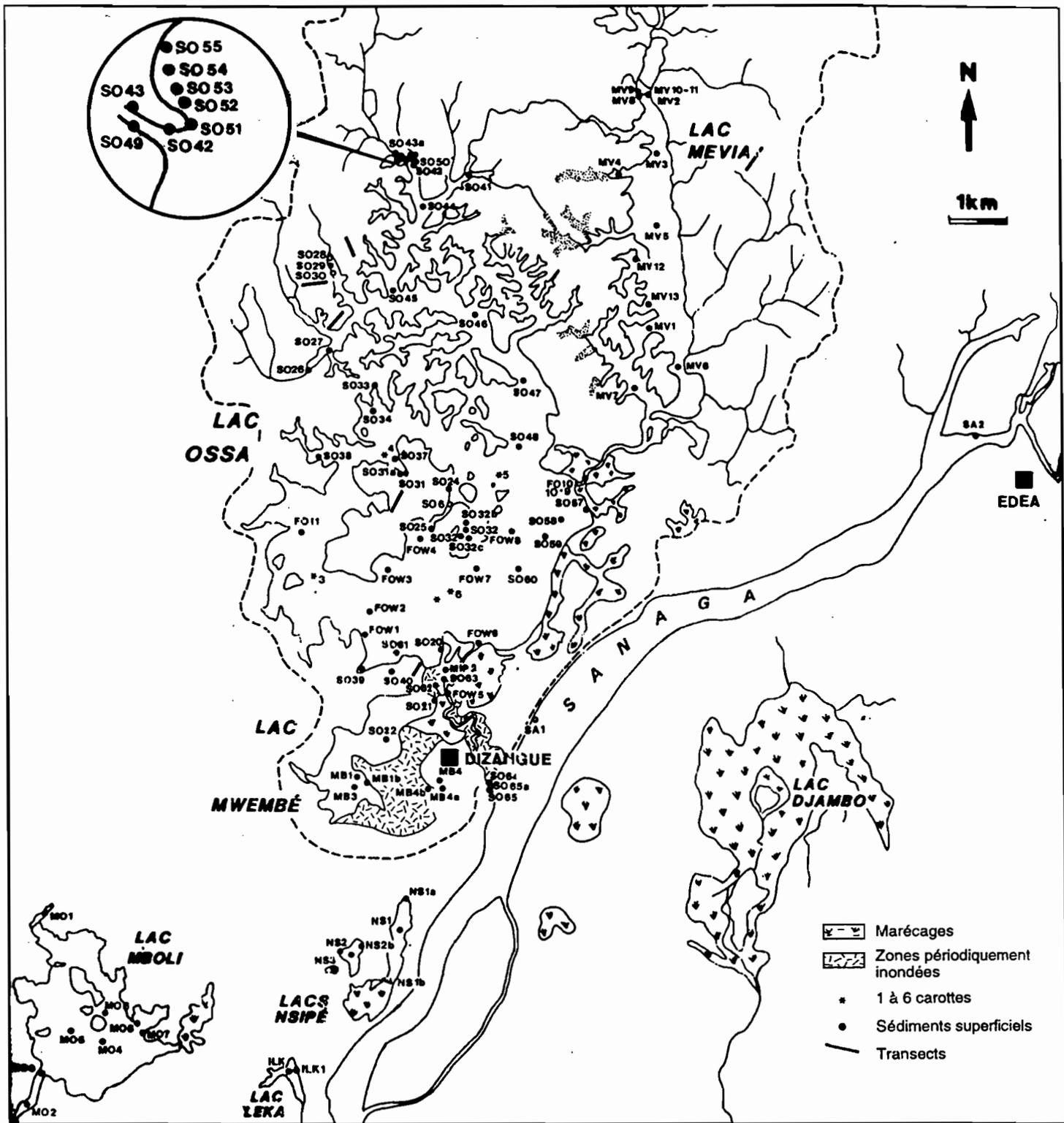


Figure II.1. Localisation des points de prélèvement de sédiments superficiels dans les lacs Ossa, Mwembé, Mboli, Iлека, Nsipé et sur les bordures de la Sanaga (Wirrmann, 1994)

- Mars 1995, 3 échantillons dans le Mwembé (MB4, MB4a, MB4b); 3 échantillons dans le Mboli (MO7 à MO9); 6 échantillons dans le Mévia (MV8 à MV13), 1 échantillon dans le lac Iléka (ILK1), 2 échantillons dans la Sanaga (SA1 et SA2); 19 échantillons dans l'extrême Nord du lac Ossa (SO49 à SO65b).

Les sédiments (Annexe VI) sont essentiellement argileux, argilo-organiques, argilo-sableux, sablo-argileux, sablo-organiques ou organiques. Les argiles sont de couleur noire, rarement grise. Certains échantillons sont colorés en brun par les oxydes de fer.

Milieus de prélèvement	Nombre d'échantillons prélevés	Nombre d'échantillons étudiés
Lac Ossa	55	38
ZPI ^(*) (entre Ossa et Mwembé)	4	2
Lac Mwembé	7	5
Lac Mévia	13	11
Chenal	6	4
Sanaga	3	2
Lacs Nsipés	6	5
Lac Iléka	2	2
Lac Mboli	10	5
Litière	6	6
Total	112	80

(*) zone périodiquement inondée

Tableau II.a : Récapitulatif du nombre des échantillons prélevés et étudiés dans les différents sites d'Ossa.

II.1.2. Méthodes de préparation pour étude au microscope

L'étude des diatomées exige d'abord un traitement chimique du sédiment afin d'éliminer les fractions non siliceuses. Le traitement a été fait sur 500 mg de sédiment sec environ. Ce poids pouvant atteindre 2000 mg dans le cas des sédiments pauvres en diatomées.

Plusieurs étapes sont nécessaires pour le traitement chimique des sédiments :

.L'eau oxygénée (3 volumes d'eau minéralisée pour 1 volume d'eau oxygénée à 35 %) a été utilisée pour éliminer la fraction organique et amorcer la défloculation des argiles. La réaction se passe à chaud pendant 1h.30 mn à 2h.

.L'acide chlorhydrique diluée au ¼ (goutte à goutte jusqu'à décoloration de la solution) à chaud a permis d'éliminer les oligo-éléments.

.L'hexametaphosphate de sodium dilué à 5% a été utilisé pour achever la défloculation des argiles quand elle n'était pas complète après l'attaque à l'eau oxygénée.

Chaque étape du traitement chimique est suivie par des lavages successifs (3 au minimum) afin d'éliminer le reste du solvant et les substances mises en suspension.

Au cours de chaque lavage, le b cher contenant le mélange issu du traitement chimique est rempli d'eau déminéralisée. On laisse ensuite reposer la solution pendant 2 à 3h pour permettre aux diatomées de s dimer. Le surnageant composé du reste de solvant et des matières de très fines particules est ensuite éliminé par siphonnage. Le culot résiduel constitué de diatomées et d'éléments figurés (grains de quartz, phytolithes, spicules d'éponges) sera utilisé pour l'étude microscopique.

II.1.3. Etude au microscope

- Evaluation de la teneur en diatomées du sédiment par comptage du nombre des valves conservées

Le comptage des frustules a été réalisé à l'aide d'un microscope inversé ZEISS 47 12 02. Le culot résiduel du traitement chimique est dilué dans un b cher en fonction de la richesse du sédiment en diatomées. Au cours de cette étude, les dilutions ont été de l'ordre de 400   600 ml. Après homogénéisation, 10 ml de la solution diluée sont déposés dans une coupelle de décantation. Il est très important d'agiter la solution avant le prélèvement car le remplissage de la cuve constitue la principale source d'erreur de la méthode (Charpy-Roubaud et Sournia, 1990). La durée de la sédimentation a été fixée à 5-10 minutes. On compte ensuite le nombre de diatomées déposées sur six champs pris au hasard. L'opération est répétée dans trois coupelles différentes et une moyenne par champ est alors calculée. Celle-ci permet d'évaluer la quantité totale de diatomées dans la coupelle en la multipliant par le nombre total de champs de la coupelle (23 237 pour une coupelle de 10 ml à l'objectif 40). La quantité de diatomées contenue dans la solution diluée du b cher qui correspond aussi à la quantité de diatomées contenue dans le sédiment traité est obtenue par une règle de trois connaissant la dilution et le volume de la coupelle. Cette quantité est enfin ramenée à 1 gramme de sédiment sec connaissant le poids de sédiment traité au départ.

L'avantage de cette méthode est qu'elle permet d'utiliser un volume plus grand (30ml) de solution (environ 300 fois plus) que celui qui est prélevé pour le montage entre lame et lamelle. Un inconvénient mineur réside dans le fait que quelques

individus peuvent échapper à la sédimentation et demeurer accolés aux parois latérales de la coupelle.

- Préparation des lames

Le même culot résiduel utilisé pour l'évaluation quantitative du nombre de frustules conservés dans le sédiment est utilisé pour la préparation des lames en vue de l'analyse qualitative et quantitative des taxons avec un microscope photonique. Ce culot est dilué dans 200 à 300 ml d'eau, dont on prélève 0,2 ml que l'on dépose sur une lamelle couvre-objet préalablement nettoyée à l'alcool, la solution une fois séchée à l'air libre est déposée sur la lame porte objet sur laquelle on a déposé du Naphrax utilisé comme milieu de montage. Les premières observations sont faites au grossissement 400, pour apprécier la dispersion des diatomées sur la lame. Trois lames sont préparées par échantillon.

- Inventaire et évaluation de l'abondance des taxons

Les déterminations spécifiques ont été faites à l'aide d'un microscope de type OLYMPUS BHT au grossissement 1000. Les ouvrages de détermination les plus couramment utilisés sont ceux de Cleve-Euler (1951-1955), Gasse (1980 ; 1986), Germain (1981), Hustedt (1930 ; 1927-1966), Krammer (1992), Krammer et Lange-Bertalot (1986 ; 1988 ; 1991), Lange-Bertalot (1993), Mölder et Tynni (1967, 1968-1973), Patrick et Reimer (1966 ; 1975), Simonsen (1987), Van Heurck (1880-1885).

Pour évaluer le pourcentage de chaque espèce par rapport à l'ensemble de la flore contenue dans l'échantillon, on compte tous les frustules qui se présentent dans les champs du microscope. L'unité de comptage est la valve (moitié d'un individu). Les fragments dont la taille est supérieure ou égale au $\frac{3}{4}$ de la valve (cas des *Eunotia* et des *Fragilaria*) ou qui présentent une aire centrale complète (cas des *Pinnularia*) sont comptés comme une valve entière. Les autres fragments n'ont pas été pris en compte dans cette évaluation. Leur présence est signalée s'ils sont très abondants.

Les comptages ont été effectués avec un objectif à immersion (x100) suivant des transects verticaux sur la lame. Le total des individus comptés est en moyenne de 600-1000 par échantillon. Au delà de ce nombre, le pourcentage d'un taxon obtenu à partir de son abondance ne varie plus de façon significative (Battarbee, 1986). Néanmoins, ce nombre peut ne pas être atteint dans le cas des échantillons pauvres en diatomées et généralement peu diversifiés. Dans les échantillons où une seule espèce domine, nous avons compté jusqu'à plus de 1500 individus dans le but de faire ressortir les espèces sous dominantes. Les pourcentages de chaque taxon sont obtenus par rapport à la somme totale de tous les individus.

II.1.4. Les assemblages des sédiments superficiels : une synthèse de la production de diatomées sur les dernières années

Les assemblages de diatomées conservés dans le sédiment superficiel sont considérés comme représentatifs de la flore "actuelle". En réalité, les assemblages représentent un mélange des flores qui se développent à différentes saisons pendant plusieurs années.

Les échantillons de vase superficielle prélevés au sommet des petites carottes ont une épaisseur de 1 cm. On peut admettre que cette épaisseur de sédiment représente une dizaine d'années car la vitesse de sédimentation a été estimée à 0,1 cm/an par des analyses de ^{210}Pb sur des carottes prélevées dans la partie centrale du lac Ossa (Pourchet *et al.*, 1987)

Les échantillons qui n'ont pas été prélevés avec un carottier représentent une tranche de sédiment dont l'épaisseur n'est pas précisément connue. En ce cas, ils correspondent à un nombre d'années qui pourrait être supérieur à 10 ans.

Dans les zones très peu profondes où les prélèvements ont été faits directement à la main, les échantillons concernent une tranche peu épaisse de sédiment superficiel mais il est difficile d'évaluer le temps qu'ils représentent.

Des carottes courtes prélevées dans la partie sud du lac Ossa (voir Rapport ECOFIT : Wirrmann *et al.*, 1993) ont permis de séparer de manière précise, l'eau, l'interface eau/sédiment et les sédiments superficiels. Les échantillons ont été prélevés tous les 0,5 - 1 cm jusqu'à 10 cm de profondeur pour la carotte FOW1 et 5 cm de profondeur pour la carotte FOW2. Les diatomées ont été étudiées dans ces échantillons qui ne sont espacés que de 0,5 cm, 1 cm ou quelquefois 2 cm. Cette étude a été effectuée dans le but de tester la représentativité des diatomées contenues dans les sédiments superficiels (les premiers centimètres) par rapport à la flore vivant dans l'eau (figure II. 2) dans les parties les plus profondes du lac, qui ne s'assèchent pas pendant la saison sèche. Au total 10 échantillons ont été étudiés sur la carotte FOW1 et 7 sur la carotte FOW2. Les diatomées vivantes ont été prélevées dans l'eau contenue dans le tube du carottier lors de la remontée des carottes.

La flore algale de l'eau contenue dans le tube du carottier est composée de diatomées (dont beaucoup avaient conservé leurs plastes lors de l'examen au microscope effectué à l'issue de la mission) auxquelles s'ajoutent des Chlorophycées (*Closterium* et *Micrasterias*). 24 espèces ont été trouvées dans l'eau de la carotte FOW1 (FAeau) et 20 dans l'eau de la carotte FOW2 (FBeau). Les

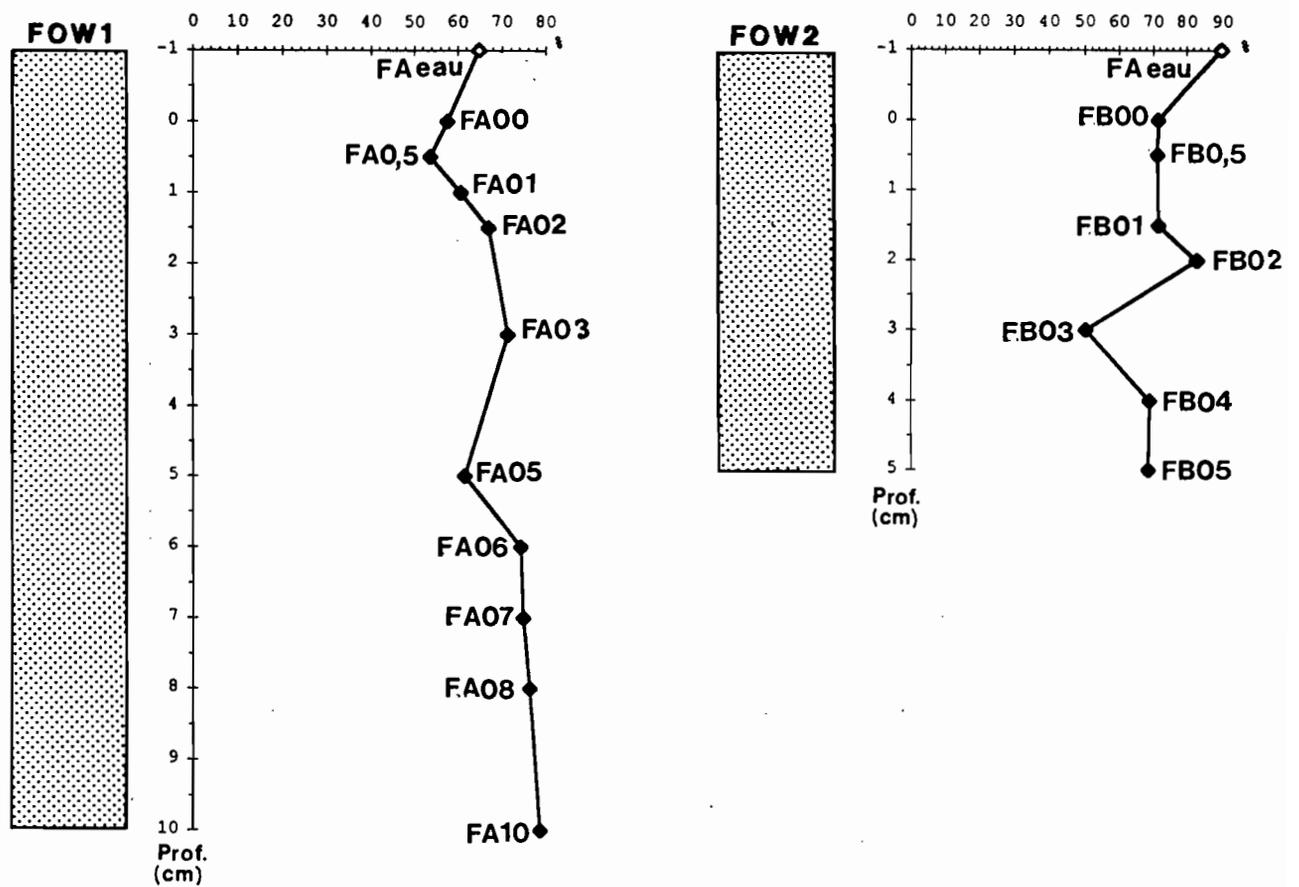


Figure II.2. Carottes FOW1 et FOW2.

Comparaison entre la flore de l'eau et la flore de l'interface eau/sédiment et des sédiments superficiels jusqu'à 10 cm de profondeur par l'analyse des variations de l'abondance (%) de l'espèce dominante *Aulacoseira muzzanensis*.

assemblages sont caractérisés par une forte dominance de l'espèce *Aulacoseira muzzanensis* (65 et 90 %).

Entre 0 et 1 cm de profondeur sur les deux carottes (FA00, FA0.5, FA01; FB00, FB0.5 et FB01) la flore de diatomées est comparable à celle de l'eau et est caractérisée par la dominance d'*A. muzzanensis* (54 à 61 % et 71,5 à 72 %).

La flore des diatomées contenue dans ces échantillons reflète donc les assemblages qui vivent dans l'eau au-dessus de leur point de prélèvement.

A partir de 1 cm de profondeur et au-delà, jusqu'à 10 cm pour la carotte FOW1 et 5 cm pour la carotte FOW2, les assemblages restent dominés par la même espèce. La courbe de variation de cette espèce en fonction de la profondeur montre une légère augmentation du pourcentage de l'espèce à partir de 2 cm sur la carotte FOW1 (figure II.2), il atteint 78,5 % dans l'échantillon à 10 cm de profondeur. Sur la carotte FOW2 (figure II.2), les pourcentages de *A. muzzanensis* restent proches de ceux observés dans les 2 premiers cm, seul l'échantillon FB03 situé à 3 cm voit le pourcentage de *A. muzzanensis* décroître à 50,5 % (le détail de la composition spécifique de ces assemblages est donné dans les annexes IV et V).

Cette étude montre que les assemblages des 5 ou 10 cm supérieurs des sédiments sont représentatifs des dominantes de la flore contenue dans la colonne d'eau au dessus du point de prélèvement.

Les faibles variations de la composition floristique sur les 5 premiers centimètres montrent que les sédiments superficiels prélevés à des points à faibles taux de sédimentation ou correspondant à plus de 1 cm de sédiment (représentant de ce fait une tranche de temps supérieure à 10 ans) sont comparables du point de vue floristique aux sédiments superficiels ayant 1 cm d'épaisseur.

II.2. Caractères généraux de la flore sub-actuelle

II.2.1. Diversité spécifique de l'ensemble des échantillons

L'étude des 74 échantillons sub-actuels montre que la flore de diatomées est très diversifiée et les frustules très bien conservés. Au total 211 espèces et variétés réparties dans 29 genres ont été inventoriées (annexe VII). La diversité spécifique varie selon les genres (figure II.3).

- Diversité élevée : *Navicula* (41 espèces), *Eunotia* (32 espèces), *Pinnularia* (29 espèces) ;

-Diversité moyenne : *Fragilaria* (15 espèces), *Achnanthes* (13 espèces), *Cymbella* (11 espèces), et *Aulacoseira* (10 espèces).

- Diversité faible : *Gomphonema* (8 espèces), *Nitzschia* (7 espèces), *Stauroneis* (7 espèces), *Surirella* (5 espèces), *Cyclotella* (5 espèces), *Cocconeis* (4 espèces), *Stephanodiscus* (3 espèces), *Neidium* (3 espèces), *Stenopterobia* (2 espèces), *Hantzschia* (2 espèces), *Frustulia* (2 espèces), *Caloneis* (2 espèces).

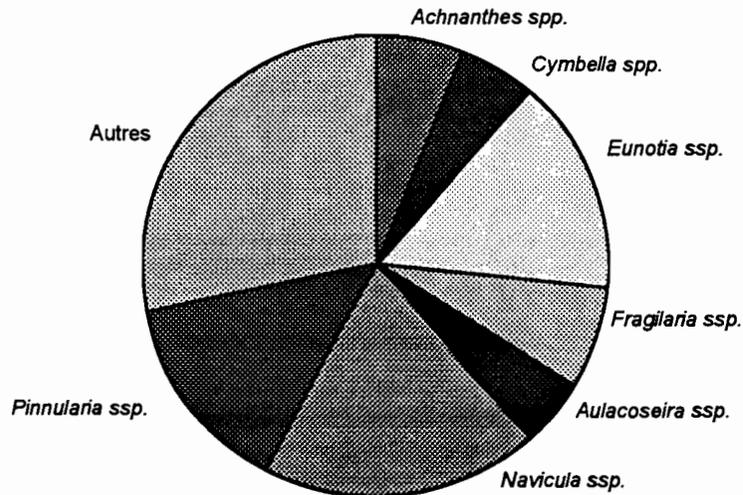


Figure II.3 Diversité spécifique des genres les plus abondants dans la flore sub-actuelle

- Genres représentés par une seule espèce (monospécifiques) : *Anomoeoneis*, *Amphora*, *Coscinodiscus*, *Diploneis*, *Denticula*, *Entomoneis*, *Epithemia*, *Gyrosigma*, *Orthoseira* et *Synedra* .

II.2.2. Diversité spécifique en fonction des échantillons

Le nombre d'espèces par échantillon varie de 14 à 64 (Annexe VI, colonne 2). Cette diversité est faible dans les lacs Mwembé et Mboli (15 à 34 espèces). Dans le cas du lac Iléka et dans l'échantillon FOW2, la flore composée d'une à deux espèces dominantes présente une diversité très faible. Les échantillons du lac Mévia, du chenal et des zones périodiquement inondées montrent une forte diversité spécifique (32 à 64 espèces). Celle-ci peut s'expliquer par une grande variété des ressources disponibles. Dans tous les cas, l'état des frustules (ceux-ci ne sont pas fragmentés) suggère que le transport, s'il a existé, a été faible.

II.2.3. Répartition des espèces en fonction des échantillons

L'évaluation de l'abondance des espèces dans chaque échantillon montre que certains genres représentés par un nombre restreint d'espèces sont cependant présents dans un nombre important d'échantillons. Une large aire de distribution

(présence dans des échantillons prélevés à des points plus ou moins éloignés) et/ou l'abondance dans un nombre restreint ou élevé d'échantillons sont importants à considérer (nous avons pris en considération seulement les espèces dont le pourcentage est supérieur à 5% de la flore totale dans l'échantillon considéré) (tableau II.b).

1) Ont été groupées en A, les espèces qui se trouvent dans plus de 20 échantillons parmi les 74 étudiés.

- *Aulacoseira muzzanensis* et *A. aff. italica* montrent les pourcentages maximum (90 % et 84 %) et moyen (33,5 % et 32 %) les plus élevés. *A. italica*, bien que présente dans un grand nombre d'échantillons (32) présente le pourcentage maximum le plus faible du groupe et un pourcentage moyen moins élevé comparé à ceux des deux espèces précédentes. Les trois autres espèces ont des pourcentages maximum voisins de 50 et des pourcentages moyens voisins de celui de *A. italica*.

2) Ont été groupées en B, les espèces qui sont présentes dans un nombre restreint d'échantillons, entre 4 et 7 parmi les 74 étudiés.

- *Achnanthes lanceolata* et *Eunotia aff. pirla* présentent un pourcentage maximum élevé (53 % et 65,5 %) et moyen (20,5 et 21,5) le plus élevé du groupe.

- *E. asterionelloïdes* et *Pinnularia viridiformis* présentent des pourcentages maximum (31,5% et 37 %) et moyen (15,5 % et 12,5 %) assez élevés pour le groupe mais qui restent nettement inférieurs à ceux des deux espèces précédentes.

Le reste des espèces du groupe a des pourcentages maximum qui varient entre 9 % et 19 % et des pourcentages moyens compris entre 6 % et 10,5 %.

3) Ont été groupées en C les espèces qui ne se rencontrent que dans 1 à 3 échantillons.

- *Achnanthes exigua* var. *elliptica*, *A. exigua* var. *exigua*, *Eunotia pectinalis* var. *ventralis*, *Eunotia praerupta*, *Navicula capitatoradiata*, *Navicula cryptotenella*, *Neidium iridis*, *Pinnularia stomatophora* présentent des pourcentages maximum et moyens élevés.

Groupes	Espèces	Nombre d'échantillons où l'espèce est présente avec un pourcentage >5	pourcentages min-max	Pourcentage moyen
Groupe A	<i>Aulacoseira muzzanensis</i>	46	5,5 - 90	33,5
	<i>Aulacoseira aff. italica</i>	21	5,5 - 84	32
	<i>Aulacoseira italica</i>	32	5,5 - 36,5	18
	<i>Eunotia incisa</i>	28	5 - 58	18
	<i>Fragilaria leptostauron var. dubia</i>	21	5 - 57	15,5
	<i>Frustulia rhomboïdes</i>	23	5 - 43	15
Groupe B	<i>Achnanthes lanceolata</i>	5	8 - 53	20,5
	<i>Eunotia aff. pirla</i>	4	5 - 65,5	21,5
	<i>Eunotia asterionelloides</i>	7	6 - 31,5	15,5
	<i>Eunotia hexaglyphis</i>	5	8 - 14,5	10,5
	<i>Eunotia paludosa var. paludosa</i>	4	5 - 15,5	10,5
	<i>Fragilaria construens var. exigua</i>	7	5 - 12	7
	<i>Navicula heimansii</i>	5	5 - 13	9
	<i>Navicula subarvensis</i>	4	5 - 19	11
	<i>Pinnularia brauniana</i>	4	5 - 9	6
	<i>Pinnularia microstauron</i>	5	5 - 13,5	8,5
	<i>Pinnularia subgibba</i>	4	6 - 13,5	8,5
	<i>Pinnularia viridiformis</i>	7	5 - 37	12,5
Groupe C	<i>Achnanthes exigua var. elliptica</i>	3	16 - 26	20
	<i>Achnanthes exigua var. exigua</i>	2	24 - 61	42,5
	<i>Anomoeoneis brachysira</i>	2	5 - 11	8
	<i>Cymbella cuspidata</i>	1	9,5 - 9,5	9,5
	<i>Cymbella gracilis</i>	1	5,5 - 5,5	5,5
	<i>Cymbella obscura</i>	1	6,5 - 6,5	6,5
	<i>Cymbella silesiaca</i>	3	5 - 5	5
	<i>Cymbella similis</i>	1	5,5 - 5,5	5,5
	<i>Eunotia bilunaris var. mucophila</i>	2	5 - 8,5	7
	<i>Eunotia pectinalis var. ventralis</i>	1	26 - 26	26
	<i>Eunotia praerupta</i>	1	17,5 - 17,5	17,5
	<i>Fragilaria construens</i>	3	5 - 7	5,5
	<i>Fragilaria densestriata</i>	1	6 - 6	6
	<i>Frustulia rhomboïdes var. crassinerva</i>	1	8 - 8	8
	<i>Gomphonema lingulatiforme</i>	2	9 - 11	10
	<i>Navicula capitoradiata</i>	2	5,5 - 63	34
	<i>Navicula concinna</i>	1	9,5 - 9,5	9,5
	<i>Navicula cryptotenella</i>	1	15,5 - 15,5	15,5
	<i>Navicula pupula var. pupula</i>	1	5,5 - 5,5	5,5
	<i>Navicula seminuloïdes var. sumatrana</i>	2	5,5 - 11	8,5
	<i>Neidium iridis</i>	2	10,5 - 20	15,5
	<i>Pinnularia divergens var. elliptica</i>	2	5 - 9	7
	<i>Pinnularia maior</i>	1	5 - 5	5
	<i>Pinnularia obscura</i>	2	5,5 - 12	9
	<i>Pinnularia stomatophora</i>	3	5,5 - 16	12
	<i>Stauroneis anceps var. gracilis</i>	1	5,5 - 5,5	5,5
	<i>Stauroneis kriegerii</i>	1	9,5 - 9,5	9,5
<i>Stenopterobia curvula</i>	1	5 - 5	5	

Tableau II.b Représentativité spatiale des espèces présentes à plus de 5%.

II.3. Affinités écologiques des espèces dominantes et distribution spatiale

II.3.1. Introduction

La distribution des diatomées dans les écosystèmes aquatiques et terrestres est le résultat des interactions entre de nombreux paramètres écologiques. En milieu continental, de nombreuses espèces sont cosmopolites, cependant certaines (e.g. espèces endémiques) sont plus sensibles aux conditions locales, géologiques, climatiques, topographiques par exemple (Patrick, 1948). Bien que beaucoup d'espèces soient ubiquistes, le mode de vie de certaines d'entre elles est plus restreint, même en milieu marin, à des conditions particulières de pH, température, salinité, composition ionique, disponibilité en nutriments, luminosité, profondeur et oxygénation. De même, aux échelles spatiales plus petites du microhabitat, les assemblages de diatomées varient en fonction du substrat (type de plantes aquatiques, support minéral ou organique etc.)

Les diatomées ont été classées en fonction de leurs affinités aux différents paramètres environnementaux. De nombreuses classifications existent à ce jour, elles concernent des paramètres écologiques divers. Les auteurs ont proposé des classifications en fonction du mode de vie, des caractères trophiques, du pH etc. Les travaux les plus synthétiques sont ceux de Kolbe (1932), Patrick (1948), Patrick et Reimer (1966), Hustedt (1937-1939, 1930, 1957), Round (1981), Lowe (1974) et Van Dam *et al.*, (1994).

Certains travaux ont montré que les diatomées peuvent être contrôlées par la teneur en éléments dissous (TDS) et par la composition ionique (Gasse, 1987 ; Servant-Vildary et Roux, 1990b) mais ces travaux concernent le plus souvent des milieux nettement plus riches en éléments dissous que ceux que nous avons étudiés. Dans le cas présent caractérisé par de très faibles salinités (< 36 mg^l⁻¹), il n'a pas été possible de relier les diatomées aux teneurs en éléments dissous. Les tableaux II.c et II.d en donnent l'illustration. Ces tableaux concernent respectivement les milieux caractérisés par les plus faibles salinités et les milieux caractérisés par les plus fortes salinités. Les espèces dominantes sont pour la plupart présentes dans les deux et cela suggère que la gamme de salinité prise en compte n'est pas suffisante pour modifier la composition spécifique des assemblages.

Echantillons	TDS(mgl ⁻¹)	Espèces dominantes (avec pourcentages observés)
FOW1	6,178	<i>Aulacoseira muzzanensis</i> (56,5)
MO5	6,319	<i>Neidium indis</i> (20) <i>Pinnularia vindiformis</i> (18) <i>Pinnularia stomatophora</i> (14)
MO7	7,749	<i>Eunotia incisa</i> (35) <i>Aulacoseira muzzanensis</i> (25,5)
MO8	6,448	<i>P. vindiformis</i> (37) <i>P. stomatophora</i> (16) <i>A. muzzanensis</i> (38)
SO42	7,573	<i>E. aff. pirla</i> (65,5) <i>Navicula subarvensis</i> (15)
SO51	7,573	<i>E. incisa</i> (44,5) <i>Navicula subarvensis</i> (19)
SO55	7,584	<i>E. incisa</i> (9,5) <i>F. rhomboïdes</i> (26) <i>E. hexaglyphis</i> (9,5)
S65a	7,509	<i>Achnanthes lanceolata</i> (15,5) <i>A. muzzanensis</i> (8)

Tableau II.c : Liste des espèces dominantes associées aux plus faibles salinités (TDS)

Echantillons	TDS(mgl ⁻¹)	Espèces dominantes (avec pourcentages observés)
MB1	29,904	<i>A. muzzanensis</i> (90)
MB1b	29,904	<i>Eunotia incisa</i> (45,5) <i>E. pectinalis ventralis</i> (26)
MB3	28,172	<i>A. muzzanensis</i> (89)
MB4a	30,646	<i>E. incisa</i> (11) <i>F. rhomboïdes</i> (32)
MV2	26,171	<i>Achnanthes exigua exigua</i> (61,5) <i>Achnanthes exigua elliptica</i> (26)
MV9	26,16	<i>E. incisa</i> (25) <i>Fragilaria leptostauron dubia</i> (8,5)
SA1	35,816	<i>Achnanthes lanceolata</i> (11,5) <i>Navicula concinna</i> (9,5) <i>Navicula cryptotenella</i> (15,5)
SA2	36,042	<i>A. lanceolata</i> (53)

Tableau II.d : Liste des espèces dominantes associées aux plus fortes salinités (TDS)

II.3.2. Diatomées considérées comme caractéristiques de la profondeur d'après la littérature

- **Terminologie**

Le mode de vie des espèces de diatomées a été précisé par de très nombreux travaux dans des milieux variés. Il est en général possible de rattacher une espèce à l'une ou l'autre des catégories suivantes :

- Les **planctoniques** ou **euplanctoniques** vivent en eau libre à la surface des lacs indépendamment de tout substrat et peuvent y accomplir complètement leur cycle de reproduction, même les stades sexués (Patrick et Reimer, 1966).

- les **tychoplanctoniques** peuvent vivre indifféremment libres dans l'eau ou fixées sur un substrat submergé (signalons par ailleurs que certaines espèces appelées méroplanctoniques passent une partie de leur cycle de reproduction sur un substrat).

- les **benthiques** sont des espèces qui vivent sur les fonds vaseux (espèces épipéliques) ou caillouteux (espèces épilithiques) sous des tranches d'eau relativement faibles. Elles caractérisent les zones où la lumière peut atteindre le fond du lac.

- les **épiphytes** vivent fixées sur des algues macroscopiques ou sur la base immergée des végétaux supérieurs.

- les **aérophiles** sont des espèces qui peuvent vivre dans des habitats plus ou moins exposés à l'air. Elles sont capables de supporter des changements importants de l'environnement tels qu'une submersion ou un assèchement temporaire et des variations brusques de température (Patrick et Reimer, 1966).

- **Distribution spatiale des planctoniques** (annexeVIII, fig. A1)

Les planctoniques sont représentées dans les sédiments superficiels par le genre *Aulacoseira*. Deux espèces sont abondantes :

- *Aulacoseira muzzanensis* (= *Aulacoseira granulata* var. *muzzanensis*). Elle est planctonique selon Hustedt (1930), Cholnoky (1968), Schoeman (1973) et Germain (1981). Gasse (1980) la considère comme espèce euplanctonique mais pouvant vivre aussi dans des eaux peu profondes et turbides. Dans les sédiments sub-actuels, cette espèce est très abondante, elle peut atteindre et dépasser 50 %

(Tableau II.e), elle apparaît souvent en espèce dominante. On la rencontre essentiellement dans les zones profondes (classes V et IV). On peut ainsi considérer, d'après les données de la littérature et nos propres observations que cette espèce est un bon indicateur d'eau profonde.

Echantillons	Abondances (%)	Profondeurs en cm au moment du prélèvement	Dates des prélèvements
FOW1	56,5	150	Avril 93
FOW2	71	170	Avril 93
FOW3	60,5	215	Mai 94
FOW4	51	215	Mai 94
FOW6	50	290	Mai 94
SO39	71,5	185	Dec 94
SO59	60	136	Mars 95
SO61	26,5	135	Mars 95
MV13	53	200	Mars 95
MV7	52,5	137	Janv 95
MB1	90	130	Dec 94
MB3	88	175	Dec 94

Tableau II.e : Abondance (>50 %) de *A. muzzanensis* et profondeur mesurée au moment du prélèvement

- *Aulacoseira italica*. Les informations fournies par la littérature sur le mode de vie de cette espèce sont contradictoires. Elle est considérée comme planctonique par Cholnoky (1968) et Mölder & Tynni (1967) mais d'autres auteurs la classent parmi les littorales (Hustedt, 1930; Gasse, 1980; Krammer et Lange-Bertalot, 1991). Dans les sédiments superficiels que nous avons étudiés, cette espèce n'apparaît jamais seule en espèce dominante. Ses plus forts pourcentages (25-36,5 %) (tableau II.f) ont été rencontrés dans les zones les plus profondes (classes IV et V) en association avec une espèce typiquement planctonique. C'est pourquoi nous la classons dans cette étude parmi les planctoniques.

Echantillons	Abondances (%)	Profondeurs en cm au moment du prélèvement	Dates des prélèvements
FOW5	32,5	230	Mai 94
FOW7	29,5	245	Mai 94
MV7	25	135	Janv 95
SO33	33	110	Dec 94
SO38	22,5	110	Dec 94
SO46	36,5	180	Janv. 95
SO61	25	135	Mars 95

Tableau II.f : Abondance (> 25 %) de *A. italica* et profondeurs mesurées au moment des prélèvements

Certaines espèces n'ont pas été incluses ici dans le groupe des planctoniques :

- *Aulacoseira aff. italica* et *Eunotia asterionelloïdes*;

- *Aulacoseira aff. italica* est assez proche du morphotype *A. italica*, mais elle s'en distingue par le diamètre plus grand des cellules, par des stries moins denses et souvent interrompues. Elle est assez répandue dans la flore étudiée et dépasse 50 % (tableau II.g) dans des échantillons de moyennes profondeurs (classe III) du lac Mboli (MO1) et du lac Ossa (SO44 et SO27) ou de faibles profondeurs (classe II) des lacs Nsipé (NS1b, NS2) du lac Mévia (MV4) et du Nord du lac Ossa (SO41).

Echantillons	Abondances (%)	Profondeurs en cm au moment du prélèvement	Dates des prélèvements
MO1	50,5	220	Dec 94
MV4	75	30	Janv 95
NS1b	84,5	30	Dec 94
NS2	63	250	Dec 94
SO27	52	206	Dec 94
SO41	75	45	Janv 95
SO44	55	190	Janv. 95

Tableau II.g : Abondance (> 50 %) de *A. aff. italica* et profondeurs mesurées au moment des prélèvements

- *Eunotia asterionelloïdes* est une espèce planctonique selon Cholnoky (1968). Sa relative abondance (6,5 et 26,5%) dans des zones profondes du lac Ossa (classe IV, SO45, FO10), est en accord avec cette donnée. Mais sa présence dans des milieux très peu profonds (classe I) du lac Ossa (SO49), du lac Mwembé (MB1b) ou moyennement profonds (classe III) dans le Sud du lac Ossa (MIP, SO40 et SO63) suggère qu'elle n'est pas un bon indicateur de profondeur moyenne. Elle pourrait caractériser les zones où les variations saisonnières du plan d'eau sont très marquées.

Certaines espèces typiquement planctoniques comme *Aulacoseira granulata* var. *valida*, *A. granulata* var. *tubulosa*, et *Stephanodiscus astrea* peuvent être présentes en très faibles pourcentages. Nous ne les avons pas pris en compte car elles sont exotiques et apportées par le vent (voir paragraphe II.3.5).

Les forts pourcentages des planctoniques (> 45 %) (annexe VIII, fig. A1) s'observent dans les zones profondes du lac Ossa et du lac Mévia (classes de profondeur V et IV).

Néanmoins, certaines zones profondes de la classe IV (dans le Sud du lac Mévia et dans l'Est de la partie centrale du lac Ossa) contiennent des pourcentages plus faibles (15 à 45 %). Nous verrons plus loin que cette anomalie apparente est liée à l'abondance des tychoplanctoniques.

Les sédiments superficiels des zones temporairement inondées peuvent contenir des pourcentages significatifs de planctoniques (9 - 20 % pour *A. muzzanensis*, 1,5-12 % pour *A. italica*). Il est très probable que ces espèces se développent durant la saison de hautes eaux lorsque la profondeur atteint 4 à 5 m.

- Distribution spatiale des tychoplanctoniques (annexe VIII, fig. A2)

Les tychoplanctoniques sont composées essentiellement d'espèces appartenant au genre *Fragilaria*. *F. leptostauron* var. *dubia* est de loin la variété ayant la répartition spatiale la plus grande et qui atteint les plus forts pourcentages dans les sédiments superficiels (tableau II. h). D'après Hustedt (1930) et Gasse (1980), elle est littorale mais elle peut aussi coloniser les milieux peu profonds et les fonds boueux (Patrick et Reimer, 1966).

Echantillons	Abondances (%)	Profondeurs en cm au moment du prélèvement	Dates des prélèvements
MV10	18	80	Mars 95
MV3	20	190	Janv 95
SO48	41	130	Mars 95
SO57	24,5	20	Mars 95
SO58	56,5	135	Mars 95
SO60	21,5	165	Mars 95

Tableau II.h : Abondance (> 18%) de *Fragilaria leptostauron* var. *dubia* et profondeurs mesurées au moment des prélèvements

On peut aussi citer parmi les tychoplanctoniques *F. construens*, *F. pinnata*, *F. construens* var. *exigua*, *F. densestriata* mais elles sont beaucoup moins abondantes et peu répandues.

Les tychoplanctoniques présentent des pourcentages supérieurs à 20 % (annexe VIII, fig. A2) dans des échantillons d'eaux profondes à moyennement profondes (classes III, IV et V). Certains de ces échantillons proviennent des parties nord (MV10 et MV3) et sud (MV6) du lac Mévia. D'autres proviennent de la partie est de la zone centrale du lac Ossa. Les pourcentages maximum (63 et 46 %) ont été

observés de part et d'autre du débouché du chenal en provenance du lac Mévia. Ces pourcentages élevés pourraient être liés à la proximité d'une ceinture particulièrement bien développée d'une végétation flottante à *Echinochloa pyramidalis*.

Les tychoplanctoniques sont présentes dans des zones de faible profondeur avec des pourcentages le plus souvent inférieurs à 5 %.

Ces diatomées, relativement abondantes dans une gamme assez large de profondeur (classes III, IV et V) ne sont pas des indicateurs très précis de bathymétrie.

- Distribution spatiale des benthiques (annexe VIII, figure A3)

Les benthiques rencontrées appartiennent en majorité aux genres *Pinnularia* et *Navicula*. Les espèces les plus abondantes sont :

- *Pinnularia viridiformis*. D'après les données écologiques de *P. viridis* qui lui est morphologiquement proche, cette espèce se développerait préférentiellement sur les fonds (Hustedt, 1930), dans les ruisseaux, les mares, dans les petits lacs (Mölder et Tynni, 1968-1973), ou dans les tourbières (Gasse, 1986).

- *Pinnularia stomatophora* vit sur les mousses ou sur la vase (Krammer et Lange-Bertalot, 1986),

- *P. microstauron*. Les auteurs s'accordent pour dire qu'elle est benthique (Hustedt, 1930 ; Mölder et Tynni, 1968-1973 ; Gasse, 1986).

- *P. subgibba* (= *P. gibba* var. *linearis*). C'est une forme benthique (Hustedt, 1930), elle se rencontre dans le périphyton des eaux peu profondes avec de rares occurrences dans les rivières ou dans les tourbières (Gasse, 1986).

- *Neidium iridis*. Espèce d'eau stagnante se rencontrant dans les lacs, les flaques, les tourbières, occasionnellement dans les rivières (Patrick et Reimer, 1966), épipélique (Krammer et Lange-Bertalot, 1986).

- *Navicula seminuloïdes* var. *sumatrana*. Espèce rencontrée dans les flaques, rivières, sources, benthique ou épiphytes mais pouvant aussi se trouver dans le plancton (Gasse, 1986).

Les autres espèces benthiques, représentées par de nombreuses espèces des genres *Navicula* et *Pinnularia*, mais aussi *Stauroneis* et *Neidium*, se répartissent dans différents échantillons avec des abondances qui dépassent rarement 2 %.

La plus grande partie du lac Mévia et du lac Ossa est caractérisée par une présence assez importante (10-30 %) de diatomées benthiques et cela dans toutes les gammes de profondeurs. Les plus forts pourcentages (> 30 %) ont été rencontrés dans le lac Mboli et les lacs Nsipés de même que dans un échantillon prélevé par grattage dans la Sanaga. Les faibles pourcentages (< 10 %) sont localisés dans des zones assez restreintes et de différentes profondeurs.

Ces données suggèrent que les benthiques n'ont pas vraiment d'habitat préférentiel dans les milieux étudiés. L'épaisseur de la tranche d'eau semble être nulle part en permanence assez importante pour s'opposer à leur développement.

- **Distribution spatiale des épiphytes** (annexe VIII, figure A4)

Les plus abondantes appartiennent aux genres *Achnanthes*, *Cymbella*, *Gomphonema*. Nous pouvons citer parmi les espèces les plus abondantes :

- *Achnanthes exigua* var. *exigua* et *A. exigua* var. *elliptica*. L'écologie de ces deux variétés est la même que celle de l'espèce. Elles seraient très répandues dans les lacs, les rivières et les torrents (Patrick et Reimer, 1966), dans les marécages et en aval des sources (Schoeman, 1973). Selon Gasse (1986), *A. exigua* et ses variétés ne présenteraient aucune affinité écologique bien déterminée.

- *Achnanthes lanceolata* serait épiphyte (Gasse, 1986). Elle se rencontre dans les sources, torrents, aires marécageuses (Schoeman, 1973) dans des eaux bien aérées (Patrick et Reimer, 1966). Elle est rhéophile c'est-à-dire adaptée à des eaux courantes (Hustedt, 1957).

- *Cymbella silesiaca*. Bien que nous n'ayons pas rencontré d'informations précises dans la littérature, cette espèce semble pouvoir être classée parmi les épiphytes car nous l'avons rencontrée fixée sur des macrophytes immergés.

- *Gomphonema linguliforme* (= *Gomphonema grovei* var. *lingulum*). Cette espèce rarement signalée dans la littérature est présente à Ossa avec des pourcentages qui ne sont qu'exceptionnellement supérieurs à 5 %.

Les autres épiphytes se répartissent dans de nombreux échantillons préférentiellement au Nord du lac Mévia, de part et d'autre du chenal, mais toujours à des pourcentages qui dépassent rarement 2 %.

La majorité des échantillons du lac Ossa, et des lacs voisins est pauvre en espèces épiphytes (annexe VIII, figure A4). Les pourcentages les plus fréquents

varient entre 0 et 3 %. Les plus fortes abondances (> 30%) sont localisées dans des secteurs très précis :

- à de faibles profondeurs (classes I et II) en bordure de la Sanaga sur des galets ou des macrophytes, dans l'extrême Nord du lac Mévia près d'une zone marécageuse ou d'une zone colonisée par *Nymphaea sp.* et *Echinochloa pyramidalis* ;

- à de moyennes profondeurs (classe III) sur la bordure du chenal reliant le lac Ossa à la Sanaga.

Des pourcentages de 10 à 30 % sont rencontrés dans des zones très peu ou moyennement profondes de l'extrême Nord du lac Ossa, dans les zones périodiquement inondées au Sud du lac Ossa et dans un échantillon du Nsipé.

- Distribution spatiale des aérophiles (annexe VIII, figure A5)

Les aérophiles sont composées en majorité d'*Eunotia* et *Frustulia*, rarement de *Pinnularia* et *Cymbella*.

- *Eunotia incisa* (= *Eunotia pseudoveneris*). Espèce rencontrée dans les milieux marécageux, dans les sources, les flaques (Hustedt, 1930).

- *Frustulia rhomboïdes*. Elle est rencontrée dans les tourbières (Patrick et Reimer, 1966).

Les espèces précitées sont accompagnées par d'autres taxons aérophiles moins abondants : *Eunotia paludosa* var. *paludosa*, *E. pectinalis* var. *ventralis*, *E. hexaglyphis*, *E. praerupta*, *Cymbella gracilis*, *C. obscura*, *Navicula heimansii*, *Pinnularia obscura* et *P. brauniana*.

La majorité des sédiments superficiels étudiés contiennent peu de diatomées aérophiles, le plus souvent moins de 5 %, rarement 5-10 % dans les eaux les plus profondes (annexe VIII, figure A5). Les plus forts pourcentages (> 30 %) s'observent sur les marges lacustres dans des zones peu profondes ou périodiquement inondées.

En conclusion, la répartition des espèces dans les milieux aquatiques étudiés est globalement en accord avec les données de la littérature. L'abondance des planctoniques avec *Aulacoseira muzzanensis* généralement accompagnée de *A. italica* est clairement associée aux plus fortes profondeurs moyennes. Les

aérophiles marquent les zones très peu profondes ou périodiquement inondées. L'abondance des benthiques ne paraît pas très significative probablement parce que les lacs étudiés ne sont nulle part très profonds. La présence des tychoplanctoniques (*Fragilaria*), bien qu'elles soient les plus abondantes dans des zones bien circonscrites, semble difficilement expliquée par la bathymétrie. Leur présence à des pourcentages supérieurs à quelques pourcents est exclue dans des zones très peu profondes (classe I).

II.3.3. Diatomées considérées comme caractéristiques du pH d'après la littérature

- Terminologie

D'après la classification de Hustedt (1937-1939) on distingue cinq groupes écologiques de diatomées en fonction de leur exigence ou leur tolérance vis à vis du pH :

- **Les acidobiontes.** Ce sont des espèces vivant dans des eaux de pH inférieur à 7 et dont le développement optimal se situe à des pH voisins ou inférieurs à 5,5.

- **Les acidophiles.** Elles vivent dans des eaux à pH proche de 7 mais dont le développement optimal se situe à un pH inférieur à 7.

- **Les indifférentes ou neutrophiles.** Leur développement optimal se situe à un pH proche de 7.

- **Les alcaliphiles.** Ce sont des espèces vivant dans des eaux de pH voisin de 7 mais dont le développement optimal se situe à un pH supérieur à 7.

- **Les alcalibiontes.** Elles se rencontrent exclusivement à un pH supérieur à 7.

- *Distribution spatiale* (annexe VIII, fig. A6 et A7)

Les données bibliographiques ont permis de positionner 164 espèces et variétés dans les différentes classes de Hustedt (1937-1939). Parmi celles-ci, 35 sont acidophiles (21%), 47 sont indifférentes (28,6%), 71 (43,2%) sont alcaliphiles, 11 sont alcalibiontes (6,7%) et montrent des abondances qui dépassent rarement 1 %.

Les acidophiles sont composées essentiellement d'*Eunotia* (19 espèces), le reste se compose de *Frustulia*, *Fragilaria*, *Stenopterobia*, *Gomphonema*, *Neidium*, *Cymbella* et *Anomoeoneis*.

Les espèces indifférentes se rattachent aux genres *Pinnularia* (15 espèces), *Navicula* (7), *Aulacoseira* (4), *Fragilaria* (4) et *Achnanthes* (4).

Les alcaliphiles sont composées par une forte majorité de *Navicula* (22) puis *Gomphonema* (7), *Fragilaria* (4) *Achnanthes* (6), *Cymbella* et *Cocconeis*.

Les données de la littérature apparaissent au premier abord assez imprécises, voire contradictoires, en raison des terminologies utilisées (eaux acides, eaux faiblement acides) qui sont difficiles à homogénéiser mais surtout parce que certaines espèces compte tenu de leur plasticité écologique se développent dans une large gamme du paramètre. Par exemple, un grand nombre d'espèces est acidophile à neutrophile, neutrophile à alcaliphile ou même acidophile à légèrement alcaline.

Il est donc nécessaire de comparer les données plus ou moins précises de la littérature avec nos propres mesures de pH faites au moment du prélèvement des échantillons destinés à l'étude des diatomées. Néanmoins nous devons tenir compte que les mesures ont été faites uniquement en entre 1993 et 1995 et pour la plupart en période de basses eaux alors que les assemblages de diatomées étudiés dans le sédiment superficiel enregistrent un état moyen sur environ les 10 dernières années.

Les pH mesurés lors de l'échantillonnage varient entre 4,33 et 9,33, recouvrant les classes de pH acidobionte à alcalibionte. Un grand nombre d'échantillons (45 sur 74) ont des valeurs de pH comprises entre 5,02 et 8,20. La flore des milieux alcalins présente une diversité spécifique (33 à 55) en moyenne plus élevée que celle des milieux très acides ou acides.

1) Les pH mesurés les plus bas (inférieurs à 5)

Le tableau II.i présente la composition spécifique des échantillons prélevés dans des stations où le pH mesuré est bas. Ils ont été trouvés essentiellement à l'extrême Nord du lac Ossa au débouché d'une rivière et un peu au large du débouché de cette rivière. Le milieu aquatique est peu profond (classes I et II), alimenté par des eaux relativement fraîches issues du drainage des sols forestiers.

Echantillons	pH	Nombre d'espèces rencontrées	Espèces dominantes (avec pourcentages observés)
SO43	4,76	20	<i>Eunotia incisa</i> (18) <i>Navicula capitatoradiata</i> (63)
SO49	4,35	29	<i>E. paludosa paludosa</i> (14,5) <i>E. incisa</i> (28) <i>E. asterionelloïdes</i> (13,5)
SO52	4,78	40	<i>E. incisa</i> (22) <i>N. heimansii</i> (11,5)
SO53	4,66	29	<i>E. incisa</i> (19) <i>Frustulia rhomboïdes</i> (13,5)
SO54	4,63	41	<i>F. rhomboïdes</i> (19) <i>E. hexaglyphis</i> (13,5) <i>E. incisa</i> (12,5)
SO55	4,87	37	<i>F. rhomboïdes</i> (26) <i>E. hexaglyphis</i> (9,5) <i>E. incisa</i> (9,5)
SO40	4,33	36	<i>E. asterionelloïdes</i> (31,5) <i>E. incisa</i> (9,5) <i>E. paludosa paludosa</i> (8)

Tableau II.i : Diversité spécifique et espèces dominantes associées aux pH inférieurs à 5.

La diversité floristique est faible (SO43, SO49, SO51, SO53) à moyenne (SO52, SO54, SO55, SO40). Le pH intervient de manière déterminante sur le développement des *Eunotia* et des *Frustulia*, ce qui est en accord avec les données de la littérature. L'abondance de *Navicula capitatoradiata* (alcaliphile), *Navicula heimansii* (neutrophile) et *Eunotia asterionelloïdes* (neutrophile) indique sans doute que le paramètre pH n'est pas le seul à intervenir, la faible profondeur pouvant jouer aussi un rôle important. Certains assemblages dominés par *Eunotia* ou *Frustulia* ne sont pas toujours associés à des pH acides, mais à des faibles profondeurs et à des concentrations très faibles en ions majeurs; c' est le cas du MO7 de Mboli, prélevé en saison sèche sous 70 cm d'eau, avec un pH de 7,5 qui contient 35 % d'*Eunotia incisa* et 7 % de *Frustulia rhomboïdes*.

La majorité des échantillons (SO43, SO49 et SO52, SO53, SO54 et SO55) prélevée dans cette zone à pH très acides est caractérisée par une flore où dominant très largement les espèces considérées comme acidophiles. Par contre, un échantillon (SO43) de la même zone présente de faibles pourcentages en diatomées acidophiles (4,7 %) et un pourcentage en diatomées alcaliphiles élevé (67 %). Cette anomalie n'a pas pu être expliquée.

Une autre station de prélèvement située dans la plaine d'inondation au Sud du lac Ossa est caractérisée par un pH très bas à la date du prélèvement (SO40). Les diatomées des sédiments superficiels reflètent cette basse valeur du pH car la flore

contient 33 % d'espèces considérées comme acidophiles et seulement 4 % d'alcaliphiles.

(2) *Les pH mesurés les plus élevés (> 8)* (tableau II.j)

Echantillons	pH	Nombre d'espèces rencontrées	Espèces dominantes (avec pourcentages observés)
MV1	8,04	53	<i>Aulacoseira muzzanensis</i> (37) <i>A. italica</i> (22,5)
MV3	8,07	55	<i>Achnanthes exigua exigua</i> (16) <i>Fragilaria leptostauron dubia</i> (20) <i>G. lingulatiforme</i> (9)
MV5	8,01	52	<i>A. muzzanensis</i> (41) <i>A. italica</i> (20,5) <i>F. leptostauron dubia</i> (7)
MV6	8,2	55	<i>A. muzzanensis</i> (23,5) <i>F. leptostauron dubia</i> (13,5)
SA2	8,13	41	<i>Achnanthes lanceolata</i> (53)
FOW5	8,51	51	<i>A. italica</i> (32,5) <i>A. muzzanensis</i> (11,5) <i>Achnanthes lanceolata</i> (10)
SO47	8,99	44	<i>A. muzzanensis</i> (26,5) <i>Pinnularia viridiformis</i> (23) <i>F. leptostauron dubia</i> (8,5)
SO48	9,34	42	<i>F. leptostauron dubia</i> (41,5) <i>A. italica</i> (18,5)
SO58	9,19	38	<i>F. leptostauron dubia</i> (56,6)
SO59	9,24	33	<i>A. muzzanensis</i> (60) <i>F. leptostauron dubia</i> (10,5)
SO60	8,53	49	<i>A. muzzanensis</i> (29) <i>F. leptostauron dubia</i> (21)
SO61	8,93	34	<i>A. muzzanensis</i> (56,5) <i>A. italica</i> (24,5)

Tableau II.j : Diversité spécifique et espèces dominantes associées aux pH supérieurs à 8

Les pH supérieurs à 8 sont fréquents dans le lac Mévia et à l'Est de la partie centrale du lac Ossa dans des zones relativement profondes (classes IV et V). La flore est caractérisée par des pourcentages faibles d'espèces acidophiles et des pourcentages supérieurs à 15 % et souvent supérieurs à 25 % d'espèces alcaliphiles. Il faut toutefois noter que deux échantillons de sédiment prélevés en zone peu profonde (classes I et II) dans le Nord du lac Mévia (MV2 et MV10) contiennent un pourcentage élevé d'alcaliphiles (respectivement 95 et 67,5 %) alors que le pH est un peu inférieur à 7. Dans ces échantillons, les acidophiles sont présentes respectivement à 2 et 17 %.

Des pH supérieurs à 8 ont également été rencontrés dans quelques stations au Sud du lac Ossa (SO39 et SO61) en zones relativement profondes (classes IV et V). Ces fortes valeurs de pH ne sont pas reflétées par les diatomées des sédiments

superficiels : ceux-ci contiennent seulement 2,5 et 5 % respectivement d'espèces alcaliphiles. Ils contiennent 6,5 et 5,5 % d'espèces acidophiles.

Dans une station de la Sanaga (SA2) où l'eau présente un pH de 8,1, l'échantillon prélevé par raclage sur pierre contient une espèce dominante très particulière. Le pourcentage d'espèces alcaliphiles est très élevé (77%).

3) pH faiblement alcalins (7 à 8)

La partie centrale relativement profonde (classe IV et V) du lac Ossa (exception faite de ses bordures est et sud-ouest où les pH sont supérieurs à 8) est caractérisée par des pH mesurés en très grande majorité compris entre 7 et 7,8. Les assemblages de diatomées des sédiments superficiels contiennent un mélange d'espèces neutrophiles, acidophiles et alcaliphiles. Néanmoins les plus forts pourcentages d'acidophiles (14-19%) caractérisent la partie ouest et nord alors que les plus forts pourcentages d'alcaliphiles (20-75 %) caractérisent la partie est.

4) pH faiblement acides (5,4 à 7)

Un grand nombre de stations de prélèvement, situé dans une large gamme de profondeurs (classes II, III, IV et V) présente des pH compris entre 6 et 7. Cette valeur caractérise les lacs Mboli, Iléka, Nsipés, et Mwembé, quelques points des zones périodiquement inondables, le Nord du lac Ossa et l'extrême Nord du lac Mévia. Les diatomées acidophiles sont bien représentées dans les sédiments superficiels mais leurs pourcentages fluctuent assez fortement d'un point à un autre entre 10 et 45 %. Les alcaliphiles sont présentes avec des pourcentages pour la plupart inférieurs à 10 %.

En conclusion, les proportions relatives des diatomées acidophiles et alcaliphiles sont généralement en accord avec les valeurs mesurées du pH. Quelques anomalies pourraient être liées à des conditions locales particulières où à des variations saisonnières à pluriannuelles qui n'ont pas été mesurées.

II.3.4. Les diatomées considérées comme caractéristiques du niveau trophique d'après la littérature

- Terminologie

En fonction des caractéristiques trophiques des eaux (teneur en éléments nutritifs, principalement les nitrates et les phosphates) on distingue les milieux :

- **oligotrophes** : ils sont pauvres en éléments nutritifs et en général constamment oxygénés.

- **mésotrophes** : les concentrations en éléments nutritifs sont moyennes, ils sont intermédiaires entre les milieux oligotrophes et eutrophes.

- **eutrophes** : ce sont des milieux riches en élément nutritifs,.

- **dystrophes** : Ce sont des eaux à faible concentration en calcium, à forte quantité d'acides humiques et très pauvres en éléments nutritifs.

Dans la flore étudiée, les taxons eutrophes se composent essentiellement de *Aulacoseira muzzanensis* et de certaines espèces des genres *Navicula* et *Gomphonema*. Les oligotrophes se composent essentiellement de *Aulacoseira italica*, ainsi que de nombreuses espèces du genre *Eunotia* et *Cymbella*.

Le caractère trophique de *Fragilaria leptostauron* var. *dubia*, très abondante dans certains échantillons sub-actuels n'est pas clair dans la littérature. Elle est oligotrophe selon Cholnoky (1968) et Schoeman (1973), mésotrophe selon Van Dam *et al.* (1994).

- **Distribution spatiale** (annexe VIII, fig. A6 et A7)

Les analyses chimiques disponibles montrent que les nitrates sont absents aux dates de prélèvement dans une grande partie du milieu étudié : le Nord du lac Ossa, le lac Mévia les lacs Mboli, Iléka et Nsipés. Tous ces milieux sont caractérisés par de forts pourcentages d'espèces oligotrophes (> 60 %) et par des pourcentages d'espèces eutrophes rarement supérieurs à 10 %. La partie centrale du lac Mévia fait exception car on y rencontre un mélange de diatomées oligotrophes moyennement abondantes (40 et 48 %) et un pourcentage assez élevé (environ 50 %) de diatomées eutrophes.

Les teneurs en nitrates sont faibles mais significatives dans la partie centrale du lac Ossa (environ 0,1 - 0,8 mg l⁻¹). Les sédiments contiennent un mélange de diatomées oligotrophes et eutrophes en proportions différentes suivant les secteurs : 55 - 91 % d'eutrophes, 11 - 28 % d'oligotrophes dans le Sud du lac Mévia et dans le lac Mwembé ; 11 - 16 % d'eutrophes, 60 - 87 % d'oligotrophes dans le lac Mboli ; 8 - 46 % d'eutrophes 20 - 46 % d'oligotrophes dans le Centre -Nord du lac Ossa.

D'après les mesures faites sur des prélèvements d'eaux en saison sèche, les plus fortes teneurs en nitrates (4,4 - 5,8 mg l⁻¹) ont été observées dans des zones périodiquement inondées au Sud du lac Ossa. Cette caractéristique n'est pas reflétée dans les assemblages de diatomées des sédiments superficiels car ceux-ci

contiennent 13 - 21 % d'eutrophes et 53 - 76 % d'oligotrophes. Cela s'explique par le fait que la flore comprend une forte proportion (25 - 45 %) d'espèces planctoniques qui se développent pendant les périodes de hautes eaux alors que les espèces aérophiles (34 - 42 %) qui marquent les phases d'assèchement saisonnier ne sont pas considérées dans la littérature comme caractéristique du niveau trophique.

En conclusion, les proportions relatives des espèces eutrophes et oligotrophes semblent refléter l'absence ou la présence des nitrates dans les eaux à la date des prélèvements.

II.3.5. Les diatomées apportées par le vent

L'analyse des échantillons de litière prélevés sous forêt (annexe V) a révélé la présence en faibles quantités d'une flore composée essentiellement de *Aulacoseira granulata* var. *valida*, *A. granulata* var. *tubulosa* et *Stephanodiscus astrea* et ses variétés *intermedia* et *minutula*. Ces espèces sont également présentes dans les sédiments lacustres actuels.

- *Stephanodiscus astrea*. C'est une espèce planctonique et eutrophe (Hustedt, 1930), elle tolère une large gamme de salinité, d'alcalinité et de pH. Son pH optimum d'après Cholnoky (1968) est vers 8,3.

- *Aulacoseira granulata* var. *valida*. L'écologie de la variété est la même que celle de l'espèce, elle est planctonique, d'eau eutrophe, d'après Gasse (1986), bien que de nombreux auteurs la considèrent comme un type morphologique dans le cycle de vie de l'espèce, elle semble caractéristique de fortes conductivités, de pH élevés, de fortes alcalinités et des eaux riches en sodium.

- *Aulacoseira granulata* var. *tubulosa*. Cette espèce est planctonique et caractéristique d'après Bourrelly et Manguin (1952) des régions tropicales.

En raison de leurs caractéristiques écologiques, ces trois espèces ne sont pas compatibles avec les habitats (litière de sols) où elles ont été rencontrées. Elles sont manifestement « exotiques ». L'explication la plus probable est qu'elles ont été apportées par le vent. La source la plus proche doit être recherchée dans le Sud du Sahara et la zone sahélienne au Niger et au Tchad. Dans ces régions, le vent érode des diatomites holocènes qui affleurent sur de larges étendues principalement dans le Nord du Tchad près de Faya-Largeau (Servant, 1973). Nous savons d'après Servant-Vildary (1978) que *Stephanodiscus astrea* et *Aulacoseira granulata* var.

tubulosa comptent parmi les espèces dominantes de ces diatomites. *A. granulata* var. *valida* est bien représentée dans les diatomites du Sahel.

Les trois espèces *S. astrea*, *A. granulata* var. *valida* et *A. granulata* var. *tubulosa* ont été observées dans 34 des 74 échantillons lacustres étudiés. Dans la mesure où elles ont été rencontrées dans les sols, on peut admettre que ces espèces proviennent d'apports éoliens. Les pourcentages cumulés de ces espèces sont généralement très faibles (0 à 3%). Elles sont néanmoins présentes à des pourcentages supérieurs à 10 % dans 4 échantillons à très faibles teneurs en diatomées ($0,1 - 2 \cdot 10^7$ valves/gramme) : 14 % dans SO51 prélevé en eau peu profonde, 14 % dans SO60 en eau profonde, 11 % et 12 % dans MO5 et MO8 du lac Mboli caractérisés par 79 et 70 % de benthiques. Ces diatomées sont donc présentes dans des milieux variés ayant en commun une faible teneur en diatomées. Leur pourcentage maximum (83%) a été trouvé dans le NS1a très pauvre en diatomées ($0,1 \cdot 10^7$ valves/gramme) et caractérisé par 14% d'aérophiles.

En résumé, les diatomées «exotiques» simultanément rencontrées dans les horizons superficiels de sols et dans beaucoup d'échantillons lacustres sont certainement marqueurs de brumes sèches. Nous avons vu dans le chapitre I que ces dernières atteignent la région de Ossa durant l'hiver boréal et qu'elles impliquent une extension épisodique de l'harmattan jusqu'au-dessus des régions forestières humides.

II.4. Teneurs en diatomées des sédiments

Les teneurs en diatomées ont été déterminées par comptage du nombre de frustules présents dans un poids donné de sédiment (voir paragraphe II.1.3). Elles varient entre $0,025 \cdot 10^7$ et $360 \cdot 10^7$ valves par gramme de sédiment sec (VGSS) dans l'ensemble des échantillons sub-actuels étudiés (5 de ces échantillons, SO22, SO30, SO50, MO2 et MO4 n'ont pas fait l'objet d'une étude détaillée de la floristique).

La figure II.4 représente la variation des teneurs en diatomées (exprimées en logarithme népérien) dans les 79 échantillons étudiés. Ceux-ci ont été regroupés en trois catégories en fonction de leur lithologie :

- les échantillons essentiellement sableux (1) sont toujours pauvres en diatomées (inférieures à $5 \cdot 10^7$ VGSS)

- les échantillons constitués en proportions variables d'argiles et de matières organiques plus ou moins riches en débris végétaux figurés (2) sont caractérisés par des teneurs très variables. La majorité des échantillons contient moins de $5 \cdot 10^7$ VGSS

- les échantillons essentiellement argileux sont en moyenne plus riches que les précédents. Les teneurs minimales sont rarement inférieures à 5.

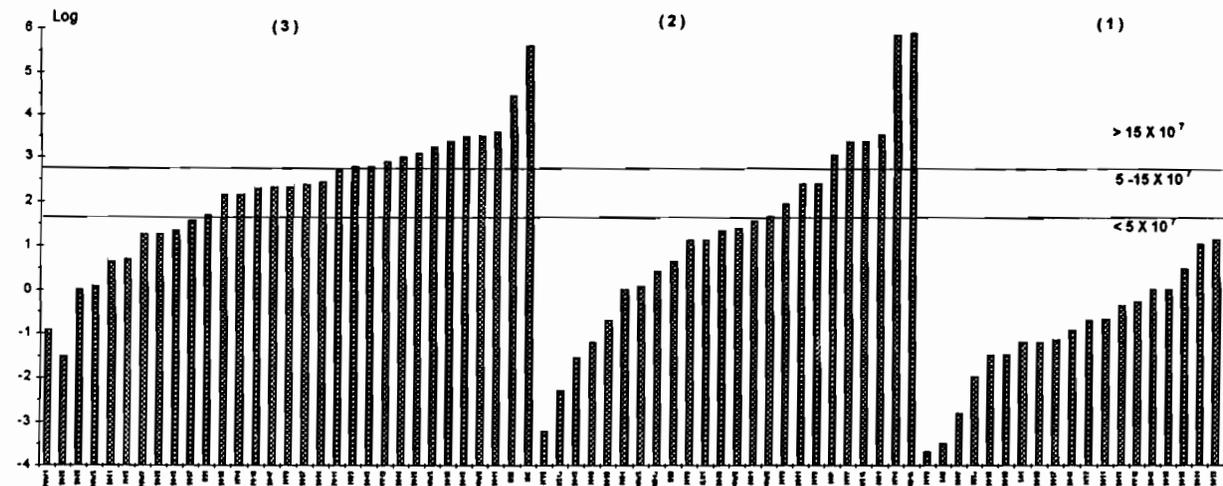


Figure II.4 : Teneur en diatomées des échantillons de sédiments superficiels (les teneurs sont exprimées en nombre de valves/gramme de sédiment sec) I $< 5 \times 10^7$; II comprises entre 5 et 15×10^7 ; III $> 15 \times 10^7$. (1) groupe d'échantillons riches en sable ; (2) groupe d'échantillons riches en argiles et débris organiques figurés à organiques ; (3) riches en argile et sans débris végétaux.

La figure II.5 présente schématiquement distribution des teneurs en diatomées dans les milieux étudiés. Pour chaque point de prélèvement, nous avons reporté un numéro (1, 2 ou 3) qui correspond à la lithologie des sédiments (voir ci-dessus). Les échantillons ont été séparés en trois groupes :

- les échantillons du groupe I, pauvres en diatomées (moins de $5 \cdot 10^7$ VGSS) caractérisent la partie est et sud de la zone centrale du lac Ossa, de même que les points de prélèvement situés au débouché d'une rivière à l'extrême Nord des lacs Ossa et Mévia, les zones périodiquement inondables, de même qu'une grande partie des lacs Mboli et Mwembé.

- Les échantillons du groupe II, moyennement riches en diatomées (5 à $15 \cdot 10^7$ VGSS) s'observent dans la plus grande partie du lac Mévia, de la zone centrale du lac Ossa et ponctuellement dans les lacs Nsipés et Mboli.

- les échantillons du groupe III, très riches en diatomées (plus de $15 \cdot 10^7$ VGSS), caractérisent surtout la partie Nord du lac Ossa, et plus ou moins ponctuellement

d'autres secteurs (par exemple au Sud-Est de l'île centrale du lac Ossa, le Sud-Est du lac Mwembé, quelques points des lacs Nsipés et Iléka.

Le tableau II.k montre que les échantillons les plus riches en diatomées sont ceux où les assemblages sont dominés par un nombre restreint d'espèces qui appartiennent tous au genre *Aulacoseira* avec les espèces : *A. muzzanensis* (planctonique et eutrophe), *A. italica* (que nous avons précédemment considérée ici comme planctonique et méso-oligotrophe) et *A. aff. italica* (ses affinités écologiques sont mal connues).

Les échantillons pauvres ou moyennement riches en diatomées présentent une composition spécifique très variable, les dominantes pouvant être aussi bien *Aulacoseira*, *Fragilaria* qu'*Eunotia*.

Les teneurs en diatomées dépendent de la productivité et des flux sédimentaires. Les effets de « dilution » par des apports importants en particules détritiques font que les teneurs en diatomées apparaîtront faibles même si le lac est très productif et inversement les sédiments peuvent contenir beaucoup de diatomées dans un lac peu productif si l'effet de dilution est faible.

Il est difficile d'évaluer la productivité à partir des teneurs en diatomées dans les sédiments car nous ne pouvons pas évaluer l'effet de dilution. Néanmoins quelques hypothèses peuvent être proposées pour une partie de nos prélèvements. (1) Dans le lac Ossa, entre la bordure sud et le rivage sud-est de l'île centrale, les échantillons SO39, SO61, FOW1, FOW2, FOW3, et FOW4 sont très comparables par leur lithologie et leur dominante floristique, mais nous observons une augmentation progressive des teneurs en diatomées. Compte tenu de l'homogénéité sédimentologique et floristique de ce secteur, il est possible que les variations des teneurs en diatomées soient principalement contrôlées par la productivité. (2) Vers le Nord du lac Ossa, le passage entre une zone à moyenne teneur et à forte teneur a lieu dans des sédiments lithologiquement comparables (SO41, SO44, SO45, SO46 et SO47) et on peut présumer qu'il correspond à une augmentation de la productivité. (3) De même au Nord-Ouest de la partie centrale les échantillons (SO33, SO34, SO37 et SO31) prélevés depuis l'île jusqu'à la bordure Ouest du lac sont sédimentologiquement comparables ; les teneurs en diatomées sont comparables à l'exception de l'échantillon (SO38) prélevé près de la bordure est. Cet échantillon pourrait correspondre à une plus forte productivité en diatomées. (4) Dans la zone centrale du lac Ossa entre la rive

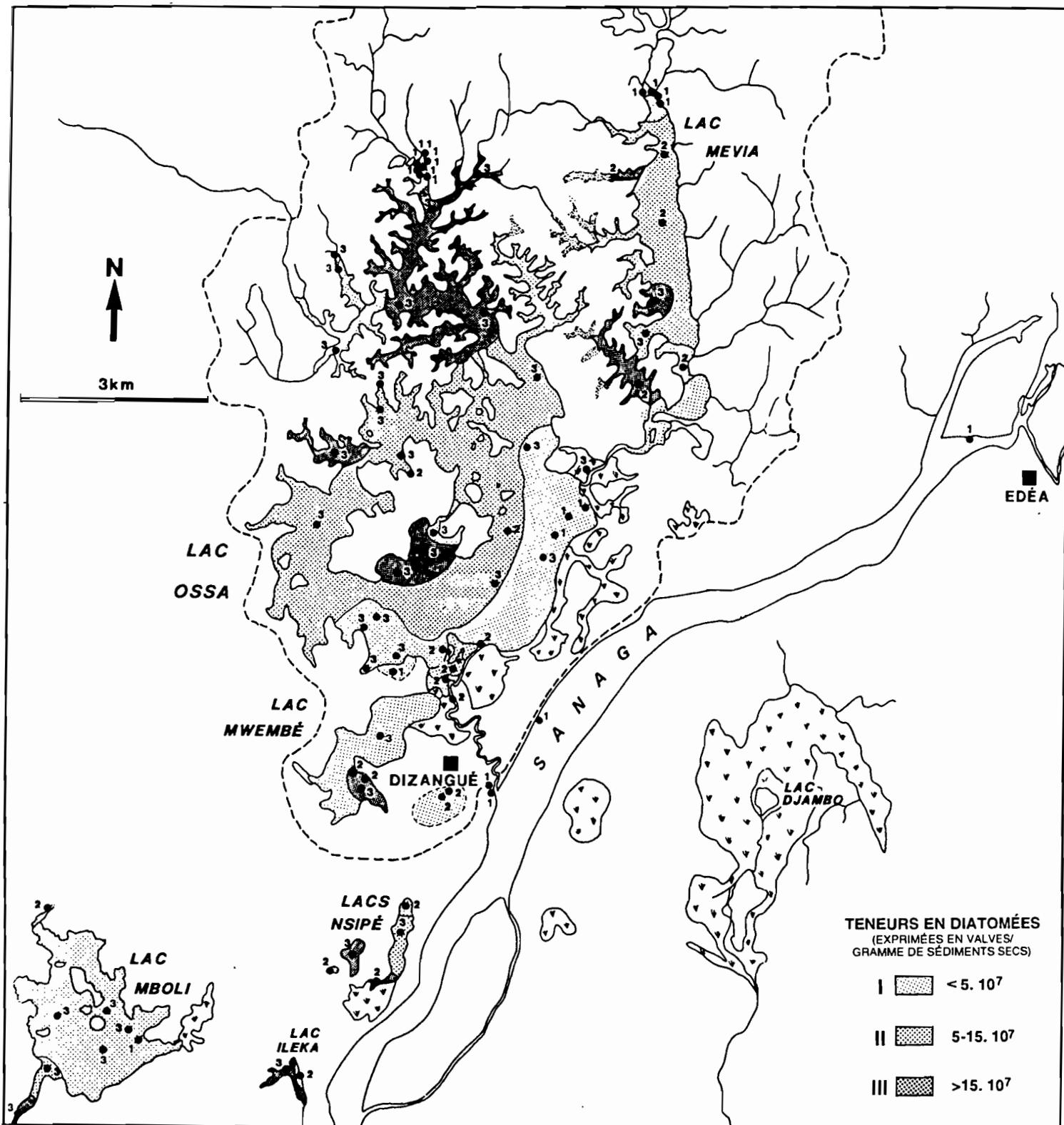


Figure II.5. Représentation spatiale des teneurs en diatomées des sédiments superficiels (I, II et III) en fonction de la composition minéralogique (1, 2, 3).

est et l'île centrale (SO57, SO58, SO59 et FOW8) nous observons simultanément le passage d'une sédimentation sableuse à une sédimentation argileuse d'une part et d'une faible à une moyenne teneur en diatomées d'autre part. Il y a de plus modifications des dominantes dans les assemblages spécifiques (ceux-ci passent d'une dominante à *Fragilaria* à une dominante à *Aulacoseira*). Dans ce cas, il est difficile de formuler une hypothèse cohérente sur la productivité.

Echantillons	Nombre de valves par gramme de sédiment sec /10 ⁷	Espèces dominantes (avec pourcentages observés)	Groupe sédimentologique
FOW3	33	<i>Aulacoseira muzzanensis</i> (60,5)	3
FOW4	25	<i>A. muzzanensis</i> (51)	3
ILK	273	<i>A. aff. italica</i> (49) <i>A. muzzanensis</i> (39)	3
MB1	34	<i>A. muzzanensis</i> (90)	2
MB3	16	<i>A. muzzanensis</i> (89)	3
MV13	18	<i>A. muzzanensis</i> (53)	3
MV4	340	<i>A. aff. italica</i> (75)	2
MV7	29	<i>A. muzzanensis</i> (52) <i>A. italica</i> (25)	2
NS1b	29	<i>A. aff. italica</i> (84)	2
NS2	84,7	<i>A. aff. italica</i> (63)	3
SO29	22	<i>A. aff. italica</i> (40)	3
SO38	42	<i>A. muzzanensis</i> (42) <i>A. italica</i> (31,5)	3
SO41	35,9	<i>A. aff. italica</i> (75)	3
SO44	20	<i>A. aff. italica</i> (55)	3
SO45	16	<i>A. muzzanensis</i> (27) <i>A. italica</i> (21)	3
SO46	32	<i>A. italica</i> (36) <i>A. muzzanensis</i> (34)	3

Tableau II.k : Relation entre teneurs élevées en diatomées, taxons dominants et caractère sédimentologique des échantillons

II.5. Conclusion : les caractères majeurs de la distribution spatiale des diatomées.

A de rares exceptions près, la distribution spatiale en fonction des paramètres de l'environnement des principaux groupes de diatomées dans les sédiments sub-actuels du lac Ossa et des lacs voisins est en accord avec les données écologiques de la littérature. La profondeur moyenne qui varie seulement entre 1,8 et 3,8 m semble être le facteur le plus important. Un bon accord existe aussi dans la plupart des cas entre la distribution des diatomées d'une part et certains paramètres, bien que ceux-ci aient été mesurés une seule fois et le plus souvent en saison sèche.

Par exemple nous observons une assez bonne concordance entre les diatomées oligotrophes/eutrophes et l'absence ou la présence des nitrates d'une part, entre les diatomées acidophiles/alcaliphiles et les valeurs du pH d'autre part. Par contre à ce stade de l'analyse, il est difficile de percevoir une relation entre les diatomées et la composition ionique. Cela s'explique peut-être par le fait que les milieux sont très peu minéralisés.

Les assemblages de diatomées, définis pour le moment par les grands groupes écologiques et des espèces dominantes permettent de délimiter les différents milieux étudiés :

- Les milieux proches du littoral en bordure des versants relativement abrupts et au débouché des ruisseaux sont clairement caractérisés par de fortes fréquences des espèces acidophiles, aérophiles et oligotrophes, cela traduit bien la qualité des eaux issues du drainage des sols ferrallitiques sous forêt. Les études faites dans les zones forestières humides tropicales montrent que ce type d'eau est souvent acide et pauvre en élément nutritif (Grimaldi et Pedro, 1996 ; Brouwer, 1996)

- Les milieux littoraux à topographie peu marquée plus ou moins asséchés en basses eaux mais recouverts d'une épaisse tranche d'eau en saison des pluies présentent une flore mélangée où coexistent en proportion différente selon les lieux des diatomées planctoniques, épiphytes et aérophiles (ces dernières sont parfois très abondantes).

- La partie est de la zone centrale du lac Ossa et quelques points du lac Mévia ont la particularité d'être riches en espèces tychoplanctoniques alcaliphiles principalement *Fragilaria leptostauron* var. *dubia*. Cette particularité semble être liée à la proximité d'une ceinture bien développée d'une prairie flottante à *Echinochloa pyramidalis*. Il faut aussi noter que les plus fortes valeurs mesurées de pH se situent en majorité dans ces secteurs.

- Dans les autres parties du lac Ossa, en eaux libres et toujours assez profondes même en saison sèche, la caractéristique principale des assemblages de diatomées réside dans la forte fréquence des espèces planctoniques et la rareté des aérophiles. Cela n'exclut pas la présence de benthiques en proportion assez importante (10-30%). En outre, ces assemblages évoluent globalement du Nord au Sud : au Nord, ils sont caractérisés par un mélange de planctoniques oligotrophes (principalement *Aulacoseira italica*) et eutrophes (principalement *A. muzzanensis*) ;

au Sud l'espèce planctonique eutrophe *A. muzzanensis* est largement dominante. Globalement, la fréquence des eutrophes passe d'environ 30 à 70 %.

Les eaux libres du lac Mboli se distinguent des milieux qui lui sont comparables en terme de profondeur moyenne (2,8-3,5 m) et de fréquence en diatomées oligotrophes (environ 39,5 - 90 %) par de fortes teneurs en diatomées benthiques (environ 60 à 79,5).

II.6. Mise en évidence des espèces les plus significatives et classification des échantillons par traitements statistiques.

Le chapitre précédent a débouché sur l'identification de différents secteurs dans les milieux lacustres étudiés. Nous nous sommes basés sur une analyse «empirique» de la fréquence des principaux groupes de diatomées et de quelques espèces dominantes. Cette analyse a suggéré une relation avec la profondeur, le pH et les teneurs en éléments nutritifs (nitrates). L'inconvénient de cette analyse est qu'elle ne prend que en compte que les espèces dominantes.

Dans un tableau de données actuelles aussi grand que celui considéré (17 paramètres de l'environnement, 211 espèces et 80 échantillons), il est difficile, voire impossible, de percevoir et ordonner l'information dans sa globalité. De plus, la flore de diatomées est dans un écosystème donné, la résultante non seulement de l'interaction des paramètres pris en compte mais aussi de nombreux autres paramètres qui n'ont pas pu être pris en considération. Pour certains d'entre eux comme la turbidité et l'oxygénation, les mesures effectuées sont trop ponctuelles pour être significatives. Pour d'autres (vitesse du courant par exemple), aucune mesure n'est disponible. Il est donc nécessaire de vérifier et de préciser les résultats obtenus dans le paragraphe précédent par le traitement mathématique des données.

II.6.1. Méthodes

Les techniques d'analyses multivariées utilisées comprennent l'analyse factorielle des correspondances (AFC) et la classification ascendante hiérarchique (CAH). Nous nous sommes appuyés essentiellement sur les travaux de Benzecri (1973, 1980), Fenelon, (1981) et Lebart *et al.*, (1982).

- L'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC)

* But

L'AFC facilite la classification des données très abondantes. Elle permet de visualiser sous forme de nuages de points les individus et les variables dans un espace vectoriel ayant autant de dimensions qu'il existe d'éléments dans les colonnes ou les lignes à analyser. Elle permet de dégager les relations des variables entre elles (échantillons), des individus entre eux (espèces) et entre variables et individus.

* Principe

Dans un tableau de données construit par comptages, les lignes i représentent les espèces et les colonnes j les échantillons. k_{ij} est l'abondance de l'espèce i dans l'échantillon j . La particularité de l'AFC est qu'elle prend en compte les marges du tableau dans le calcul des distances entre espèces ou entre échantillons. Autrement dit, elle prend en compte la somme des abondances de chaque espèce dans l'ensemble des échantillons (marge ligne) et la somme des abondances de différentes espèces rencontrées dans un échantillon donné (marge colonne). Le calcul des distances entre individus ou entre variables s'effectue ainsi à partir du chi-2 (somme des carrés des différences entre composantes des profils multipliés par l'inverse de la fréquence correspondant à chaque terme). Cette distance doublement pondérée, a l'avantage de vérifier le principe d'équivalence distributionnelle, propriété qui a une influence stabilisatrice sur les résultats.

Pour 2 échantillons j et j' , on aura donc

$$d^2_{jj'} = \sum_i 1/k_i (k_{ij}/k_j - k_{ij'}/k_{j'})^2 \text{ où}$$

k_{ij} est l'abondance de l'espèce i dans l'échantillon j

$k_j = \sum_i k_{ij} =$ somme des abondances dans l'échantillon j

$k_{j'} = \sum_i k_{ij'} =$ somme des abondances dans l'échantillon j'

$k_i =$ somme des abondances de l'espèce i .

De même pour deux espèces i et i'

$$d^2_{ii'} = \sum_j 1/k_j (k_{ij}/k_i - k_{i'j}/k_{i'})^2 \text{ où}$$

$k_{i'j} =$ abondance de l'espèce i' dans l'échantillon j

$k_{i'} =$ somme des abondances de l'espèce i' .

* Résultats et interprétation d'une AFC

. Les axes factoriels

Après le calcul des distances, les axes orthogonaux, les axes factoriels sont définis. A chaque axe factoriel est attribué un pourcentage d'inertie qui définit l'importance relative de chacun dans l'organisation du nuage de points. Les données se voient attribuées de nouvelles coordonnées et sont projetées sur les plans factoriels les plus intéressants donnant les images du nuage de points multidimensionnel.

. Les contributions

Chaque axe oppose les points de fortes coordonnées positives aux points de fortes coordonnées négatives, mais du fait que les points soient dotés de poids différents, on ne peut pas raisonner sur la seule coordonnée des points sur l'axe. On définit alors l'indicateur contribution absolue (CA) qui exprime la part prise par un élément donné dans la variance d'un axe considéré, autrement dit, c'est la part de l'étalement du nuage qui est imputable à un individu ou à une variable donnée le long d'un axe k .

Le principe d'interprétation couramment utilisé consiste à retenir les espèces ou les échantillons ayant une contribution absolue supérieure au double de la moyenne arithmétique M , $M = 1000/\text{nombre de variables ou d'individus}$. Ce sont ces espèces ou variables qui dégagent l'axe (c'est à partir de l'écologie de ces espèces qu'il est possible de dégager la signification de l'axe). Très souvent, et *a fortiori* dans un nuage obtenu à partir des comptages de diatomées, une même variable peut avoir une contribution absolue significative sur plusieurs axes du fait de l'interaction de plusieurs paramètres écologiques dans la dispersion floristique. L'examen des contributions relatives (CR) permet de définir l'axe qui explique le mieux la dispersion des variables. Pour cela, on calcule la qualité de représentation relative (QLT relative) de la variable sur chaque axe qui est égale à : $CR \text{ sur axe considéré} / \sum CR \text{ sur tous les axes}$. L'axe ayant la QLT la plus élevée sera celui qui explique le mieux la dispersion de la variable considérée.

- La Classification Ascendante Hiérarchique (CAH)

* *But*

L'approche de la CAH est complémentaire de celle de l'AFC. On détermine dans l'AFC les grands axes de dissemblances entre variables. En classification, on essaie de trouver les ressemblances entre variables. Après une AFC, on dispose des plans de projection sur lesquels on sait que deux points proches se ressemblent du point de vue de ce facteur mais on ne voit pas sur ces graphiques qui ressemble à qui globalement. On procède donc à une classification qui permet de partitionner l'ensemble des variables en « groupes de ressemblances ». Nous avons choisi de prendre comme données pour la classification les coordonnées des objets sur les premiers axes factoriels obtenus, c'est à dire ceux qui apportent le plus d'informations (Benzecri, 1980; Volle, 1978 in Roux, 1985), nous avons pris en compte les axes qui totalisent au moins 50 % de la variance (Servant-Vildary et Roux, 1990b). Les nouvelles variables ne sont pas corrélées entre elles et le problème de la distance initiale est résolu puisque la distance euclidienne s'impose. La distance euclidienne sur les facteurs est à peu près égale à la métrique du chi-2 sur les coordonnées brutes.

* *Principe*

La CAH procède de la manière suivante : parmi l'ensemble des n individus à classer, on cherche la paire qui peut être agrégée à moindre coût. On agrège ces deux points, c'est à dire qu'on les remplace par leur point moyen affecté de la somme de leurs poids. On recalcule les distances entre le nouvel élément et ceux restants. On se retrouve donc dans les mêmes conditions qu'au départ mais avec $n-1$ éléments à classer. Puis, on réitère le procédé sur le nouvel ensemble de points ainsi obtenu. Le nombre de points du nuage diminue à chaque fois d'une unité jusqu'à agrégation finale (lorsqu'il ne reste plus qu'un point).

* *Résultat et interprétation d'une CAH*

Les résultats d'une classification se présentent soit directement sous forme d'une partition en un nombre fixé de classes, soit sous forme d'une hiérarchie emboîtée qui permet de définir des partitions à chaque niveau d'agrégation. Ce résultat graphique de la CAH est appelé « arbre » ou dendrogramme où les groupements d'objets successifs sont représentés. Cet « arbre » est formé de noeuds et de niveaux. Le noeud d'une agrégation est le point moyen des deux points agrégés. Le

niveau du noeud est l'étalement de ses deux points autour de leur moyenne, il s'interprète comme l'accroissement de la dispersion (Roux, 1985).

L'interprétation empirique de l'arbre d'agrégation pour trouver des partitions intéressantes consiste à couper là où le niveau fait de grands sauts. L'utilisation des contributions absolues de l'AFC sur les différents axes considérés permet d'identifier les variables déterminantes dans la formation des noeuds et par conséquent des groupes.

II.6.2. Ordination des échantillons en fonction des espèces (AFC) et interprétations.

Le tableau floristique soumis à l'AFC comprend 74 échantillons (variables) et 134 espèces (individus). Les échantillons de litière n'ont pas été considérés compte tenu du nombre trop faible d'individus (< 50). Les espèces ne présentant jamais des abondances > à 1% et présentes dans un nombre d'échantillons inférieur à 5 ont été également éliminées du tableau soumis à l'AFC. Les codes espèces utilisés figurent sur l'annexe X. Les traitements ont été faits à l'aide du logiciel BIOMECO (CEPE, Montpellier).

Première AFC.

La première AFC a été faite en mettant toutes les variables (échantillons) en actif. Les 10 premiers facteurs représentent 71 % de la variance distributionnelle (tableau II.I). Nous avons considéré les 6 premiers axes qui représentent 57 % de l'inertie totale. La moyenne des contributions absolues est égale à 7,5 pour l'ensemble I des espèces et 13,5 pour l'ensemble J des échantillons.

Première AFC			
AXE	VALEURS PROPRES	INERTIE	INERTIE CUMULEE
1	0,74	12,1	12,1
2	0,7	11,38	23,4
3	0,56	9,18	32,66
4	0,56	9,05	41,71
5	0,51	8,29	50
6	0,42	6,94	56,94
7	0,27	4,42	61,36
8	0,21	3,4	64,76
9	0,2	3,27	68,03
10	0,18	2,92	70,95

Tableau II.I : Ensemble des échantillons de sédiments superficiels. Analyse factorielle des correspondances des données floristiques. Valeurs propres, inertie et inertie cumulée.

- Le plan I. 1 - 2 (figure II.6)

Les axes 1 et 2 représentent 23,48 % de l'inertie totale. L'axe 1 (tableau II.m) est défini par le *groupe 1.1a* composé par les échantillons MV2, MV10 (CA>27) et

MV3 (CA>13,5). Ils sont tous situés du côté positif de l'axe et expliquent 87,5 % de l'inertie de l'axe. Leur QLT relative varie entre 92 et 96 %. Les échantillons SO42 et SO43 situés du côté négatif participent à la construction de l'axe mais leur QLT relative est très faible (4 et 2,3%), ils sont mieux représentés sur l'axe 2.

AXE I.1

	Echantillons et espèces significatifs	Contributions absolues (CA)	Qualité de représentation (QLT) en %
positif	MV10	74	96
	MV2	782	95
	MV3	19	92
négatif	SO42	36	4
	SO43	17	2,3
positif	<i>Achnanthes exigua</i>	618	95
	<i>Achnanthes exigua elliptica</i>	232	95
	<i>Navicula seminulum</i>	16	96
	<i>Fragilaria leptostauron dubia</i>	10	31
négatif	<i>Eunotia aff. pirla</i>	31	4
	<i>Navicula capitoradiata</i>	15	2
	<i>Aulacoseira muzzanensis</i>	12	5
	<i>Aulacoseira aff. italica</i>	10	1,7

Tableau II.m : Ensemble des échantillons de sédiments superficiels, première analyse factorielle des correspondances. Contributions absolues et qualités de représentation des espèces et échantillons significatifs sur l'axe 1.

Les espèces caractéristiques associées à ces échantillons et définissant aussi l'axe factoriel sont *Achnanthes exigua* var. *exigua* (AEXA), *A. exigua* var. *elliptica* (AEXE) et *Navicula seminulum* (NSM), et dans une moindre mesure *Fragilaria leptostauron* var. *dubia* (FLD) du côté positif. Du côté négatif, les espèces *Eunotia* aff. *pirla* (EUAP), *Aulacoseira muzzanensis* (MEMU), *Navicula capitoradiata* (NACR) contribuent à la construction de l'axe mais présentent de très faibles QLT relatives (2 à 9,6 %).

L'axe 2 (tableau II.n) est défini du côté négatif par le groupe 1.2a composé par les échantillons SO42, SO43, SO51 (CA>27) et SO52 (CA>13,5), leur QLT relative est comprise entre 23 et 85 %. Ce groupe représente 72,5 % de l'inertie de l'axe. Les échantillons SO53, SO54 et SO55 proches de ce groupe sont mieux représentés sur l'axe 6. Du côté positif de l'axe, on n'observe pas d'échantillons ayant de CA significative. Les échantillons MV1, MV7, et SO34 (groupe 1.2b) malgré leur faible CA (7 à 10) sont relativement bien expliqués par le facteur (38 à 40 %).

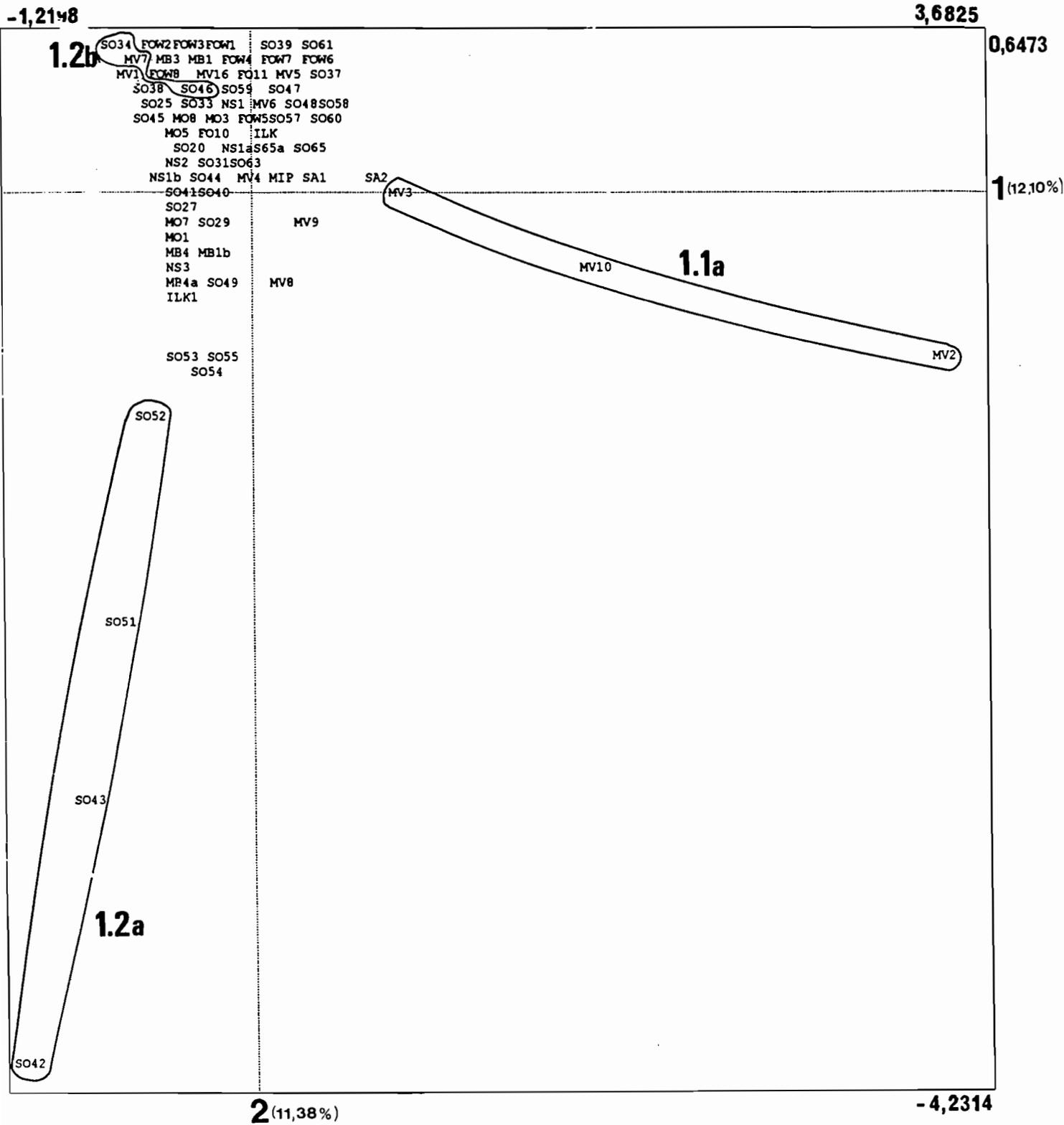


Figure II.6. Première AFC, plan 1/2. Ordination des échantillons de sédiments superficiels définis par la composition floristique.

Axe I.2

	Echantillons et espèces significatifs	Contributions absolues (CA)	Qualité de représentation (QLT) en %
positif	MV7	10	38
	SO34	7	38
	SO46	8	40
négatif	SO42	457	58
	SO43	181	23
	SO51	66	85
	SO52	21	51
positif	<i>Aulacoseira muzzanensis</i>	102	40
	<i>A. italica</i>	36	41
	<i>Fragilaria leptostauron dubia</i>	8	25
négatif	<i>Achnanthes aff. saccula</i>	31	84
	<i>Eunotia aff. pirla</i>	394	54
	<i>Navicula heimansii</i>	74	74
	<i>N. subarvensis</i>	91	76
	<i>Pinnularia obscura</i>	9	76

Tableau II.n : Ensemble des échantillons de sédiments superficiels, première analyse factorielle des correspondances. Contributions absolues et qualités de représentation des espèces et échantillons significatifs sur l'axe 2.

Les espèces associées à ces échantillons sont *Achnanthes aff. saccula* (ACAS), *Eunotia aff. pirla* (EUAP), *Navicula heimansii* (NAHE) *Navicula subarvensis* (NSUA) et *Pinnularia obscura* du côté négatif. Leur QLT relative varie entre 29 et 84 %. Du côté positif, les espèces qui définissent l'axe sont *Aulacoseira muzzanensis* (MEMU) et *A. italica* (MI).

Les autres échantillons sont groupés à proximité de l'origine des deux axes.

En poussant l'analyse sur les 6 premiers axes, nous constatons que chaque axe factoriel considéré met en évidence la dissemblance d'un groupe formé d'un petit nombre d'échantillons par rapport au reste des échantillons. Ces groupes constituent en général l'essentiel de l'inertie sur leurs axes respectifs et tirent les nuages d'un côté alors que la majorité des échantillons reste concentrée autour de l'origine des deux axes. Par conséquent, on n'observe pas d'opposition nette entre des groupes d'échantillons pouvant nous permettre d'identifier à partir des données écologiques et mesurées les paramètres mis en évidence par les axes factoriels.

Nous nous proposons de mettre un certain nombre d'échantillons en supplémentaire afin de faire éclater le nuage de points.

Deuxième AFC

Dans cette AFC, nous avons mis en supplémentaire les échantillons MV10, MV2, MV3, SA1, SA2, SO42, SO43, SO51, SO52, SO53, SO54, et SO55 qui présentent de très fortes CA sur les deux premiers axes de la première AFC. Les variables mises en supplémentaires ne participent pas à la détermination des axes factoriels (contributions nulles) ; autrement dit, elles sont affectées d'une masse nulle. Chacune d'elles se positionnera dans le nuage de points à côté de l'échantillon actif qui lui ressemblera le plus du point de vue floristique.

Dans cette analyse, les 10 premiers facteurs représentent 71,7 % de la variance distributionnelle (tableau II.o). Les 6 premiers axes considérés représentent 55,7 % de l'inertie totale. La moyenne des CA est de 32 pour l'ensemble J' des échantillons, compte tenu du fait qu'il y a peu (2) d'espèces exclusives aux échantillons mis en supplémentaire, la moyenne des CA reste égale à 7,5 pour l'ensemble I'.

Deuxième AFC			
AXE	VALEURS PROPRES	INERTIE	INERTIE CUMULEE
1	0,59	15,92	15,92
2	0,48	13	28,93
3	0,3	8,16	37,07
4	0,26	6,97	44,06
5	0,23	6,15	50,21
6	0,2	5,45	55,66
7	0,18	4,98	60,64
8	0,15	4,07	64,71
9	0,14	3,71	68,42
10	0,12	3,23	71,65

Tableau II.o : Partie des échantillons de sédiments superficiels après mise en éléments supplémentaires, de 12 échantillons, deuxième analyse factorielle des correspondances. Valeurs propres et pourcentages d'inertie des 10 premiers axes factoriels.

- Plan II.1. 2 (figure II. 7)

Les axes 1 et 2 représentent 28,9 % de la variance totale. L'axe 1 (tableau II.p) oppose les *groupes I.1* et *II*. Le *groupe I.1* situé du côté positif de l'axe est composé des échantillons FOW1, MV13 (CA>16) qui définissent l'axe factoriel, puis FOW3, FOW4, FOW6, FOW7, FOW8, MV1, MV5, MV7, SO34, SO39, SO46, SO47, SO59, SO61 qui malgré leur CA relativement faible (7 à 15) sont bien expliqués par le facteur (QLT relative comprise entre 38 et 80 %). Du côté négatif, les échantillons

du *groupe II* (ILK, MO1, MV4, NS1b, NS2, SO27, SO29, SO41, SO44) définissent aussi l'axe. Leur QLT relative est compris entre 56 et 98 %.

AXE II.1

	Echantillons et espèces significatifs	Contributions absolues (CA)	Qualité de représentation (QLT) en %
positif	FOW1	16	43
	FOW3	10	45
	FOW4	8	58
	FOW6	7	61
	FOW7	10	69
	FOW8	10	70
	MV1	12	80
	MV13	16	58
	MV5	8	77
	MV7	15	53
	SO34	11	67
	SO39	10	38
	SO46	12	61
	SO47	9	70
	SO59	10	70
SO61	13	49	
négatif	ILK	30	56
	MO1	57	95
	MV4	114	81
	NS1b	102	78
	NS2	72	78
	SO27	36	90
	SO29	40	98
	SO41	119	82
	SO44	73	84
positif	<i>Aulacoseira muzzanensis</i>	121	39
	<i>A. italica</i>	65	86
	<i>Fragilaria construens exigua</i>	12	74
négatif	<i>Aulacoseira aff. italica</i>	611	80
	<i>Pinnularia obscura</i>	10	91

Tableau II.p : Partie des échantillons de sédiments superficiels après mise en éléments supplémentaires, de 12 échantillons. Deuxième analyse factorielle des correspondances. Contributions absolues et qualités de représentation des espèces et échantillons significatifs sur l'axe 1.

L'assemblage spécifique associé aux échantillons du côté positif est composé de *Aulacoseira muzzanensis* (MEMU), *A. italica* (MI) qui définissent l'axe (CA>15). Leur QLT relative est comprise entre 39 et 86 %. *Fragilaria construens* var. *exigua* bien qu'ayant une CA de 12 a été incluse dans cet assemblage à cause de sa bonne QLT relative (74%). Du côté négatif, *Aulacoseira aff. italica* (MCI) définit l'axe (CA=661), *Pinnularia obscura* (PIOB) malgré sa faible CA est bien expliquée par l'axe (QLT relative = 91%).

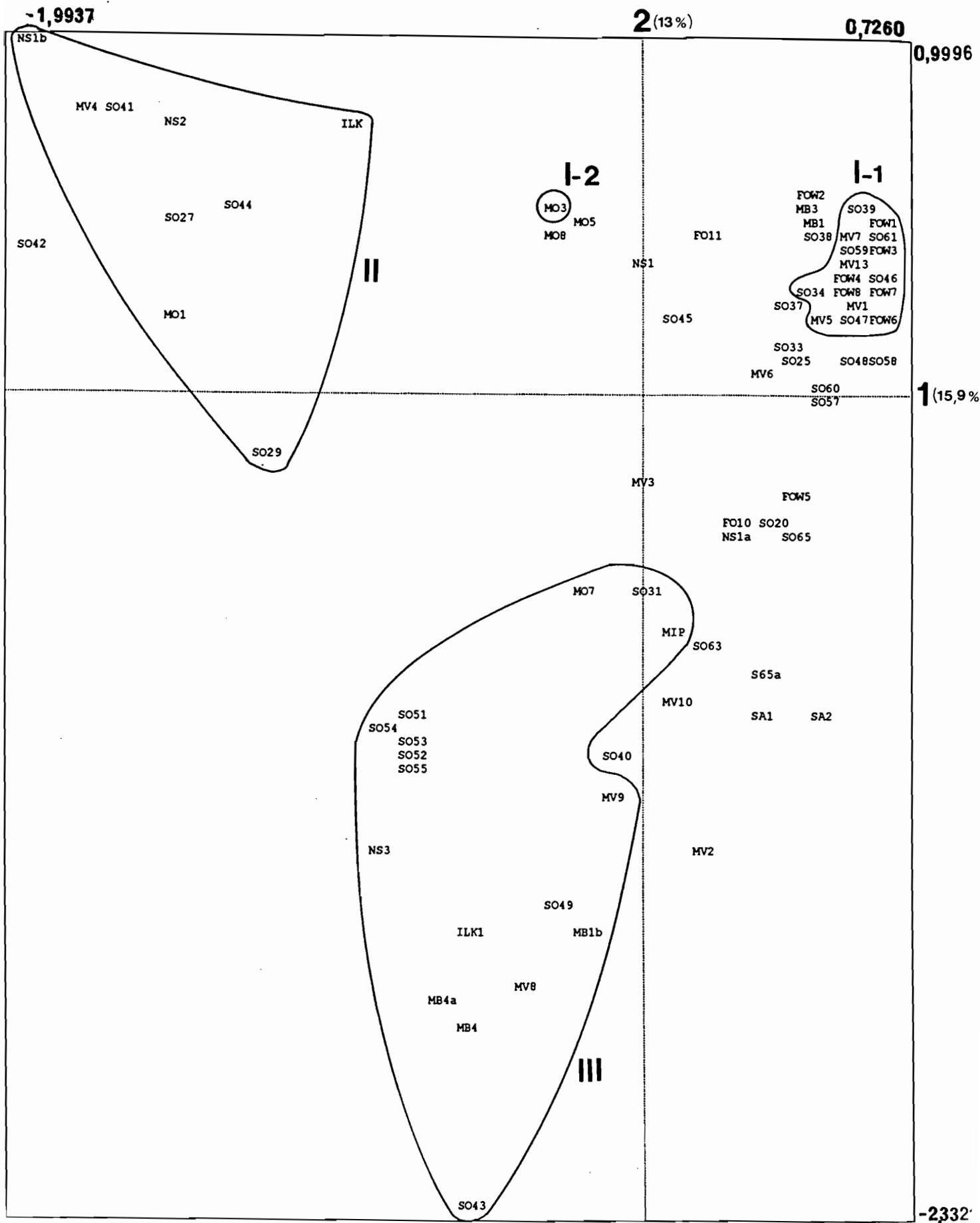


Figure II.7. Deuxième AFC, plan 1/2. Ordination des échantillons de sédiments superficiels définis par la composition floristique.

L'axe 2 (tableau II.q) est défini du côté négatif par les échantillons ILK1, MB1b, MB4, MB4a, MV9, NS3, SO49, (CA>32) qui constituent le *groupe III*. Leur QLT relative varie entre 39 et 74 %. Les échantillons MIP, MO7, SO31 sont à rapprocher de ce groupe malgré leur faible CA (8 à 14) car ils sont bien expliqués par l'axe 2. Les échantillons SO51 à SO55 et SO43 mis en supplémentaires sont inclus dans ce groupe à cause de leur bonne QLT sur cet axe. Du côté positif, l'échantillon MO3 (*groupe I.2*) est bien expliqué par le facteur (55 %) mais il ne définit pas l'axe factoriel (CA=8). Les échantillons MV4 et NS1b bien qu'ayant des CA significatives (28 et 31) sont mieux représentés sur l'axe 1.

AXE II.2

Echantillons et espèces significatifs		Contributions absolues (CA)	Qualité de représentation (QLT) en %
positif	MO3	8	55
négatif	ILK1	79	70
	MB1b	71	39
	MB4	94	38
	MB4a	99	51
	MV8	124	34
	MV9	54	62
	NS3	24	45
	SO49	36	74
	MIP	14	76
	MO7	11	44
	SO31	9	60
	négatif	<i>Eunotia paludosa paludosa</i>	61
<i>E. hexaglyphis</i>		30	39
<i>E. incisa</i>		193	68
<i>E. bilunaris mucophila</i>		28	36
<i>E. pectinalis ventralis</i>		38	43
<i>Frustulia rhomboïdes</i>		114	53
<i>Anomoeoneis brachysira</i>		8	53
<i>Cymbella gracilis</i>		7	47

Tableau II.q : Partie des échantillons de sédiments superficiels après mise en éléments supplémentaires, de 12 échantillons. Deuxième analyse factorielle des correspondances ; Contributions absolues et qualités de représentation des espèces et échantillons significatifs sur l'axe 2.

Les espèces associées à ce groupe et qui définissent aussi l'axe factoriel sont *Eunotia paludosa* var. *paludosa* (EEPA), *E. hexaglyphis* (EUHX), *E. incisa* (EUIS), *E. bilunaris* var. *mucophila* (EULM), *E. pectinalis* var. *ventralis* (EUPV), *Frustulia rhomboïdes* (FRH) (CA>15), puis *Anomoeoneis brachysira* (ASB), *Cymbella gracilis* (CYL), *Eunotia flexuosa* (EUFL), *E. zygodon* (EUZI) qui ont été inclus dans cet assemblage à cause de leur bonne QLT relative sur cet axe (47 à 93 %).

- Plan II.1 - 3 (figure II.8)

Les axes 1 et 3 représentent 24 % de l'inertie du nuage. L'axe 3 (tableau II.r) est défini du côté négatif par le *groupe V* composé par les échantillons MO8, SO25, SO48, SO57, SO58, SO60(CA>32) et MV6 (CA = 13). Leur QLT relative varie entre 34 et 82 %. MV3 (élément supplémentaire) appartient également au groupe. Le *groupe I.3* situé du côté positif est composé de MB1 et MB3 (CA>32). Leur QLT relative est de 48 et 46 %. L'échantillon FOW2 a été inclus dans ce groupe malgré sa faible CA (10), il est relativement bien représenté sur l'axe (47%).

AXE II.3

Echantillons et espèces significatifs		Contributions absolues (CA)	Qualité de représentation (QLT) en %
positif	MB1	44	48
	MB3	35	46
	FOW2	10	47
négatif	MO8	42	34
	SO25	33	52
	SO48	105	64
	SO57	49	57
	SO60	173	62
	MV6	12	47
positif	<i>Aulacoseira muzzanensis</i>	209	34
négatif	<i>Fragilaria leptostauron dubia</i>	305	60
	<i>Fragilaria construens</i>	15	38
	<i>Gomphonema lingulatifforme</i>	56	85
	<i>Navicula seminuloïdes sumatrana</i>	29	48
	<i>Pinnularia viridiformis</i>	57	43
	<i>Pinnularia stomatophora</i>	16	32
	<i>Caloneis incognita</i>	8	69
	<i>Aulacoseira granulata tubulosa</i>	8	84
	<i>A. granulata valida</i>	11	59
	<i>Pinnularia maior</i>	7	36

Tableau II.r : Partie des échantillons de sédiments superficiels après mise en éléments supplémentaires, de 12 échantillons, deuxième analyse factorielle des correspondances ; Contributions absolues et qualités de représentation des espèces et échantillons significatifs sur l'axe 3.

Les espèces associées au *groupe V* sont *Fragilaria leptostauron* var. *dubia* (FLD), *Fragilaria construens* (FRAC), *Gomphonema lingulatifforme* (GLIN), *Navicula seminuloïdes* var. *sumatrana* (NSSU), *Pinnularia viridiformis* (PICA), *Pinnularia stomatophora* (PITO) (CA>16) auxquelles s'ajoutent *Caloneis incognita* (CAI), *Aulacoseira granulata* var. *tubulosa* (MGT), *Aulacoseira granulata* var. *valida* (MGV), *Pinnularia maior* (PIMA), (7<CA<11) à cause de leur bonne QLT relative sur l'axe (36 à 84 %). La seule espèce associée a *groupe I.3* et définissant aussi l'axe (CA=209) est *Aulacoseira muzzanensis* (MEMU). Son QLT relative est de 34 %.

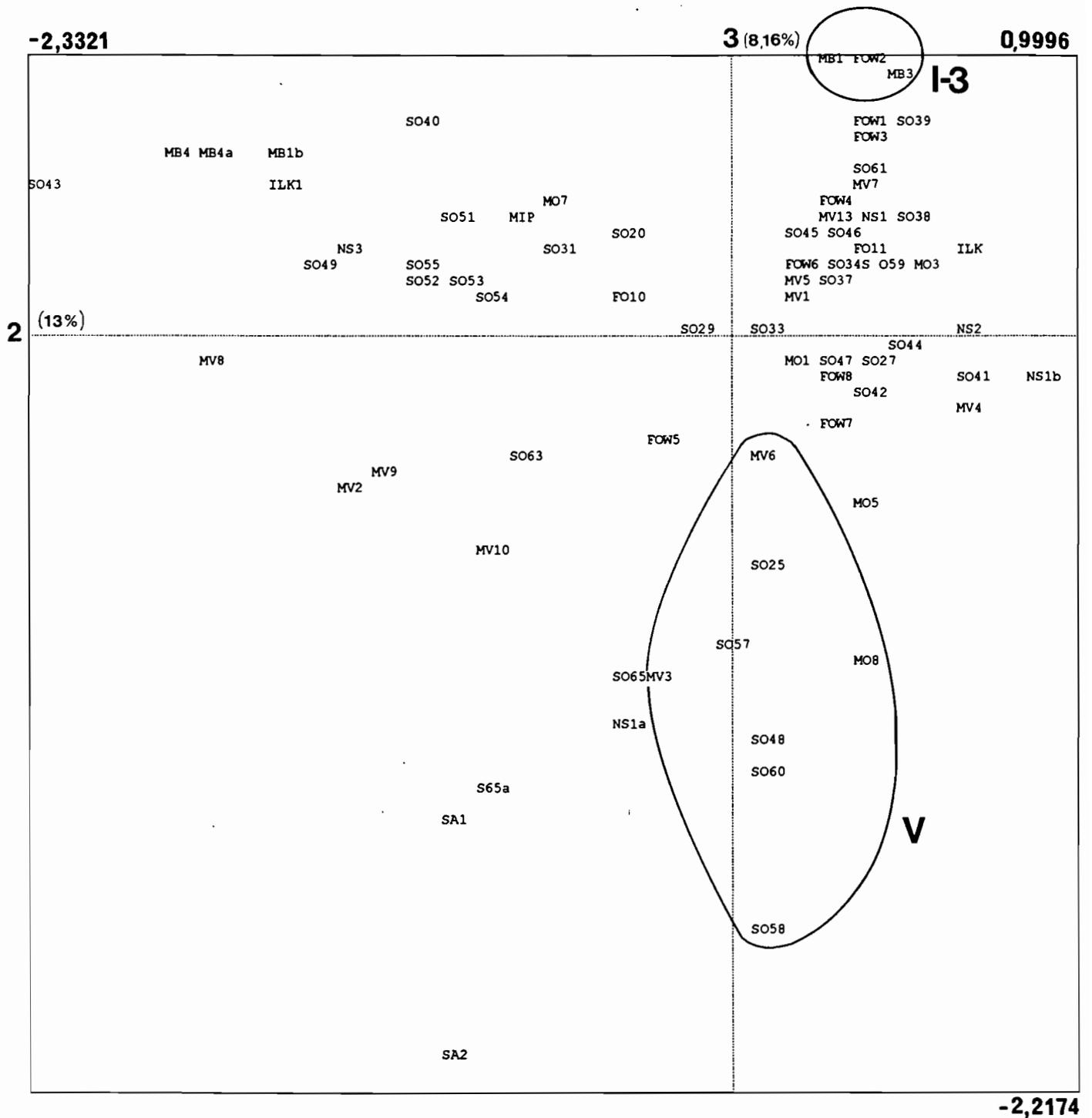


Figure II.8. Deuxième AFC, plan 2/3 Ordination des échantillons de sédiments superficiels définis par la composition floristique.

II.6.3. Classification des échantillons en fonction des espèces (CAH) et interprétations.

Dans cette analyse, nous avons pris comme données de départ les coordonnées factorielles des échantillons de la deuxième AFC car elle nous apporte plus d'informations que la première AFC.

La troncature de la hiérarchie, qui correspond à la coupure du dendrogramme (figure II.9) au niveau du noeud 138 a permis d'obtenir 9 classes d'échantillons. Le noeud 126 (classe IX) agrège les échantillons S65a, SO65 et SA1. Nous avons rattaché à cette classe l'échantillon SA2 qui s'agrège sur le groupe précédent au niveau du noeud 142. Les espèces caractéristiques des classes ont été déterminées à partir des résultats du traitement par le logiciel Varcar « variétés caractéristiques » mis au point par M. Roux. Cette analyse permet d'obtenir pour une espèce donnée sa moyenne dans chaque classe, sa moyenne générale dans l'ensemble des échantillons et son rapport de corrélation qui représente la proportion de la variance interclasse par rapport à la variance totale. La composition des différentes classes ainsi que les espèces caractéristiques de chacune d'elles sont données dans le tableau II. s.

Echantillons de la classe I (noeud 138)

Les espèces dominantes dans les échantillons de cette classe sont *Aulacoseira muzzanensis* et *A. italica*. Les sous-dominantes se composent de *Fragilaria leptostauron* var. *dubia*, *F. construens* var. *exigua*, *Eunotia asterionelloïdes*, *E. incisa*, *Pinnularia microstauron* et *P. subgibba*.

D'après les affinités écologiques qui sont signalées dans la littérature, cet assemblage indique un milieu relativement profond (*Aulacoseira* dominant) probablement, au moins périodiquement, assez transparent pour permettre la présence de diatomées benthiques (*P. microstauron* et *P. subgibba* en sous dominantes). Les espèces dominantes suggèrent que le milieu varie entre des conditions eutrophes (*A. muzzanensis*) et oligotrophes (*A. italica*). Les sous-dominantes indiquent que le pH fluctue entre des conditions alcalines (*F. leptostauron* var. *dubia*) et acides (*E. incisa*).

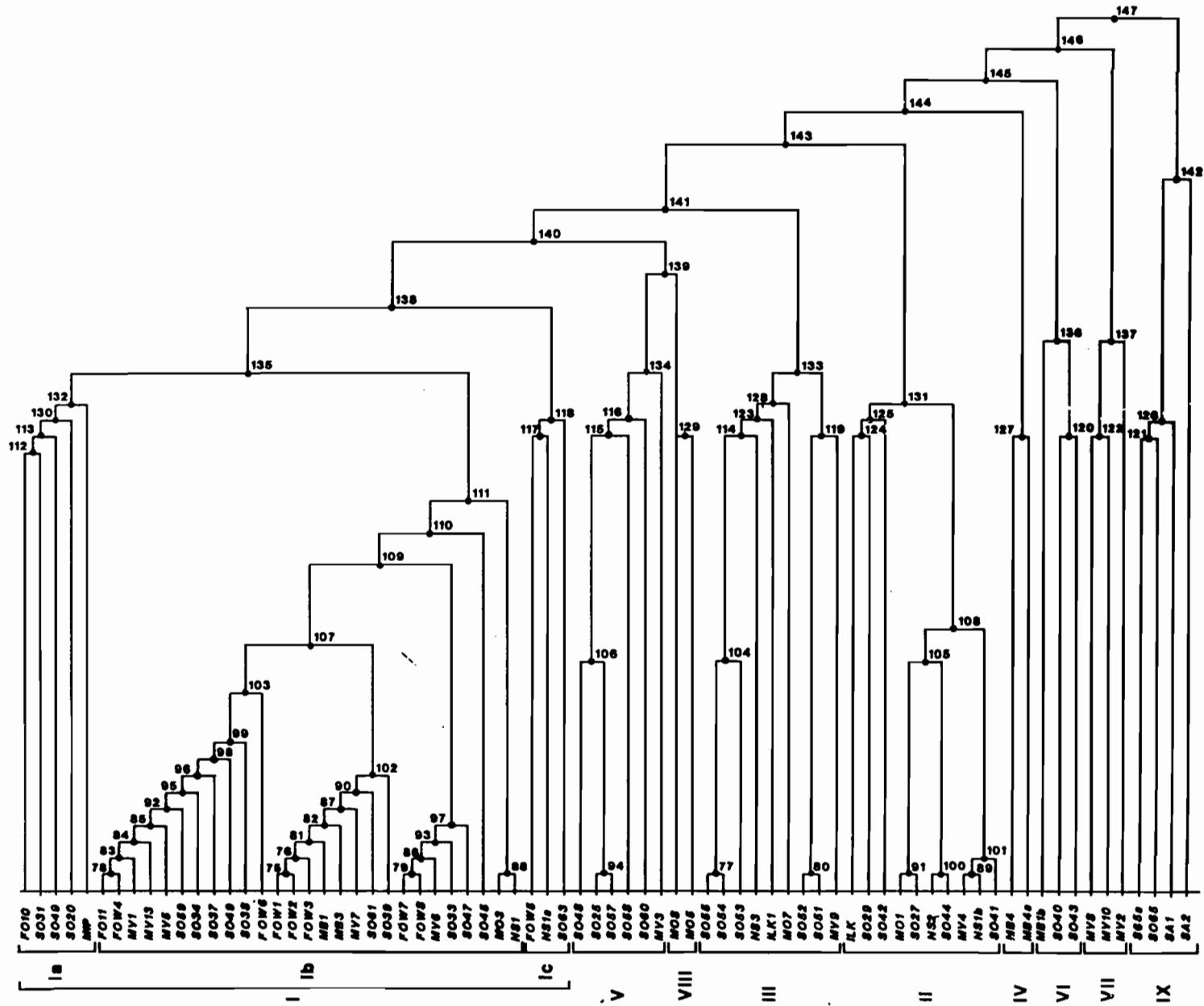


Figure II.9. Ensemble des sédiments superficiels. Classification hiérarchique.
Dendrogramme des échantillons de sédiments superficiels.

Les échantillons de la classe I se répartissent sur de vastes secteurs dans le lac Mévia et dans le lac Ossa et plus ponctuellement dans les lacs Mwembé et Nsipés, la très grande majorité se situant à des valeurs fortes de la profondeur moyenne (figure II.10). D'après les valeurs mesurées de pH, ils recouvrent des milieux faiblement acides à alcalins. On les rencontre dans des eaux contenant de faibles quantités de nitrates à l'exception du lac Mévia où les nitrates étaient absents au moment des prélèvements.

A un niveau inférieur de la classification hiérarchique, on peut séparer ces échantillons en trois sous-classes :

- La sous-classe Ia (noeud 132) où seul SO31 a été individualisé par l'AFC dans le *groupe III* sur l'axe 2. Les échantillons se répartissent à proximité des bordures du lac.

- La sous-classe Ib (noeud 111). Les profondeurs au moment du prélèvement comprises entre 110 cm et 290 cm correspondent aux plus élevées de l'échantillonnage. Seul l'échantillon MV6 correspond à une profondeur plus faible (50 cm), il a été prélevé sous une prairie flottante à *Echinochloa pyramidalis*. Les 16 échantillons individualisés du côté positif de l'axe 1 de l'AFC (*groupe I.1*) appartiennent tous à cette sous classe. L'échantillon MO3 constitue seul le *groupe I.3* de l'axe 2 de l'AFC ; MB1, MB3 et FOW2 constituent le *groupe I.3* de l'axe 3.

- La sous-classe Ic (noeud 118). Aucun des échantillons de cette sous-classe n'est individualisé dans l'AFC.

Echantillons de la classe II (noeud 131)

Tous ces échantillons appartiennent au *groupe II* défini du côté négatif de l'axe 1 de l'AFC. Ils sont caractérisés par l'espèce dominante *Aulacoseira* aff. *italica* et par cinq espèces sous dominantes.

L'espèce dominante a des affinités écologiques mal déterminées. Les espèces sous-dominantes *Eunotia incisa* et *Frustulia rhomboïdes* considérées comme acidophiles, aérophiles et oligotrophes dans la littérature évoquent un milieu acide épisodiquement proche de l'assèchement.

Classes	Sous classes	Echantillons	Espèces dominantes	Espèces sous dominantes
I	la	FO10, SO31, SO49, SO20, MIP		
	lb	FO11, FOW4, MV1, MV13, MV5, SO59, SO34, SO37, SO46, SO38, FOW6, FOW1, FOW2, FOW3, MB1, MB3, MV7, SO61, SO39, FOW7, FOW8, MV6, SO33, SO47, SO45, MO3, NS1	<i>Aulacoseira muzzanensis</i> <i>A. italica</i>	<i>Fragilaria leptostauron dubia</i> <i>Eunotia asterionelloïdes</i> <i>F. construens exigua</i> <i>E. incisa</i> <i>Pinnularia microstauron</i>
	lc	FOW5, NS1a, SO63		
II		ILK, MO1, MV4, NS1b, NS2, SO27, SO29, SO41, SO44, SO42	<i>Aulacoseira aff. italica</i>	<i>Eunotia aff. pirla</i> <i>E. incisa</i> , <i>Frustulia rhomboides</i> , <i>Cymbella cuspidata</i> <i>N. subarvensis</i>
III		ILK1, MO7, MV9, NS3, SO51, SO52, SO53, SO54, SO55	<i>Eunotia incisa</i> <i>Frustulia rhomboides</i>	<i>Anomoëoneis brachysira</i> , <i>Navicula helmansii</i> , <i>N. subarvensis</i> , <i>Pinnularia obscura</i>
IV		MB4, MB4a	<i>Frustulia rhomboides</i>	<i>E. paludosa paludosa</i> , <i>E. hexaglyphis</i> , <i>E. praerupta</i> , <i>Pinnularia brauniana</i> , <i>P. subgibba</i>
V		SO25, SO48, SO57, SO58, SO60, MV3	<i>Fragilaria leptostauron dubia</i>	<i>Achanthes exigua elliptica</i> , <i>Fragilaria construens</i> , <i>Gomphonema lingulatiforme</i> , <i>Aulacoseira muzzanensis</i> , <i>Navicula seminuloides sumatrana</i>
VI		MB1b, SO40, SO43	<i>Eunotia incisa</i> , <i>Navicula capitoradiata</i>	<i>Eunotia pectinalis ventralis</i> , <i>E. asterionelloïdes</i> <i>E. paludosa paludosa</i>
VII		MV8, MV10, MV2	<i>Achnanthes exigua exigua</i> <i>A. exigua elliptica</i> <i>Fragilaria leptostauron dubia</i>	<i>Eunotia incisa</i> , <i>N. seminulum</i> <i>Stauroneis kriegerii</i> <i>E. bilunaris mucophila</i>
VIII		MO5, MO8	<i>Pinnularia vindiformis</i> , <i>P. stomatophora</i>	<i>P. divergens elliptica</i> , <i>P. subgibba</i> , <i>Neidium iridis</i> , <i>Aulacoseira aff. italica</i> , <i>A. muzzanensis</i>
IX		S65a, SO65, SA1 SA2,	<i>Achanthes lanceolata</i>	<i>Cymbella silesiaca</i> <i>Gomphonema lingulatiforme</i> <i>N. pupula pupula</i> <i>N. cryptotenella</i> <i>Aulacoseira italica</i> <i>N. concinna</i> <i>N. helmansii</i> <i>Stauroneis crucicula</i>

Tableau II.s : Tableau récapitulatif des résultats de la classification ascendante hiérarchique sur les échantillons de sédiments superficiels . Classes et sous-classes, espèces caractéristiques et espèces accompagnatrices

Parmi les autres sous-dominantes :

- *Navicula subarvensis* morphologiquement proche de *N. arvensis*, est une espèce d'eau oligotrophe et légèrement acide (Schoeman, 1973). Son pH optimum est de 6,5 (Cholnoky, 1968).

- *Cymbella cuspidata* est trouvée dans des étangs parmi les macrophytes (Germain, 1981). Selon Gasse (1980), elle est littorale, oligohalobe, et alcaliphile à indifférente.

Les échantillons de la classe II caractérisent le Nord du lac Ossa, de même qu'une baie du Mévia et du Mboli. Ils ont aussi été rencontrés ponctuellement dans les lacs Iléka. Les pH (5,4-6,7) mesurés sur les lieux de prélèvement sont acides à l'exception du site de prélèvement SO41 (pH : 7,6). On peut noter que l'espèce *Eunotia* aff. *pirla* qui apparaît en sous-dominante peut être considérée comme acidophile puisqu'elle est associée à des espèces considérées comme acidophiles dans la littérature et rencontrées à Ossa dans des milieux acides (sa plus forte abondance, 62,5 % est observée dans les sédiments de la station SO42 où le pH affiche une valeur de 6,8).

En résumé, les échantillons de la classe caractérisent d'après leurs assemblages de diatomées et en accord avec les paramètres mesurés un milieu acide, oligotrophe et en moyenne peu profond. Un tel milieu est probablement très sensible aux variations saisonnières (la présence d'aérophiles évoque des assèchements épisodiques).

***Echantillons de la classe III* (noeud 133)**

Ils appartiennent tous au *groupe III* défini sur l'axe 2 de l'AFC. Les espèces dominantes sont *Eunotia incisa* et *Frustulia rhomboïdes* considérées comme acidophiles, oligotrophes et aérophiles, cela est en bon accord avec l'écologie de la sous dominante *N. subarvensis*. Les autres sous-dominantes apportent des indications similaires :

- *Anomoeoneis brachysira*. C'est une espèce de tourbières ou d'étangs tourbeux (Germain, 1981). Elle est rencontrée dans des eaux oligotrophes peu électrolysées des milieux nord alpins (Krammer et Lange-Bertalot, 1986). Selon Schoeman (1973), c'est une espèce de milieux acides, son pH optimum se situe entre 5,2 et 5,3 (Cholnoky, 1968).

- *Navicula heimansii*. Son écologie est mal connue. D'après Krammer et Lange-Bertalot (1986), elle est cosmopolite et vit dans des eaux à acidité modérée. Dans

les échantillons étudiés, sa plus forte abondance (13%) est observée dans SO55 qui a été prélevé sous 10 cm d'eau, et à un pH de 4,87.

- *Pinnularia obscura*. C'est une espèce aérophile sur les mousses (Krammer, 1992). Elle est rencontrée dans les tourbières du mont Badda mais elle a aussi des occurrences dans les lacs peu profonds et les rivières (Gasse, 1986). Cet auteur relie sa présence dans les boues marginales du lac Nakuru à des fluctuations du niveau lacustre qui créent des habitats subaériens en saison sèche. Elle est oligohalobe et indifférente au pH (Hustedt, 1957). Son pH optimum est de 6 (Cholnoky, 1968). Sa plus forte abondance (12%) est observée dans les sédiments de la station SO52 où le pH mesuré de l'eau est de 4,78.

Les échantillons de la classe III se situent au débouché des rivières dans le nord du lac Ossa et le Nord du lac Mévia. On les rencontre ponctuellement près du rivage dans un des lacs Nsipés, dans le lac Iléka et à l'Est du lac Mboli.

Toutes les stations sont caractérisées par de faibles profondeurs, et à une exception près (MO7) par des pH mesurés acides (5,6) ou très acides (< 5). Les eaux ne contenaient pas de nitrates à la date du prélèvement.

En résumé la position des échantillons au débouché de rivières ou près des rivages montre clairement que les diatomées sont ici de bons marqueurs des eaux acides issues du drainage des sols sous forêt et encore très peu mélangées avec les eaux lacustres.

Echantillons de la classe IV (noeud 127)

Ils sont inclus dans le *groupe III* défini sur l'axe 2. L'espèce dominante est *Frustulia rhomboïdes* considérée comme acidophile, oligotrophe et aérophile.

Les sous-dominantes comprennent :

- *Eunotia paludosa* var. *paludosa* = *E. exigua* (Breb. ex Kütz) var. *exigua*.

C'est une espèce souvent trouvée dans les mousses, dans des eaux à faibles teneurs en éléments minéraux, dans des tourbières, les sources et les petits torrents (Patrick et Reimer, 1966). Elle est largement répandue dans des eaux acides et oligotrophes riches en oxygène dissous (Schoeman, 1973). Elle est acidophile (Hustedt, 1957). Son pH optimum se situe entre 5,2 et 5,3.

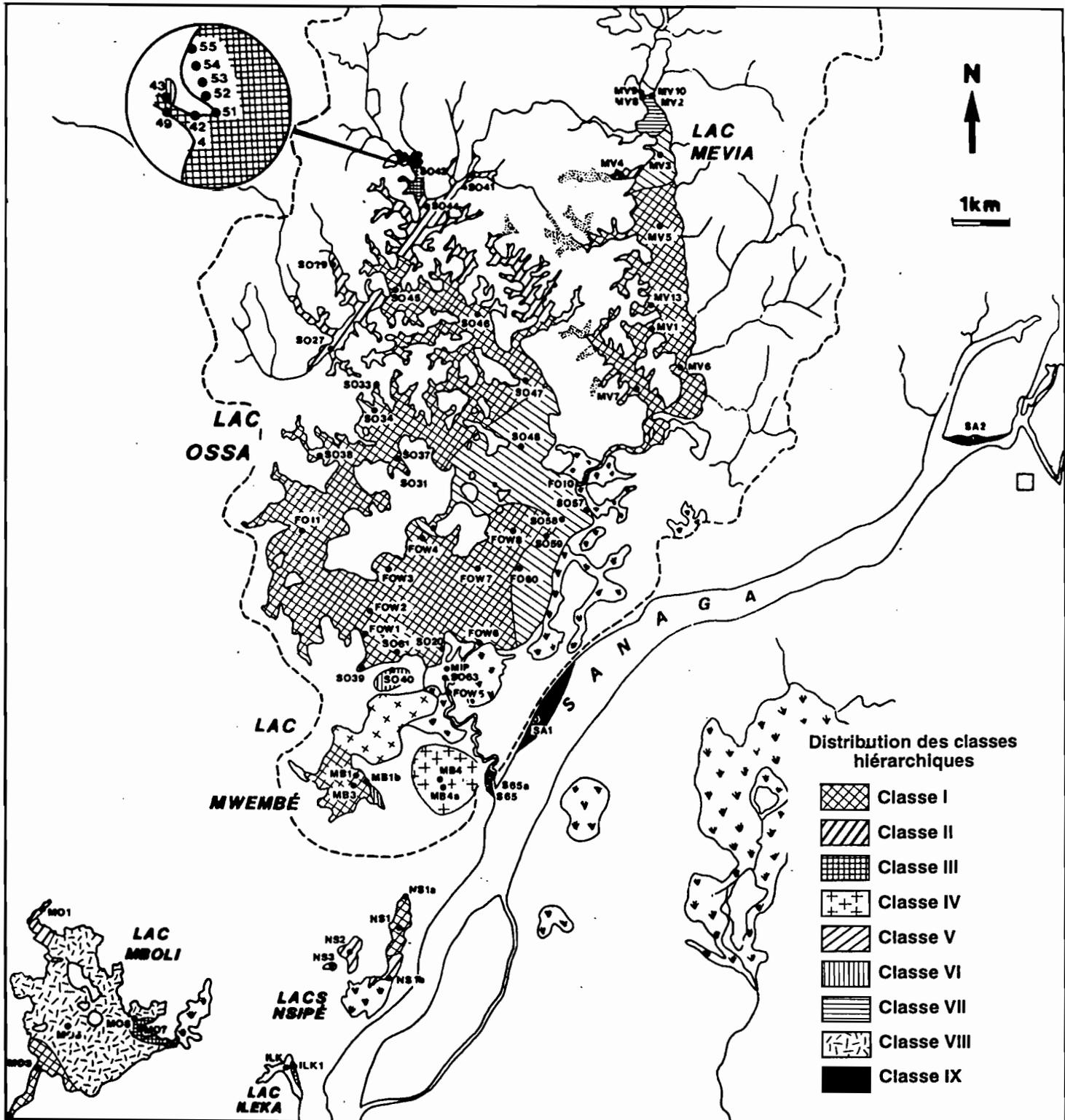


Figure II. 10. Distribution spatiale des classes hiérarchiques dans le lac Ossa et lacs voisins.

- *E. hexaglyphis*. Elle est rencontrée dans les eaux oligotrophes et froides des sources, lacs et marais de montagnes (Krammer et Lange-Bertalot, 1991), dans les tourbières en eaux riches en humus (Mölder et Tynnii, 1968-1973).

- *E. praerupta* est une espèce très répandue dans les étangs et marais, particulièrement en montagne, elle est rare en plaine (Hustedt, 1930). D'après Krammer et Lange-Bertalot (1991), elle se rencontre aussi dans les mousses, les rochers mouillés, les sources, les marécages les flaques, les mares en eaux oligotrophes à mésotrophes. Son pH optimum se situe vers 5,5.

- *Pinnularia brauniana*. Elle est cosmopolite, se rencontre dans des eaux oligotrophes à dystrophes peu électrolysées, de pH inférieur à 6.

Les échantillons de cette classe ont été prélevés dans un marécage non loin du lac Mwembé. Les pH mesurés dans les stations de prélèvement sont acides (5,94). Les teneurs relativement élevées en nitrates dans les eaux de l'une (MB4a) des deux stations au moment du prélèvement laissaient prévoir la présence de diatomées eutrophes. La composition spécifique des assemblages n'en donne pas confirmation et ce sont au contraire des espèces typiquement oligotrophes qui ont été rencontrées. Il est probable que la mesure faite à un instant donné ne reflète ici pas les caractéristiques chimiques moyennes.

Echantillons de la classe V (noeud 134)

Les échantillons de cette classe sont inclus dans le *groupe V* défini du côté négatif de l'axe 3 de l'AFC.

L'espèce dominante est *Fragilaria leptostauron* var. *dubia* tychoplanctonique, alcaliphile et pouvant être oligotrophe ou mésotrophe à eutrophe.

Les sous-dominantes indiquent un milieu oligotrophe profond (*A. muzzanensis*) ou colonisé au moins épisodiquement par la végétation (*Achnanthes exigua* var. *elliptica*, *Gomphonema lingulatifforme*, *Navicula seminuloïdes* var. *sumatrana*). Ceci est en accord avec le caractère tychoplanctonique de l'espèce dominante.

- *Fragilaria construens*. Elle est rencontrée dans les zones littorales des lacs et dans les fonds boueux des zones peu étendues (Hustedt, 1930). C'est une espèce alcaliphile vivant dans les eaux oligotrophes et riches en oxygène (Schoeman,

1973). Son pH optimum est compris entre 7,5 et 7,8 (Cholnoky, 1968). Sa plus forte abondance (7%) est observée dans l'échantillon MV6 du lac Mévia.

La majorité des échantillons de cette classe caractérise la partie Est de la zone centrale du lac Ossa, relativement profonde. Un seul échantillon (prélevé dans une station du même ordre de profondeur) provient de la partie nord du lac Mévia. Les pH mesurés dans ces stations au moment du prélèvement fluctuent entre 8,07 et 9,34 à l'exception de la station de prélèvement de l'échantillon SO57 (7,54) proche de la bordure est du lac Ossa.

En résumé, les échantillons de cette classe caractérisent d'après les assemblages de diatomées et en accord avec les paramètres mesurés au moment des prélèvements, un milieu relativement profond, pouvant être envahi par la végétation aquatique, aux eaux alcalines et relativement oligotrophes.

Echantillons de la classe VI (noeud 136)

Les échantillons MB1b et SO43 appartiennent au *groupe III* de l'AFC, SO40 n'a pas été individualisé par l'AFC.

Les espèces dominantes sont composées de *Eunotia incisa* acidophile, oligotrophe et aérophile et *Navicula capitatoradiata* (= *Navicula cryptocephala* var. *intermedia*, Grunow 1880). Cette deuxième espèce est commune dans les ruisseaux, semble supporter une pollution modérée (Germain, 1981). Elle vit en épiphyte sur les macrophytes dans des eaux à faibles teneurs en éléments dissous (Gasse, 1986) et préfère des eaux eutrophes. Son pH optimum est égal à 8 ou légèrement inférieur.

Les sous-dominantes se composent de *Eunotia asterionelloïdes*, *E. paludosa* var. *paludosa*, et de *E. pectinalis* var. *ventralis*. Cette espèce est rencontrée avec ses variétés dans les flaques, les mares et les sources (Hustedt, 1930). Elles vivent en épiphytes, épipéliques, dans des eaux légèrement acides (Gasse, 1986). Le pH optimum est de 6,5 (Cholnoky, 1968). Selon Patrick et Reimer (1966), elles se développent dans des eaux faiblement minéralisées oligotrophes à eutrophes.

Les espèces sous-dominantes à l'exception de *E. asterionelloïdes* sont en accord avec la dominante *E. incisa*. Elles indiquent un milieu peu profond pouvant s'assécher périodiquement, aux eaux oligotrophes et acides.

Les échantillons de cette classe ont été prélevés dans des stations peu profondes ou moyennement profondes au débouché d'un ruisseau au Nord du lac Ossa, dans la zone périodiquement inondée au Sud du lac et sur la bordure du lac Mwembé. Les pH mesurés au moment du prélèvement fluctuent entre 4,33 et 6,71.

Echantillons de la classe VII (noeud 137)

L'échantillon MV8 est inclus dans le *groupe III* de l'AFC, les deux autres échantillons mis en supplémentaire pendant l'analyse sont mieux représentés sur l'axe 6.

Les espèces dominantes indiquent un milieu colonisé par la végétation (*Achnanthes exigua var. exigua*, *A. exigua elliptica*) et alcalin (*Fragilaria leptostauron var. dubia*).

Les sous-dominantes comprennent *E. incisa*, à laquelle s'ajoutent :

- *Eunotia bilunaris var. mucophila*. L'espèce et ses variétés sont rencontrées en épiphytes dans des marais, en eau acide stagnante ou courante et peu minéralisée (Krammer et Lange-Bertalot, 1991).

- *Navicula seminulum*. Elle est rencontrée sur les rochers suintants, dans les petites masses d'eau, les ruisseaux et les rivières (Germain, 1981), dans le périphyton et les boues de fonds. Elle tolère les habitats subaériens (Gasse, 1986). Selon Hustedt (1957), elle est indifférente au pH, mais d'après Cholnoky (1968) son pH optimum se situe vers 8,4.

- *Stauroneis kriegerii*. Elle est littorale, indifférente au pH et oligohalobe (Hustedt, 1957 ; Patrick et Reimer, 1966).

Les échantillons de cette classe ont été prélevés au Nord du lac Ossa en milieu très peu profond colonisé par les végétaux. Les mesures de pH faites dans les stations au moment du prélèvement indiquent des pH acides (6,29 à 6,91), ce qui n'est pas en accord avec les données écologiques de l'espèce dominante *F. leptostauron var. dubia*.

Nous constatons que *Fragilaria leptostauron var. dubia* dominante dans cette classe, l'est aussi dans la classe V alors que les échantillons correspondant appartiennent à des gammes de profondeurs très différentes. Ce qui confirme qu'elle est un mauvais indicateur de profondeur, ce que son caractère tychoplanctonique nous avait laissé prévoir antérieurement.

Echantillons de la classe VIII (noeud 129)

L'échantillon MO5 appartient au *groupe III* et MO8 au *groupe V* de l'AFC.

Les espèces dominantes indiquent un milieu peu profond ou suffisamment peu transparent, oligotrophe et légèrement acide. Les espèces sous-dominantes composées essentiellement de *Pinnularia* présentent des caractéristiques écologiques similaires à celle de l'espèce dominante. Néanmoins la présence de *A. muzzanensis* rappelle que le milieu peut être profond ou relativement eutrophe, au moins épisodiquement.

- *Pinnularia divergens* var. *elliptica*. L'espèce est rencontrée dans les mares, les flaques et les sources en montagnes (Hustedt, 1930), dans des eaux à très faibles teneurs en éléments minéraux (Patrick et Reimer, 1966). Son pH optimum se situe entre 5,8 et 6,1 (Cholnoky, 1968). La variété *elliptica* est plus fréquente en montagne qu'en plaine dans des eaux très oxygénées et à pH inférieur à 6,5 (Krammer, 1992). Sa plus forte abondance (9%) est observée dans l'échantillon MO8.

Les échantillons de cette classe ont été prélevés dans le lac Mboli moyennement profond et caractérisé par de faibles fluctuations saisonnières du plan d'eau (Wirrmann, communication personnelle). Les pH mesurés dans les stations de prélèvement sont de 6,21 et 6,75.

Echantillons de la classe IX (noeuds 126 et 142)

L'espèce dominante (*Achnanthes lanceolata*) ainsi que la majorité des sous-dominantes (*Cymbella silesiaca*, *Gomphonema lingulatifforme*, *Navicula heimansii*) préfèrent les eaux courantes peu profondes, alcalines et riches en électrolytes.

- *Navicula pupula* var. *pupula*. Elle se développe dans des biotopes divers, sources thermales, tourbières, rivières, petits et grands lacs, où elle vit en benthique ou en épiphyte et occasionnellement dans le plancton (Gasse, 1986). C'est un bon indicateur d'eau fortement alcaline si elle est présente en grand nombre (Schoeman, 1973). Elle semble préférer selon Patrick et Reimer (1966) des eaux douces d'assez fortes teneurs en électrolytes. Son pH optimum se situe autour de 8 (Cholnoky, 1968).

- *Navicula cryptotenella*. Elle est cosmopolite et se rencontre dans des eaux à teneurs faibles à très élevées en électrolytes (Krammer et Lange-Bertalot, 1986).

- *Navicula concinna*. L'écologie de l'espèce n'est pas connue dans la littérature, l'holotype a été récolté par Hustedt (1944 in Simonsen 1987) dans une lagune du Cameroun. Sa plus forte abondance est observée dans l'échantillon SA1 de la Sanaga.

- *Stauroneis crucicula*. C'est une espèce rencontrée dans les côtes marines, ou dans les embouchures des fleuves dans les eaux salées (Hustedt, 1930). Elle est littorale et oligosaprobe selon Gasse (1980).

Les échantillons de cette classe ont été prélevés sur la bordure du chenal reliant le lac Ossa à la Sanaga dans des milieux moyennement profonds, sur la bordure de la Sanaga en milieu très peu profonds. Les pH mesurés au moment des prélèvements sont alcalins dans les stations de la Sanaga (7,84 et 8,13). Par contre, ils sont bas (5,73 et 6,39) sur la bordure du chenal. Ceci est du probablement au mélange des eaux du chenal avec celles d'un petit ruisseau au débouché duquel les échantillons ont été prélevés. Les teneurs en bicarbonates (18,3 mg^l⁻¹) en sodium (2,3) et en calcium sont élevées dans les stations de prélèvement de la bordure de la Sanaga.

II.6.4. Conclusion

L'interprétation de l'AFC et de la CAH montre que :

- Dans les sites de prélèvement qui ne s'assèchent pas en saison sèche, le paramètre prépondérant est la profondeur, l'assemblage de diatomées est composé essentiellement de planctoniques.

- Dans les sites qui présentent de fortes variabilités saisonnières avec assèchements en saison sèche, les trois paramètres sont fortement liés, les assemblages de diatomées sont composés essentiellement par des espèces qui sont à la fois caractéristiques de faibles plans d'eau (benthiques, aérophiles, épiphytes), de pH bas (acidophiles ou acidobiontes), et oligotrophes. Lorsque nous projetons l'ensemble des groupes individualisés sur les trois premiers axes de l'AFC sur le plan 1-2 (figure II.11), on observe le long de l'axe 1 successivement, les groupes I.1 et I.3, puis I.2 et V, et enfin le groupe II.

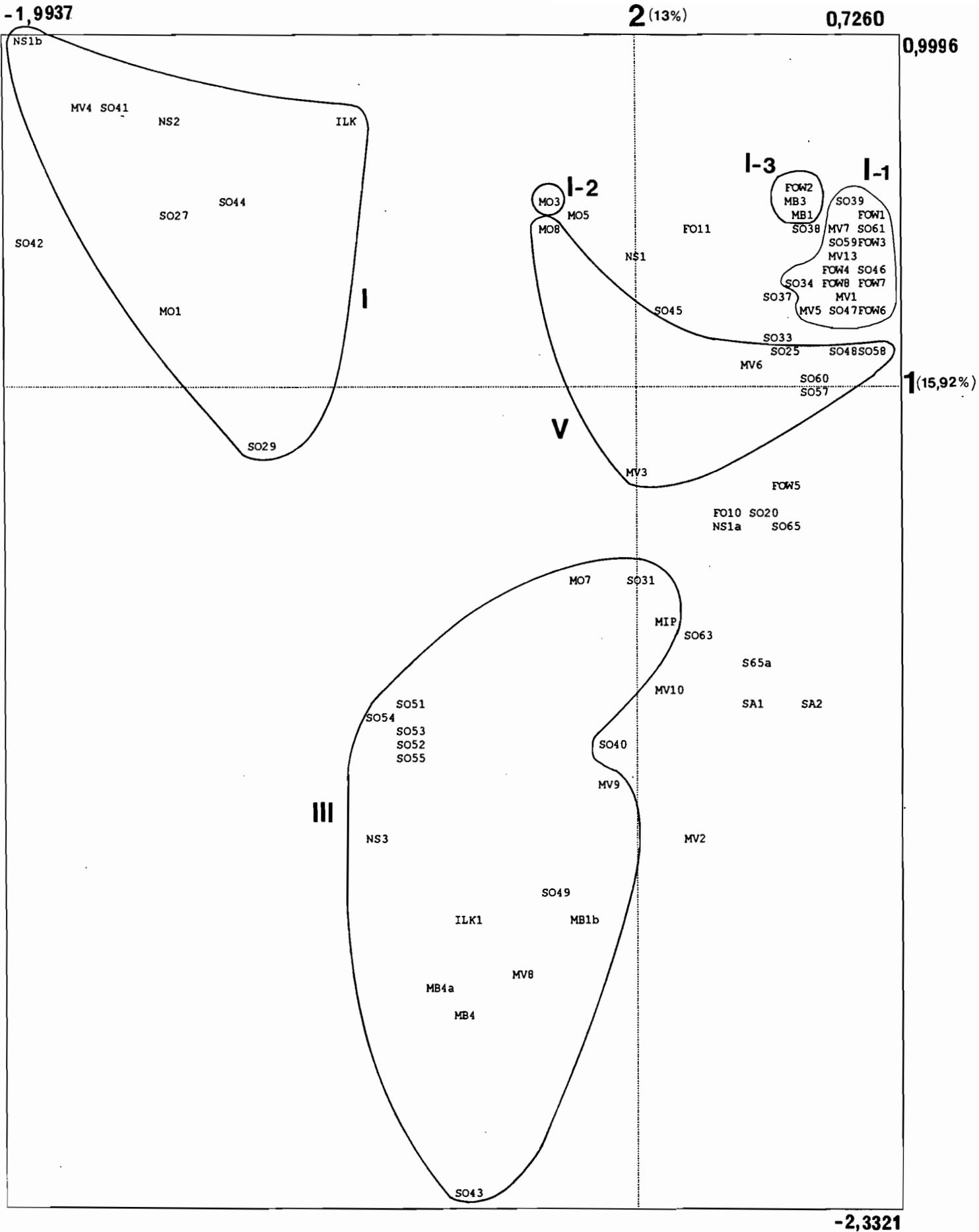


Figure II.11. AFC, plan 1/2. Visualisation de l'ensemble des groupes caractéristiques des axes 1, 2 et 3.

Cette disposition des groupes suggère un gradient de profondeur, mais le pH suit également le même gradient. Sur l'axe 2, on observe successivement les *groupes I.3, I.1 et I.2*, puis *V*, et enfin le *groupe III* qui comme dans le cas de l'axe 1 correspond à un gradient de profondeur et de pH. L'AFC et la CAH indiquent donc que la profondeur, le pH et dans une moindre mesure les caractères trophiques sont les principaux paramètres déterminants de la dispersion floristique mais ils sont fortement liés, nous ne pourrions pas à cette étape de l'analyse déterminer de façon certaine le paramètre prépondérant. L'ACC nous permettra de voir avec précision l'intensité de la relation entre les paramètres du milieu et la floristique.

**C - DIATOMEES DES SEDIMENTS HOLOCENES
(CAROTTE OW4, 5 500 ANS B.P. - ACTUEL)**

Dans la première partie, nous avons montré les relations entre les paramètres du milieu et les assemblages de diatomées sub-actuels. Dans cette deuxième partie nous étudierons les modifications des assemblages au cours des 5 500 dernières années.

Cette étude porte sur la carotte OW4 (longueur : 5,55 m). Elle a été prélevée en Février 1993 par D. Wirrmann, G. Ekodeck, Joyce et A. Kossoni à l'aide d'un carottier à vibration (Martin et Flexor, 1987) sous 1,70 m d'eau à la date du prélèvement (soit 3,9 m en profondeur moyenne annuelle calculée et 6,2 m en profondeur calculée pour la saison des hautes eaux). Le point de prélèvement se trouve dans la zone ouest de la partie centrale du lac Ossa entre la grande île et le rivage. Cette carotte a fait l'objet d'études palynologiques (Reynaud-Farrera, 1995, Reynaud-Farrera *et al.*, 1996) et sédimentologiques (Wirrmann *et al.*, 1997).

Signalons que d'autres carottes ont été prélevées: OW1 (longueur : 3,8 m) et OW5 (longueur : 5,44 m) dans la zone est de la partie centrale du lac Ossa respectivement à 1,6 m et 1,25 m de profondeur à la date du prélèvement (Février 1993), OW2 (longueur : 5,87 m) sous une tranche d'eau de 2,20 m dans la zone sud de la partie centrale du lac Ossa, OW3 (longueur : 4,18 m) sous une profondeur d'eau 1,7 m au Sud-Est du lac. Des études palynologiques ont été réalisées sur OW1 (Reynaud-Farrera, 1995) et sédimentologiques sur OW2 (Bertaux, Bitom-Kossoni et Wirrmann, inédits).

III. LA CAROTTE OW4

III.1. Lithologie

Les sédiments sont constitués de la base au sommet essentiellement de vases argilo-organiques, non laminées, plus compactes à partir de 85 cm (Figure III.1). Des agrégats millimétriques de vivianite sont dispersés dans la colonne, on observe aussi des enveloppes de graines à 56 - 59 cm, 241 - 241,5 cm, et 450 - 451 cm. Des restes organiques de taille centimétrique sont observés à 14,5 - 16 cm, 150 - 156 cm, 181,5 - 182,5 cm et 273,5 cm. Les dépôts humides sont de couleur gris-sombre (5Y2,5/2 du code Munsell Soil Colors Charts, 1975).

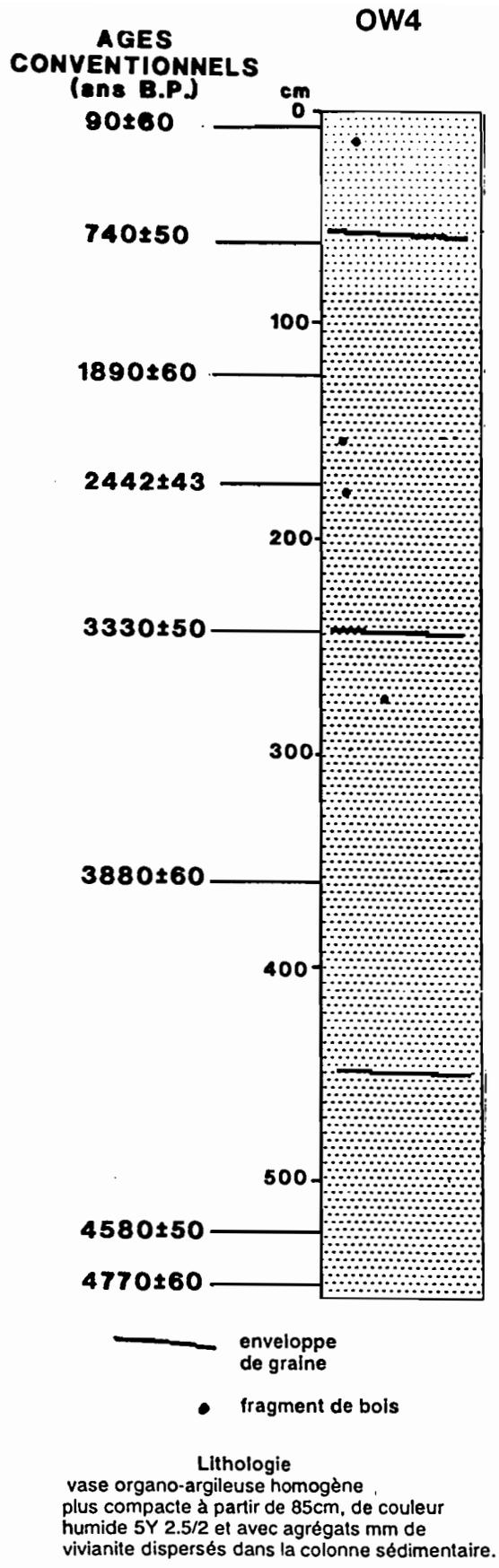


Figure III.1. Carotte OW4. Description lithologique et datations radiocarbone en fonction de la profondeur (cm).

Les analyses infrarouges (Bertaux et Bitom, communication orale) sur 36 échantillons montrent que la kaolinite fluctue entre 42,3 et 68,9 %, la matière organique entre 1,7 et 18,6 %, le quartz entre 3,7 et 13,9 % et la silice amorphe entre 0,9 et 9,2 %. Les autres minéraux (gibbsite, sidérite et orthose) ne sont présents qu'en quelques points même s'ils peuvent parfois atteindre des pourcentages proches de 10.

III.2. Chronologie

Elle est basée sur 8 datations radiocarbone AMS effectuées sur sédiment total par Beta Analytic Inc (Beta) aux USA et l'Université d'Utrecht (UtC) aux Pays Bas (tableau III.a). Nous admettrons que les âges radiocarbone ne sont pas affectés par un « effet réservoir » car la matière organique qui a été analysée provient d'un milieu de sédimentation peu profond où le taux de résidence de l'eau est certainement très court. Ces conditions sont favorables à un équilibre avec l'atmosphère.

Les âges se distribuent de manière cohérente dans la colonne sédimentaire. Le calcul des âges radiocarbone calibrés a été réalisé à l'aide du logiciel Radiocarbon Calibration Program (Stuiver and Reimer, 1993). Pour certaines époques, un âge radiocarbone donné peut correspondre à une large gamme d'âges calendaires. Malgré cette difficulté, il nous a paru nécessaire de présenter nos résultats sur la base d'une chronologie exprimée en âges ^{14}C calibrés. A cette fin nous avons arbitrairement choisi d'afficher pour chaque échantillon un âge moyen calculé à partir des âges maximum et minimum obtenus par la calibration.

III.3. Vitesse de sédimentation

La figure III.2 représentant les âges obtenus en fonction de la profondeur des échantillons datés montre un changement de pente qui indique une modification de la vitesse de sédimentation à 244 cm ($3\ 330 \pm 50$ ^{14}C ans B.P. ; $\sim 3\ 560$ *cal.* ^{14}C ans B.P.).

Le calcul des vitesses de sédimentation en supposant qu'elles ont été constantes entre deux âges consécutifs montre qu'au point de prélèvement de la carotte OW4, les plus fortes vitesses ($1,5$ à $1,6$ mm.an^{-1}) sont enregistrées entre 4770 ans B.P. (5470 *cal.* ^{14}C ans. B.P.) et 3330 ans B.P. (3560 *cal.* ^{14}C ans. B.P.), et les plus

faibles (0,5 à 0,7 mm.an⁻¹) entre 3330 ans B.P. et 740 ans B.P. (633 cal. ¹⁴C ans. B.P.). Après cette date, les vitesses observées (1,1 mm.an⁻¹) sont proches des valeurs sub-actuelles observées par Pourchet *et al.* (1987) dans la partie profonde du lac.

Nous nous sommes appuyés sur ces valeurs de la vitesse de sédimentation pour calculer l'âge de chacun des niveaux dont les diatomées ont été étudiées (chapitre VI, tableau VI.h). Nos résultats seront présentés en fonction d'une échelle de temps exprimée en âge ¹⁴C calibrés. Pour certaines périodes, et en particulier pour les derniers siècles, de nouvelles recherches seront nécessaires dans l'avenir pour tenter de réduire les marges d'erreur de nos évaluations chronologiques.

III.4. Echantillons ayant fait l'objet d'une étude des diatomées

Les carottes ont été échantillonnées par D. Wirrmann au Centre Orstom de Yaoundé en milieu fermé. Les échantillons destinés à l'étude des diatomées ont été prélevés en continu dans des cubes en plastique orientés, de 2 cm de côté.

L'étude des assemblages fossiles de diatomées a été faite sur la carotte OW4. Le choix des échantillons étudiés tient compte des vitesses de sédimentation qui varient au cours du temps (voir § précédent). Afin d'obtenir une résolution temporelle homogène le long de la carotte, les échantillons ont été prélevés à distance irrégulière (environ 15 cm avant 3330 ans B.P. et environ 6 cm après). La résolution est d'environ 70 ans. Elle a été augmentée en certains points de la carotte afin d'appréhender les changements floristiques à court terme.

Chaque échantillon étudié a été prélevé dans la partie supérieure (premier cm) de chaque cube. Il représente 6,5 ans de sédimentation entre 4 770 ans B.P. et 3 330 ans B.P., 16 ans entre 3 330 et 740 ans B.P. et 9 ans entre 740 ans B.P. et l'actuel. Les assemblages de diatomées sont donc composés d'un mélange d'espèces recouvrant plusieurs années, chaque année étant elle-même caractérisée par plusieurs saisons. Chaque assemblage intègre ainsi comme dans le cas des échantillons sub-actuels des variations physico-chimiques pluriannuelles du milieu aquatique.

carotte OW4

Profondeurs (cm)	N° Laboratoire	Âges mesurés ¹⁴ C (ans BP)	Âge ¹⁴ C conventionnel (ans BP)	Âges calendaires (BP)
6,9 - 9	Beta - 73082	140±60	90±60	280 - 0
62,7- 64,9	Beta - 86769		740±50	729 - 642 (591 - 570)
122,9 - 125,5	Beta - 73083	1970±60	1890±60	1950 - 1700
174 - 175	UtC - 3911		2441±43	2706 - 2355
243 - 245,2	Beta - 73084	3430±50	3330±50	3679 - 3449
358,8 - 361	Beta - 73085	3980±60	3880±60	4429 - 4099
523,6 - 525,8	Beta - 73086	4650±50	4580±50	5449 - 5389 (5329 - 5040)
548,3 - 550,5	Beta - 73087	4850±60	4770±60	5619 - 5319

A

Tableau III.a. Carotte OW4. Liste des âges radiocarbones.

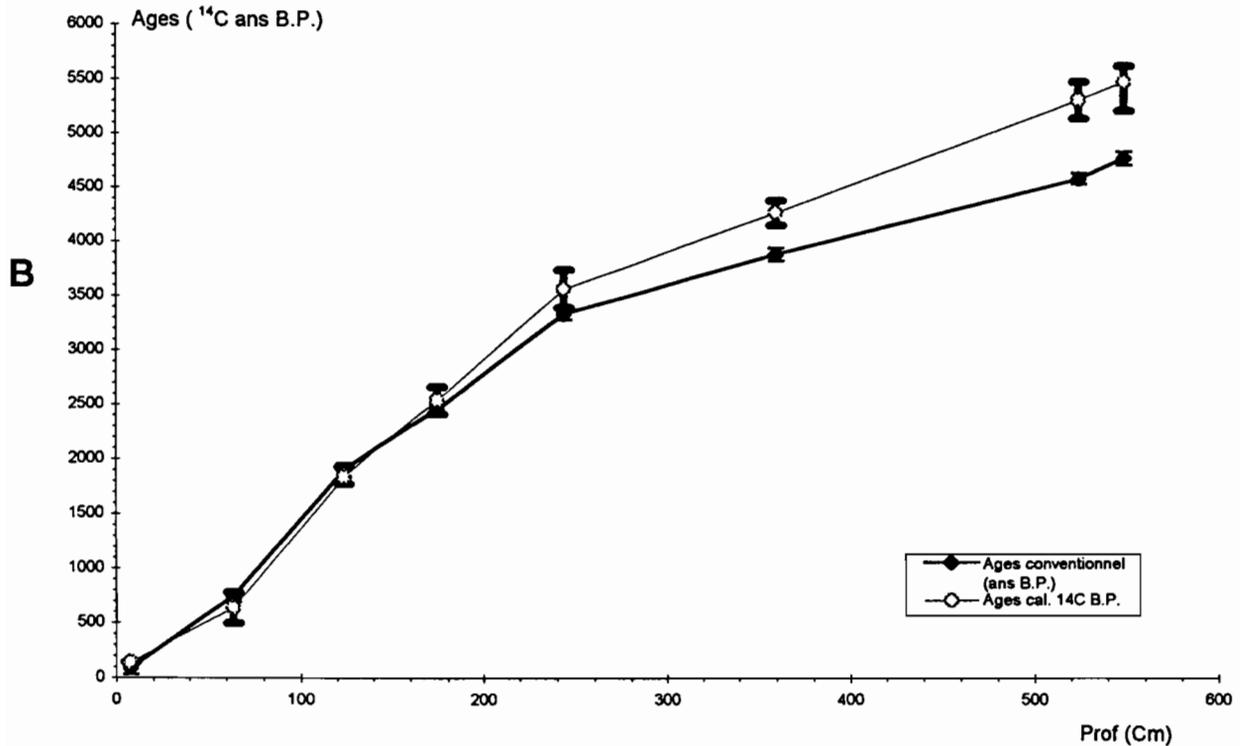


Figure III.2. Carotte OW4. Relation entre les âges radiocarbones conventionnels ou les âges radiocarbones calibrés et la profondeur.

Au total 77 échantillons ont fait l'objet d'une part d'une évaluation du nombre de frustules et d'autre part d'une analyse quantitative et qualitative des assemblages de diatomées.

Les méthodes de préparation des échantillons en laboratoire sont les mêmes que celles utilisées pour des échantillons sub-actuels (cf. chapitre II, § II.1).

IV. DIATOMEES FOSSILES

IV.1. Caractères généraux de la flore fossile

IV.1.1. Diversité spécifique

L'étude des 77 échantillons fossiles montre que les frustules de diatomées sont très bien conservés. Au total 166 espèces et variétés réparties dans 26 genres ont été inventoriées. Les genres les plus diversifiés (figure IV.1) sont *Pinnularia* (28 espèces), *Eunotia* (25 espèces), *Navicula* (19 espèces), *Fragilaria* (15 espèces), *Achnanthes* (12 espèces), et *Aulacoseira* (12 espèces). La diversité est faible dans les genres *Gomphonema* (9 espèces), *Cymbella* (7 espèces), *Neidium* (7 espèces), *Cal.oneis* (4 espèces), *Stauroneis* (4 espèces), *Stephanodiscus* (4 espèces), *Cyclotella* (3 espèces), *Frustulia* (3 espèces), *Nitzschia* (2 espèces). Les genres *Amphora*, *Coscinodiscus*, *Cocconeis*, *Diploneis*, *Epithemia*, *Hantzschia*, *Rhopalodia*, *Schizostauron*, et *Surirella* sont monospécifiques.

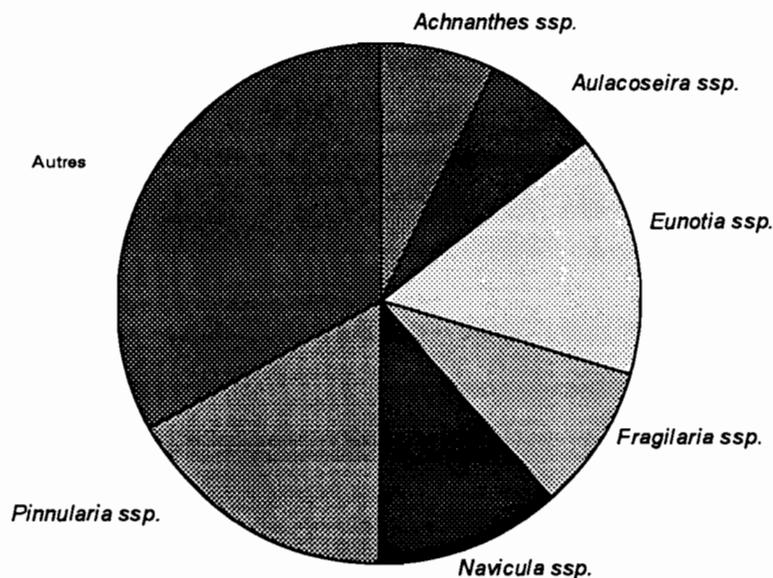


Figure IV.1: Carotte OW4. Diversité spécifique des genres dominants dans la flore fossile

Le nombre d'espèces par échantillon varie entre 21 et 51. La courbe représentant le nombre d'espèces en fonction du temps (figure IV.2) montre que les plus faibles diversités (22 à 25 espèces) se situent entre 2 100 et 2 200 *cal.* ¹⁴C ans. B.P. puis entre 2 627 et 2 650 *cal.* ¹⁴C ans. B.P. Les autres niveaux ne montrent pas de variations importantes du nombre d'espèces.

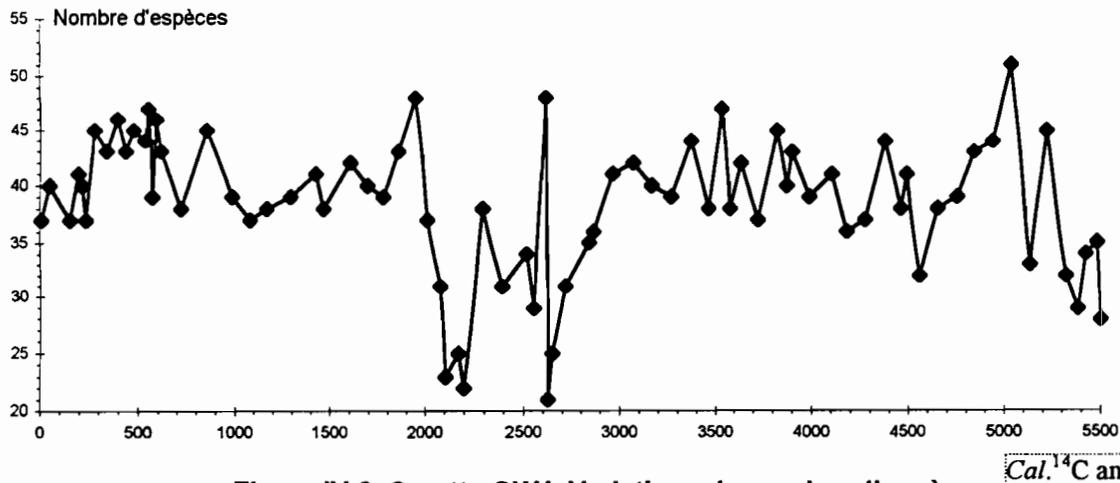


Figure IV.2: Carotte OW4. Variations du nombre d'espèces en fonction du temps (cal. ans B.P.)

IV.1.2. Abondances des principales espèces

L'évaluation de l'abondance en pourcentage des taxons dans la flore fossile (annexe IX) a permis de distinguer trois grands groupes d'espèces bien représentées dans la flore fossile (tableau IV.a).

Groupes	Espèces	Nombre d'échantillons où l'espèce est présente avec un pourcentage >5	Pourcentages min-max	Pourcentage moyen
Groupe A	<i>Aulacoseira muzzanensis</i>	55	5 - 41	14
	<i>Aulacoseira italica</i>	66	5 - 82	26,5
	<i>Fragilaria leptostauron</i> var. <i>dubia</i>	71	5 - 47,5	20
	<i>Fragilaria construens</i>	41	5 - 20	8,5
	<i>Pinnularia viridiformis</i>	38	5 - 47	12,5
Groupe B	<i>Cymbella silesiaca</i>	10	5 - 7,5	6,5
	<i>Gomphonema lingulatifforme</i>	7	5 - 7,5	6
	<i>Pinnularia stomatophora</i>	8	5 - 15	8
	<i>Pinnularia subgibba</i>	15	5 - 9	6
Groupe C	<i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>tubulosa</i>	2	5 - 6	5,5
	<i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>valida</i>	2	5,5 - 15,5	10,5
	<i>Cyclotella stelligera</i>	1	6 - 6	6
	<i>Fragilaria construens</i> var. <i>exigua</i>	3	5 - 7,5	6
	<i>Fragilaria pinnata</i>	2	5 - 6	5,5
	<i>Frustulia rhomboïdes</i> var. <i>rhomboïdes</i>	4	5 - 7,5	6,5
	<i>Navicula seminuloïdes</i> var. <i>sumatrana</i>	2	5 - 5,5	5
	<i>Pinnularia divergens</i> var. <i>elliptica</i>	2	5 - 5,5	5
	<i>Pinnularia episcopalis</i>	4	5 - 12	8
	<i>Stauroneis anceps</i> var. <i>gracilis</i>	2	5 - 5	5
<i>Stauroneis phoenicenteron</i>	3	6 - 8	6,5	

Tableau IV.a: Carotte OW4. Espèces largement réparties dans le temps (groupe A), moyennement réparties dans le temps (groupe B), faiblement réparties dans le temps (groupe C) et fréquence minimum, maximum et moyenne.

- Groupe A

Le nombre d'échantillons où les espèces de ce groupe présentent une abondance supérieure à 5 % est compris entre 38 et 71. Les pourcentages moyens sont les plus élevés (8,5 à 26 %) par rapport aux autres espèces. Ce groupe comprend :

- *Aulacoseira italica*. Les variations de l'abondance de cette espèce en fonction de la profondeur (figure IV.3) montrent les plus fortes valeurs (> 40%) entre 498 et 553,5 cm (51 à 82 %), 296 et 395 cm (40 à 46,5%), 173,5 et 178 cm (51 à 56%), 54 et 57 cm (43,5 et 44 %). Les plus faibles valeurs (< 1%) se situent entre 180 à 182 cm (0,28 à 0,8 %), et entre 142 et 151 cm (0,56 à 0,86 cm).

- *Aulacoseira muzzanensis*. La tendance des variations de l'abondance de cette espèce est proche de celle de *A. italica* entre 0 et 400 cm. La base de la carotte (400 à 555 cm) montre des abondances faibles de l'espèce (1 à 13,5 %) comparées à celle de *A. italica* (16 à 82 %) à l'exception du niveau 482 cm où elle représente 29 % de la flore. Les plus fortes abondances (> 20 %) sont observées entre 362 et 378 cm (27 et 22,5 %), puis entre 1 et 14,5 cm (28,5 et 41 %). Les plus faibles abondances sont observées entre 180 et 197 cm (0,28 à 1,76 %) et entre 137,5 et 150 cm (0,5 et 1,77 %).

- *Fragilaria leptostauron* var. *dubia*. La tendance générale des variations de l'abondance de cette espèce en fonction de la profondeur est en opposition avec celles des deux espèces précédentes. Les plus fortes abondances (> 20%) sont observées entre 378 et 466,5 cm (20,5 à 38 %), 181 à 271 cm (20,5 à 40,5 %), 126 à 133 cm (23,5 et 21 %), et 61,5 à 81,5cm (20,5 à 38,5 %). Les plus faibles abondances (> 5 %) sont enregistrées entre 542,5 et 553,5 cm (3 à 4,5 %), 144 à 150 cm (3%).

- *Fragilaria construens*. L'évolution des variations de l'abondance de l'espèce est proche de celle de *F. leptostauron* var. *dubia* mais les valeurs sont beaucoup plus faibles. Les plus fortes abondances (> 8 %) se situent entre 406 et 437 cm (8,5 à 9 %), entre 182 à 217 cm (8,5 à 17 %), 133 à 157 cm (10 à 12,5 %), et 68,5 cm (13 %). Les autres niveaux montrent des abondances inférieures ou proches de 5 %.

- *Pinnularia viridiformis*. Les abondances les plus élevées (> 20 %) sont rencontrées entre 180 et 182 cm (27 à 29 %), puis entre 137,5 et 150,5 cm (24,5 à 48 %). Ces profondeurs correspondent aussi aux plus faibles abondances

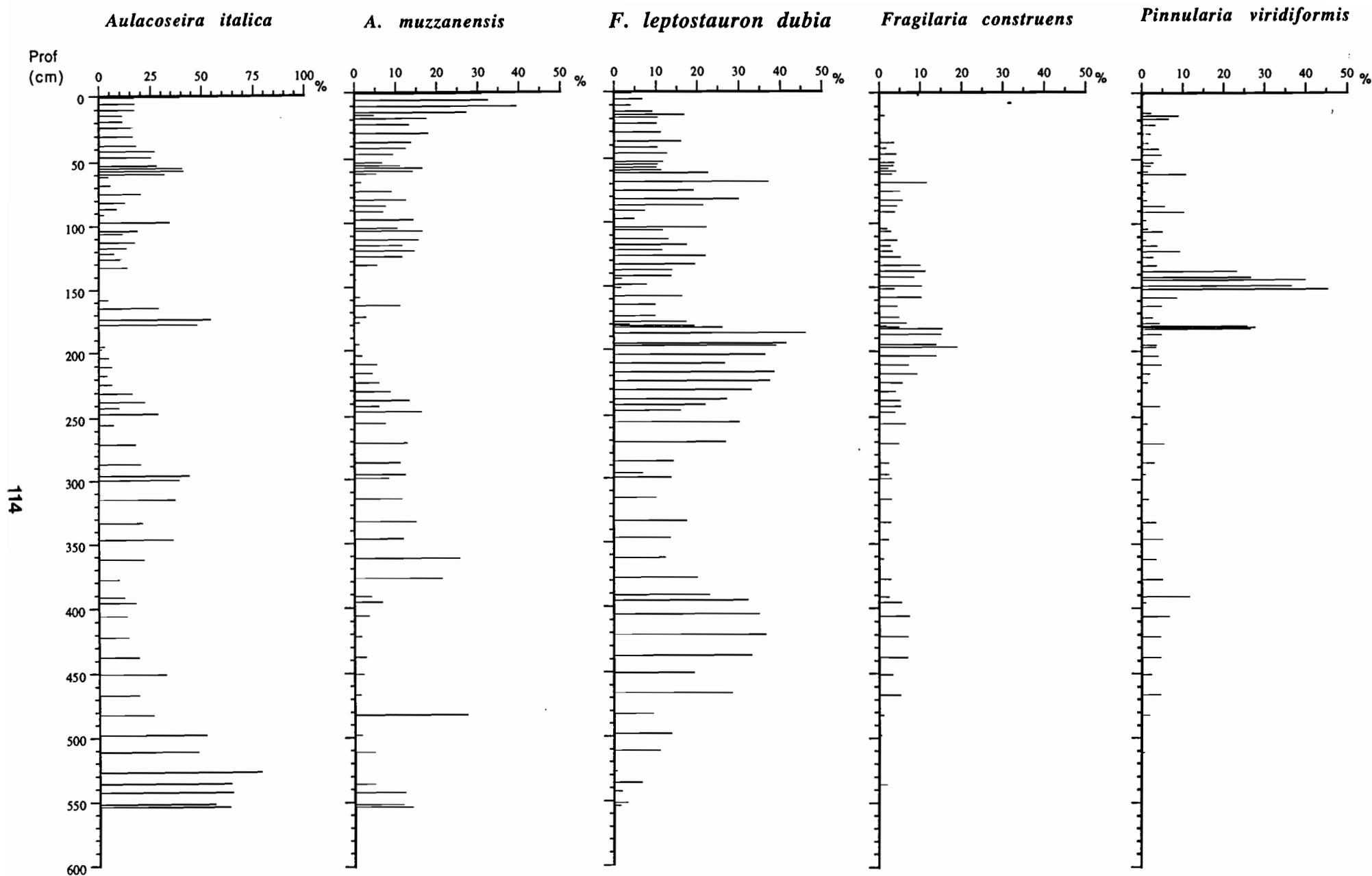


Figure IV.3. Carotte OW4. Variation de l'abondance (%) de quelques espèces dominantes en fonction de la profondeur (cm).

d'*Aulacoseira*. Le reste de la courbe ne montre pas de variations significatives, les abondances étant proches ou inférieures à 5 %.

- Groupe B

Le nombre d'échantillons où les espèces de ce groupe sont présentes avec une abondance supérieure à 5 % varie plus entre 8 et 15. De même, les pourcentages moyens des espèces sont faibles par rapport à ceux du groupe précédent (6 à 8 %). Ce groupe comprend :

- *Pinnularia subgibba*. Les variations de l'abondance relative de l'espèce en fonction de la profondeur (figure IV.4) ne montrent pas de grandes variations. Les abondances sont faibles mais on observe une légère augmentation à 86,5 -93 cm (8,5 et 9%) et à 16,5 cm (7,5 %).

- *Pinnularia stomatophora*. La tendance de l'abondance de cette espèce est proche de celle de *P. viridiformis*. Elle apparaît un peu plus tardivement que l'espèce précédente. Les teneurs sont faibles (> 5 %) avec deux pics à 180 - 182 cm (8,5 à 15 %) et à 151 cm (9 %).

- *Gomphonema lingulatifforme*. Cette espèce n'apparaît qu'au sommet de la carotte. Les plus fortes abondances sont observées entre 68 et 137 cm (3,5 à 7%).

- *Cymbella silesiaca*. Comme pour l'espèce précédente, cette espèce apparaît tardivement, avec les plus fortes abondances entre 91 et 133 cm (5 à 7,5 %).

- Groupe C

Les espèces de ce groupe ont des pourcentages moyens (5,5 à 10,5 %) et maximum (5,5 à 12 %) proches de ceux du groupe précédent mais le nombre d'échantillons où ces taxons présentent un pourcentage supérieur à 5 % est plus faible (1 à 4).

IV.1.3. Comparaison avec la flore actuelle

Parmi les 166 espèces fossiles rencontrées, 117 ont été trouvées dans la flore sub-actuelle, ce qui correspond à un taux de recouvrement de 70,5 % (soit 55 % d'espèces sub-actuelles rencontrées dans la flore fossile).

La comparaison entre les structures floristiques sub-actuelle et fossile montre que les genres les plus diversifiés sont les mêmes. Le nombre d'espèces dans un

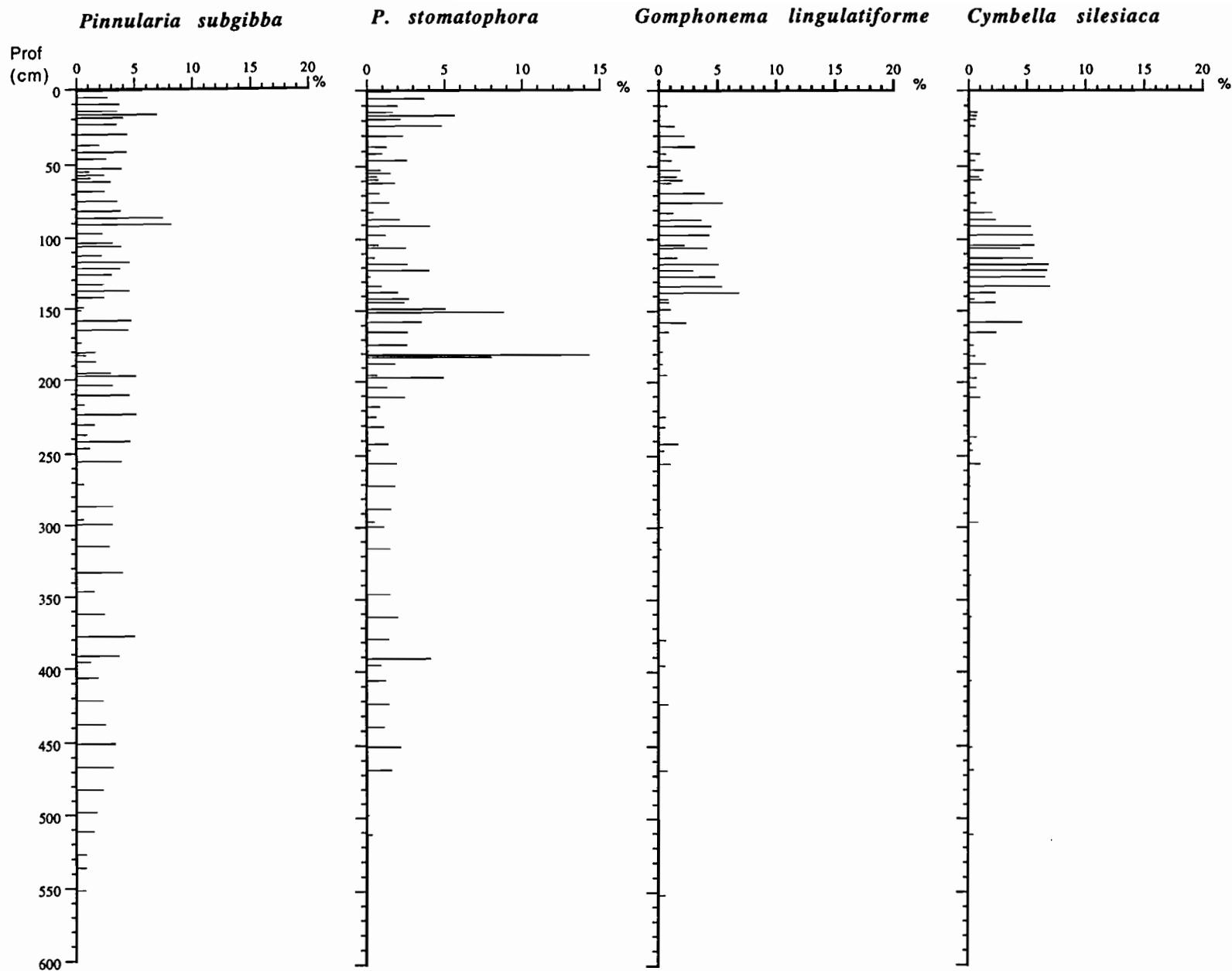


Figure IV.4. Carotte OW4. Variation de l'abondance (%) de quelques espèces écologiquement significatives, en fonction de la profondeur (cm).

genre donné est légèrement plus faible dans la flore fossile; seul le genre *Navicula* a un nombre d'espèces dans la flore sub-actuelle (41 espèces) nettement plus élevé par rapport celui de la flore fossile (19 espèces). On constate que parmi les espèces les plus représentées dans la flore sub-actuelle (groupe A, tableau II.b), seules *Aulacoseira muzzanensis*, *A. italica*, *Fragilaria leptaustron* var. *dubia* sont bien représentées dans la flore fossile (groupe A tableau IV.a). Les espèces *Aulacoseira* aff. *italica*, *Eunotia incisa*, et *Frustulia rhomboïdes*, présentes en très fortes proportions dans certains échantillons sub-actuels, ne montrent que des abondances faibles dans la flore fossile. Ceci indique que le point de prélèvement de la carotte OW4 n'a jamais connu depuis ca 5 500 cal. ¹⁴C ans. B.P. un environnement lacustre comparable aux milieux actuels où on retrouve des assemblages actuels de diatomées contenant ces espèces en abondance. Par contre, *Pinnularia viridiformis* (groupe B tableau II.b) et *Fragilaria construens* (groupe C, tableau II.b) très peu représentées dans la flore sub-actuelle, sont très abondantes dans certains échantillons fossiles (groupe A, tableau IV.a); cela montre que le point de prélèvement de la carotte étudiée a connu au moment du dépôt de ces sédiments un milieu comparable à celui où on trouve dans l'actuel les espèces précitées en abondance.

IV.2. Teneurs en diatomées et paléoproduktivités

IV.2.1. Teneurs en diatomées

Les teneurs en diatomées observées dans les 77 échantillons fossiles étudiés dans la carotte OW4 varient entre $0,02 \cdot 10^7$ et $10,4 \cdot 10^7$ valves par gramme de sédiment sec (VGSS) (figure IV.5). Ces teneurs fluctuent dans une gamme de valeurs qui a été rencontrée dans les sédiments actuels de la partie centrale du lac Ossa (cf chapitre II.4) et notamment sur le transect d'échantillons SO31, SO37, SO34, SO33 (partie ouest de la zone centrale) (tableau IV.b). Nous n'observons à aucun niveau de la carotte les valeurs supérieures à $15 \cdot 10^7$ qui caractérisent aujourd'hui les dépôts du Nord du lac Ossa.

Les plus faibles teneurs ($0,02$ à $0,430 \cdot 10^7$ VGSS) sont observées entre 406 et 482 cm (4555 - 5036 cal. ¹⁴C ans. B.P.) puis entre 137,5 et 197 cm (2013 - 2865 cal. ¹⁴C ans. B.P.), mais de légères augmentations de teneurs sont observées à 144 cm ($0,58 \cdot 10^7$ VGSS), entre 173,5 et 178 cm ($0,57$ à $0,92 \cdot 10^7$ VGSS) et 195 cm ($0,5 \cdot 10^7$

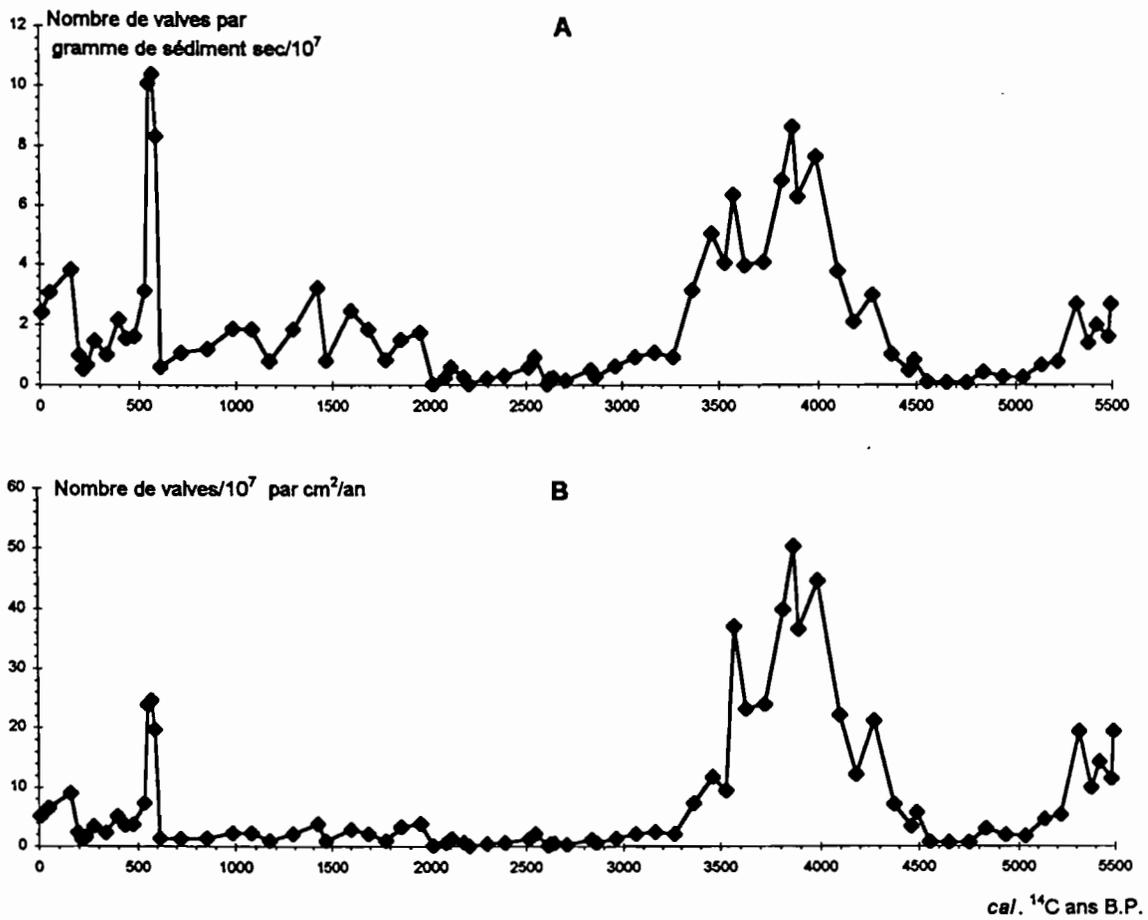


Figure IV.5. Carotte OW4. Variations de la teneur en diatomées (en haut) et des flux de diatomées (en bas) en fonction du temps (cal.¹⁴C ans B.P.)

VGSS). Les fortes teneurs en diatomées (6,3 à $10,4 \cdot 10^7$ VGSS) sont observées entre 286,6 et 315 cm (3821 -3993 cal. ^{14}C ans. B.P.) puis entre 54,7 et 59,2 cm (534 - 593 cal ^{14}C ans. B.P.).

Echantillons		Nombre de valves par gramme de sédiment sec /10'	Espèces dominantes (avec pourcentages observés)
Transect ouest	SO31	11	<i>A. muzzanensis</i> (14) <i>A. italica</i> (16) <i>Eunotia incisa</i> (11,5) <i>Frustulia rhomboïdes</i> (23,5)
	SO33	10,7	<i>A. muzzanensis</i> (18) <i>A. italica</i> (33)
	SO34	11,2	<i>A. muzzanensis</i> (39,5) <i>A. italica</i> (22,5)
	SO37	8,5	<i>A. muzzanensis</i> (30,5) <i>A. italica</i> (32)
Fossile	54,5	10,1	<i>Aulacoseira muzzanensis</i> (12,5) <i>A. italica</i> (43,5) <i>Fragilaria leptostauron dubia</i> (12)
	57	10,4	<i>A. muzzanensis</i> (18) <i>A. italica</i> (44) <i>F. leptostauron dubia</i> (11,5)
	59,2	8,31	<i>A. muzzanensis</i> (15,5) <i>A. italica</i> (34,5) <i>F. leptostauron dubia</i> (12,5)
	286,6	6,85	<i>A. muzzanensis</i> (12,5) <i>A. italica</i> (23) <i>F. leptostauron dubia</i> (15,5)
	296	8,64	<i>A. muzzanensis</i> (14) <i>A. italica</i> (46,5)
	299,3	6,29	<i>A. muzzanensis</i> (9,5) <i>A. italica</i> (42) <i>F. leptostauron dubia</i> (15)
	315	7,65	<i>A. muzzanensis</i> (13) <i>A. italica</i> (39,5)

Tableau IV.b: Teneurs en diatomées sub-actuelles dans la partie ouest du lac Ossa et fortes teneurs en diatomées fossiles : relation avec les espèces dominantes.

IV.2.2. Paléoproduktivités en diatomées

L'évaluation des flux de diatomées (nombre de valves/cm²/an) permet de nous affranchir de l'effet de dilution qui peut varier d'une période à une autre. Les tendances générales des courbes représentant les teneurs en diatomées et les flux en fonction des âges calibrés (figure IV.5) sont les mêmes, les plus fortes teneurs en diatomées correspondant à des valeurs élevées de flux. Ces fortes teneurs peuvent donc être considérées comme de fortes productivités réelles en diatomées. L'évaluation des flux a permis également de préciser les zones de teneur en diatomées car certaines faibles teneurs peuvent bien correspondre à de fortes productivités en diatomées pendant les périodes à fortes vitesses de sédimentation, et réciproquement, certaines fortes teneurs en diatomées peuvent correspondre à de faibles productivités réelles en diatomées en périodes de faibles vitesses de sédimentation. Les teneurs en diatomées moyennes observées entre ca 614 et 1 950 cal. ^{14}C ans. B.P. (0,61 à 3,24 VGSS) correspondent en réalité à de faibles productivités en diatomées (0,94 à 3,85 valves/cm²/an) à cause de la faible dilution des frustules par le sédiment (0,5 à 0,6 mm.an⁻¹). Par contre les teneurs du même

ordre de grandeur observées entre ca 5 219 et 5 497 cal. ¹⁴C ans. B.P. (0,77 à 2,7 VGSS) et entre ca 534 cal. ¹⁴C ans. B.P. et la période sub-actuelle (0,51 et 3,82 VGSS), périodes pendant lesquelles les vitesses de sédimentation étaient élevées (1,1 à 1,6 mm.an⁻¹) correspondent à des productivités en diatomées relativement élevées (3,6 à 19,3 valves/cm²/an). Une légère baisse de la productivité en diatomées est tout de même enregistrée à ca 200 cal. ¹⁴C ans. B.P.

En résumé, les faibles productivités en diatomées (>1 valve/ cm² /an) sont observées entre ca 5036 et 4555 cal. ¹⁴C ans. B.P., entre ca 2865 et 614 cal. ¹⁴C ans. B.P., et à ca 200 cal. ¹⁴C ans. B.P. De légères augmentations de productivités sont observées à ca 2549 cal. ¹⁴C ans. B.P. (2,1 valves/cm²/an) à ca 1950 - 1856 cal. ¹⁴C ans. B.P. (3,3 à 3,85 valves/cm²/an), à ca 1603 ans cal. B.P. (2,46 valves/cm²/an), et à ca 1425 cal. ¹⁴C ans B.P. (3,85 valves/cm²/an).

Les productivités en diatomées les plus élevées sont observées entre 5497 et 5379 cal. ¹⁴C ans B.P. (10 à 19 valves/cm²/an) et entre 4277 et 3464 cal. ¹⁴C ans B.P. (9,5 à 50,3 valves/cm²/an). La remontée vers les productivités actuelles est observée pendant les 10 dernières années.

IV.3. Variations de l'abondance des groupes d'espèces caractéristiques

IV.3.1. Introduction

Comme cela a été fait pour les diatomées actuelles, nous examinerons ici les variations des pourcentages des différents groupes considérés comme caractéristiques de la profondeur, du pH, et du niveau trophique. Nous verrons que les diatomées que nous avons reliées à des apports éoliens dans des milieux actuels sont également présentes à certains niveaux de la carotte OW4.

IV.3.2. Diatomées considérées comme étant caractéristiques de la profondeur d'après la littérature

L'ensemble des taxons a été séparé en 5 groupes en fonction du mode de vie d'après la littérature : les planctoniques, les tychoplanctoniques, les benthiques, les épiphytes et les aérophiles. La figure IV.6 présente les variations du pourcentage cumulé pour chacun de ces cinq groupes et la figure IV.7, les variations des pourcentages cumulés des planctoniques et des tychoplanctoniques (figure IV.7.A), et du pourcentage des planctoniques (figure IV.7.A) en fonction du temps.

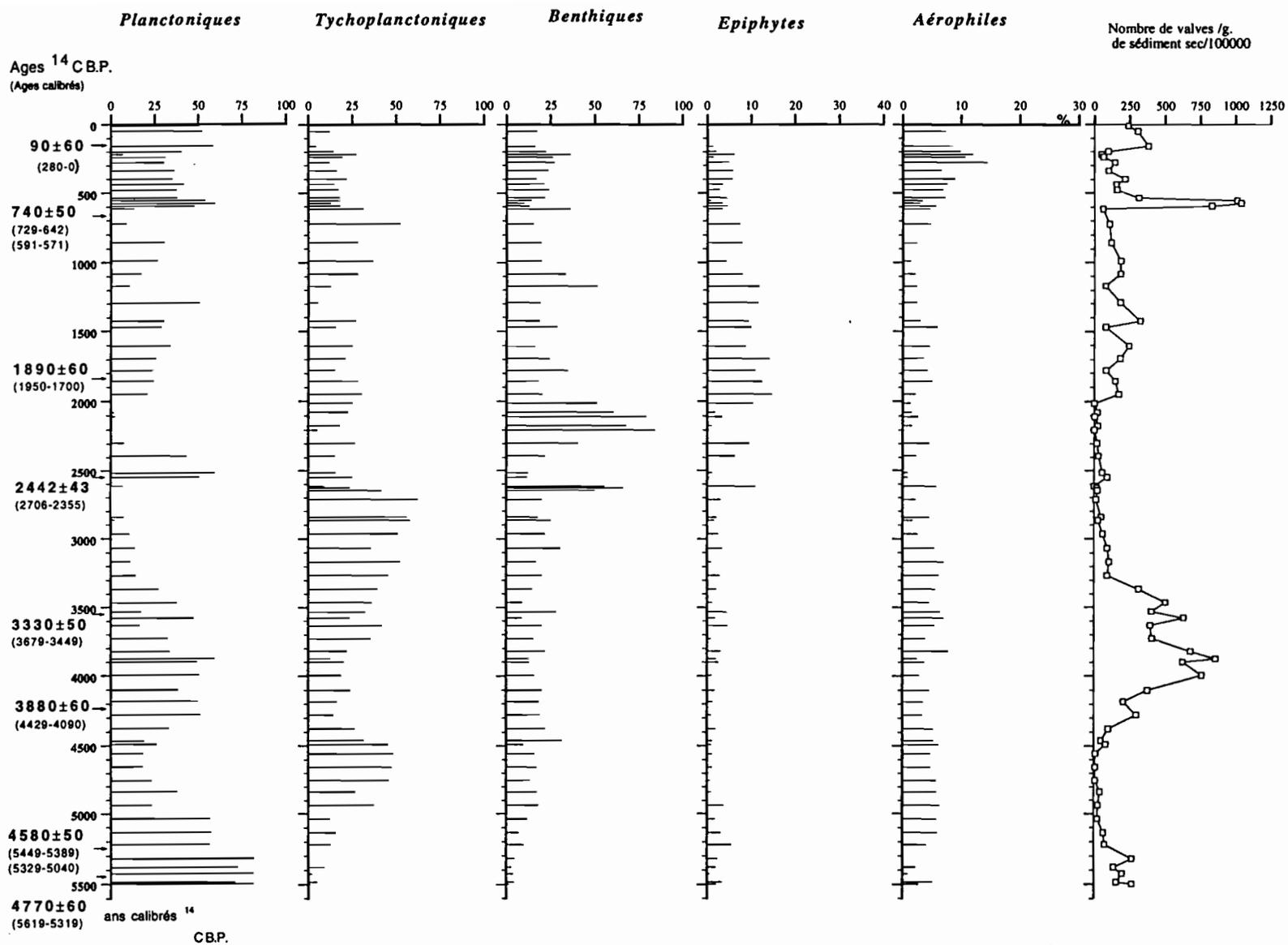


Figure IV.6. Carotte OW4 .Variation de l'abondance (%) des groupes d'espèces indicatrices de la bathymétrie : planctoniques et tychoplanctoniques (profond); benthiques et épiphytes (peu profond) et aérophiles (très peu profond), en fonction du temps (cal. ¹⁴C ans B.P.).

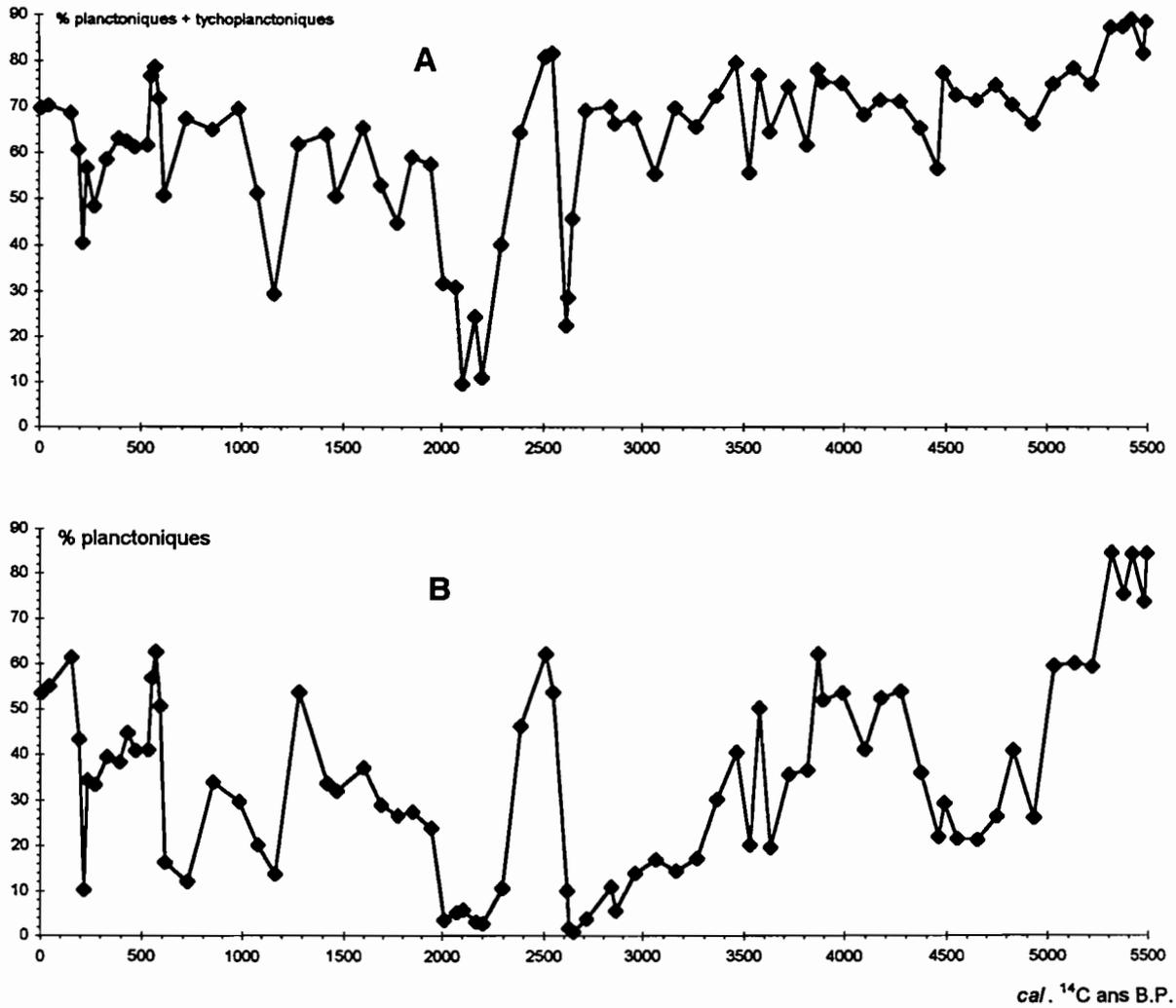


Figure IV.7. Carotte OW4. Variations du pourcentage cumulé des tychoplanctoniques + planctoniques (A), des planctoniques (B).

Les planctoniques

Elles varient entre environ 1 et 85 % le long de la carotte. Les pourcentages supérieurs à 45 % (dont nous avons vu qu'ils caractérisent les zones les plus profondes du lac actuel) s'observent entre 5 500 et 5 000 *cal.* ¹⁴C ans, entre 4300 et 3 800 *cal.* ¹⁴C ans, vers 3 577 *cal.* ¹⁴C ans, entre 2 600 et 2 300 *cal.* ¹⁴C ans, vers 1292 *cal.* ¹⁴C ans, entre 600 et 550 *cal.* ¹⁴C ans et enfin entre 160 et 0 *cal.* ¹⁴C ans. Il est probable que ces épisodes correspondent aux profondeurs maximales dans l'évolution du lac.

Les tychoplanctoniques

Elles varient entre 3 et 65 %. Par comparaison avec leur distribution dans les sédiments actuels et sous réserve d'une discussion qui sera présentée ultérieurement en prenant en considération la composition spécifique, les pourcentages supérieurs à 20 % peuvent être rapprochés des mêmes pourcentages observés dans la partie est de la zone centrale du lac Ossa et d'une partie du lac Mévia dans des zones le plus souvent assez profondes. Les pourcentages supérieurs à 20 % caractérisent surtout la moitié inférieure de la carotte, entre environ 5 000 et 4 300 *cal.* ¹⁴C ans, et entre 3 800 et 2 600 *cal.* ¹⁴C ans. On les rencontre épisodiquement dans la partie supérieure principalement vers 2 000 *cal.* ¹⁴C ans, 1 500 *cal.* ¹⁴C ans, 1 000-600 *cal.* ¹⁴C ans, 500 et 250 *cal.* ¹⁴C ans. Il est difficile de savoir si les phases riches en tychoplanctoniques impliquent une profondeur nettement plus faible que les phases riches en planctoniques. Elles caractérisent des eaux relativement profondes plus ou moins envahies par des prairies flottantes ou des plantes aquatiques telles que les *Nymphaea*.

Les benthiques

Leur pourcentage varie de 4 à 87 %. Les phases les plus riches en diatomées benthiques (> 30 %) sont de courte durée et se répètent épisodiquement le long de la carotte. Les plus importantes s'observent vers 2 700-2 600, vers 2 300-2 000, à 1 100 *cal.* ¹⁴C ans et avec des pourcentages plus faibles entre 300 et 200 - 0 *cal.* ¹⁴C ans. L'augmentation du pourcentage des benthiques entraîne une sous-représentation de tous les autres groupes de diatomées. Aujourd'hui, les pourcentages supérieurs à 30 % ne s'observent pas dans le lac Ossa à l'exception

d'un seul échantillon. Ils caractérisent les sédiments du lac Mboli relativement profond (~ 3 m). Les fortes teneurs en benthiques ne semblent donc pas être forcément caractéristiques des faibles profondeurs.

Les épiphytes

Les pourcentages des épiphytes varient entre 2 et 16 %. Les valeurs les plus fortes (> 10 %) ne sont pas représentées dans la partie inférieure de la carotte avant 2 600 cal. ¹⁴C ans. Les épisodes les plus riches en épiphytes s'observent à ca 2 000 et 1 100 cal. ¹⁴C ans. De nos jours, de tels pourcentages en épiphytes sont exceptionnels dans les sédiments lacustres. Ils ont été observés sur les bordures de la Sanaga, dans les plaines inondables au Sud du lac Ossa, dans un petit lac très peu profond de la région de Nsipé et ponctuellement au fond de quelques bras du lac Mévia. Il est donc très probable que les plus fortes teneurs en épiphytes dans la carotte OW4 indiquent des milieux peu profonds, au moins épisodiquement.

Les aérophiles

Elles sont représentées avec des pourcentages inférieurs à 10 % dans la carotte à l'exception de la partie supérieure entre 300 et 150 cal. ¹⁴C ans où elles fluctuent entre 11 et 15 %. Les valeurs supérieures à 30 % qui ont été rencontrées sous de faibles tranches d'eau sur des bordures lacustres dans des sédiments actuels, dans les zones les moins profondes, dans les zones périodiquement inondables et certains marécages n'ont pas été observées dans la carotte.

En conclusion, les variations des différents groupes de diatomées suggèrent que des variations significatives de la profondeur ont eu lieu depuis 5 500 cal. ¹⁴C ans au point de prélèvement de la carotte :

- La phase de plus faible profondeur probablement caractérisée par des assèchements épisodiques se situe entre 300 et 150 cal. ¹⁴C ans (maximum d'aérophiles). Une autre phase de faible profondeur entre ca 2 000 et 1 100 cal. ¹⁴C ans est marquée par des valeurs maximales d'épiphytes mais le maintien des planctoniques en proportions encore importantes suggère que le lac a connu des variations à court terme de la profondeur.

- Les phases de plus fortes profondeurs (maximum des planctoniques) se situeraient à 5 500 - 5 000/4300 - 3 800, vers 3 577, entre 2 600 et 2 300, vers 1 292, entre 600 et 550 et enfin entre 160 - 0 cal. ¹⁴C ans B.P.

Au stade actuel, de nos interprétations, les périodes riches en benthiques (2 700-2 600, 2 300-2 000 et 1 100 B.P.) sont assez difficiles à caractériser en terme de profondeur. Les périodes riches en tychoplanctoniques, principalement : 5 000 - 4 300, 3 800 - 2 600 B.P., ne sont pas non plus précisément caractérisées en terme de profondeur. Nous reviendrons sur ce problème ultérieurement.

IV.3.3. Diatomées considérées comme étant caractéristiques du pH d'après la littérature

La figure IV.8 présente les variations du pourcentage : (A) des espèces typiquement acidophiles d'après la littérature (les espèces telles que *Pinnularia viridiformis* considérées comme indifférentes à acidophiles n'ont pas été prises en considération), (B) des espèces considérées comme alcaliphiles.

Exception faite de la période comprise entre 280 et 200 cal. ¹⁴C ans B.P., on peut considérer que le lac était en moyenne neutre à alcalin car les espèces alcaliphiles sont toujours plus abondantes que les espèces acidophiles. Néanmoins, les fortes variations du pourcentage des alcaliphiles suggèrent des variations importantes du pH.

- Les périodes les plus riches en alcaliphiles (> 30 %) se situe à ~ 5 000 - 4 400, 3 300-2 700 et 1 100-700 cal. ¹⁴C ans B.P. Nous avons vu au chapitre II que les pourcentages supérieurs à 30 % des alcaliphiles se rencontrent actuellement à l'Est de la partie centrale du lac Ossa de part et d'autre du débouché des eaux en provenance du Mévia. Cela suggère que les périodes riches en alcaliphiles pourraient correspondre à une plus grande extension qu'aujourd'hui des eaux en provenance du lac Mévia dans le lac Ossa. Ces eaux auraient atteint la partie Ouest où a été effectué le sondage OW4.

Une forte augmentation des acidophiles (qui passent de 3 à 19 %) entre environ 550 et 250 cal. ¹⁴C ans B.P. suggère une diminution du pH. Cette diminution pourrait avoir été maximale ou très fréquente vers 300-250 cal. ¹⁴C ans B.P. car les acidophiles sont un peu plus abondantes que les alcaliphiles. Les acidophiles ont alors été un peu plus abondantes qu'elles ne le sont actuellement sur le lieu de prélèvement de la carotte. Mais elles n'ont pas atteint les très forts pourcentages qui

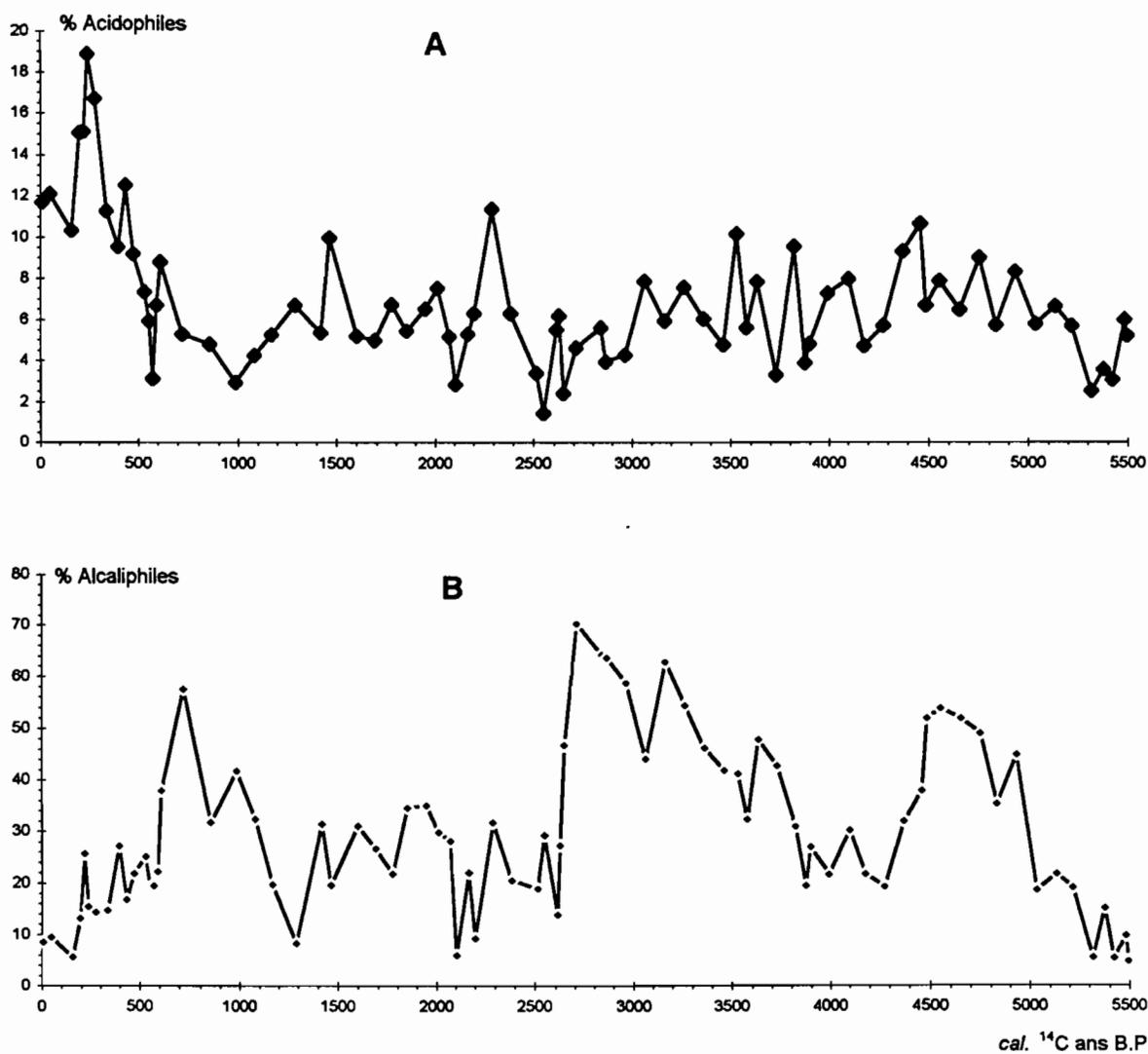


Figure IV.8. Carotte OW4. Variation de l'abondance (%) des espèces indicatrices de pH (A) pH acides (acidophiles). (B) pH basiques (alcaliphiles), en fonction du temps (cal. ¹⁴C ans B.P.)

caractérisent aujourd'hui les assemblages des échantillons prélevés au débouché des ruisseaux dans le Nord du lac Ossa ou dans la zone marécageuse qui se situe à l'Est du lac Mwembé.

En conclusion, les variations du pH pourraient être liées aux apports en eaux issues du lac Mévia : une arrivée massive de ces eaux dans la zone de prélèvement de la carotte OW4 se serait traduite par une augmentation du pH ; en l'absence d'eaux issues du Mévia, le pH serait devenu plus acide.

IV.3.4. Diatomées considérées comme étant caractéristiques du niveau trophique d'après la littérature

La figure IV.9 présente : (A) les variations du pourcentage des diatomées oligotrophes (*Fragilaria leptostauron* var. *dubia* n'a pas été incluse parmi ces diatomées en raison des incertitudes qui subsistent dans la littérature) ; (B) les variations du pourcentage des diatomées eutrophes et (C) les variations du rapport oligotrophes/eutrophes.

La prédominance tout au long de la carotte des diatomées oligotrophes montre que le milieu est resté en moyenne oligotrophe, sauf dans les deux derniers siècles où le rapport oligotrophes/eutrophes, proche de 1 indique une tendance vers l'eutrophisation.

Le rapport oligotrophes/eutrophes suggère qu'un renforcement de l'oligotrophie caractérise deux périodes :

- la première entre 5 400 et 4 600 cal. ¹⁴C ans B.P. environ, présente un maximum d'oligotrophes (> 60 %) autour de 5 400 cal. ¹⁴C ans B.P. De tels pourcentages ont été rencontrés dans les sédiments actuels dans le Nord du lac Ossa, dans le lac Mboli, et en quelques autres points isolés. Néanmoins, il faut souligner que les milieux fossiles très oligotrophes sont caractérisés par l'espèce planctonique *Aulacoseira italica* alors que les milieux actuels les plus oligotrophes sont caractérisés par des espèces aérophiles telle que *Eunotia incisa*.
- la seconde période, entre environ 2 700 et 2 000 cal. ¹⁴C ans B.P., est caractérisée par deux pics dans le pourcentage des oligotrophes (> 60 %) respectivement centrés sur 2 500 et 2 200 cal. ¹⁴C ans B.P. Le premier correspond à une forte fréquence de l'espèce planctonique *Aulacoseira italica* et le deuxième à une forte

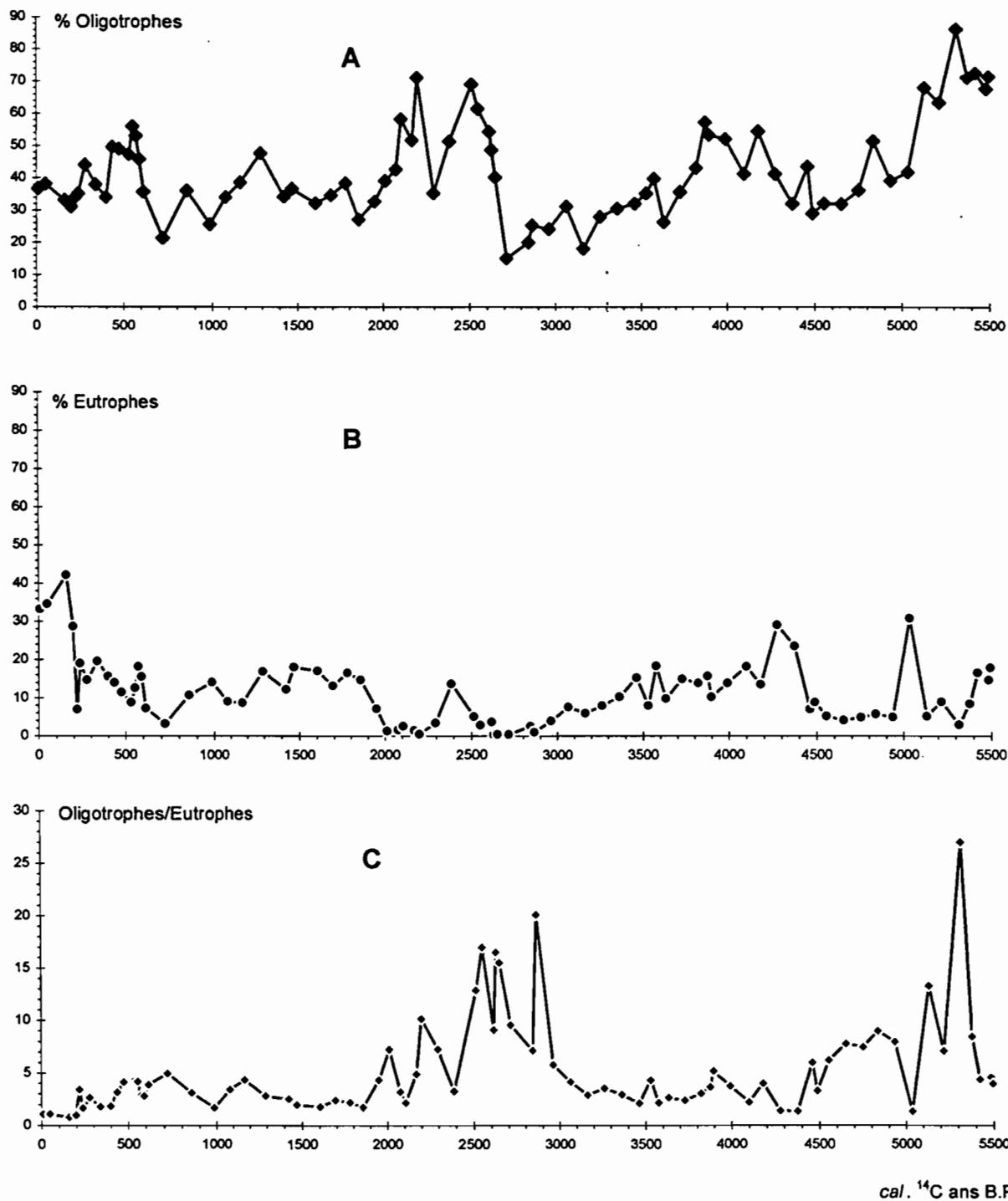


Figure IV.9. Carotte OW4. Variation de l'abondance (%) des espèces indicatrices de faibles teneurs en matières nutritives : oligotrophes (A); fortes teneurs eutrophes (B). (C) variations du rapport oligotrophes/eutrophes, en fonction du temps (cal. ¹⁴C ans B.P.)

fréquence de l'espèce benthique *Pinnularia viridiformis* aujourd'hui abondante dans le lac Mboli relativement profond (~3 m).

En résumé, le milieu lacustre a été dominé par des conditions oligotrophes depuis 5 500 cal. ¹⁴C ans B.P. Mais un renforcement de l'oligotrophie a eu lieu à plusieurs reprises, la profondeur du lac restant assez importante. Une tendance à l'eutrophisation caractérise les derniers siècles.

IV.3.5. Diatomées apportées par le vent.

Nous avons rattaché à ce groupe de diatomées les espèces rencontrées dans les horizons superficiels des sols et des sédiments actuels (cf § II.3.5). Rappelons qu'elles proviennent du remaniement par le vent des diatomites du Sud du Sahara. Ces diatomées sont complètement absentes dans la partie inférieure de la carotte à l'exception de quelques rares niveaux où elles apparaissent avec de très faibles pourcentages (< 0,3 %).

Elles sont par contre toujours présentes dans la partie supérieure après 2 700 cal. ¹⁴C ans B.P. (figure IV.10). Les plus forts pourcentages (> 1,5 %) s'observent à des époques centrées sur 2 700-2 600, 2 400-2 000, 1 000-600, 550, et 200 cal. ¹⁴C ans B.P. Ces époques sont par ailleurs caractérisées par de faibles pourcentages en diatomées planctoniques, ce qui suggère une diminution de la profondeur du lac.

En résumé, l'apparition à 2 700 cal. ¹⁴C ans B.P. des diatomées apportées par le vent et issues du Sud du Sahara a probablement enregistré un renforcement de l'harmattan. Celui-ci a maintenu son influence dans la région du lac Ossa jusqu'à la période actuelle mais des variations de teneurs en diatomées exotiques pourraient indiquer qu'il y a eu des variations dans les apports en poussières durant les 2 700 dernières années et donc des modifications dans l'intensité de l'harmattan.

IV.4. Mise en évidence des espèces les plus significatives et classification des assemblages par traitements statistiques.

Le chapitre précédent a suggéré d'importantes variations du milieu lacustre depuis 5 500 ans B.P. Nous nous proposons maintenant d'utiliser les techniques d'analyses statistiques multivariées (AFC et CAH) afin de vérifier et de préciser nos interprétations.

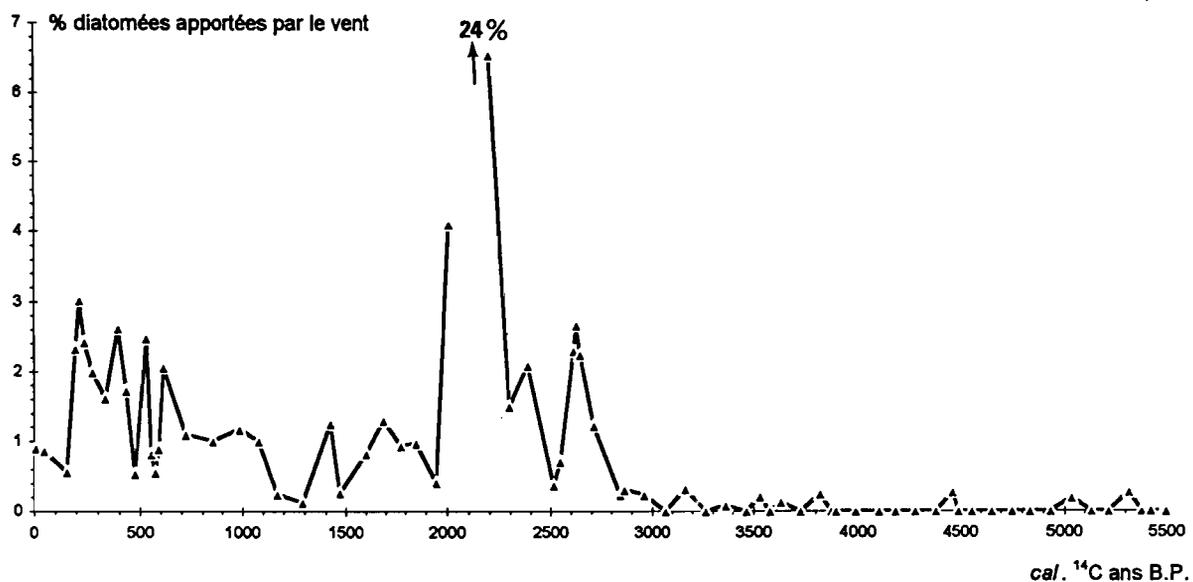


Figure IV.10. Carotte OW4. Variations de l'abondance (%) des diatomées apportées par le vent, en fonction du temps (cal. ¹⁴C ans B.P.)

IV.4.1. Analyse factorielle des correspondances (AFC)

Après élimination des espèces peu représentées, (voir chapitre II.6, § II.6.2), le tableau rectangulaire soumis à l'AFC comprend 77 échantillons et 107 espèces. Les numéros d'échantillons correspondent à leur profondeur de prélèvement arrondie à l'unité supérieure ($> \text{à } 0,5$) ou inférieure ($< \text{à } 0,5$), précédée de la lettre O et de 1 à 2 zéros. Cette codification a été adaptée aux exigences de notre base de données Diatomées DIATUS.

Les 10 premiers facteurs de l'analyse factorielle des correspondances représentent 72,3 % de la variance distributionnelle (tableau IV.c). Nous avons considéré lors de nos interprétations les 6 premiers axes qui représentent 62,4 % de la variance totale. La moyenne des contributions absolues (M) est égale à 9,34 pour l'ensemble des espèces, et à 13 pour l'ensemble des échantillons.

AXE	VALEURS PROPRES	INERTIE	INERTIE CUMULEE
1	0,27	24,19	24,19
2	0,15	13,86	38,05
3	0,11	9,95	48
4	0,068	6,14	54,14
5	0,054	4,83	58,97
6	0,038	3,42	62,39
7	0,033	2,95	65,34
8	0,028	2,48	67,82
9	0,026	2,31	70,13
10	0,024	2,15	72,28

Tableau IV.c: Carotte OW4. Analyse factorielle des correspondances des échantillons fossiles définis par la flore. Valeurs propres, inertie et inertie cumulée.

- Le plan 1 - 2 (figure IV.11)

Les axes 1 et 2 représentent 38,05 % de l'inertie totale. L'axe 1 (tableau IV.d) oppose le *groupe Vla* situé du côté négatif et le *groupe I* situé du côté positif.

Le *groupe Vla* est composé par 4 échantillons ayant une CA (contribution absolue) supérieure au double de la moyenne (26); ils définissent l'axe factoriel et sont également bien expliqués par celui-ci (QLT variant entre 59 et 67 %). Les deux autres ont été inclus dans ce groupe car leur QLT relative sur l'axe est très bonne (68 et 78 %)

L'espèce associée aux échantillons individualisés du côté négatif et définissant l'axe factoriel est *Aulacoseira italica* (MI) (CA= 339), planctonique, oligotrophe et indifférente au pH. Sa QLT relative est de 70 %.

Le groupe I situé du côté positif est composé de 6 échantillons qui par leur forte CA (>26) contribuent fortement à la formation de l'axe factoriel. Leur QLT relative varie entre 60 et 88 %.

Les espèces qui définissent l'axe et sont bien expliquées par celui-ci sont *Pinnularia viridiformis* (PICA), *P. stomatophora* (PITO), *P. episcopalis* (PIEP), *P. divergens* var. *elliptica* (PIDE), espèces benthiques, oligotrophes et légèrement acidophiles.

Pinnularia episcopalis (PIEP) est une espèce rencontrée dans les flaques ou mares en montagnes (Hustedt, 1930). Elle est littorale d'après Gasse (1980), oligotrophe et d'eau acide d'après Krammer (1992). Son pH optimum se situe entre 5,5 et 6 (Cholnoky, 1968).

Pinnularia maior. Elle est rencontrée dans le périphyton des lacs peu profonds, dans les rivières et les tourbes (Gasse, 1986). C'est une espèce largement répandue dans les eaux d'assez basses teneurs en éléments minéraux (Patrick et Reimer, 1966), indifférente au pH (Hustedt, 1957). Son pH optimum se situe autour de 6 (Cholnoky, 1968).

Cet axe oppose donc les espèces planctoniques aux espèces typiquement benthiques. Il s'agit donc vraisemblablement d'un axe de profondeur.

AXE 1

	Echantillons et espèces significatifs	Contributions absolues (CA)	Qualité de représentation (QLT) en %
négatif	O537	40	59
	O552	33	64
	O554	33	67
	O543	32	65
	O057	15	78
	O296	14	68
positif	O151	85	60
	O149	77	68
	O181	73	88
	O142	67	69
	O182	44	88
	O137	40	81
négatif	<i>Aulacoseira italica</i>	339	70
positif	<i>Pinnularia viridiformis</i>	267	77
	<i>P. episcopalis</i>	55	50
	<i>Aulacoseira granulata valida</i>	46	56
	<i>P. stomatophora</i>	38	77
	<i>P. maior</i>	26	80
	<i>P. divergens elliptica</i>	19	77
	<i>A. granulata tubulosa</i>	24	48

Tableau IV.d: Carotte OW4. Analyse factorielle des correspondances des échantillons fossiles définis par la flore. Contributions absolues et qualités de représentation sur l'axe 1.

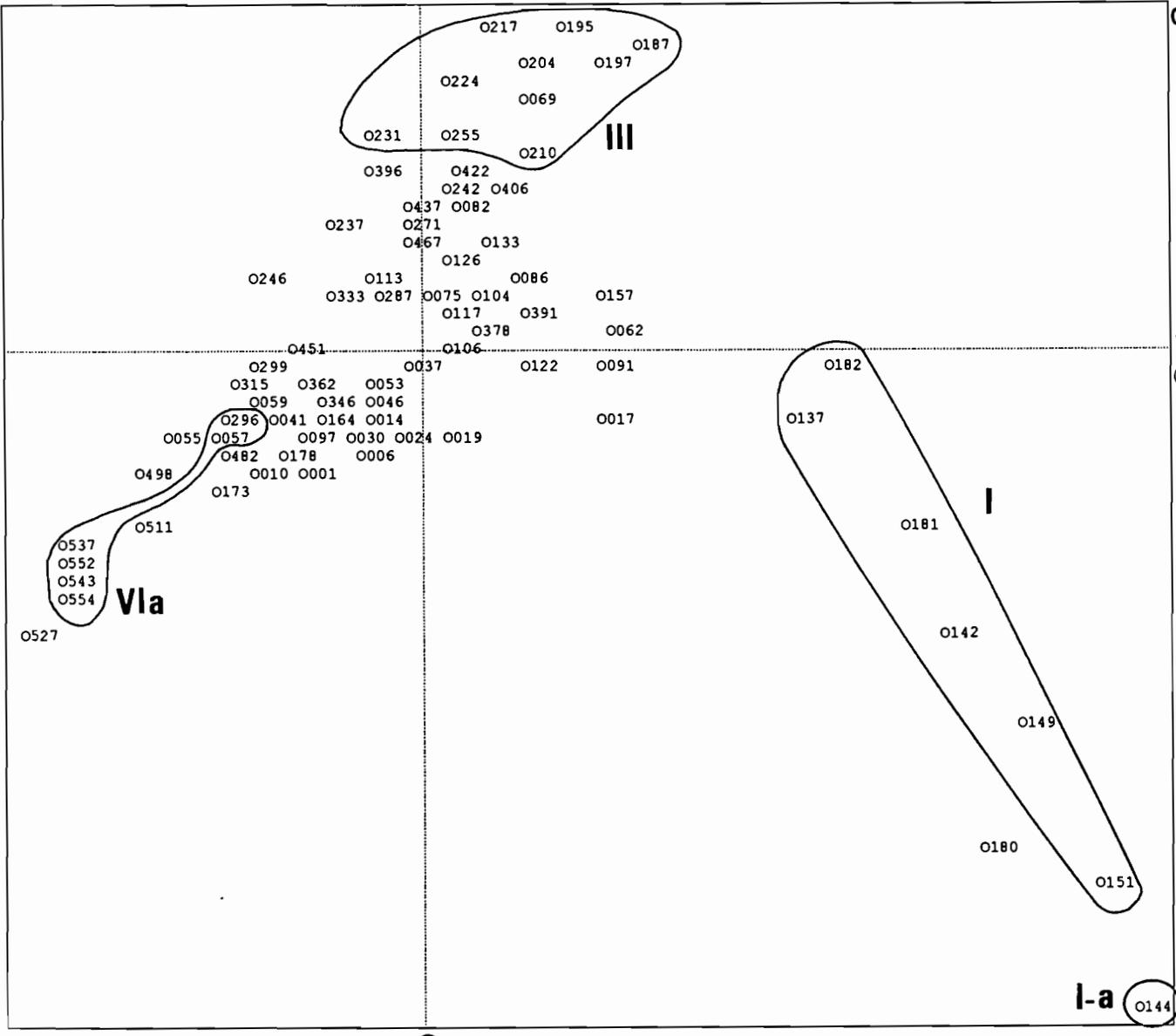
- 1,0105

1,9140

0,73

1
(24,1'

-1,50



2 (13,86%)

Figure IV.11. Carotte OW4. Analyse factorielle des correspondances, plan 1/2. Ordination des échantillons fossiles définis par la composition floristique. Mise en évidence des groupes caractéristiques des axes 1 et 2.

L'axe 2 individualise du côté positif le *groupe III* composé de 9 échantillons. Parmi ces échantillons, O217, O195, O187, O204, O224, O197 et O231 (CA > 26) contribuent fortement à la construction de l'axe, leur QLT relative est bonne (59 à 90 %). Les échantillons O210 et O255 ont été inclus dans ce groupe car ils présentent leur meilleure CA sur l'axe (19 et 18) et sont également bien expliqués par celui-ci.

Les espèces associées au *groupe III* sont *Fragilaria leptostauron* var. *dubia* (FLD) (CA= 308), *F. construens* (FRAC), *Navicula seminuloïdes* var. *sumatrana* (NSSU), *Aulacoseira nygaardii* (MNY), (CA > 18,5 %).

Du côté négatif, seul l'échantillon O144 (*groupe Ia*) caractérise l'axe factoriel 2 par sa forte CA (72). Sa QLT relative sur l'axe n'est que de 34 % car cet échantillon explique (CA = 62) et est expliqué (QLT = 50) par l'axe 1.

AXE 2			
	Echantillons et espèces significatifs	Contributions absolues (CA)	Qualité de représentation (QLT) en %
négatif	O144	72	34
positif	O217	53	73
	O195	46	70
	O187	44	53
	O204	38	67
	O224	37	90
	O069	31	61
	O197	30	59
	O231	28	84
	O210	19	66
	O255	18	91
Négatif	<i>Pinnularia episcopalis</i>	57	30
		5	
Positif	<i>Fragilaria leptostauron dubia</i>	308	80
	<i>F.construens</i>	62	40
	<i>Navicula seminuloïdes sumatrana</i>	31	77
	<i>Aulacoseira nygaardii</i>	19	66

Tableau IV.e: Carotte OW4. Analyse factorielle des correspondances des échantillons fossiles définis par la flore. Contributions absolues et qualités de représentation sur l'axe 2

Du côté négatif de l'axe 2, *P. episcopalis* (PIEP), contribue fortement à la construction de l'axe factoriel (CA = 57), mais elle est moins bien expliquée par l'axe (QLT = 30 %) par rapport à l'axe 1.

On observe sur cet axe une opposition entre des espèces tychoplanctoniques, oligotrophes et alcaliphiles et des espèces benthiques, oligotrophes et acidophiles. Ces deux groupes d'espèces se distinguent principalement par le caractère alcaliphile du premier et acidophile du deuxième. Il s'agit donc d'un axe de pH mais

la profondeur semble encore jouer un rôle important (opposition tychoplanctoniques et benthiques).

Le plan 2 - 3 (figure IV.12)

Les axes 2 et 3 représentent 23,80 % de l'inertie totale. L'axe 3 oppose le *groupe V* situé du côté négatif, au *groupe VIb* situé du côté positif. Les échantillons du *groupe V* participent à la construction de l'axe (CA > 26). Leur QLT relative est bonne (compris entre 58 et 88 %).

Les espèces associées à ce groupe sont *Aulacoseira muzzanensis* planctonique, eutrophe et indifférente au pH (MEMU) qui explique fortement l'axe (CA=332) et également bien expliquée par celui-ci (QLT=63 %), *Pinnularia subgibba* (PIGL), (CA = 23), aussi bien expliquée par l'axe (QLT = 63 %). C'est une forme benthique et oligotrophe.

Le *groupe VIb* situé du côté positif, est composé par les échantillons O173, O178, O498, O511, et O527 qui définissent l'axe factoriel. La QLT relative des échantillons O173 et O178 est relativement bonne (39 et 66 %). Par contre celle des échantillons O498, O511, O527 est moins bonne (24 à 28 %) car ces échantillons participent aussi à la construction de l'axe 1.

Du côté positif, seule l'espèce *Achnanthes lanceolata* (ALA) épiphyte et peu eutrophe présente sa meilleure CA (16) et une QLT relativement bonne sur l'axe (33 %). L'espèce *Aulacoseira italica*, planctonique et oligotrophe y présente encore un forte CA (156).

Les caractéristiques écologiques des deux groupes d'espèces indique que le facteur représenté par l'axe 3 serait le niveau trophique.

AXE 3

	Echantillons et espèces significatifs	Contributions absolues (CA)	Qualité de représentation (QLT) en %
négatif	O014	92	88
	O001	87	58
	O010	78	59
	O006	70	74
	O019	43	73
positif	O527	54	25
	O178	30	66
	O173	26	39
	O498	25	28
	O511	25	24
négatif	<i>Aulacoseira muzzanensis</i>	332	63
	<i>Pinnularia subgibba</i>	23	63
positif	<i>Achnanthes lanceolata</i>	16	33

Tableau IV.f: Carotte OW4. Analyse factorielle des correspondances des échantillons fossiles définis par la flore. Contributions absolues et qualités de représentation sur l'axe 3.

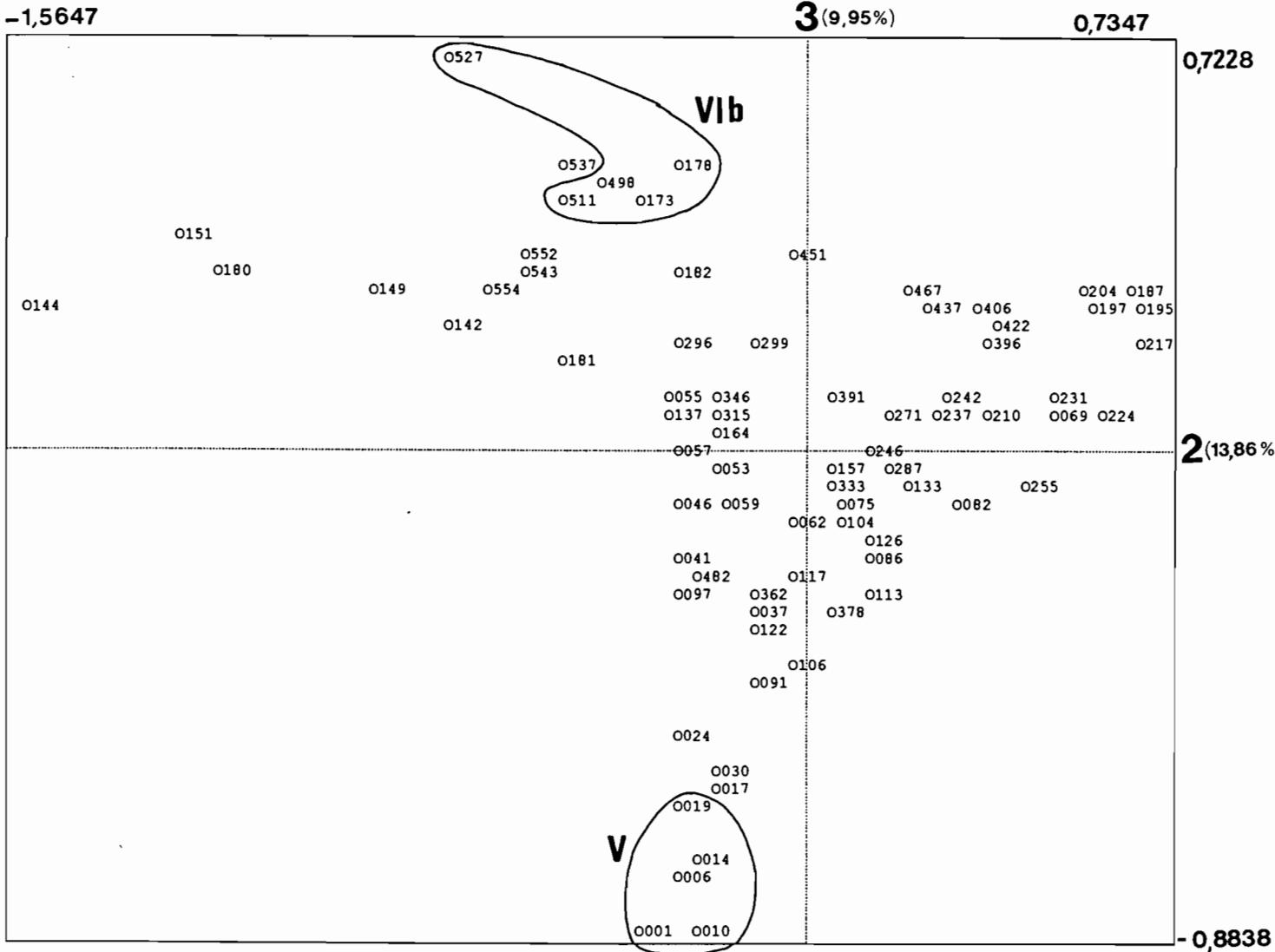


Figure IV.12. Carotte OW4. AFC, plan 2/3. Ordination des échantillons fossiles définis par la composition floristique. Mise en évidence des groupes caractéristiques de l'axe 3.

A partir du quatrième axe, le pourcentage d'inertie des axes devient très faible (inférieur ou égal à 6), les différences écologiques le long des axes sont moins nettes.

Axe 4 :

Le seul échantillon expliquant (CA = 703) et expliqué par l'axe est O180 (*groupe Id*) situé du côté négatif de l'axe.

Les espèces associées à cet axe et situées toutes du côté négatif sont (CYLN) *Cymbella lanceolata* (CA=423), *Fragilaria delicatissima* (FRD), *Diploneis subovalis* (DS), *Stauroneis anceps* (SA), *Aulacoseira aff. italica* et *Cocconeis placentula* (CP).

Axe 5:

L'axe 5 oppose le *groupe IV* situé du côté négatif au *groupe IIIb* situé du côté positif. Les échantillons du *groupe IV* contribuent fortement à la formation de l'axe factoriel (CA > 26), leur QLT relative varie entre 39 et 69 %.

AXE 5

	Echantillons et espèces significatifs	Contributions absolues (CA)	Qualité de représentation (QLT) en %
négatif	O091	71	39
	O097	63	50
	O117	53	63
	O133	79	69
	O126	33	43
	O157	40	40
positif	O396	28	31
	O437	25	30
négatif	<i>Cymbella silesiaca</i>	233	68
	<i>C. cuspidata</i>	21	67
	<i>Eunotia minor</i>	20	32
	<i>Gomphonema lingulatiforme</i>	161	72
	<i>Pinnularia microstauron</i>	19	76
positif	<i>F. leptostauron leptostauron</i>	96	77
	<i>F. pinnata</i>	73	27
	<i>Fragilaria densestriata</i>	19	37

Tableau IV.g: Carotte OW4. Analyse factorielle des correspondances des échantillons fossiles définis par la flore. Contributions absolues et qualités de représentation sur l'axe 5.

Les espèces associées au *groupe IV* sont *Cymbella silesiaca* (CYML), *C. cuspidata* (CYTR), *Gomphonema lingulatiforme* (GLIN) toutes épiphytes ou épipéliques, *Pinnularia microstauron* (PIMI), benthique et *Eunotia minor* (EUMN) aérophile et acidophile.

Les échantillons du *groupe IIIb* définissent aussi l'axe factoriel mais ils sont moins bien expliqués par l'axe (la QLT relative est de 30 et 31).

Les espèces associées à ce groupe sont *Fragilaria leptostauron* var. *leptostauron* (FLD) *F. pinnata* (FP) et *F. densestriata* (FRDE) tous tychoplanctoniques.

Sur l'axe 5, on observe une opposition entre les espèces essentiellement épiphytes, benthiques ou aérophiles et les espèces tychoplanctoniques. Cet axe met en évidence le développement d'une végétation aquatique supérieure.

Axe 6:

L'axe 6 oppose les échantillons du groupe *IIIc* situé du côté négatif aux échantillons du groupe *II* situé du côté positif. L'espèce *Eunotia minor* est associée aux échantillons du groupe *IIIc*.

AXE 6

	Echantillons et espèces significatifs	Contributions absolues (CA)	Qualité de représentation (QLT) en %
négatif	O246	32	32
	O362	32	36
positif	O017	235	63
	O024	63	38
	O037	62	64
	O030	42	27
	O062	27	26
	négatif	<i>Eunotia minor</i>	44
positif	<i>Cymbella mesiana</i>	106	58
	<i>E. pectinalis ventralis</i>	62	72
	<i>Fragilaria construens exigua</i>	117	29
	<i>Frustulia rhomboïdes</i>	70	30
	<i>Navicula concinna</i>	23	30

Tableau IV.h: Carotte OW4. Analyse factorielle des correspondances des échantillons fossiles définis par la flore. Contributions absolues et qualités de représentation sur l'axe 5.

Les espèces associées au groupe *II* sont *Cymbella mesiana* (CYME), *Eunotia pectinalis* var. *ventralis* (EUPV), *Fragilaria construens* var. *exigua* (FRAX), *Frustulia rhomboïdes* (FRH) et *Navicula concinna* (NACO).

Cymbella mesiana. Elle est cosmopolite avec plus d'occurrences dans les habitats peu étendus nordiques ou en montagnes (Krammer et Lange-Bertalot, 1986).

IV.4.2. Classification Ascendante Hiérarchique (CAH)

L'examen des contributions absolues (CA) des échantillons sur les premiers axes factoriels permet d'interpréter les échantillons les mieux définis par leur flore, mais elle ne permet pas de classer les échantillons qui ne présentent pas une forte particularité. De plus, si de manière générale, les 3 premiers axes factoriels sont faciles à interpréter, les axes factoriels 4, 5 et 6 le sont moins. Dans le cas de la flore fossile d'Ossa, seul l'axe 6 n'a pas pu être attribué à un facteur de l'environnement. La classification hiérarchique (CAH) est alors effectuée, qui tient compte des 10 premiers axes factoriels, afin d'aider à l'interprétation de échantillons restant à expliquer.

La troncature de la hiérarchie qui correspond à la coupure du dendrogramme (figure IV.13) entre les noeuds 143 (niveau 0,726) et 144 (niveau 0,8155) a permis d'obtenir 11 classes d'échantillons. Les espèces caractéristiques de chacune d'entre elles (tableau IV.i) ont été déterminées à l'aide du programme VARCAR de M. Roux.

Classes Ia, Ib, Ic et Id (noeuds 134, 139, 113, 153).

Les classes Ib et Ic appartiennent au *groupe I* individualisé du côté positif de l'axe 1 de l'AFC; la classe Ia intègre un échantillon de l'axe 1 (O151) et un échantillon (O144) de l'axe 2 positif, en raison de la présence de *Pinnularia episcopalis*. La classe Id, composée d'un seul échantillon, s'individualise sur l'axe 4.

Le taxon dominant de la classe I est l'espèce benthique et oligotrophe *Pinnularia viridiformis*. Très abondante dans les classes Ia, Ic et Id, elle est accompagnée dans la classe Ib par *Fragilaria leptostauron* var. *dubia*, dans la classe Id par la présence de certaines espèces très peu abondantes mais qui lui sont particulières : *Cymbella lanceolata*, *Diploneis subovalis*, *Pinnularia divergens* var. *elliptica*, *Frustulia rhomboides* et *Cocconeis placentula*.

Cymbella lanceolata. Espèce littorale épiphyte (Germain, 1981), présente dans les eaux stagnantes (Krammer et Lange-Bertalot, 1986) et parfois associée à la végétation en voie de décomposition (Patrick et Reimer, 1975). Elle est alcaliphile et peut se rencontrer même en eaux saumâtres très électrolysées d'après ces auteurs. Son pH optimum se situe vers 8 (Cholnoky, 1968).

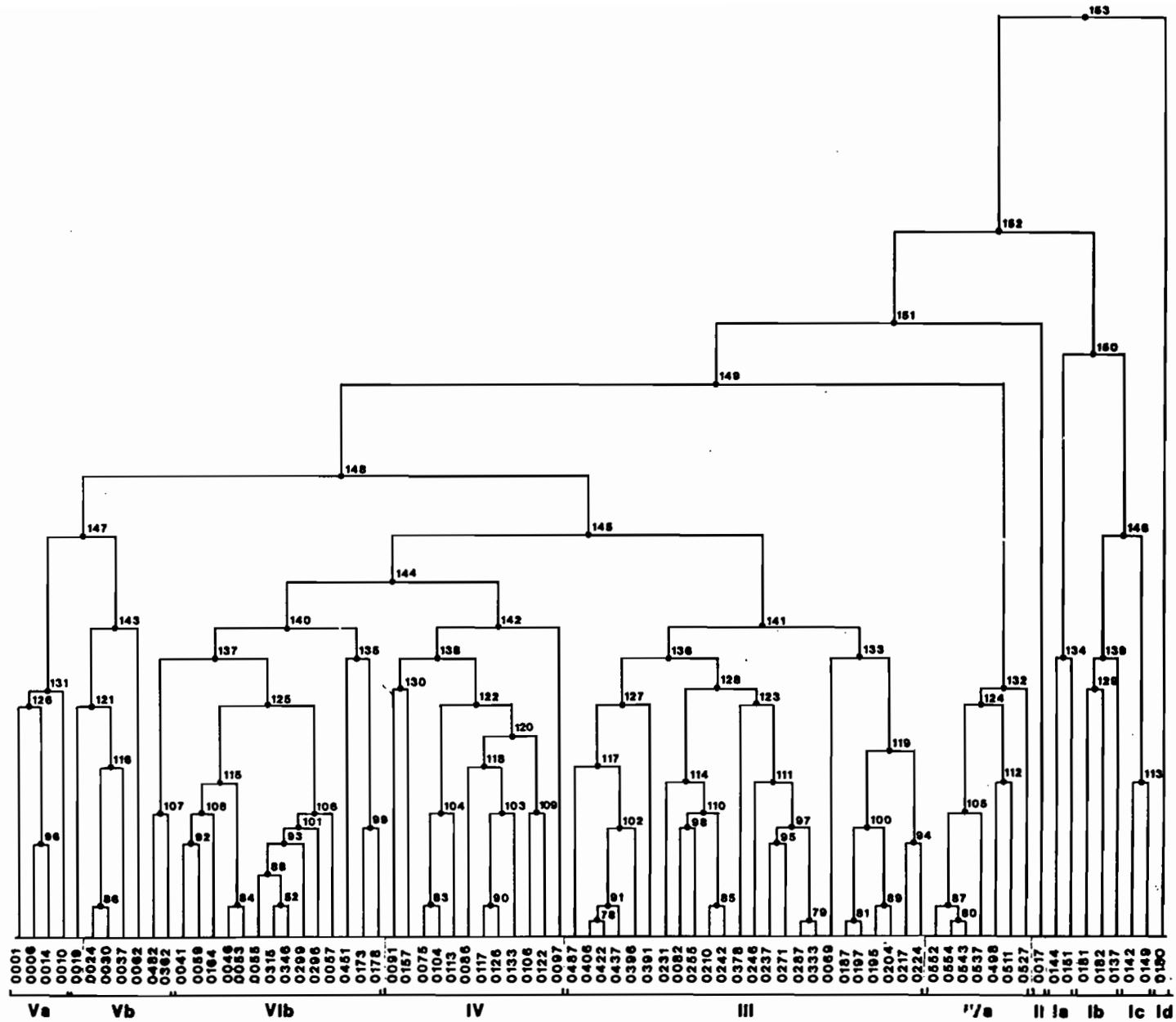


Figure IV.13. Carotte OW4. Classification hiérarchique, dendrogramme des échantillons fossiles.

Diploneis subovalis. Epipélique, épiphyte ou aérophile dans des sources thermales (Gasse, 1986). Son pH optimum est compris entre 7,3 et 8.

Cocconeis placentula. Epiphyte sur les plantes (Patrick et Reimer, 1966), elle est rencontrée dans le périphyton des lacs et des eaux à courant faible (Gasse, 1986). Elle est un bon indicateur d'eau modérément alcaline, son pH optimum se situe vers 8 (Cholnoky, 1968).

Stauroneis anceps. C'est un taxon à large amplitude écologique (Germain, 1981), littorale et indifférente au pH (Krammer et Lange-Bertalot, 1986). Elle est aussi trouvée dans le périphyton des lacs peu profonds, des rivières et dans les tourbières. Son pH est légèrement inférieur à 7 (Cholnoky, 1968).

L'espèce dominante des classes Ia, Ib, Ic, et Id indique une faible profondeur, des eaux oligotrophes et relativement acides. Les différences observées dans les espèces sous-dominantes indiquent pour les classes Ia et Ic un milieu relativement moins oligotrophe à pH acide, dépourvu de végétation aquatique, pour la classe Id, un milieu très oligotrophe colonisé par des végétaux aquatiques (présence des épiphytes *Cymbella* et *Cocconeis*) à pH acide à alcalin. La classe Ib suggère un mélange dans la flore, l'espèce tychoplanctonique *Fragilaria leptostauron* var. *dubia* est associée à l'espèce benthique *Pinnularia viridiformis*, cela suggère une certaine instabilité du milieu en ce qui concerne la profondeur et le pH.

Classe II

La classe II est composée de l'échantillon O017 individualisé sur l'axe 6. Sa particularité par rapport aux autres échantillons est difficile à mettre en évidence, aucune espèce dominante ne se dégage de façon claire de cette classe, néanmoins, *Frustulia rhomboïdes*, *Fragilaria construens* var. *exigua*, *Eunotia pectinalis* var. *ventralis*, *Achnanthes delicatula*, *Cymbella mesiana* sont les plus abondantes.

Achnanthes delicatula est une forme très commune des rochers suintants (Germain, 1981).

Avec les autres espèces et particulièrement *Frustulia rhomboïdes*, la flore de cette classe semble caractériser des plans d'eau pelliculaires, acides.

Classes	Echantillons	Espèces dominantes	Espèces sous-dominantes
Vla	O498, O511, O527 O537, O543, O552 O554	<i>Aulacoseira italica</i>	<i>Aulacoseira granulata</i> <i>Achnanthes lanceolata</i>
Vlb	O041, O046, O053 O055 O057, O059 O164, O173, O178 O296 O299, O315 O346, O362, O451 O482	<i>A. italica</i> <i>A. muzzanensis</i> <i>Fragilaria leptostauron dubia</i>	<i>Cymbella silesiaca</i> , <i>Navicula seminuloïdes sumatrana</i> , <i>F. construens</i>
Va	O001, O006, O010 O014	<i>A. muzzanensis</i> , <i>A. italica</i>	<i>Frustulia rhomboïdes</i> , <i>Eunotia incisa</i> <i>E. asterionelloïdes</i> <i>F. contruens exigua</i> <i>F. densestriata</i> , <i>Pinnularia subgibba</i> , <i>Stauroneis anceps gracilis</i>
Vb	O019, O024, O030 O037, O062	<i>A. italica</i> <i>A. muzzanensis</i>	<i>Frustulia rhomboïdes</i> , <i>Stephanodiscus astrea</i> , <i>Stauroneis anceps gracilis</i>
IV	O075, O086, O091 O097, O104, O106 O113, O117, O122 O126, O133, O157	<i>Fragilaria leptostauron dubia</i> <i>A. italica</i> <i>A. muzzanensis</i>	<i>Gomphonema lingulatifforme</i> <i>Cymbella silesiaca</i> <i>C. cuspidata</i> <i>Fragilaria construens</i>
III	O069, O082, O187 O195, O197, O204 O210, O217, O224 O231, O237, O242 O246, O255, O271 O287, O333, O378 O391, O396, O406 O422, O437, O467	<i>Fragilaria leptostauron dubia</i> <i>A. italica</i>	<i>Navicula seminuloïdes sumatrana</i> , <i>N. americana</i> , <i>S. anceps gracilis</i> <i>Fragilaria densestriata</i>
II	O017	<i>Frustulia rhomboïdes</i> <i>Fragilaria construens exigua</i> <i>F. leptostauron dubia</i> , <i>Pinnularia viridiformis</i>	<i>P. subgibba</i> , <i>C. mesiana</i> , <i>Eunotia pectinalis ventralis</i> , <i>Achnanthes delicatula</i> , <i>P. stomatophora</i>
Ia	O144, O157	<i>Pinnularia viridiformis</i>	<i>P. episcopalis</i> <i>A. granulata valida</i> , <i>A. granulata tubulosa</i>
Ib	O137, O181, O182	<i>P. viridiformis</i> <i>F. leptostauron dubia</i>	<i>F. leptostauron dubia</i> <i>P. stomatophora</i> <i>F. contruens</i> <i>P. subgibba</i> , <i>P. maior</i> , <i>Stauroneis anceps gracilis</i>
Ic	O142, O149	<i>P. viridiformis</i>	<i>A. granulata valida</i> , <i>A. granulata tubulosa</i> , <i>P. maior</i>
Id	O180	<i>P. viridiformis</i>	<i>P. stomatophora</i> , <i>P. maior</i> , <i>P. divergens elliptica</i> , <i>Frustulia rhomboïdes</i> , <i>Stauroneis anceps</i> , <i>Cymbella lanceolata</i> , <i>Cocconeis placentula</i> , <i>Diploneis subovalis</i>

Tableau IV.i: Tableau récapitulatif des résultats de la classification hiérarchique sur les échantillons fossiles. Classes et sous-classes d'échantillons, espèces caractéristiques et espèces accompagnatrices.

Classe III

Cette classe intègre 24 échantillons qui sont caractéristiques d'axes factoriels très différents : 9 échantillons caractérisent l'axe 2 (côté positif), 2 échantillons l'axe 5 (côté positif) et 1 échantillon l'axe 6 (côté négatif). Cette classe hiérarchique est hétérogène; mais il apparaît que sur chacun de 3 axes factoriels, les échantillons de la classe III s'opposent aux groupes de l'AFC caractérisés par des espèces benthiques, épiphytes et aérophiles, indiquant des plans d'eau relativement bas.

Les espèces dominantes, *Fragilaria leptostauron* var. *dubia* et *Aulacoseira italica*, indiquent une profondeur plus élevée que celle déterminée par les classes I et II; un milieu oligotrophe, plutôt neutre à alcaliphile.

Les sous-dominantes comprennent les espèces eurytopes *Navicula seminuloïdes* var. *sumatrana* et *Stauroneis anceps* var. *gracilis*, auxquelles s'ajoutent, *Navicula americana*, espèce rencontrée dans des étangs tourbeux à l'état benthique (Germain, 1981), d'eau stagnante (Krammer et Lange-Bertalot, 1986); alcaliphile (Patrick et Reimer, 1966 ; Gasse, 1986). avec un pH optimum vers 7,5 (Cholnoky, 1968); *Fragilaria densestriata* dont l'écologie n'est pas connue dans la littérature. Dans le lac Ossa, elle est présente dans l'échantillon FOW1 prélevé sous 150 cm d'eau en Avril (début de la saison des pluies).

En résumé, la classe III est hétérogène, caractérisée par une espèce tychoplanctonique et une espèce planctonique associées à des espèces à large amplitude écologique.

Classe IV

Cette classe est composée de 12 échantillons dont 11 caractérisent la partie négative de l'axe 5 et un (O113) caractérise la partie négative de l'axe 6. Comme la classe III, cette classe est caractérisée par *F. leptostauron* var. *dubia* et *Aulacoseira italica*, auxquelles s'ajoute *A. muzzanensis*, ces espèces étant dominantes dans les 12 échantillons qui composent cette classe. L'apparition de *A. muzzanensis* distingue la classe IV de la classe III. Cette distinction est également marquée, à un niveau très inférieur, par les sous-dominantes très peu abondantes, épiphytes (*Gomphonema lingulatifforme*, *Cymbella silesiaca*, *C. cuspidata*) et benthique

(*Pinnularia microstauron*). L'intégration du O113 est due à la présence de l'espèce tychoplanctonique *Fragilaria construens*.

Cette classe est caractérisée comme la classe III par des espèces tychoplanctoniques, la présence de *A. muzzanensis* parmi les dominantes suggère une eutrophisation du milieu. La présence en sous-dominantes des épiphytes pourrait indiquer une colonisation intensive des zones littorales par les macrophytes.

Classe Va

Tous les échantillons de la classe Va appartiennent au *groupe V* de l'AFC situé du côté négatif de l'axe 3. C'est donc une classe très homogène.

Les espèces dominantes sont composées de *Aulacosira muzzanensis* et *A. italica*. Elles se distinguent de la classe IV par la disparition des *Fragilaria leptostauron dubia* et s'approche de la classe III par l'espèce eutrophe *Aulacoseira muzzanensis*.

Les sous-dominantes sont composées d'un mélange de tychoplanctoniques *Fragilaria construens* var. *exigua*, *F. construens*, *F. densestriata*, *Eunotia asterionelloïdes*, d'aérophile *Eunotia incisa* et de benthiques *P. subgibba* et *Stauroneis anceps* var. *gracilis*.

Cette classe regroupe des échantillons dont la composition spécifique indique une profondeur plus élevée que celle de la classe IV, des eaux nettement plus eutrophes que la classe IV, neutres ou légèrement acides.

Classe Vb

Cette classe est hétérogène car elle intègre un échantillon caractéristique de la partie négative de l'axe 3 (interprété comme un axe de caractères trophiques) et 4 échantillons situés sur la partie positive de l'axe 6, dont la signification écologique n'est pas connue.

Bien que très proche de la classe Va par ses espèces dominantes indifférentes au pH, planctonique oligotrophe *Aulacoseira italica* et planctonique eutrophe *A. muzzanensis*, elle intègre par ses sous-dominantes des échantillons individualisés sur l'axe 6 par la présence de l'espèce aérophile acide *Frustulia rhomboïdes*.

Classe VIa

Cette classe est composée d'une part, des échantillons (O537, O543, O552, O554), caractérisés par l'espèce planctonique *Aulacoseira italica*, qui s'opposent sur l'axe 1 à la classe I (*Pinnularia viridiformis*, benthique) en fonction de la profondeur et d'autre part, des échantillons (O498, O511, O527) caractérisés aussi par *Aulacoseira italica* planctonique oligotrophe, qui s'opposent sur l'axe 3 à la classe Va (*A. muzzanensis*, planctonique eutrophe) en fonction des caractères trophiques.

Cette classe caractérise un milieu profond, oligotrophe, à pH neutre.

Classe VI b

Cette classe est la plus hétérogène de toutes les classes. Elle est composée :

- d'échantillons qui la rapproche de la classe VIa par la présence de l'espèce planctonique oligotrophe *Aulacoseira italica* (O057 et O296 situés sur la partie négative de l'axe 1 et O173 et O178 situés sur la partie positive de l'axe 3);

- elle intègre les échantillons O041, O055, O059, O064, O299, O315, O346 qui ne sortent sur aucun des 6 premiers axes, mais ils contiennent comme la classe IV proche, d'importants pourcentages d' *Aulacoseira italica*, *A. muzzanensis* et *Fragilaria leptastauron* var. *dubia* (mélange de planctoniques oligotrophes et eutrophes). Ces échantillons n'ont pas été classés avec la classe IV car ils en diffèrent par la présence d'une espèce sous-dominante *Navicula seminuloïdes sumatrana*;

- elle intègre les échantillons O046, O053, O451 situés sur la partie positive de l'axe 6 et O362 et O482 situés sur la partie négative de l'axe 6 dont l'interprétation n'est pas possible.

Cette classe hétérogène est proche des classes IV et VIa. Elle caractérise un plan d'eau plus élevé que la classe IV mais moins élevé que la classe VIa. Ses caractères trophiques plutôt eutrophes par rapport à VIa le sont moins que la classe Va.

IV.4.3. Conclusion

Les différentes classes de la CAH peuvent donc être considérées comme représentant des variations de la profondeur, des caractères trophiques et du pH au cours du temps :

Les classes VIa, VIb, Va et Vb et III représentent les épisodes de plus grandes profondeurs, les classes Ia, Ib, Ic Id et II de plus faibles profondeurs (l'axe 1 met en évidence le rôle prépondérant du paramètre profondeur sur la distribution des espèces et l'axe 2 fait intervenir en plus le rôle du pH, plus faible en basses eaux).

La classe IV proche de la classe III fait intervenir le rôle de la végétation aquatique ou du caractère plus instable du plan d'eau (axe 5 de l'AFC).

Pour les milieux relativement profonds, les différences entre les classes sont liées aux caractères trophiques des espèces: les classes VIa et VIb indiquent des milieux oligotrophes alors que Va et Vb indiquent des milieux eutrophes (axe 3 de l'AFC).

En comparant le résultat de la CAH sur les échantillons fossiles à celui des échantillons sub-actuels (voir § II.6.3 et tableau II.s), on constate que la classe fossile VI qui caractérise les milieux profonds et oligotrophes n'a pas d'équivalent actuel. Il se rapproche de la classe sub-actuelle I à cause de l'abondance de *Aulacoseira italica*. Les classes fossiles Vb, Va sont comparables à la même classe sub-actuelle (I), les espèces dominantes sont les mêmes.

Les échantillons de la classe I ont été prélevés dans différents types de milieu : bordure de lac, chenal, zone périodiquement inondée, la majorité d'entre elles a été prélevé à l'intérieur des cuvettes lacustres à des profondeurs relativement élevées. L'assemblage de diatomées qui les caractérise indique un milieu profond ou une large étendue d'eau libre oligotrophe à eutrophe.

Les échantillons des classes III et IV fossiles se rapprochent de V caractérisée par *Fragilaria leptostauron* var. *dubia*., cette classe caractérise dans le milieu actuel soit des zones relativement profondes (Est du lac Ossa), soit des zones peu profondes (Nord du lac Mévia) oligotrophe et relativement alcalin.

La classe II fossile est proche de la classe IV sub-actuelle caractérisée par *Frustulia rhomboïdes*, Cet assemblage indique un milieu peu profond, oligotrophe et à pH bas.

Les classes Ia, Ib, Ic et Id fossiles sont comparables à la classe VIII sub-actuelle caractérisée par *Pinnularia viridiformis* et *P. stomatophora*. Cette classe contient des échantillons qui ont été prélevés dans le lac Mboli caractérisé par de faibles fluctuations saisonnières.

En résumé, on constate que l'ensemble des 11 classes fossiles ne sont comparables qu'avec 4 des neuf classes sub-actuelles, ceci indique que les

conditions physico-chimiques des 5 autres classes n'ont jamais existé sur le point de prélèvement de la carotte depuis 5 500 cal. ¹⁴C ans B.P.

IV.5. Les grands épisodes de l'évolution du lac.

La distribution des classes hiérarchiques en fonction du temps (figure IV.14) permet de délimiter 6 grands épisodes dans l'évolution des assemblages de diatomées. Ces épisodes sont numérotés du plus récent au plus ancien A, B, C, D, E et F.

Episode F (5 497 - 5 219 ans B.P.) (figure IV.15)

Cet épisode est le seul où la classe VIa est représentée. Celle-ci avec en dominante *Aulacoseira italica* caractérise un milieu profond et oligotrophe. La rareté des épiphytes montre que le plan d'eau n'a pas souvent atteint une altitude faible. Les assemblages à la fois pauvres en alcaliphiles et en acidophiles suggèrent que le pH n'a jamais atteint de faibles ou de fortes valeurs. L'espèce *A. muzzanensis* (eutrophe) est peu représentée dans cet épisode, ce qui confirme bien que le milieu était oligotrophe de manière presque permanente.

Episode E (5 135 - 2 714 ans B.P.) (figure IV.15)

Cet épisode se subdivise en quatre sous-épisodes :

- **E1** (5 135 - 4 837 ans B.P.) correspond à une période de relative instabilité marquée par une alternance de deux types d'échantillons attribués respectivement aux classes III et VIb. Le lac a évolué entre des milieux profonds favorables aux diatomées planctoniques oligotrophes et des milieux favorables aux diatomées tychoplanctoniques alcaliphiles. Ces dernières ne permettent pas une interprétation précise en terme de profondeur d'eau. Rappelons qu'on les rencontre de nos jours dans des zones généralement assez profondes à proximité des prairies flottantes à *Echinochloa pyramidalis*.

- **E2** (4 837 - 4 376 ans B.P.). Cet épisode, caractérisé par la classe III marque une relative stabilisation du milieu dans des conditions oligotrophes et à tendance alcaline. La profondeur est difficile à définir en raison de l'abondance des tychoplanctoniques mais la présence de l'espèce planctonique *A. italica* montre qu'elle est restée relativement importante. Au sommet de cet épisode et à la base de

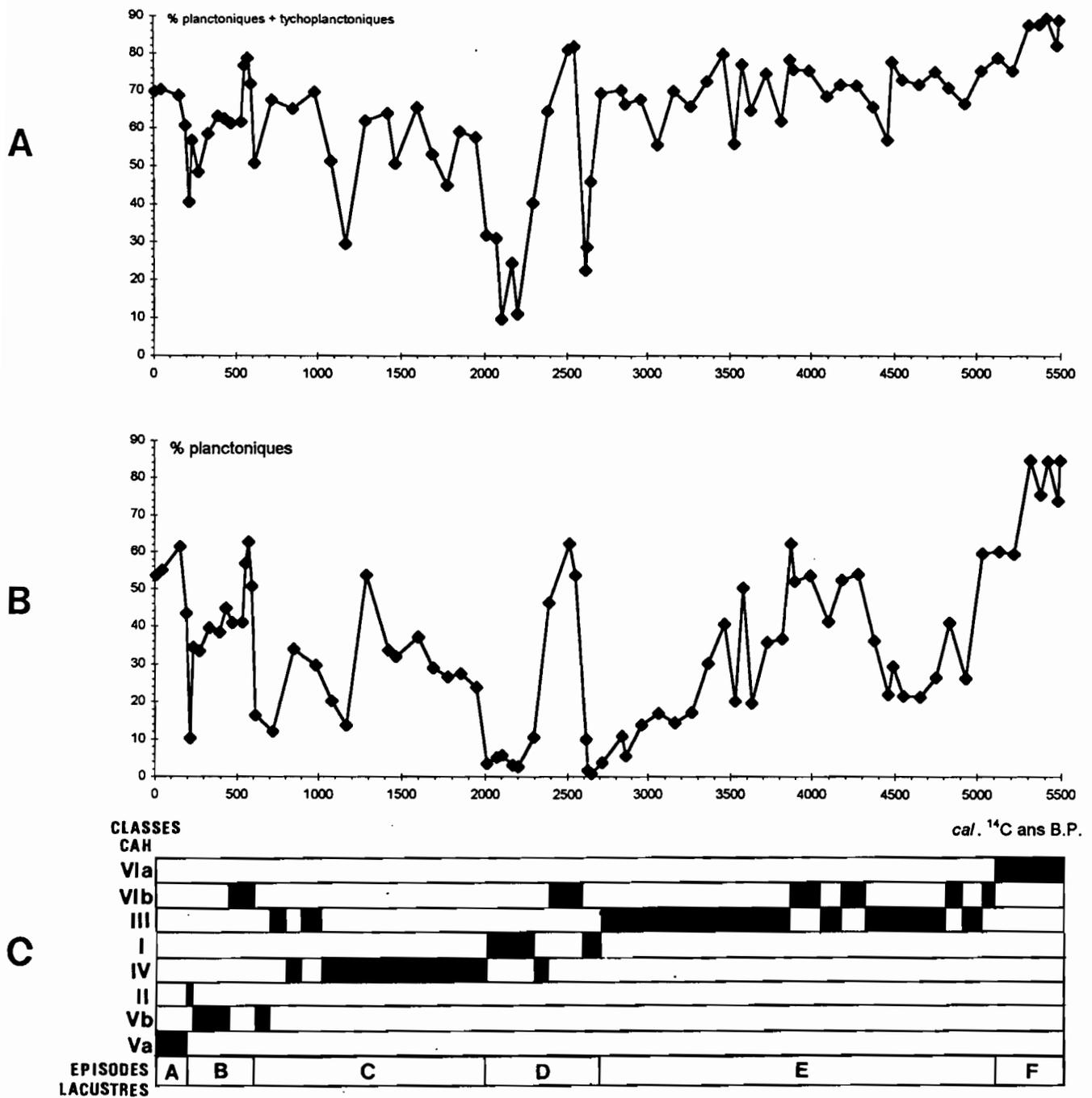


Figure IV.14. Carotte OW4. Les grandes étapes de l'évolution du lac Ossa d'après la répartition des classes hiérarchiques (C) comparaison avec les variations de l'abondance des planctoniques + tychoplanctoniques (A) et planctoniques seules (B), en fonction du temps (cal. ¹⁴C ans B.P.)

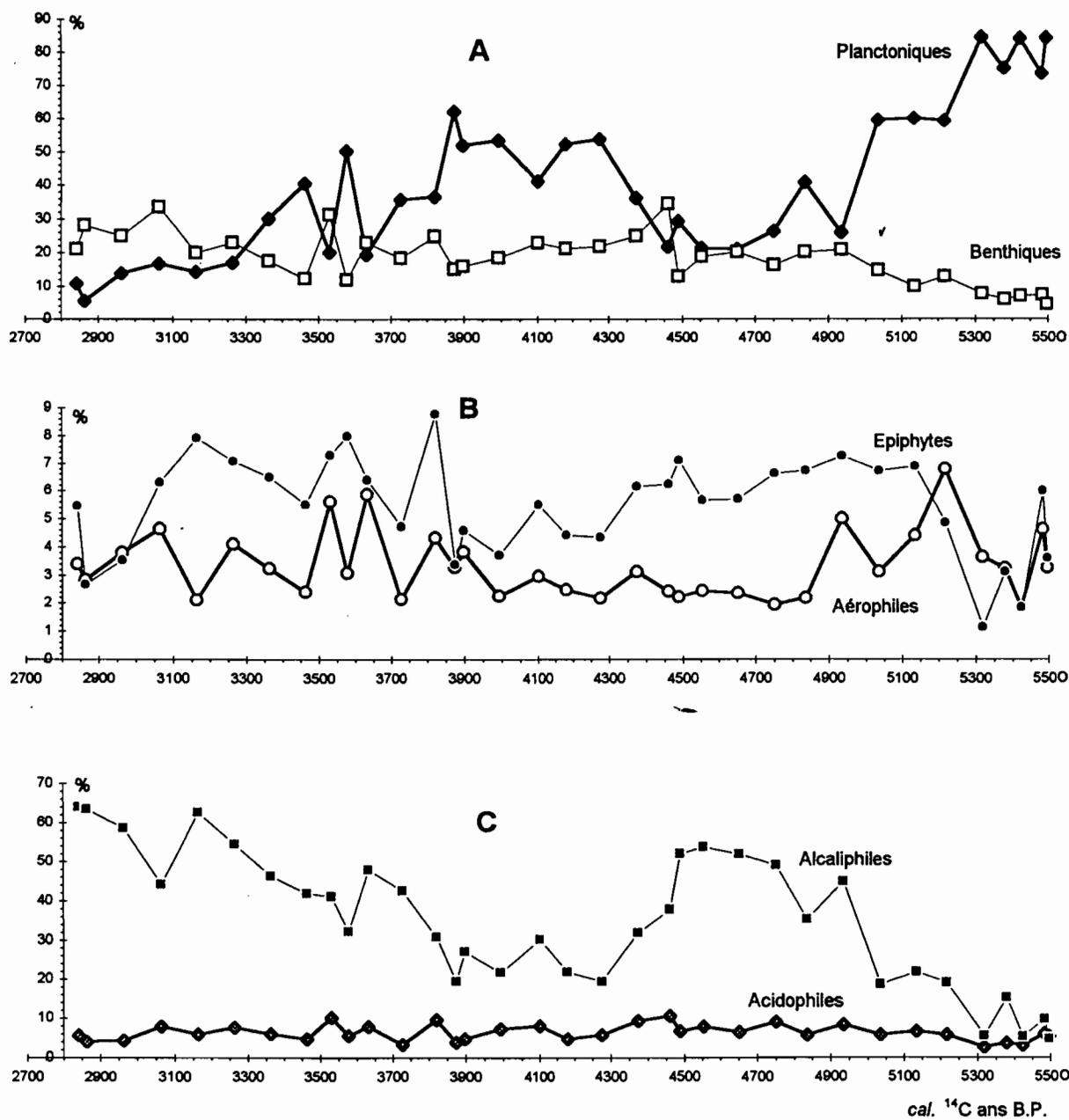


Figure IV.15. Variations de l'abondance (%) des diatomées indicatrices de la paléobathymétrie (A et B) et du pH (C) entre 5 497 et 2 714 cal. ¹⁴C ans B.P.

l'épisode suivant (*E3*), des pourcentages relativement élevés de diatomées eutrophes suggèrent une tendance vers l'eutrophie.

- ***E3*** (4 378 - 3 875 ans B.P.). L'alternance des classes III et VIb indique le retour aux conditions de l'épisode *E1*.

- ***E4*** (3 875 - 2 714 ans B.P.), caractérisé par la classe III est comparable à l'épisode *E2*.

Episode D (2 648 - 2 076 ans B.P.) (figure IV.16)

Les diatomées n'indiquent pas de variations significatives du pH sauf à l'extrême base où l'on observe une forte diminution des espèces alcaliphiles. Ces dernières restent ensuite en moyenne plus abondantes (~ 25 %) que les acidophiles (~ 8 %). Néanmoins une forte variabilité est décelée par les classes hiérarchiques car on observe de bas en haut la succession : Ib, Id, VIb, IV, Ic, Ia, Ic. Dans la partie inférieure, les assemblages de diatomées suggèrent que la nappe d'eau a évolué d'un stade moyennement profond, comparable au lac Mboli actuel (maximum de benthiques à 2 627 ans B.P) à un stade probablement caractérisé par des assèchements épisodiques (maximum d'aérophiles et d'épiphytes à 2 615 ans B.P.) puis à un stade profond (maximum de planctoniques à 2 515 ans B.P.).

Dans la partie supérieure, les assemblages suggèrent le passage du stade profond précédent à un stade épisodiquement proche de l'assèchement (maximum d'aérophiles et d'épiphytes à 2 296 ans B.P.) et enfin un stade moyennement profond (2 201 - 2 106 ans B.P.) probablement relativement stable marqué par des pourcentages élevés (82 à 54 %) des benthiques. A ce dernier stade, l'équivalent actuel le plus proche est le lac Mboli.

L'ensemble de cet épisode est oligotrophe avec deux maximums : le premier à 2 515 ans B.P. coïncide avec la première phase de plus faible profondeur, le deuxième à 2 200 ans B.P. étant associé aux benthiques.

Episode C (2 013 - 614 ans B.P.) (figure IV.17)

Cet épisode est essentiellement caractérisé par les échantillons de la classe IV avec intercalation dans la partie supérieure de niveaux rattachés à la classe III (987 et 922 ans B.P.).

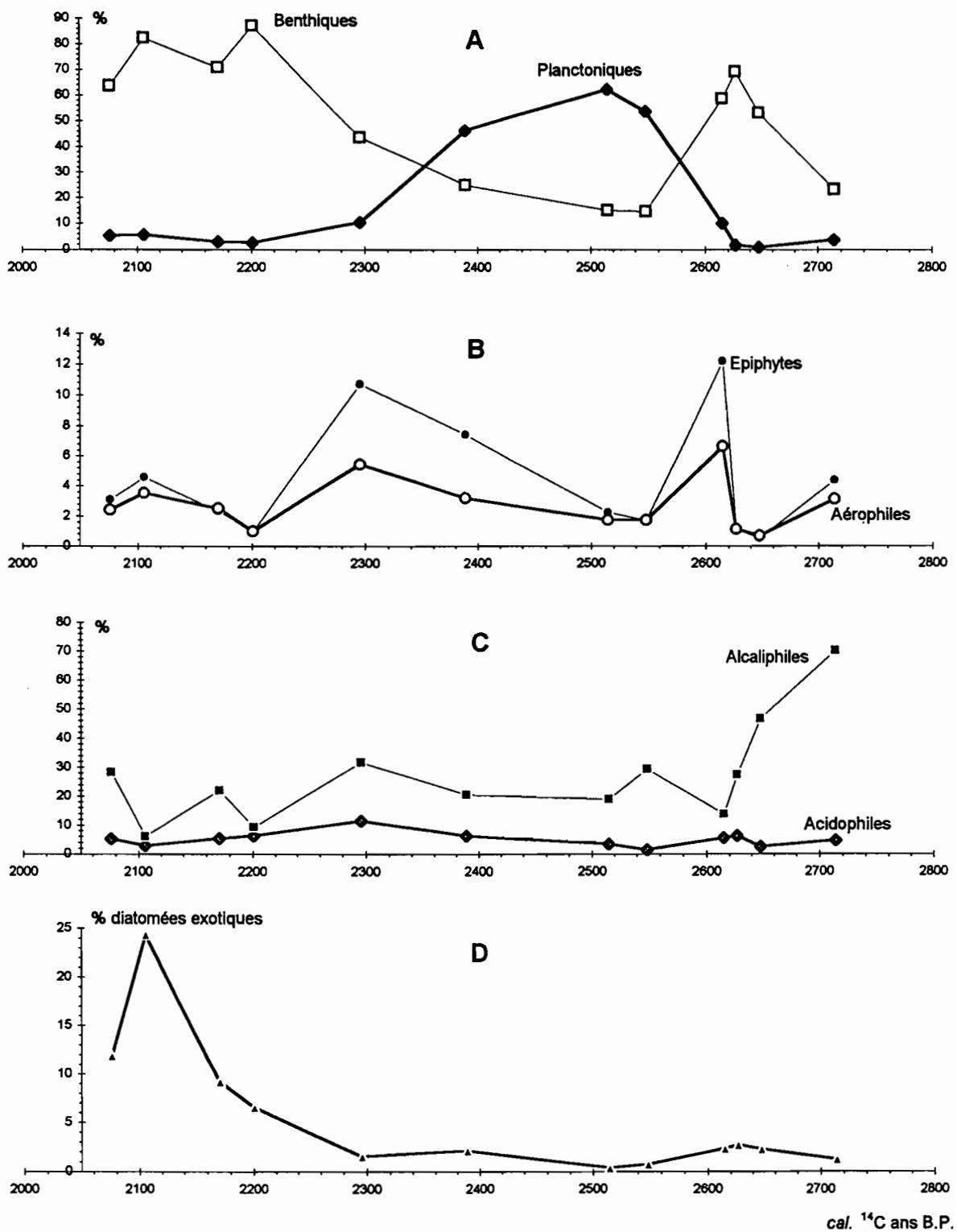


Figure IV.16. Variations de l'abondance (%) des diatomées indicatrices de la paléobathymétrie (A et B), du pH (C) et des diatomées apportées par le vent (D) entre 2 648 et 2 076 cal. ¹⁴C ans B.P..

Une faible eutrophisation du lac semble être enregistrée : les eutrophes qui étaient pratiquement absentes à la fin de l'épisode précédent atteignent ici des pourcentages significatifs qui fluctuent faiblement autour de 13 %. Néanmoins, les diatomées oligotrophes qui diminuent par rapport à l'épisode précédent, restent encore très abondantes (~ 55 %).

Dans la partie inférieure (2013 à 1425 ans B.P.), les assemblages de diatomées suggèrent un forte variabilité du milieu sur la durée (~ 16 ans) qui correspond à chaque échantillon. En effet, les groupes de diatomées ayant des affinités écologiques différentes se révèlent fortement mélangés : les aérophiles fluctuent autour de 4 %, les épiphytes (11-15 %) sont un peu plus abondantes que dans l'épisode antérieur, les benthiques varient entre 19 et 31 %, les planctoniques fluctuent entre 23-37 %.

Deux explications peuvent être proposées. Le mélange pourrait s'expliquer par des variations saisonnières ou pluriannuelles de grande amplitude, les aérophiles et les épiphytes se développant préférentiellement durant les épisodes de basses eaux, les planctoniques se développant plutôt durant les épisodes de hautes eaux. Il pourrait aussi s'expliquer par un dépôt de diatomées remaniées à partir de différentes zones écologiques.

La partie moyenne est caractérisée par un pic de planctoniques à 1 292 ans B.P.(53%) auquel succède un pic de benthiques à 1 170 ans B.P. (54%). Les épiphytes restent aussi abondants que dans les niveaux inférieurs (13 %)

La partie supérieure semble correspondre à un développement au lieu de prélèvement de la carotte de prairies flottantes à *Echinochloa pyramidalis* car on y rencontre les diatomées (*Fragilaria leptostauron* var. *dubia* dominante) qui caractérisent aujourd'hui ce type de milieu dans la partie orientale du lac Ossa. Ces diatomées, alcaliphiles, suggèrent que les eaux à pH basique issues du lac Mévia se sont plus largement étendues à l'intérieur du lac Ossa.

Episode B (614 - 219 ans B.P.) (figure IV.18)

Cet épisode semble avoir évolué assez rapidement car on y observe la succession des classes Vb, VIb, Vb et II ; il faut noter les classes II et Vb n'existaient pas dans les épisodes antérieurs.

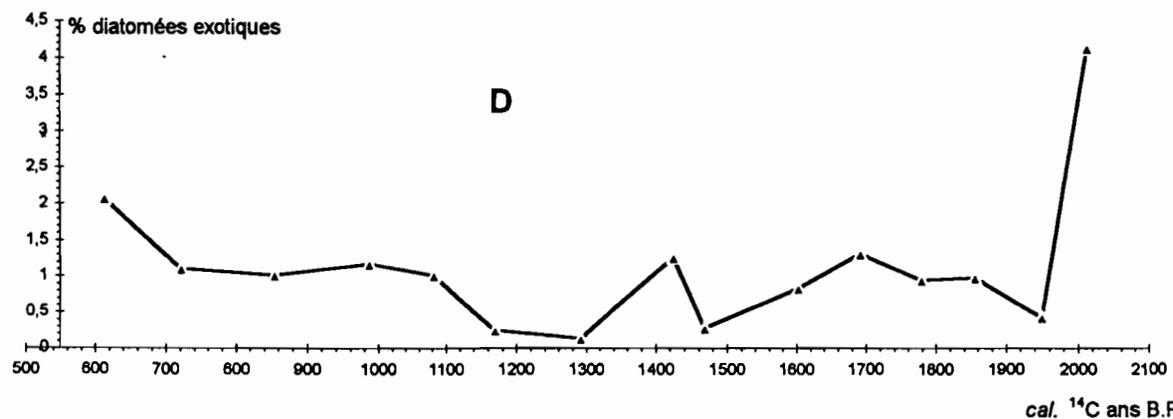
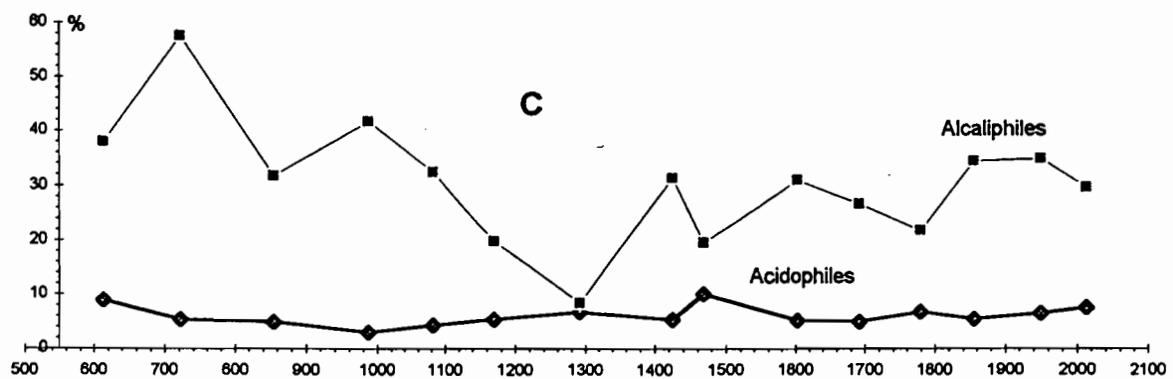
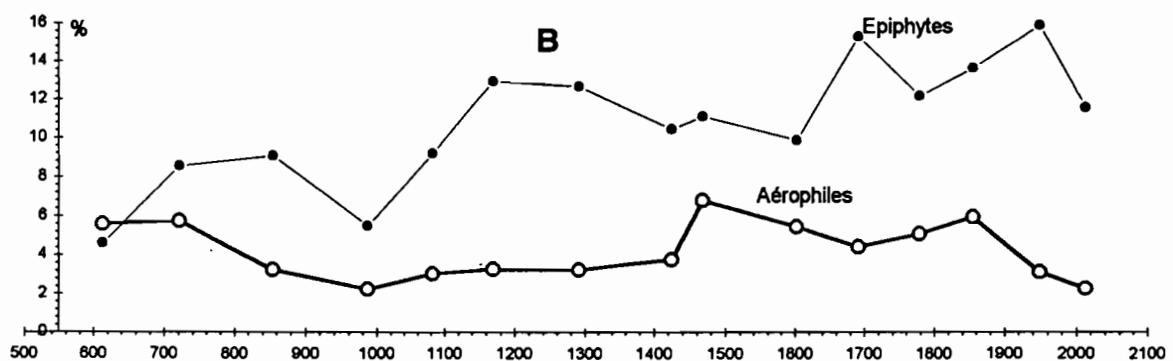
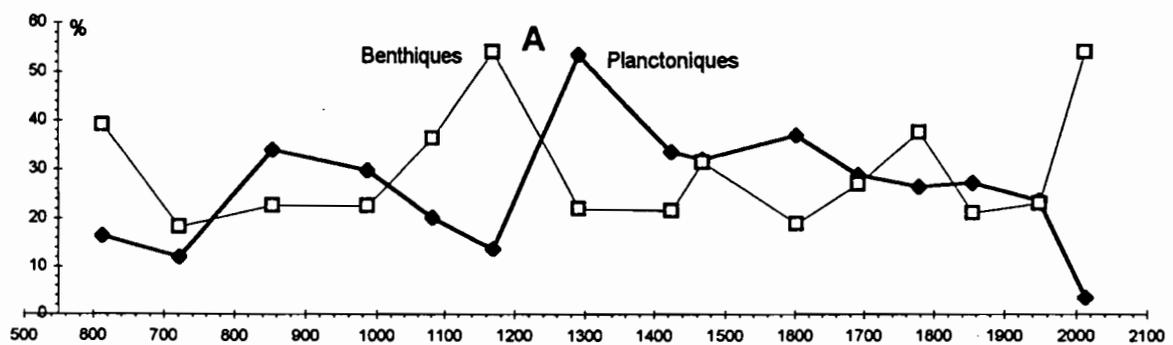


Figure IV.17. Variations de l'abondance (%) des diatomées indicatrices de la paléobathymétrie (A et B), du pH (C) et des diatomées apportées par le vent (D) entre 2 013 et 614 cal. ¹⁴C ans B.P..

La tendance générale est marquée par une acidification du milieu : le pourcentage des acidophiles passe de 3-6 % à la base à 19 % au sommet ; il y a parallèlement diminution des alcaliphiles mais c'est seulement à 278 et 239 ans B.P. que leurs pourcentages deviennent légèrement inférieurs à ceux des acidophiles.

A l'extrême base de cet épisode, un pic de planctoniques associé à de faibles pourcentages des aérophiles et des épiphytes suggère un tranche d'eau assez épaisse. Inversement au sommet de l'épisode, un pic d'aérophiles (15 % à 278 ans B.P.) suivi par une faible valeur des planctoniques (10 % à 219 ans B.P.) indique une diminution de la profondeur avec probablement des assèchements épisodiques.

Episode A (198 - 0 ans B.P.) (figure IV.18)

L'épisode A est caractérisé par la classe Va qui n'a jamais été rencontrée auparavant. Il est marqué par une augmentation brusque de la bathymétrie et le maintien de conditions au moins épisodiquement acides. Les planctoniques qui étaient représentées à 10% à la fin de l'épisode précédent passent à 61 % à 159 ans B.P. et restent proches de cette valeur jusqu'à l'actuel. Cette évolution est accompagnée par une diminution des aérophiles qui passent de 13 à 6 %. Les pourcentages des acidophiles diminuent légèrement mais sont pour la première fois toujours supérieurs à ceux des alcaliphiles.

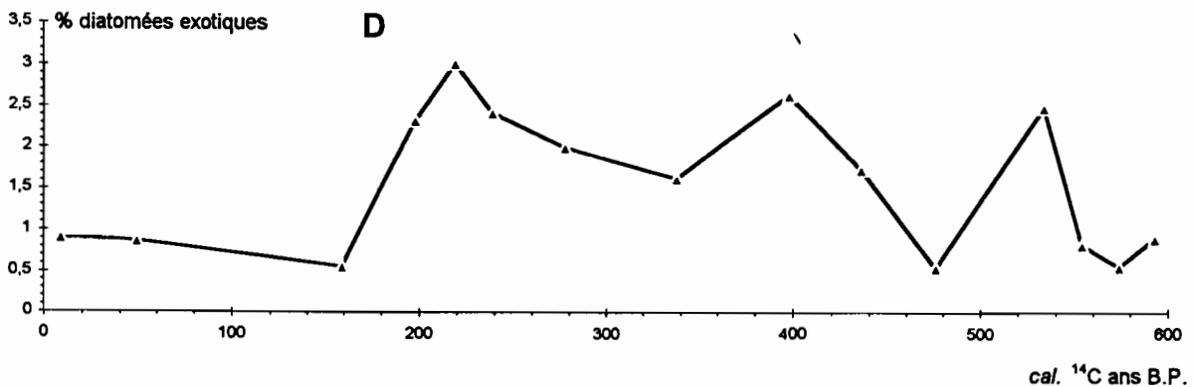
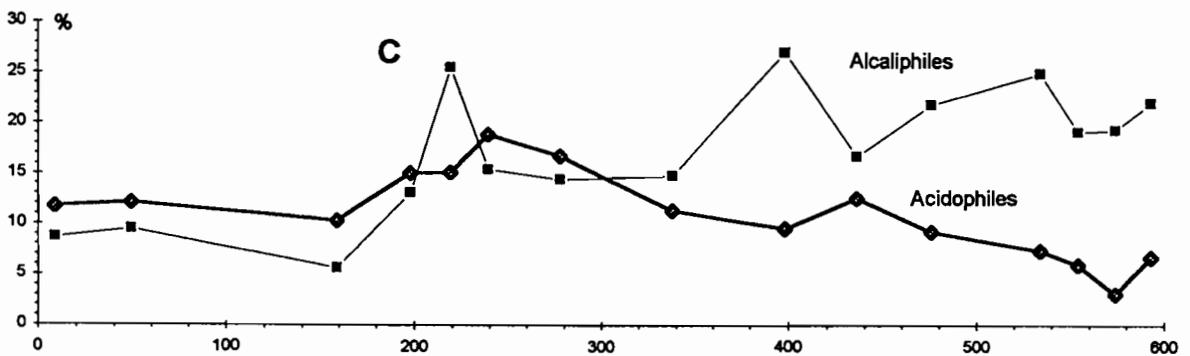
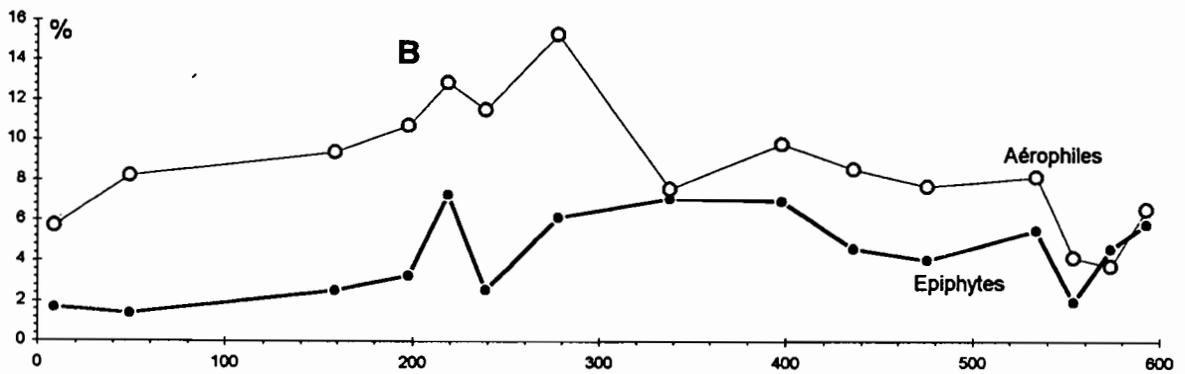
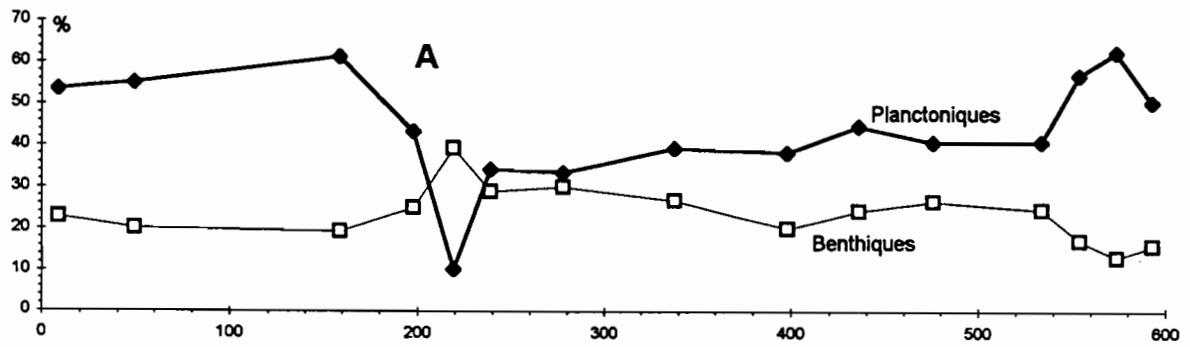


Figure IV.18. Variations de l'abondance (%) des diatomées indicatrices de la paléobathymétrie (A et B), du pH (C) et des diatomées apportées par le vent (D) entre 614 et l'actuel.

**D - ANALYSE DES DONNEES DANS UN OBJECTIF DE
QUANTIFICATION DES PARAMETRES PALEO-
ENVIRONNEMENTAUX (FONCTION DE TRANSFERT)**

Introduction

Dans le chapitre II, nous avons mis en évidence par une étude empirique des sédiments superficiels que les diatomées reflètent les conditions du milieu. Appliquées à la flore fossile, ces données écologiques ont permis une reconstitution qualitative ou semi-quantitative de certains paramètres des paléomilieus. Au cours des dernières années, les paléoécologistes, à partir des travaux de Imbrie et Kipp (1971) ont développé une méthode appelée «fonction de transfert» qui consiste à modéliser les relations entre les données floristiques (ou faunistiques) et les paramètres mesurés de l'environnement actuel. Ces modèles peuvent être appliqués ensuite à des assemblages fossiles afin de reconstituer les modifications des paléoenvironnements.

En milieu lacustre, ces techniques de quantification ont été largement utilisées et concernent des paramètres physico-chimiques divers. Les relations quantifiées entre la flore actuelle et le pH ont été établies par Van Dam et *al.* (1981), Gasse et Tékaiïa (1983), Charles (1985), Birks et *al.*, (1990) ; la température (Roux et Servant-Vildary (1984), Vyverman et Sabbe (1995), Miskane (thèse en préparation) ; les concentrations en phosphore (Reavie et *al.*, 1995). L'application de ces relations aux données fossiles est encore rare et concerne la salinité totale et la composition ionique (Roux et *al.*, 1991 ; Fritz et *al.* 1991, 1993 ; Gasse et *al.*, 1995 ; Sylvestre, 1997), la température (Servant-Vildary et Roux, 1990a ; Miskane, thèse en préparation), la bathymétrie (Pailles, 1989 ; Nguetsop, 1996)

Dans ce chapitre, l'Analyse Canonique des Correspondances (ACC) permettra de déterminer l'influence de chaque paramètre mesuré dans la dispersion floristique. Les techniques de régression permettront d'établir la relation mathématique entre les assemblages sub-actuels et un paramètre donné du milieu. La relation la plus significative (ici, la profondeur) sera utilisée pour quantifier les variations de la bathymétrie durant les 5 500 dernières années.

V. METHODES UTILISEES POUR L'ORDINATION DES PARAMETRES ENVIRONNEMENTAUX ET LES ESTIMATIONS FOSSILES.

Elles comprennent : l'ACC, la régression des moyennes par classe, et la régression par moyennes pondérées.

V.1. L'analyse canonique des correspondances (ACC)

- Principe et Méthodologie

L'ACC est une technique d'analyse multivariée qui permet de déterminer les relations entre la composition des communautés (animales et végétales) et les paramètres mesurés de l'environnement. Dans une méthode classique d'ordination comme l'AFC, les axes de variation sont extraits continuellement à partir des abondances, ces axes étant ensuite interprétés à partir des données écologiques provenant de différentes sources (écologie des espèces donnée par la littérature par exemple) ou internes (observations propres du milieu). C'est l'analyse indirecte des gradients. A la différence de l'AFC, l'ACC travaille directement sur deux tableaux de données : un tableau de contingence comportant les données de la floristique (n échantillons et m espèces) et un tableau de q paramètres mesurés de l'environnement ($q < n$). Les axes extraits dont le nombre est égal au nombre de paramètres (q) sont des combinaisons linéaires des variables de l'environnement. C'est l'analyse directe des gradients (Ter Braak, 1986).

L'ACC procède de la façon suivante :

- 1) Coder numériquement les abondances des échantillons avec un code arbitraire non constant.
- 2) Calculer la moyenne pondérée des espèces par échantillon.
- 3) Recalculer les abondances de chaque échantillon en utilisant les moyennes pondérées des espèces.
- 4) Calculer les coefficients de corrélation des régressions multiples pondérées entre les abondances des échantillons et les variables de l'environnement.
- 5) Calculer les valeurs prédites par la régression de l'étape précédente.
- 6) Centrer et réduire les valeurs obtenues.
- 7) Répéter la boucle jusqu'à ce que deux itérations successives donnent un résultat voisin.

Résultats et interprétations

Le résultat de l'ACC peut être donné sous forme de graphique où les espèces sont représentées par des points (leur position correspond approximativement à l'optimum de l'espèce dans le sous-espace environnemental à deux dimensions) et les variables environnementales par des flèches qui indiquent la direction et le sens du changement des paramètres dans le sous-espace. La représentation conjointe des espèces et des variables montre la disposition des espèces le long des gradients exprimés par les paramètres environnementaux, une espèce située à l'extrémité de la flèche est celle qui est la plus fortement corrélée positivement ou négativement au paramètre. Les espèces situées dans un espace éloigné du paramètre ne présentent aucune (ou une très faible) corrélation avec le paramètre. L'influence d'un paramètre dans la dispersion floristique est exprimée par la longueur et l'angle entre son vecteur (flèche) et l'axe factoriel : plus la flèche sera longue et l'angle petit, plus la variable est significative.

Les corrélations canoniques définissent les axes comme combinaisons linéaires des variables environnementales. Les corrélations variables/axes permettent de définir le ou les variables les plus corrélées à un axe donné.

Les rapports entre les corrélations canoniques, la valeur propre d'un axe ou des valeurs propres cumulées (trace) de tous les axes de l'ACC et celles de l'AFC permettent de déterminer la part des contrastes floristiques ou faunistiques qui est imputable aux variables de l'environnement (Lebreton et *al.*, 1988)

V.2. Principe et méthodologie de la fonction de transfert

Les premiers travaux de reconstitution des paléoenvironnements à partir des données biologiques sont ceux de Imbrie et Kipp (1971). Ces auteurs partent de l'hypothèse selon laquelle pour des espèces ou des assemblages donnés, la réponse aux paramètres écologiques reste constante au cours du temps. Dès lors, il est possible à partir de la composition floristique ou faunistique d'une communauté écologique observée dans le milieu actuel où sont mesurés les paramètres physico-chimiques de l'environnement, d'estimer les valeurs de ces mêmes paramètres pour

les périodes passées à partir de la composition faunistique ou floristique fossile. En d'autres termes, il s'agit d'extraire les relations entre les assemblages actuels et les variables de l'environnement et de les appliquer aux assemblages fossiles. C'est le principe de la fonction de transfert.

Différentes approches ont été développées à partir des travaux de Imbrie et Kipp (1971). Guiot et Roux (1993) propose un historique de ces travaux. Les diatomistes au cours de la dernière décennie ont utilisé deux méthodes principales : la méthode des moyennes par classe développée par Maurice Roux (Servant-Vildary et Roux, 1990 ; Roux et *al.*, 1991) et la méthode des moyennes pondérées développée par Ter Braak (Ter Braak et Prentice, 1988 ; Ter Braak et Van Dam, 1989 ; Birks et *al.*, 1990).

V.2.1. Méthode des moyennes par classe

Cette méthode est une approche modifiée de celle de Imbrie et Kipp (1971), l'ACP (Analyse en Composantes Principales) y est remplacée par une AFC. Ces deux approches ont l'avantage d'extraire une régression sur de nouvelles variables (coordonnées factorielles) qui ne sont pas corrélées entre elles. L'AFC est utilisée dans la méthode développée par Roux (1979) parce qu'elle est plus indiquée pour les données floristiques obtenues par comptage (Greenacre, 1984). Cette méthode présente également l'originalité d'utiliser la notion d'éléments supplémentaires facilitant l'interprétation entre ceux-ci et les éléments principaux mis en actifs (Roux et *al.*, 1991). Elle comporte deux grandes étapes : l'Analyse Factorielle des Correspondances et la régression linéaire multiple.

- *L'Analyse Factorielle des Correspondances*

1) Construction du tableau des moyennes par classes

La dispersion floristique dans un écosystème donné est le résultat de l'interaction de plusieurs paramètres environnementaux (nutriments, vents, lumière, courants, pH, profondeur, chimie etc...). Ce ou ces paramètres étant choisis, on construit un nouveau tableau, le tableau des moyennes par classes (Gasse et Tekaiia, 1983, ; Roux et Servant-Vildary, 1984 ; Roux et *al.*, 1991) où sont représentées en ligne les espèces sub-actuelles, chacune étant affectée d'une abondance cumulée (somme des abondances de tous les échantillons appartenant à une classe) et en colonne

les classes du paramètre à expliquer. Le découpage des classes doit être fait de façon à répartir à peu près équitablement les échantillons dans les classes (Roux et al., 1991). Le contenu de chaque case (ij) du tableau est l'abondance cumulée de l'espèce (i) dans les échantillons appartenant à la classe (j). Il est conseillé de ne retenir le ou les paramètres qui jouent un rôle important dans la dispersion floristique. Ce ou ces paramètres sont choisis en fonction de la valeur de leur corrélation et de l'inertie des axes auxquels ils sont fortement corrélés.

2) Analyse et Résultat

Ce tableau est ensuite soumis à l'AFC après adjonction de deux tableaux en éléments supplémentaires traités en éléments passifs contenant pour le premier ensemble les échantillons sub-actuels et pour le second les échantillons fossiles. Les lignes de ces trois colonnes étant identiques, les espèces exclusives à la flore fossile sont affectées d'une abondance nulle (0) dans le tableau des moyennes par classe dans les échantillons sub-actuels. De même, les espèces exclusives à la flore sub-actuelle sont affectées d'une abondance nulle dans le tableau des échantillons fossiles. Cette analyse permet donc d'obtenir à la fois les coordonnées factorielles des classes, des échantillons sub-actuels et fossiles qui peuvent être considérées comme de nouvelles variables explicatives.

Le résultat graphique (nuage) de cette analyse montrera d'ores et déjà les classes entourées non seulement par les espèces et les échantillons sub-actuels qui leur sont associées mais aussi le recouvrement des échantillons sub-actuels sur les échantillons fossiles. Autrement dit, il permet de vérifier s'il existe pour chaque échantillon fossile un analogue actuel et que leur position dans le plan factoriel permet d'obtenir une bonne interprétation par une régression linéaire multiple.

- Régression linéaire multiple et calibration

1) Régression

Les coordonnées factorielles des échantillons sub-actuels sont extraites des coordonnées factorielles obtenues par l'AFC à partir du tableau des moyennes par classe (cf. § précédent). Une régression multiple pas à pas est ensuite réalisée en prenant ces coordonnées factorielles comme variables explicatives et les valeurs mesurées du paramètre environnemental comme variables à expliquer. Le nombre

d'axes à retenir dans le calcul de la formule de régression dépend du pourcentage de variance prise en compte par chacun d'eux. En général, on retient le premier axe qui totalise toujours 80 à 90 % de la variance. L'introduction d'un axe supplémentaire apporte généralement 1 à 5 % de l'information mais diminue l'aptitude de la formule à estimer le paramètre. La formule de régression de type $Y = aX + b$ décrit cette relation linéaire, où "b" est l'ordonnée à l'origine de l'axe des Y la variable environnementale, "a" la pente de la droite (ou coefficient de régression) et X (ordonnée factorielle sur l'axe 1 de chacune des classe composée par l'ensemble des échantillons compris dans cette classe).

2) Calibration : validité de la formule de régression

Les valeurs des constantes "a" et "b" étant connues on calcule les valeurs du paramètre environnemental Y' pour chaque échantillon actuel ($aX' + b = Y'$) où X' correspond à la coordonnée factorielle de l'échantillon sur l'axe 1 du tableau floristique actuel traité en élément supplémentaires [fig VI.2 (2)]. C'est la calibration, ces nouvelles valeurs constituent les prédictions. Les différences entre les valeurs mesurées et les valeurs estimées ($Y - Y'$) constituent les résidus.

Le test de Lilliefors(1967) permet de tester si la distribution des résidus est approximativement gaussienne, condition sans laquelle on ne peut pas établir une marge d'erreur de la régression. Ce test compare la distribution observée et une distribution théorique en l'occurrence la loi normale. Le résultat du test est suivi par un intervalle de risque. La marge d'erreur de la formule est obtenue en multipliant l'écart-type des résidus par 1,96. Cette estimation est approximative car elle ne tient pas compte des fluctuations possibles de ou des axes factoriels en relation avec l'échantillonnage des données.

V.2.2. Méthode des moyennes pondérées (*weighted averaging*)

Cette méthode repose sur le principe selon lequel la réponse d'une espèce à une variable environnementale est unimodale, cela signifie que cette espèce présente son maximum de développement (abondance maximum) à une valeur donnée du paramètre (optimum) et ne peut survivre quand cette valeur devient très faible ou très élevée (Ter Braak et Van Dam, 1989). Pour des raisons de simplicité, cette

méthode utilise un ensemble de courbes symétriques unimodales (réponse au modèle gaussien) dans lequel chaque taxon a un optimum et une tolérance. Cette méthode comprend 3 étapes (Ter Braak et Juggins, 1993).

- *Calcul de l'optimum des espèces par une régression par moyennes pondérées.*

Le calcul de l'optimum part de l'hypothèse suivante : quand une espèce présente une réponse unimodale à une variable environnementale, elle va être plus abondante dans les habitats où la valeur du paramètre est égale ou proche de son optimum. Intuitivement, on peut estimer l'optimum de l'espèce en prenant la moyenne pondérée (par les abondances des taxons) des valeurs du paramètre dans ces habitats.

L'optimum estimé (\hat{u}_k) d'un taxon k donné par :

$$\hat{u}_k = \frac{\sum Y_{ik} x_i}{\sum Y_{ik}} \quad \text{où}$$

Y_{ik} est l'abondance du taxon k dans l'échantillon i

et x_i la valeur mesurée du paramètre dans l'échantillon i

- *Réestimation du paramètre de l'environnement à partir des optima des espèces par régression par moyennes pondérées : calibration*

Les optima estimés dans l'étape précédente vont être utilisés pour réestimer les valeurs du paramètre de l'environnement correspondant à chaque échantillon. On suppose que dans un habitat ayant une valeur donnée du paramètre, les taxons ayant un optimum proche de cette valeur sont les plus abondants. Intuitivement, cette valeur est égale à la moyenne pondérée de ces optima. Elle est donnée par la formule suivante :

$$\hat{x}_i = \frac{\sum Y_{ik} \hat{u}_k}{\sum Y_{ik}}$$

L'estimation de la tolérance (écart quadratique pondéré) d'un taxon k est donnée par :

$$\hat{t} = \left[\frac{\sum Y_{ik} (\hat{x}_i - \hat{u}_k)^2}{\sum Y_{ik}} \right]^{1/2}$$

- *Correction des valeurs estimées par une régression par "étirement" (Deshrinking régression)*

La régression par moyennes pondérées procède par un double "moyennage" qui a pour conséquence la contraction des valeurs estimées du paramètre. Pour corriger

ces valeurs, on effectue une régression linéaire entre les valeurs mesurées et les valeurs obtenues par la régression par moyennes pondérées (*deshrinkage*). Suivant les cas, le *deshrinkage* peut être classique: $\hat{X}_i = aX_i + b + \epsilon_i$, ou inverse: $\hat{X}_i = (\hat{X}_i - b)/a$

VI. RELATIONS DIATOMEES/PARAMETRES DU MILIEU DANS LE LAC OSSA

VI.1. Préparation des données

L'ACC exige pour chaque échantillon les données floristiques et physico-chimiques complètes. Les 17 paramètres mesurés sont les ions Ca^{2+} (Ca), Mg^{2+} (Mg), K^+ (K), Na^+ (Na), HCO_3^- (Tac), Cl^- (Cl), NO_3^- (NO3), SiO_2 (SiO_2), les anions totaux (An), les cations totaux (Cat), la conductivité (Cdm), le pH (pHm), la turbidité (Turb), l'oxygène dissous (O_2), la température (T) et la profondeur (Prof).

Les échantillons FO10, FO11, FOW5, FOW6, MO1, MO3, MV4, NS1a, et IIK dont certains paramètres n'ont pas été mesurés ont été supprimés des tableaux (floristique et variable). Les échantillons Iik1, SO40, SO43, et MV3 bien qu'ayant les données floristiques et physico-chimiques ont été également enlevés du tableau soumis à l'ACC car ils présentaient pour les paramètres estimés des résidus très élevés dans un premier traitement qui n'est pas présenté ici. Ceci signifie que les assemblages de diatomées dans ces échantillons ne sont pas expliqués par les paramètres physico-chimiques de leur point de prélèvement. On peut expliquer cela dans le cas de SO40 (prélevé dans une source dans la zone périodiquement inondée), SO43 (prélevé dans un effluent au Nord du lac) et MV3 par des apports plus ou moins lointains de frustules des milieux aux caractéristiques physico-chimiques différentes de celles de leur milieu de sédimentation. Dans le cas de IIK (prélevé sur la bordure du lac Iléka), sa zone de prélèvement n'est couverte d'eau que pendant une période de l'année, en l'absence de données hydrologiques précises, nous n'avons pas pu déterminer la profondeur moyenne de son point de prélèvement.

La méthode d'échantillonnage ne permettant pas d'atteindre les variations saisonnières (voir chapitre II.1, § II.1.5), nous utilisons comme données de référence actuelle des profondeurs moyennes (voir chapitre I § I.2.3) car elles sont plus directement transférables à la flore fossile.

Les valeurs utilisées pour les autres paramètres sont celles mesurées au moment des prélèvements (basses eaux), les données des hautes eaux n'étant pas disponibles.

Les tableaux soumis à l'ACC contiennent donc 61 échantillons définis par les assemblages de diatomées d'une part et les paramètres physico-chimiques d'autre part.

VI.2. Résultats de l'Analyse Canonique des Correspondances (ACC)

Le nombre d'axes fourni par l'ACC (17) correspond au nombre de variables (paramètres). Le rapport entre les valeurs propres de l'ACC et celles de l'AFC sur les 5 premiers axes est supérieur à 0,54, ce qui signifie que l'ACC restitue une grande partie de la variabilité floristique des axes de l'AFC (tableau VI.a). Ce rapport est de 0,84 et 0,72 pour les deux premiers axes des deux analyses, ce qui indique que la variabilité floristique des deux premiers axes de l'AFC est bien expliquée par les paramètres de l'environnement introduits dans l'analyse. Plus globalement, le rapport de la somme des valeurs propres (trace) entre les deux analyses (2,683/5,507) est de 0,49, il y a donc 49% de la variabilité de l'AFC qui est restituée dans l'ACC. Autrement dit, il y a 51% de variabilité perdue c'est à dire non liée aux paramètres de l'environnement.

Facteurs	ACC		AFC		Rapport valeurs propres (ACC/AFC)
	valeurs propres	corrélations canoniques	valeurs propres	corrélations canoniques	
1	0,653	0,808	0,78	0,88	0,84
2	0,507	0,712	0,7	0,84	0,72
3	0,363	0,602	0,58	0,76	0,63
4	0,306	0,553	0,55	0,74	0,56
5	0,241	0,491	0,44	0,67	0,55
6	0,128	0,358	0,29	0,54	0,44
7	0,107	0,328	0,24	0,49	0,45
8	0,096	0,31	0,2	0,46	0,48
9	0,078	0,279	0,19	0,43	0,41
10	0,054	0,232	0,19	0,43	0,28
11	0,046	0,215			
12	0,032	0,179			
13	0,022	0,147			
14	0,021	0,144			
15	0,015	0,123			
16	0,009	0,097			
17	0,004	0,066			

Tableau VI.a: Sédiments superficiels. Comparaison entre les valeurs propres, les corrélations canoniques de l'ACC et l'AFC.

Corrélations variables/facteurs

On observe une forte corrélation (0,98) entre la profondeur (Prof) et le premier axe de l'ACC. La température (T) et le pH ont des corrélations de 0,43 et 0,42. Les autres paramètres montrent de très faibles corrélations sur cet axe. Les variables Ca (0,84), Mg (0,78), Tac (0,78), Cat (0,78), Cdm (0,68), Na (0,64) sont fortement corrélées au deuxième axe (tableau VI.b). La représentation graphique des variables sur le plan 1 - 2 traduit ces corrélations des variables de l'environnement aux facteurs (figure VI.1). Nous rappelons que plus la flèche est longue et l'angle petit, plus la variable est corrélée à l'axe.

Variables	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4
An	-0,046	0,74	0,12	-0,13
Ca	-0,19	0,84	-0,12	-0,097
Cat	-0,073	0,78	0,12	-0,15
Cdm	-0,082	0,68	0,12	-0,17
Cl	-0,18	0,095	0,58	0,38
K	-0,19	0,45	0,11	-0,1
Mg	-0,1	0,78	0,13	-0,18
NO3	0,076	-0,042	0,032	-0,19
Na	-0,036	0,64	0,43	-0,19
O2	0,041	-0,053	-0,37	-0,26
Prof	0,98	0,049	-0,0034	-0,12
SO4	-0,19	-0,067	0,23	0,044
SiO2	-0,27	0,36	0,2	0,052
T	0,43	-0,11	-0,07	-0,27
Tac	-0,06	0,78	-0,008	-0,18
Turb	0,12	0,057	0,0054	-0,14
pHm	0,42	0,32	0,063	-0,49

Tableau VI.b: Sédiments superficiels. Corrélations variables/facteurs des 4 premiers axes de l'ACC

Corrélations variables / variables et relations variables / échantillons, variables / espèces

Le tableau des corrélations variables / variables montre une faible corrélation entre la profondeur et le pH (0,56), entre la profondeur et la température (0,45). La corrélation entre les paramètres précités et les autres variables est très faible. Les variables bien corrélées au deuxième facteur (Ca, Mg, Na, Cdm, An, Cat, Tac) sont fortement corrélées entre elles (tableau VI.c)

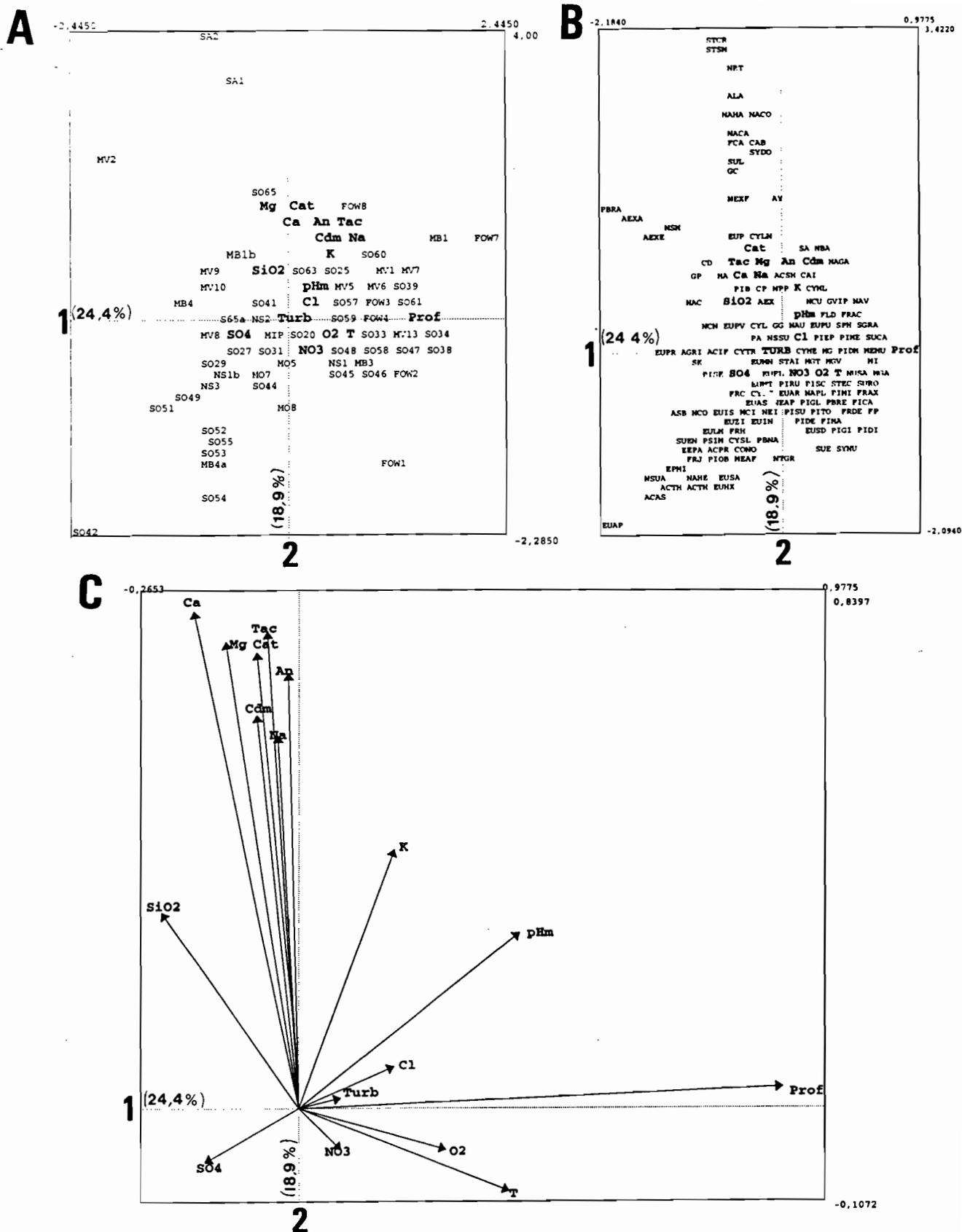


Figure VI. 1. Analyse canonique des correspondances sur les échantillons de sédiments superficiels définis par la composition floristique et sur les paramètres environnementaux mesurés dans l'eau au même point de prélèvement. (A) Représentation graphique conjointe échantillons sédiments superficiels/paramètres environnementaux, plan 1/2; (B) Représentation graphique conjointe espèces actuelles/paramètres environnementaux, plan 1/2 (C) Représentation graphique des seuls paramètres environnementaux, plan 1/2 : Prof (profondeur), T (température), O2 (oxygène dissous), NO3 (nitrates), SO4 (sulfates), turb (turbidité), pHm (pH), K (potassium), SiO₂ (silice), Na (sodium), An (ensemble des anions), Cdm (conductivité), Cat (ensemble des cations), TAC (alcalinité), Mg (magnésium), Ca (calcium).

	An	Ca	Cat	Cdm	Cl	K	Mg	NO3	Na	O2	Prof	SO4	SiO2	T	Tac	Turb	pHm
An	+1.000	+0.893	+0.985	+0.776	+0.115	+0.818	+0.963	+0.145	+0.828	-0.099	+0.039	+0.268	+0.649	-0.160	+0.854	+0.045	+0.169
Ca	+0.893	+1.000	+0.918	+0.744	+0.038	+0.615	+0.910	-0.015	+0.702	-0.024	-0.088	+0.266	+0.558	-0.200	+0.817	+0.030	+0.182
Cat	+0.985	+0.918	+1.000	+0.775	+0.144	+0.799	+0.958	+0.057	+0.862	-0.051	+0.040	+0.252	+0.637	-0.141	+0.860	+0.068	+0.199
Cdm	+0.776	+0.744	+0.775	+1.000	+0.158	+0.611	+0.725	+0.163	+0.695	-0.201	-0.022	+0.383	+0.430	-0.244	+0.602	-0.010	+0.107
Cl	+0.115	+0.038	+0.144	+0.158	+1.000	+0.170	-0.034	+0.110	+0.391	-0.195	+0.065	+0.562	+0.126	-0.147	-0.223	+0.066	-0.064
K	+0.818	+0.615	+0.799	+0.611	+0.170	+1.000	+0.768	+0.248	+0.609	-0.168	+0.149	+0.211	+0.649	-0.161	+0.663	+0.075	+0.161
Mg	+0.963	+0.910	+0.958	+0.725	-0.034	+0.768	+1.000	+0.032	+0.727	+0.012	+0.006	+0.124	+0.621	-0.128	+0.911	+0.039	+0.171
NO3	+0.145	-0.015	+0.057	+0.163	+0.110	+0.248	+0.032	+1.000	+0.048	-0.402	-0.008	+0.267	+0.387	-0.210	-0.170	+0.252	-0.044
Na	+0.828	+0.702	+0.862	+0.695	+0.391	+0.609	+0.727	+0.048	+1.000	-0.097	+0.127	+0.328	+0.504	-0.068	+0.641	+0.116	+0.200
O2	-0.099	-0.024	-0.051	-0.201	-0.195	-0.168	+0.012	-0.402	-0.097	+1.000	+0.229	-0.386	-0.221	+0.570	+0.093	+0.058	+0.379
Prof	+0.039	-0.088	+0.040	-0.022	+0.065	+0.149	+0.006	-0.008	+0.127	+0.229	+1.000	-0.302	-0.221	+0.446	+0.095	+0.111	+0.562
SO4	+0.268	+0.266	+0.252	+0.383	+0.562	+0.211	+0.124	+0.267	+0.328	-0.386	-0.302	+1.000	+0.284	-0.413	-0.158	-0.018	-0.266
SiO2	+0.649	+0.558	+0.637	+0.430	+0.126	+0.649	+0.621	+0.387	+0.504	-0.221	-0.221	+0.284	+1.000	-0.435	+0.499	+0.027	-0.013
T	-0.160	-0.200	-0.141	-0.244	-0.147	-0.161	-0.128	-0.210	-0.068	+0.570	+0.446	-0.413	-0.435	+1.000	-0.003	+0.319	+0.501
Tac	+0.854	+0.817	+0.860	+0.602	-0.223	+0.663	+0.911	-0.170	+0.641	+0.093	+0.095	-0.158	+0.499	-0.003	+1.000	-0.014	+0.242
Turb	+0.045	+0.030	+0.068	-0.010	+0.066	+0.075	+0.039	+0.252	+0.116	+0.058	+0.111	-0.018	+0.027	+0.319	-0.014	+1.000	+0.152
pHm	+0.169	+0.182	+0.199	+0.107	-0.064	+0.161	+0.171	-0.044	+0.200	+0.379	+0.562	-0.266	-0.013	+0.501	+0.242	+0.152	+1.000

Tableau VI.c. Sédiments superficiels. Corrélations des variables entre elles.

Les diagrammes représentant les relations échantillons/environnement (figure VI.1.A) et espèces/environnement (figure VI.1.B) montrent approximativement la distribution des échantillons et des espèces le long des gradients environnementaux exprimés par les flèches.

L'ACC révèle donc la relation entre les différents paramètres physico-chimiques mesurés et la floristique. La profondeur est fortement corrélée au premier axe de l'ACC, elle explique donc mieux les contrastes floristiques mis en évidence par l'AFC. Elle est faiblement corrélée au pH et à la température sur cet axe. L'Axe 2 met en évidence l'influence des ions dans la dispersion floristique.

VI.3. Régression et Calibration : Fonction de transfert sur la profondeur

Méthode des moyennes par classe

Le tableau des moyennes par classe soumis à l'AFC comprend 5 classes du paramètre profondeur (tableau VI.d), 61 échantillons sub-actuels et 77 échantillons fossiles. L'AFC est faite en mettant les échantillons sub-actuels et fossiles en éléments supplémentaires, on obtient donc au cours de cette analyse les coordonnées factorielles des classes, des échantillons sub-actuels et fossiles.

Numéro de classe	Profondeur (cm)	Nombre d'échantillons
I	180 - 241	14
II	241 - 288	10
III	288 - 355	13
IV	355 - 373	11
V	373 - 386	13

Tableau VI.d: Sédiments superficiels. Régression d'après la méthode des moyennes par classe. Liste des classes de profondeur (I à V) et bornes de chaque classe avec le nombre d'échantillons actuels compris entre ces bornes.

Le plan 1 - 2 (figure VI.2) montre sur le premier axe une opposition entre les classes de plus grande profondeur (IV et V) et les classes de moindre

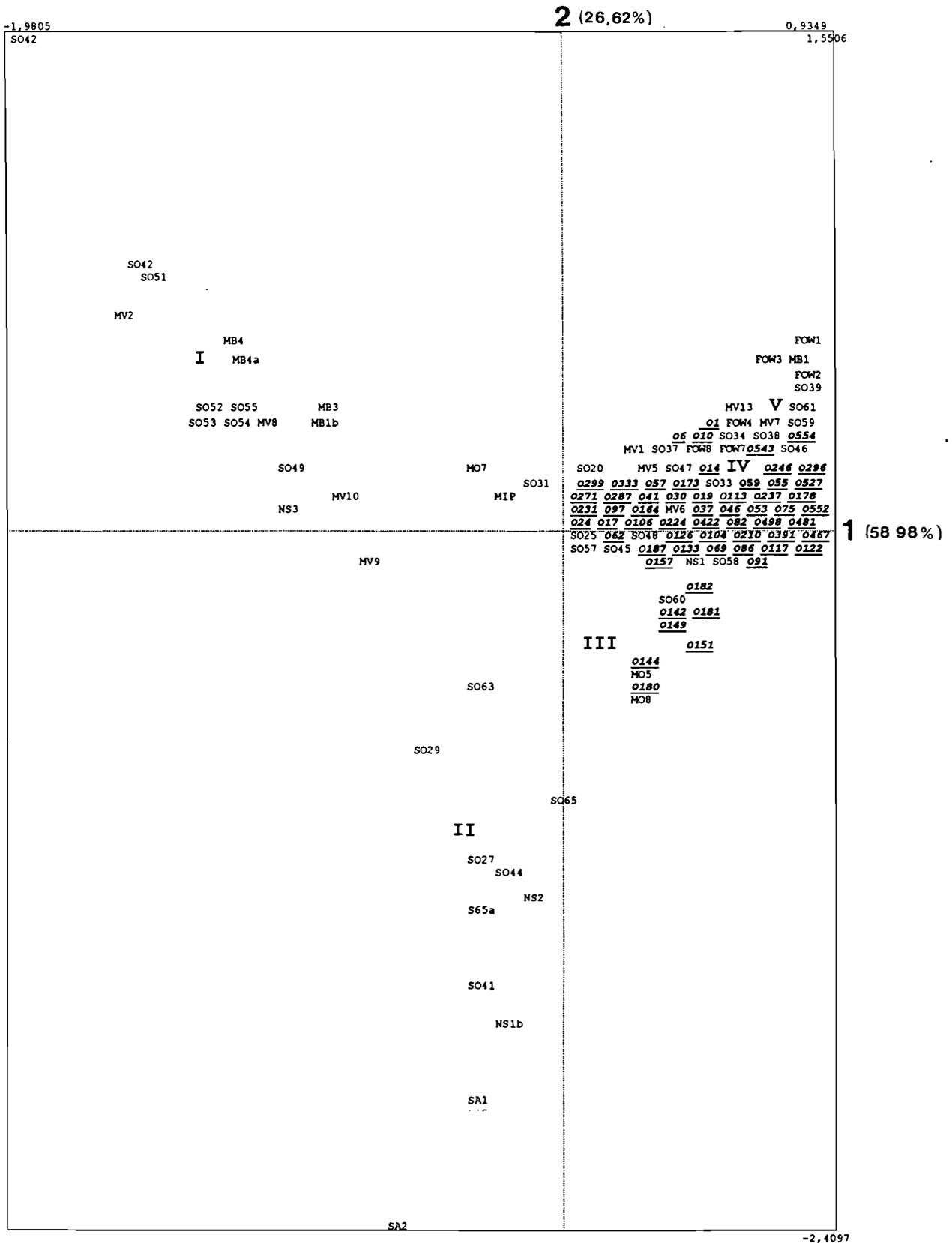


Figure VI.2. Analyse factorielle de trois tableaux de données : (1) en actif les données floristiques actuelles en fonction des classes de bathymétrie I à V, (2) en passif les données floristiques actuelles dans les sédiments superficiels (SO, FOW, MO NS, MB MV, SA) et (3) en passif les données floristiques fossiles numérotées (O1 à O554, gras soulignés).

profondeur (I et II). Les échantillons sub-actuels montrent une bonne dispersion entre les différentes classes alors que les échantillons fossiles se positionnent à proximité des échantillons sub-actuels et des classes plus profondes. Un nombre plus restreint se situe près de la classe de profondeur moyenne (III). Aucun échantillon fossile ne se trouve proche des classes de faible profondeur. Ceci indique déjà à cette étape de l'analyse que les variations du niveau lacustre au cours des 5 500 dernières années dans le lac Ossa n'ont été que de faibles amplitudes, comprises entre 288 et 386 cm. L'application de la formule de régression sur les assemblages fossiles nous permettra ultérieurement de préciser ces variations.

La régression

La formule de la régression multiple pas à pas entre les coordonnées factorielles des échantillons sub-actuels (X) et les profondeurs moyennes des échantillons (Y) est $Y = 74,49X + 314,2$. Le coefficient de détermination (r^2) est de 0,97, il indique à la fois l'intensité du lien entre les deux variables X et Y et la linéarité du lien. Sa valeur indique que la régression est de très bonne qualité.

Méthode des moyennes pondérées

Cette méthode a l'avantage de faire une estimation des optima et des tolérances de toutes les espèces sub-actuelles pour les paramètres de l'environnement (tableau VI.e). La qualité des estimations dépend du nombre d'échantillons où l'espèce est présente et de son abondance dans ces échantillons.

Pour la profondeur, la formule de régression linéaire obtenue après « étirement classique » (*deshrinkage* classique) est de $Y = 1,54X - 170$. Le coefficient de détermination ($r^2 = 0,91$) est comparable à celui obtenu par la méthode des moyennes par classe (tableau VI.f).

codes espèces	Profondeur			pH	
	fréquence	optimum	tolérance	optimum	tolérance
ACAS	5	216,08	31,7	6,0653	0,6127
ACIF	3	287,86	43,21	5,9743	0,4955
ACPR	7	248,86	20,82	5,3057	0,5396
ACSH	7	299,47	32,57	6,8071	1,2127
ACTH	6	237,76	20,01	5,0924	0,5094
AEX A	3	301,29	32,54	6,1257	0,5179
AEXA	9	210,7	25,93	6,8787	0,2519
AEXE	10	217,18	32,05	6,7768	0,2951
AGRI	4	255,66	41,93	6,5217	0,1486
ALA	20	278,23	21,95	7,4582	0,9904
ASB	24	264,32	30,45	6,116	0,7366
AY	4	309,55	37,06	7,1382	1,1192
CAB	6	292,26	62,35	7,1683	0,792
CAI	13	341,3	42,61	8,168	1,1557
CD	13	270,79	48,88	6,3695	0,9444
CONO	2	264	56	4,822	0,944
CP	10	295,8	37,38	6,4378	1,0115
CYL	28	282,16	45,31	6,2692	0,9932
CYLN	5	295,23	28,74	6,6516	1,146
CYME	9	329,19	51,3	7,121	1,4952
CYML	46	320,81	50,03	6,9693	1,1852
CYOC	31	318,27	50,44	6,6414	1,4644
CYSL	11	278,95	40,82	6,0346	1,1173
CYTR	31	313,48	46,64	6,8799	1,0965
DS	4	283,91	35,48	6,3218	0,9441
EED	28	244,6	33,7	5,6954	0,7383
EPMI	6	228	23,44	5,605	0,8799
EUAP	7	190,26	21,49	6,533	0,7316
EUAR	2	336,67	34,41	8,2567	1,3199
EUAS	46	302,14	57,42	6,2844	0,9591
EUPE	13	313,68	43,5	7,0322	1,3042
EUFL	31	276,59	44,42	6,2123	0,8886
EUHX	18	242,78	25,18	5,4527	0,8617
EUIN	13	292,61	53,19	6,0032	1,2276
EUIS	58	268,93	48,74	6,2183	1,0168
EULM	19	244,77	25,79	5,7534	0,8845
EUMN	16	299,84	50,53	6,0956	1,3316
EUMT	17	278,91	52,53	6,4761	0,5835
EUP	5	262,47	41,19	6,7394	0,9446
EUPR	4	227,79	12,9	5,9257	0,0447
EUPU	2	336,18	15,24	7,5364	0,0116
EUPV	29	265,75	50,28	6,6992	0,7796
EUSA	7	245,22	28,23	4,9703	0,7483
EUSD	11	343,5	46,24	7,26	1,0585
EUZI	20	276,96	56,4	6,5918	1,3083
FCA	6	284,5	7,05	7,0746	0,8634
FLD	38	339,05	52,26	7,9603	1,2111
FP	16	376,96	36,29	7,6876	1,2218
FRAC	26	358,73	47,88	7,7823	1,1038
FRAX	31	374,1	30,66	7,4943	0,9518
FRC	21	307,9	49,47	6,7714	0,996
FRDE	30	367,54	35,74	7,5064	1,0094
FRH	57	271,92	50,17	6,1054	1,0849
FRJ	14	244,85	26,29	5,3696	0,8981
GC	8	284,46	27,78	6,9502	1,0683
GG	30	305,86	46,78	6,6511	0,9073
GLIN	22	324,9	65,81	7,7935	1,1271
GP	19	278,59	44,17	6,6284	0,9931
GVIP	5	334,69	43,54	7,2985	1,4562
HA	7	318,3	68,31	6,399	0,7218
MCI	35	296	26,7	6,4204	0,9519
MEMU	54	365,15	30,31	7,4254	1,1709
MG	25	343,21	58,51	7,0415	1,2571
MGA	15	364,69	43,64	6,67	0,8882
MGT	42	322,23	50,48	6,9454	1,3122

Tableau VI.e. Autoécologie des espèces actuelles d'après l'ACC. Optima et tolérance.

codes espèces	Profondeur		pH		
	fréquence	optimum	tolérance	optimum	tolérance
MGV	42	321,71	55,87	6,8432	1,3669
MI	48	361,86	35,49	7,4961	1,2287
NAC	7	253,68	37,39	6,2909	1,1105
NACA	6	284,91	45,92	7,507	0,8861
NACO	12	292,13	26,4	7,5318	0,9202
NACR	8	232,65	12,23	4,9207	0,5509
NAGA	7	302,58	44,9	6,6008	1,1317
NAHA	3	288,67	38,56	7,67	0,2953
NAHE	24	241,43	38,56	5,5725	1,0495
NAPL	12	345,04	51,87	7,2751	0,6977
NAU	14	324,73	56,93	6,7136	1,1487
NAV	18	363,43	33,8	7,6974	1,1143
NBA	14	325,91	40,89	6,8428	0,9849
NCN	14	288,14	37,31	6,1262	0,9512
NCO	12	263,67	36,94	5,9828	0,2598
NCU	7	349,86	22,81	8,2676	0,8684
NEAF	14	254,76	46,64	5,5692	1,2385
NEAP	33	323,32	45,99	6,7761	1,3452
NEI	46	323,82	42,85	6,6425	1,1773
NEXF	6	275,39	17,96	6,585	0,9997
NPP	46	319,19	52,02	6,9894	1,1865
NRT	7	282,29	16,11	7,6399	0,5679
NSM	10	233,23	50,49	6,7365	0,5259
NSSU	31	341,01	47,98	7,7177	1,1069
NSUA	9	215,92	35,64	6,3747	0,9108
NTGR	4	301,5	81,33	6,8075	0,4127
NUSA	4	357,29	12,66	8,6629	0,7653
PA	6	290,29	43,88	6,36	0,6196
PBNA	39	269,96	52,67	6,024	1,0422
PBRA	2	290,5	90,5	7,045	0,135
PBRE	12	342,42	36,33	6,83	1,0485
PIB	5	287,74	26,23	6,0568	0,6894
PICA	50	338,4	36,15	7,1988	1,0406
PIDE	42	332,93	46,62	6,8993	1,2014
PIDI	6	371,4	37,13	7,2227	0,1839
PIDM	9	370,19	8,72	7,7967	1,3135
PIEP	12	357,63	26,86	7,9037	1,0291
PIGI	3	366,75	11,88	7,1225	1,1558
PIGL	54	321,4	52,01	6,8439	1,2927
PIMA	17	346,49	22,45	7,2632	0,9213
PIME	14	357,68	51,84	7,1345	0,9432
PIMI	42	351,26	36,17	7,0959	1,0609
PIOB	23	253,87	39,64	5,9015	1,1093
PIRU	15	355,03	27,29	6,9928	0,915
PISC	31	340,05	48,02	7,344	1,3737
PISE	2	293,33	24,94	6,294	0,1646
PISU	22	267,94	44,79	5,9664	1,0739
PITO	44	348,73	32,46	7,272	1,0131
PSIM	8	255,15	39,48	5,4131	1,3346
SA	19	337,11	39,36	7,5234	1,0584
SGRA	33	358,73	29,31	7,4123	1,1924
SK	3	237,25	6,4	6,2501	0,1279
SPH	29	355,01	33,95	7,6326	0,9523
STAI	31	324,37	50,9	6,9373	1,4377
STCR	5	274,34	22,58	7,8645	0,5495
STEC	6	358,03	47,56	6,9826	0,3455
STSM	5	275,46	16,08	7,8037	0,6887
SUCA	16	359,37	49,88	7,4345	1,3618
SUE	6	344,85	61,7	6,6236	1,0239
SUEN	5	251,09	39,19	5,3491	1,199
SUL	4	288,59	31,85	7,0647	1,0865
SURO	5	356,96	43,72	7,3296	0,4014
SYDO	6	304,62	37,94	7,561	0,8394
SYNU	5	353,92	39,46	6,8622	0,4714

Tableau VI.e. Autoécologie des espèces actuelles d'après l'ACC. Optima et tolérance.

Méthode	coefficient de détermination (r^2)	écart-type	marge d'erreur
Moyennes par classe	0,97	9	17,6
Moyennes pondérées	0,91	9,6	18,8

Tableau VI.f: Sédiments superficiels. Résultats des fonctions de transfert par les deux méthodes de régression. Coefficients de détermination, écart-types et marges d'erreur.

Calibration et résidus : différences entre valeurs observées et les valeurs réestimées par le modèle.

La relation statistique entre la floristique étant connue, on peut réestimer les profondeurs (Y') à partir de l'équation $ax' + b = Y'$. Les différences entre les valeurs mesurées et les valeurs réestimées ($Y - Y'$) constituent les résidus. En effet, l'équation de la régression est une représentation schématique de la liaison entre la flore des diatomées et la variable environnementale. Elle résume l'information contenue dans la distribution statistique (moyenne des abondances par classe), mais elle ne prend pas en compte la totalité de l'information de la situation observée. Elle en diffère par la perte d'informations que la schématisation du modèle entraîne. C'est cette part résiduelle non prise en compte par l'équation de régression qui correspond à l'écart entre les valeurs observées et les valeurs estimées (résidus) par la formule de régression.

L'analyse des résidus est nécessaire pour juger la précision du modèle. Nous avons appliqué le test de Lilliefors qui compare la distribution des résidus à une distribution théorique de la loi normale (Lilliefors, 1967). Il examine l'écart entre les deux distributions et calcule la probabilité de trouver un écart égal ou supérieur à l'écart observé. Si cette probabilité est très faible (< 5%), on doit rejeter l'hypothèse de normalité des résidus, dans le cas contraire, on admet que l'hypothèse est plausible. Dans le cas de la profondeur, la normalité des résidus n'est pas rejetée, elle serait faite avec un risque ≥ 20 %.

Ecart-type des résidus et marge d'erreur

Le tableau VI.g donne le résultat des profondeurs réestimées par la formule de régression des deux méthodes pour chaque échantillon superficiel ainsi que leurs

Echantillons sub-actuels	Profondeurs moyennes (cm)	Méthode des moyennes par classe		Méthode des moyennes pondérées	
		profondeurs estimées (cm)	Résidus	profondeurs estimées (cm)	Résidus
FOW1	381	384,16	-3,16	386,08	-5,08
FOW2	381	382,4	-1,4	384,22	-3,22
FOW3	381	377,56	3,44	379,47	1,53
FOW4	376	369,45	6,55	371,93	4,07
FOW7	376	371,4	4,6	374,22	1,78
FOW8	376	368,97	7,03	371,13	4,87
MB1	376	383,34	-7,34	385,06	-9,06
MB1b	241	250,48	-9,48	251,64	-10,64
MB3	376	383,39	-7,39	384,87	-8,87
MB4	224	228,8	-4,8	228,54	-4,54
MB4a	224	227,76	-3,76	227,98	-3,98
MIP	288	299,01	-11,01	294,71	-6,71
MOS	335	339,35	-4,35	341,48	-6,48
MO7	288	292,77	-4,77	298,04	-10,04
MO8	335	336,81	-1,81	339,37	-4,37
MV1	358	366,01	-8,01	368,43	-10,43
MV10	256	253,48	2,52	243,22	12,78
MV13	372	372,03	-0,03	374	-2
MV2	200	196,54	3,46	174,74	25,26
MV5	366	360,18	5,82	361,63	4,37
MV6	358	347,32	10,68	348,81	9,19
MV7	372	376,31	-4,31	378,65	-6,65
MV8	236	234,09	1,91	244,77	-8,77
MV9	241	262,96	-21,96	257,29	-16,29
NS1	355	348,09	6,91	349,05	5,95
NS1b	288	299,6	-11,6	289,02	-1,02
NS2	300	309,03	-9,03	301,69	-1,69
NS3	241	245,24	-4,24	242,14	-1,14
S65a	288	294,23	-6,23	296,09	-8,09
SA1	286	292,26	-6,26	289,77	-3,77
SA2	266	275,31	-9,31	264,46	1,54
SO20	325	327,16	-2,16	322,2	-15,2
SO25	341	348,29	-7,29	351,52	-10,52
SO27	298	292,81	5,19	296,7	1,3
SO29	289	275,8	13,2	271,71	17,29
SO31	300	307,88	-7,88	310,92	-10,92
SO33	358	351,64	6,36	354,83	3,17
SO34	373	368,06	4,94	370,37	2,63
SO37	373	366,11	6,89	369,02	3,98
SO38	373	373,23	-0,23	375,6	-2,6
SO39	386	381,93	4,07	384,09	1,91
SO41	288	294,58	-6,58	285,29	2,71
SO42	180	166,99	13,01	147	33
SO44	300	304,33	-4,33	298,55	1,45
SO45	355	344,16	10,84	345,81	9,19
SO46	376	369,32	6,68	372,29	3,71
SO47	376	361,21	14,79	363,94	12,06
SO48	341	352,05	-11,05	343,71	-1,71
SO49	236	245,58	-9,58	245,97	-9,97
SO51	225	202,17	22,83	203,78	21,22
SO52	236	222,13	13,87	231,74	4,26
SO53	236	235,15	0,85	242,07	-6,27
SO54	236	230,66	5,34	237,73	-1,93
SO55	236	230,49	5,51	237,97	-1,97
SO57	341	342,29	-1,29	344,7	-3,7
SO58	361	351,85	9,15	353,18	7,82
SO59	381	375,43	5,57	377,4	3,6
SO60	364	345,22	18,78	348,08	15,92
SO61	381	378,15	2,85	380,23	0,77
SO63	288	295,7	-7,7	289,33	-1,33
SO65	288	313,29	-25,29	305,78	-17,98

Tableau VI.g. Sédiments superficiels. Calibration bathymétrie/diatomées. Profondeurs estimées par les deux méthodes comparées aux profondeurs mesurées.

résidus. La figure VI.3 montre la relation entre les valeurs mesurées et les valeurs réestimées par fonction de transfert. Une fois la normalité des résidus acceptée par le test de Lilliefors, on peut estimer un ordre de grandeur de l'incertitude en considérant une « fourchette » de $\frac{1}{2}$ largeur égale à deux fois l'écart-type (Servant-Vildary et Roux, 1990a). Les écart-types obtenus par les deux méthodes sont comparables (tableau VI.f).

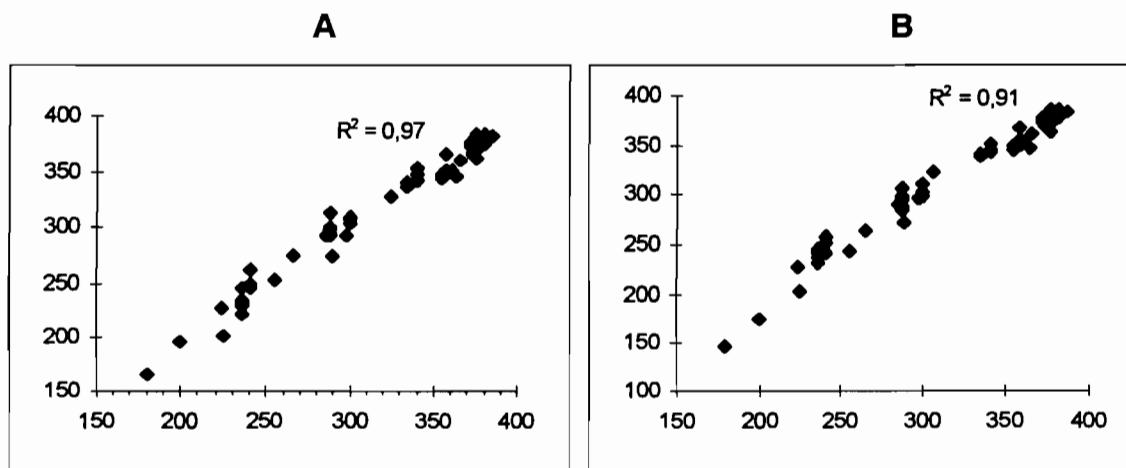


Figure VI.3: Validation des résultats des fonctions de transfert: relation entre les valeurs estimées de la profondeur et les valeurs mesurées (moyennes annuelles). (A) Méthode des moyennes par classe; (B) méthode des moyennes pondérées.

VI.4. Application : Estimation de la paléobathymétrie au point de prélèvement de la carotte OW4

La figure VI.4 présente : (A) Les variations estimées de la bathymétrie moyenne d'après la méthode des moyennes par classe ; (B) les variations estimées de la bathymétrie par la méthode moyennes pondérées et (C) les variations du pourcentage des planctoniques (courbe1) et du pourcentage planctoniques plus tychoplanctoniques (courbe 2). Chaque valeur estimée correspond à la bathymétrie moyenne sur une durée de l'ordre de 10 à 16 ans (c'est à dire la durée que représente un échantillon) (tableau VI.h).

Ces différentes courbes sont globalement en accord : elles montrent des tendances comparables dans l'évolution de la profondeur du lac au lieu de prélèvement de la carotte OW4. Néanmoins elles doivent être discutées sur deux principaux points : (1) les variations estimées de la profondeur se révèlent de très faible amplitude (0,37 m ou 0,36 m selon la méthode utilisée) ; (2) pour certaines périodes (par exemple vers

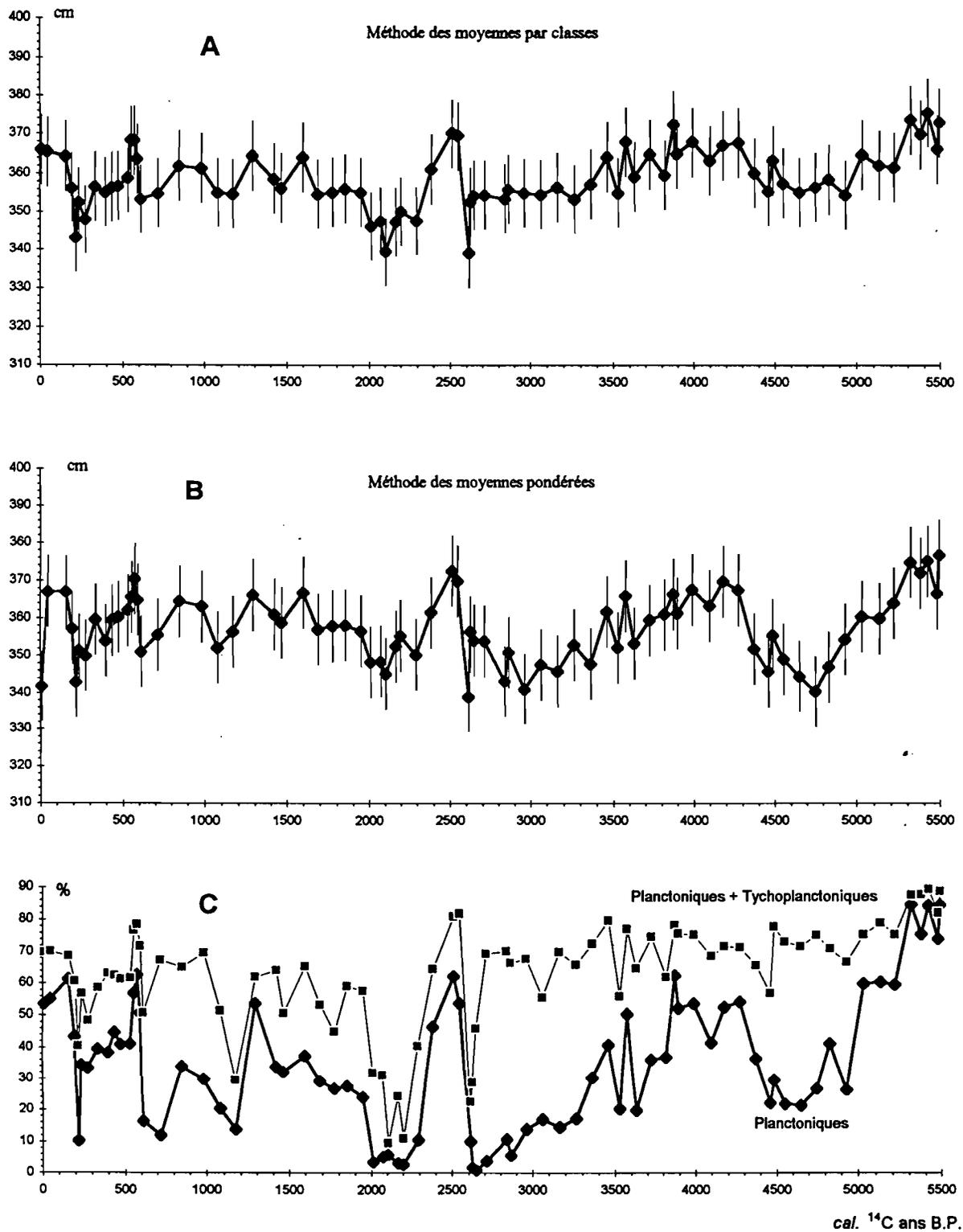


Figure VI.4 : Comparaison entre : (A) les variations de niveaux du paléolac Ossa estimées par la méthode des moyennes par classe; (B) variations de niveaux du paléolac Ossa estimées par la méthode des moyennes pondérées; (C) pourcentages des diatomées considérées comme indicatrices des variations relatives du niveau lacustre (planctoniques: courbe 1, planctoniques et tychoplanctoniques : courbe 2), en fonction du temps (cal. ¹⁴C ans B.P.)

(a)

(b)

Echantillons fossiles (OW4)	Niveaux de prélèvement (cm)	Ages estimés		Profondeurs estimées (a)	Profondeurs estimées (b)
		(14C ans B.P.)	(14C ans cal. B.P.)		
O001	1	13	9	366,02	341,72
O006	5,5	63	49	365,47	367,08
O010	10	114	159	364,3	367,03
O014	14,4	166	198	356,27	357,18
O017	16,8	194	219	343,05	342,84
O019	19	219	239	352,44	351,41
O024	23,5	272	278	347,84	349,96
O030	30,2	350	338	356,42	359,61
O037	37	429	398	354,96	353,9
O041	41,4	481	436	356,27	359,41
O046	45,9	533	476	356,59	360,27
O053	52,5	610	534	358,76	362,04
O055	54,7	639	554	368,28	365,59
O057	57	662	574	368,32	370,39
O059	59,2	685	593	363,55	364,83
O062	61,5	716	614	353,24	351,05
O069	68,2	826	722	354,78	355,51
O075	74,9	954	855	361,88	364,48
O082	81,6	1081	987	361,27	363,1
O086	86,4	1173	1082	354,99	352,17
O091	90,8	1257	1170	354,6	356,32
O097	97	1375	1292	364,42	366,16
O104	103,7	1503	1425	358,53	360,97
O106	105,9	1547	1469	356,12	358,78
O113	112,7	1674	1603	363,99	366,8
O117	117,2	1760	1692	354,52	356,98
O122	121,6	1846	1779	355,05	357,89
O126	126,1	1914	1856	355,91	358,07
O133	132,9	1989	1950	355,03	356,56
O137	137,4	2038	2013	346,16	348,18
O142	141,9	2088	2076	347,52	348,41
O144	144,1	2112	2106	339,47	345,06
O149	148,7	2163	2171	347,32	352,45
O151	150,9	2187	2201	349,99	355,28
O157	157,7	2262	2296	347,65	350,2
O164	164,4	2335	2389	360,96	361,45
O173	173,4	2434	2515	370,27	372,55
O178	177,9	2485	2549	369,63	369,87
O180	180,2	2515	2615	339,01	338,91
O181	181	2525	2627	352,56	356,33
O182	182,4	2543	2648	354,25	354,08
O187	186,9	2600	2714	354,38	353,83
O195	195	2710	2842	353,43	343,11
O197	197	2729	2865	355,82	350,8
O204	203,7	2815	2964	354,85	340,97
O210	210,5	2901	3066	354,53	347,5
O217	217,2	2987	3165	356,36	345,75
O224	223,9	3072	3265	353,28	352,8
O231	230,6	3158	3365	357,11	347,7
O237	237,3	3243	3464	364,17	361,65
O242	241,8	3301	3531	354,92	352,09
O246	246,2	3340	3577	368,05	365,88
O255	255,2	3383	3632	359,05	353,15
O271	271	3458	3727	364,77	359,38
O287	286,6	3532	3821	359,44	360,88
O296	296	3574	3875	372,44	366,29
O299	299,3	3592	3898	364,87	361,25
O315	315	3667	3993	367,93	367,5
O333	332,9	3752	4101	363,19	363,19
O346	346,3	3816	4182	367,07	369,75
O362	362	3889	4277	367,77	367,42
O378	377,7	3956	4376	359,94	351,65
O391	391,2	4013	4462	355,33	345,57
O396	395,5	4031	4489	363,12	355,33
O406	406	4076	4555	357,33	348,88
O422	421,6	4142	4654	354,98	344,26
O437	437,3	4209	4753	356,31	340,18
O451	450,7	4266	4837	358,29	346,85
O467	466,4	4333	4936	354,31	354,21
O482	482,1	4399	5036	364,7	360,3
O498	497,8	4466	5135	362	359,75
O511	511,2	4523	5219	361,42	363,86
O527	526,9	4598	5319	373,71	374,79
O537	535,8	4665	5379	369,98	371,96
O543	542,5	4718	5424	375,59	375,13
O552	551,5	4786	5484	366,24	366,41
O554	553,5	4801	5497	373,11	376,73

Tableau VI.h. Récapitulatif des données fossiles. Liste des échantillons étudiés, profondeur (cm), âges estimés (ans ^{14}C BP et ages calendaires), paleoprofondeurs estimées (en cm) en valeurs moyennes annuelles par les deux méthodes.

3 000 ou 4 800 *cal.* ¹⁴C ans B.P.) la méthode des moyennes pondérées sous-estime la profondeur par rapport à la méthode des moyennes par classe.

D'une manière générale et en eaux profondes, les assemblages de diatomées ne dépendent plus de l'épaisseur de la tranche d'eau (elles sont toujours dominées par les espèces planctoniques). Cette règle générale peut s'appliquer au lac Ossa. De surcroît, les bordures de ce lac (pentes abruptes) sont telles que le rivage ne peut pas se déplacer significativement même si le plan d'eau s'élève. Dans ces conditions, nous devons considérer que les plus fortes valeurs de la bathymétrie dans les courbes A et B correspondent en fait aux valeurs minimales de la tranche d'eau durant les époques où le lac a été le plus profond. Autrement dit nous ne pouvons pas exclure que le lac ait atteint des profondeurs supérieures aux plus fortes valeurs estimées.

Les différences observées entre les courbes A et B pour les périodes 5 200-4800 et 3 500-2 800 *cal.* ¹⁴C ans B.P. tiennent à l'abondance des tychoplanctoniques (figure VI.4, C). Celles-ci sont reliées à des profondeurs plus faibles par la méthode des moyennes pondérées que par la méthode des moyennes par classe. Sachant que ces diatomées se situent à proximité des prairies flottantes et que celles-ci peuvent s'élever ou s'abaisser avec le plan d'eau, il est clair qu'une estimation réaliste de la profondeur n'est pas possible quelque soit la méthode utilisée.

E. DISCUSSIONS ET CONCLUSIONS

VII. LES MILIEUX ACTUELS

VII.1. Les données actuelles

Sur un point de prélèvement, nous disposons de deux types de données : les assemblages de diatomées des sédiments superficiels d'une part, les paramètres environnementaux mesurés dans l'eau d'autre part.

Les groupes de diatomées ont été définis par : (1) l'abondance (exprimée en pourcentages cumulés) des espèces écologiquement proches d'après la littérature (chapitre II.3) et (2) les groupes définis d'après les traitements statistiques (AFC et CAH, chapitre II.5) eux mêmes interprétés écologiquement par les données de la littérature.

Les données environnementales ont été mesurées par D. Wirrmann à différentes époques des années 1993, 1994 et 1995 ou par moi-même en Mars 1995. Les paramètres (profondeur, pH, conductivité, température, composition ionique) n'ont été mesurés qu'une seule fois au moment du prélèvement des sédiments superficiels. Aucune mesure n'est disponible pour les périodes de hautes eaux.

Les données floristiques représentent un état moyen de la flore sur une dizaine d'années alors que les données environnementales représentent un état ponctuel. Ces deux types de données concernent des durées très différentes et donc en principe difficilement comparables. Néanmoins nous avons observé pour la plupart des échantillons un bon accord entre les paramètres mesurés et les affinités écologiques des diatomées les plus abondantes.

La bathymétrie

Les mesures mensuelles effectuées par D. Wirrmann sur l'altitude du plan d'eau au cours des années 1992-93 ont permis de calculer la profondeur moyenne annuelle pour chaque point de prélèvement. L'analyse canonique des correspondances montre une excellente corrélation ($R^2 = 0,97$) sur le premier axe entre les diatomées et la profondeur moyenne annuelle. Il était donc possible d'estimer la relation entre diatomées et bathymétrie et de proposer une estimation quantitative de la paléobathymétrie (chapitre VI.4).

Le pH

Nous avons montré au chapitre II.3 que les plus forts pourcentages d'espèces alcaliphiles dans les sédiments superficiels se rencontrent dans des milieux où les pH mesurés sont supérieurs à 8. Inversement, les plus forts pourcentages d'espèces acidophiles caractérisent les milieux dont le pH est inférieur à 5.

L'analyse canonique des correspondances qui prend en compte la totalité des données fait apparaître une relation diatomées/pH sur le premier axe. Néanmoins, le coefficient de corrélation est faible (0,42). Ce faible coefficient s'explique probablement par l'absence de mesures en période de hautes eaux. Nous ne pouvons pas exclure que le pH présente durant cette période des valeurs différentes de celles qui ont été mesurées. La composition spécifique des assemblages suggère que cela est effectivement le cas.

Par exemple, aux points de prélèvement caractérisés par des pH de l'eau supérieurs à 8 (saison sèche), les assemblages de diatomées des sédiments superficiels sont bien caractérisés par de fortes proportions d'espèces alcaliphiles mais également par une proportion non négligeable d'espèces acidophiles (7-12 %). Celles-ci se sont probablement développées en périodes de hautes eaux, à la faveur d'une diminution saisonnière du pH.

Aux points de prélèvement caractérisés par des pH de l'eau inférieurs à 5 (saison sèche), les assemblages contiennent de fortes proportions de diatomées acidophiles (> 70 %), mais les espèces alcaliphiles se révèlent rares (< 4 %) à quelques exceptions près. En ce cas, il est probable que les pH se sont maintenus acides pendant la plus grande partie de la période représentée par les assemblages de diatomées (les 10 dernières années environ).

Les teneurs en nitrates

Les nitrates sont l'un des éléments nutritifs importants dans le développement des diatomées. Nous avons vu que les points de prélèvement où les eaux, dépourvues de nitrates à la date des échantillonnages, sont caractérisés par la prédominance des espèces oligotrophes dans les sédiments superficiels. Inversement, les points de prélèvement où les eaux contiennent des nitrates sont caractérisés par une forte fréquence des espèces eutrophes. Cela suggère une relation entre les diatomées et les teneurs en nitrates.

Cette relation apparaît sur le premier axe de l'analyse canonique des correspondances mais avec un coefficient de corrélation (0,076) qui n'est pas du tout significatif. L'une des explications possibles est que les teneurs en nitrates sont très variables aux échelles saisonnières et pluriannuelles, et il en résulterait que les mesures ponctuelles ne sont pas significatives. On peut d'ailleurs noter que les échantillons les plus riches en diatomées oligotrophes peuvent aussi contenir une proportion non négligeable d'espèces eutrophes et inversement.

VII.2. Les eaux d'alimentation du lac Ossa

VII.2.1. Les eaux en provenance du drainage des sols sous forêts.

D'une manière générale, et sauf caractéristiques géologiques particulières (substratum calcaire par exemple), les eaux issues du drainage des sols forestiers tropicaux sont acides. La littérature en donne de nombreux exemples. Nous citerons ici les travaux effectués en Guyane (Grimaldi et Pedro, 1995 ; Brouwer, 1995), et dans le Sud Cameroun (Ndam, 1996). Les eaux, qui se situent au débouché des ruisseaux dans le Nord du lac Ossa (point D, figure VII.1) sont en accord avec cette observation générale : elles présentent des pH très acides et cela est clairement enregistré par une forte prédominance des diatomées acidophiles dans les sédiments superficiels. Nous pouvons donc considérer que celles-ci sont de bons indicateurs des apports en eau en provenance du bassin versant situé au Nord du lac Ossa.

Le volume de ces apports n'est pas connu mais on peut estimer qu'ils représentent environ 25 % des apports totaux en eau en se basant sur l'étendue relative du bassin de drainage du Nord du lac Ossa (55 km²) par rapport à l'ensemble des surfaces du bassin de drainage et du lac (201 km²).

VII.2.2. Les eaux en provenance du lac Mévia

Ces eaux se distinguent des précédentes par des valeurs élevées du pH aux dates de prélèvement. Cela est bien enregistré dans les assemblages de diatomées : les espèces alcaliphiles y sont représentées par de forts pourcentages (point C figure VII.1).

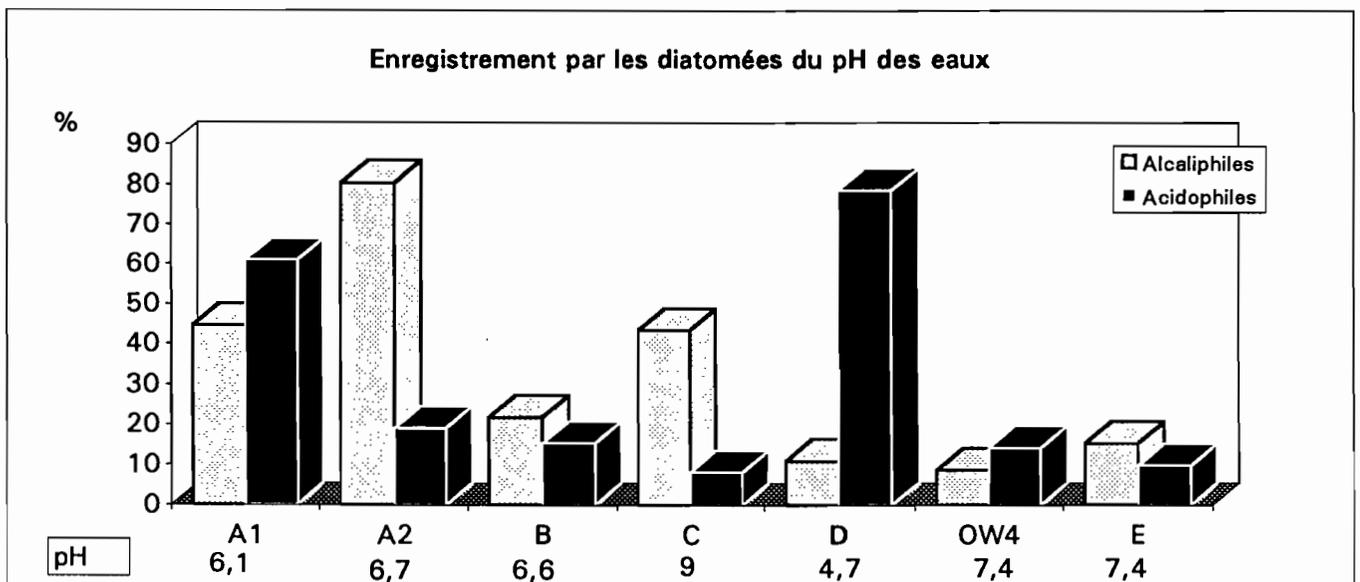
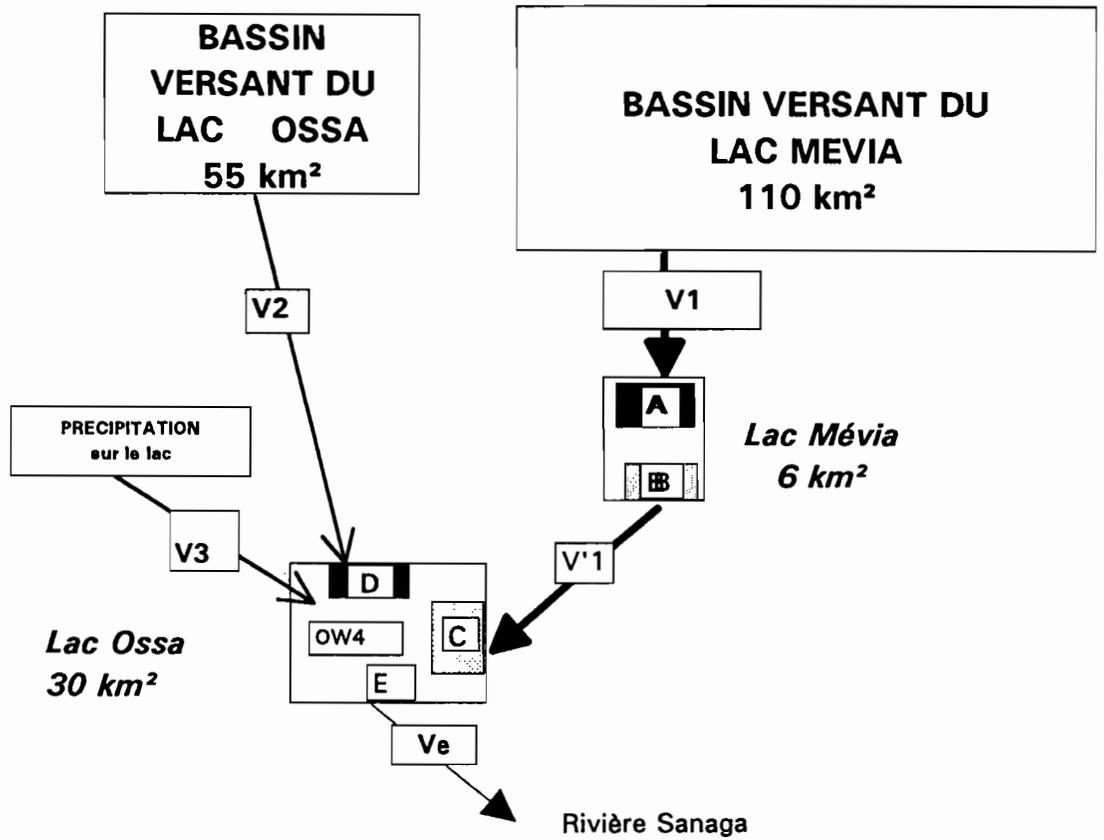
La prépondérance des espèces alcaliphiles n'exclut pas la présence en proportion non négligeable d'espèces acidophiles. Celles-ci pourraient être liées à une diminution épisodique, peut être saisonnière du pH.

Les eaux alcalines qui proviennent du Mévia ont traversé différents types de milieux avant d'arriver au lac Ossa. Les eaux issues du drainage des sols forestiers dans la partie haute du bassin versant traversent des marécages qui se situent en amont du lac Mévia. Ces eaux se caractérisent par des teneurs relativement fortes en sulfates et en bicarbonates lorsqu'elles débouchent dans le lac Mévia (cela pourrait déceler des particularités géologiques propres au bassin versant du Mévia) et par un pH faiblement acide (5,8 - 6,9). Les assemblages de diatomées des sédiments superficiels prélevés à l'extrême Nord du lac Mévia sont caractérisés par un mélange d'espèces acidophiles et alcaliphiles, les premières (groupe d'échantillons A1) étant dominantes sauf dans quelques échantillons (A2) où les deuxièmes sont fortement représentées (figure VII.1). Dans ce cas précis, les diatomées suggèrent que d'importantes variations de pH ont probablement eu lieu durant la tranche de temps que représente chaque échantillon.

A l'intérieur du lac Mévia, l'élévation du pH se poursuit jusqu'à des valeurs comprises entre 8 et 9,3. Les espèces alcaliphiles sont dominantes par rapport aux espèces acidophiles dans les sédiments superficiels mais elles peuvent diminuer en pourcentages par rapport à la flore totale dans les échantillons caractérisés par de fortes fréquences en diatomées planctoniques. Ces dernières n'ont pas d'affinités par rapport au pH clairement définies dans la littérature.

Les tendances vers une augmentation du pH lorsque les eaux acides issues des sols sous forêt traversent des zones marécageuses ou lacustres ont été signalées dans d'autres régions du Cameroun (Ndam, 1996). Dans le cas du lac Mévia, cette tendance est néanmoins exceptionnellement marquée et l'explication devra certainement être recherchée dans des particularités géologiques.

Les apports en eaux issus du lac Mévia sont relativement importants car le bassin versant est assez étendu (environ 110 km²), elles représentent approximativement 51 % du volume total des apports au lac Ossa.



A1, A2, B, C, D et E correspondent à des sites de prélèvements dans les lesquels les % d'alcaliphiles et d'acidophiles et les pH sont moyennés sur un ensemble de points de prélèvements. OW4 correspond à un point de prélèvement de sédiment superficiel localisé au niveau du sondage OW4.

Figure VII.1. Hypothèse pour la mise en évidence des trois principales sources d'alimentation en eau du lac Ossa (V1>V2>V3) par les abondances en diatomées indicatrices de pH (pH basiques: alcaliphiles et pH acides : acidophiles).

VII.2.3. Les eaux de pluies sur le lac.

Nous ne disposons pas d'analyses sur les eaux de pluies de la région du lac Ossa, on sait néanmoins que le pH des eaux de pluies varie de 5,3 à 6,8 dans les régions forestières du Cameroun (Sigha-Nkamdjou *et al.*, 1995) et que ces valeurs sont habituelles dans le milieu tropical (Forti et Neal, 1992). Des valeurs du pH inférieures à 5 sont possibles (Ndam, communication orale). Les apports en eaux par les précipitations (2,9 m/an) sur le lac Ossa représentent environ 20 % du total des apports. Elles peuvent contribuer à un abaissement du pH des eaux lacustres principalement en saison des pluies mais cela n'est pas vérifié par des mesures pour le moment.

VII.2.4. Les eaux de la rivière Sanaga

Wirrmann (1992) a signalé que les eaux de la rivière Sanaga pourraient épisodiquement se déverser dans le lac Ossa. En l'absence de données précises, cette éventualité n'est pas confirmée et nous n'avons trouvé aucune signature évidente dans les assemblages de diatomées, d'une pénétration des eaux de la Sanaga dans le lac Ossa. Cette question mérite des observations complémentaires, notamment en période de crue.

VII.3. Les eaux lacustres

Bien que les processus géochimiques qui contrôlent l'évolution des eaux lacustres ne soient pas étudiés, on peut penser que le pH de ces eaux reflète approximativement les proportions relatives des eaux acides et des eaux alcalines qui se mélangent à l'intérieur de la cuvette lacustre. Deux gradients de pH sont identifiés en fonction des mesures disponibles :

Un gradient Nord-Sud où se succèdent :

(a) les milieux très acides directement contrôlés par les apports en eaux issus du drainage des sols sous forêt; (b) des milieux faiblement acides; (c) des milieux faiblement alcalins dans la partie centrale du lac. Ce gradient est enregistré par les proportions relatives des espèces acidophiles et alcaliphiles.

Il faut ajouter que ce gradient est également marqué par une augmentation vers le Sud des diatomées eutrophes (*A. muzzanensis*) au détriment des diatomées oligotrophes (par exemple *Eunotia incisa* bien représentée à l'extrême Nord du lac

Ossa, *A. italica* dans le Nord). Une corrélation avec l'absence ou la présence de nitrates a été envisagée dans les interprétations « empiriques » mais elle n'est pas confirmée en l'état actuel des mesures par le traitement statistique.

Un gradient Est-Ouest où l'on observe :

(a) des pH alcalins (8-9) au débouché des eaux en provenance du lac Mévia ; (b) des pH neutres à faiblement alcalins (7-7,5) dans la plus grande partie du lac; (c) des pH faiblement acides à proximité des bordures abruptes du lac dans sa partie Ouest ou autour de l'île centrale.

Ce gradient est enregistré dans les assemblages de diatomées : les alcaliphiles sont fortement représentées à l'Est, où elles peuvent atteindre 73 % alors qu'elles sont peu représentées à l'Ouest (3 - 11 %). Mais il faut souligner que les espèces alcaliphiles sont tychoplanctoniques et que leur présence à l'Est reflète aussi la proximité d'une ceinture de végétation flottante très développée.

VII.4. La bathymétrie

Les diatomées planctoniques sont très largement représentées dans les eaux libres étendues où la profondeur reste supérieure à 1,5 m en période de basses eaux.

Les diatomées des zones périphériques du lac sont liées à la morphologie des zones littorales :

- Dans les zones proches d'une bordure à pente relativement peu marquée et relativement profondes (y compris en saison sèche), les diatomées tychoplanctoniques peuvent être abondantes. Les épiphytes y sont un peu plus abondantes (3-5 %) que dans les autres parties du lac (< 2 %).

- Dans les zones relativement profondes proches d'une bordure à pentes très fortes, les tychoplanctoniques sont moins abondantes.

- Dans les zones plates, immergées sous une tranche d'eau assez épaisse en saison des pluies mais occupées en saison sèche par une lame d'eau pelliculaire, des flaques d'eaux très peu profondes ou par des sols asséchés, les assemblages de diatomées sont caractérisés par un mélange de planctoniques et d'aérophiles incluant plus ou moins d'épiphytes.

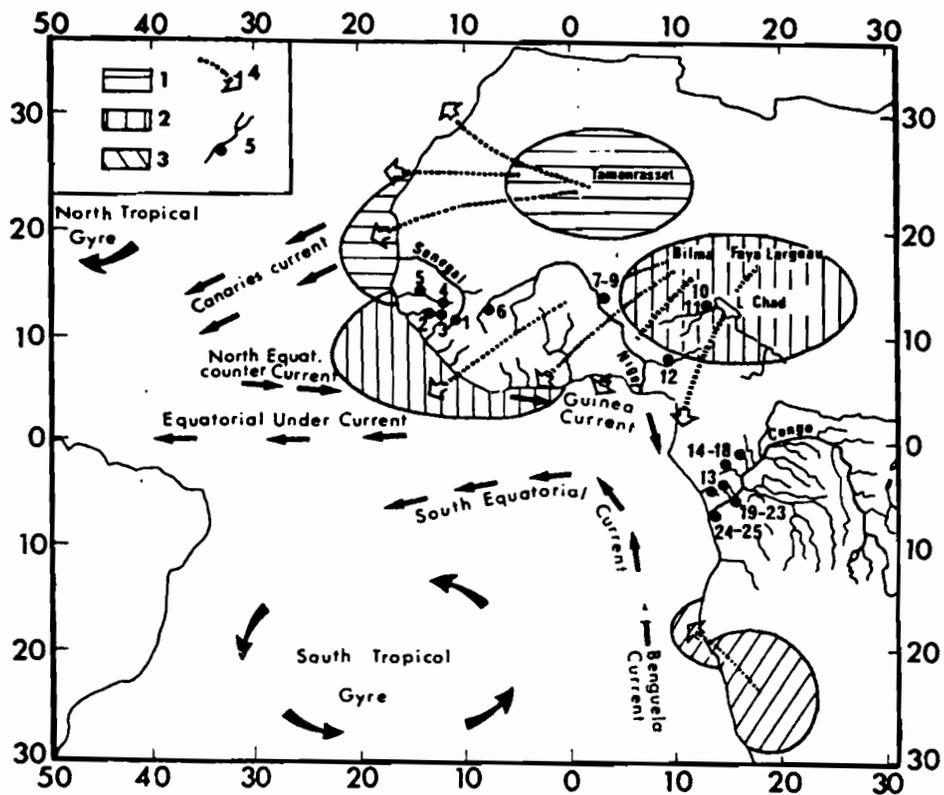


Figure VII.2. Transport des diatomées d'eau douce du Continent vers l'Océan Atlantique. Aires sources, 1: été boréal, 2: hiver boréal, 3: printemps austral. Mode de transport , 4: trajectoire des poussières, 5 : transport par les fleuves. (d'après Kalu, 1979 *in* Gasse *et al.*, 1989).

VII.5. Les indicateurs d'apports en poussières par l'harmattan

Les horizons superficiels de sols sous forêt sont pauvres en diatomées mais elles appartiennent toutes à des espèces typiques des diatomites holocènes du Sud du Sahara. Ces diatomées ont été également trouvées en faible quantité dans les sédiments actuels du lac Ossa. Nous considérons qu'elles sont de bons indicateurs d'apports en poussières par l'harmattan (figure VII.2, d'après Gasse *et al.*, 1989). Dans certains cas ces diatomées peuvent être apportées par les rivières, mais cela ne peut pas être le cas de Ossa puisqu'elles sont rencontrées dans des sols situés à plus de 40 m au dessus de l'altitude actuelle du lac.

VIII. LES MILIEUX DE L'HOLOCENE MOYEN ET RECENT

VIII.1. Les données fossiles

VIII.1.1. Le matériel d'étude

La carotte OW4 a été prélevée dans une zone relativement profonde de la partie Ouest du lac Ossa. L'épaisseur de la tranche d'eau est de l'ordre de 1,7 m en période des basses eaux et d'environ 6 m en période de hautes eaux. Les assemblages de diatomées des sédiments superficiels sont dominés par les planctoniques (52-74 %) et contiennent une assez forte proportion de benthiques (15-20 %); les pourcentages des acidophiles et des alcaliphiles sont respectivement de 14% et 8-9 %. Ces pourcentages sont différents de ceux que l'on observe sur la bordure est du lac Ossa : ici les pourcentages des diatomées acidophiles et alcaliphiles sont respectivement de 7-8 % et 36-73 %.

Chaque échantillon fossile de la carotte OW4 représente une durée de sédimentation que nous avons évaluée à 10 ans (partie inférieure de la carotte) et à 16 ans (partie supérieure). Les assemblages de diatomées enregistrent l'état moyen de l'environnement sur cette durée. Il faut donc s'attendre à ce qu'ils soient constitués d'un mélange en proportions variables d'espèces ayant des affinités écologiques différentes si le milieu a connu des variations significatives durant les 10 ou 16 années que représentent un échantillon.

VIII.1.2. Les « signaux » relatifs à l'enregistrement des modifications de l'environnement par les diatomées.

Apports en poussières éoliennes

La figure VIII.1 représente les variations du pourcentage des diatomées exotiques (courbe A). Nous avons montré précédemment que la présence de ces diatomées indique un apport en poussières issues du Sahara. La courbe A est comparée aux variations estimées de la bathymétrie (courbe B) que nous examinerons plus loin. Les pics de diatomées exotiques coïncident avec les épisodes caractérisés par une bathymétrie relativement faible. Cela suggère qu'il y a eu simultanément renforcement des apports en poussières et abaissement du niveau lacustre. Il faut néanmoins prendre en compte que les plus fortes fréquences de diatomées exotiques pourraient aussi s'expliquer par une « dilution » de la production de diatomées au sein du lac.

Modifications de la bathymétrie

La figure VIII.2 présente :

- (A) Les variations du pourcentage : (1) des diatomées planctoniques ; ces diatomées reflètent les variations relatives de la bathymétrie ou plus précisément l'éloignement au rivage et l'étendue de surfaces d'eau libre; (2) des diatomées benthiques; celles-ci sont présentes avec des proportions proches ou supérieures à leurs valeurs actuelles au point de prélèvement de la carotte sur la totalité des 5 000 dernières années. Nous pouvons donc admettre que la tranche d'eau n'a jamais été assez épaisse ou assez opaque pour empêcher la pénétration de la lumière jusqu'au fond du lac. C'est seulement vers 5 500 ans que les benthiques sont moins fréquentes qu'actuellement au point de prélèvement de la carotte OW4.

- (B) Les variations du pourcentage (1) des diatomées épiphytes qui enregistrent la présence ou la proximité d'une végétation aquatique; (2) des diatomées aérophiles indiquant un milieu épisodiquement asséché ou proche de zones épisodiquement asséchées.

- (C) Les variations estimées de la bathymétrie moyenne (cf. chap VI.4). Celle-ci est déduite de l'ensemble des espèces contenues dans un échantillon, elle intègre donc la variabilité saisonnière et pluriannuelle.

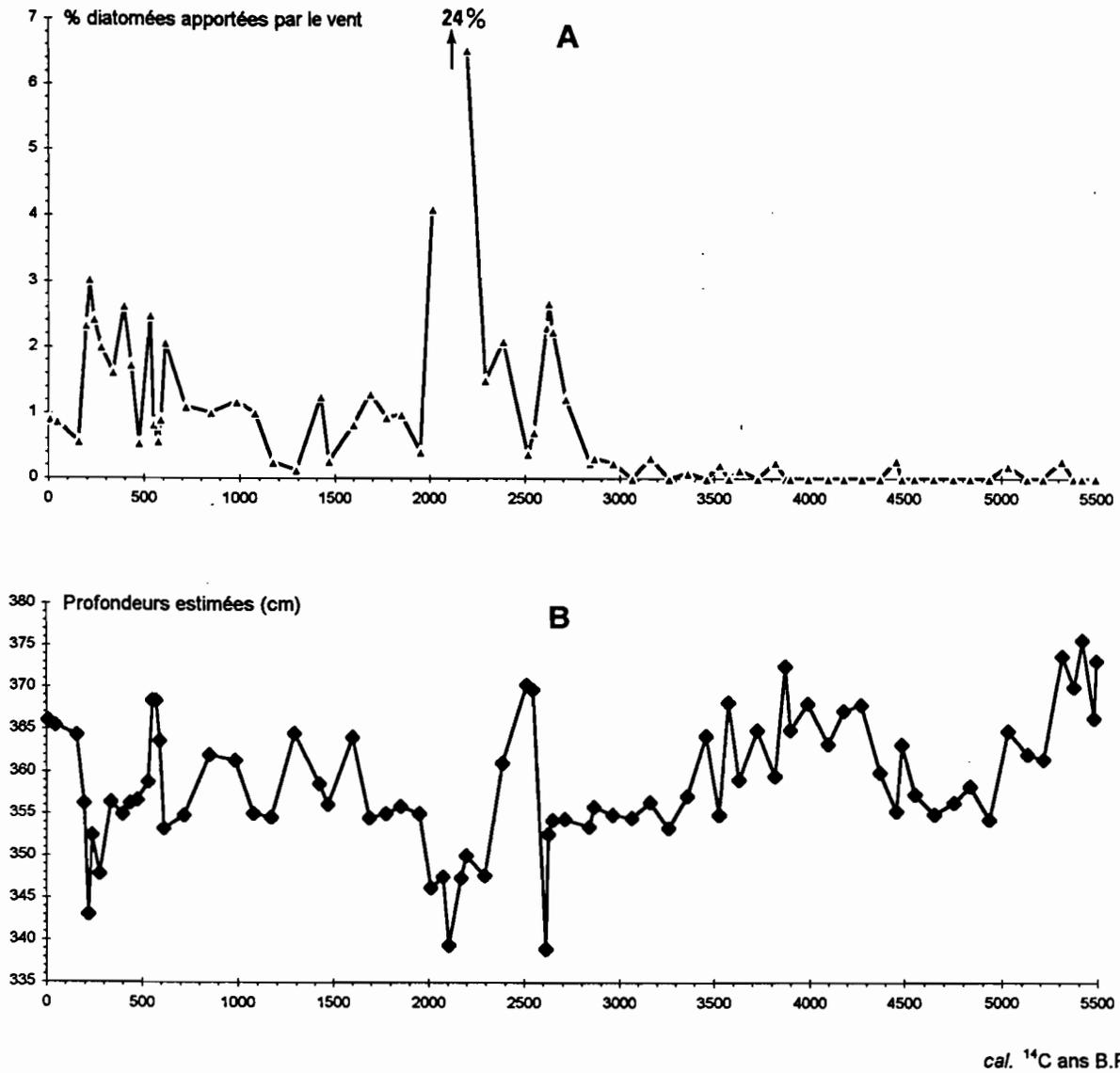
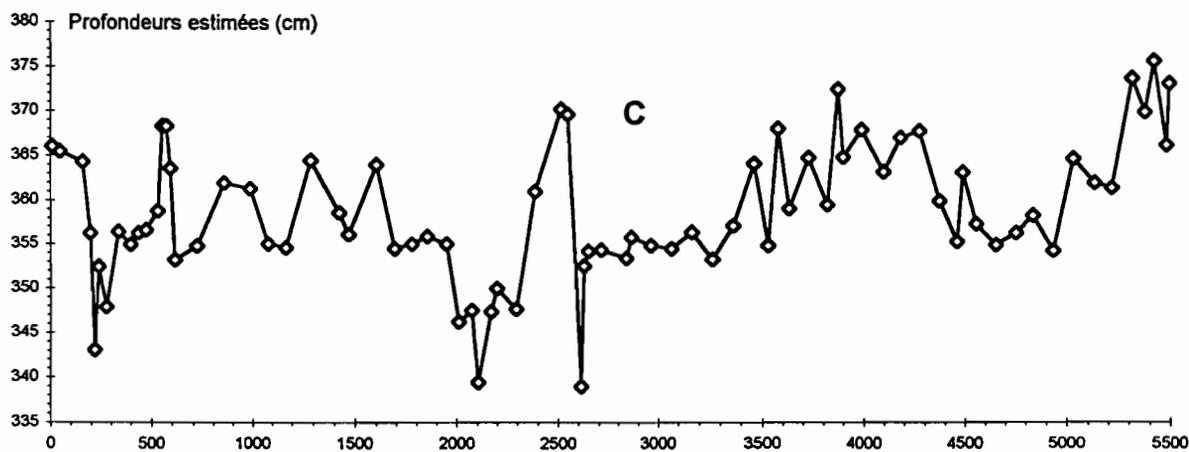
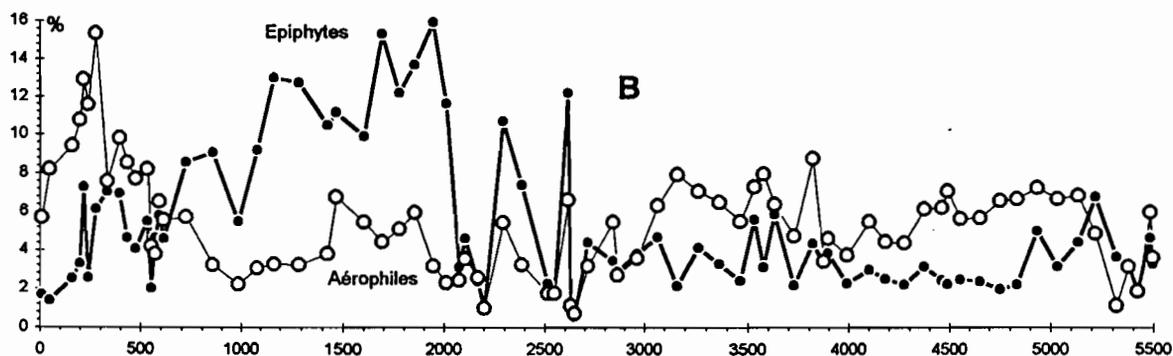
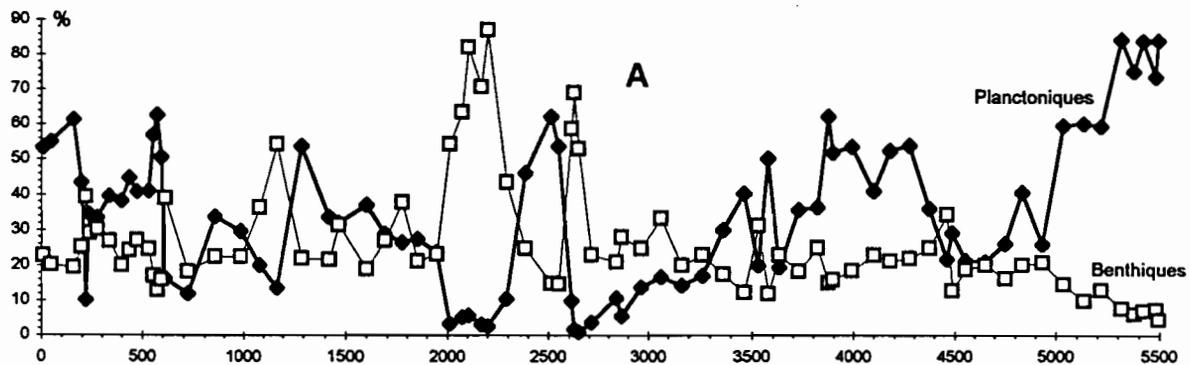


Figure VIII.1. Variations relatives (%) des diatomées apportées par le vent et variations de l'épaisseur de la tranche d'eau estimée, en fonction du temps.



cal. ¹⁴C ans B.P.

VIII.2. Validation des variations moyennes annuelles estimées par fonction de transfert de l'épaisseur de la tranche d'eau (en fonction du temps) par l'étude des mélanges des groupes écologiques indicateurs de la profondeur : très faibles profondeurs B (aérophiles et épiphytes); faibles profondeurs A (benthiques) et profondeurs élevées et/ou grandes surfaces d'eau libre A (planctoniques).

Il est possible dans une certaine mesure d'appréhender cette variabilité en tenant compte des proportions différentes des espèces ayant des affinités écologiques différentes et qui sont présentes dans un même échantillon mais un traitement particulier reste à développer pour une analyse plus systématique du mélange.

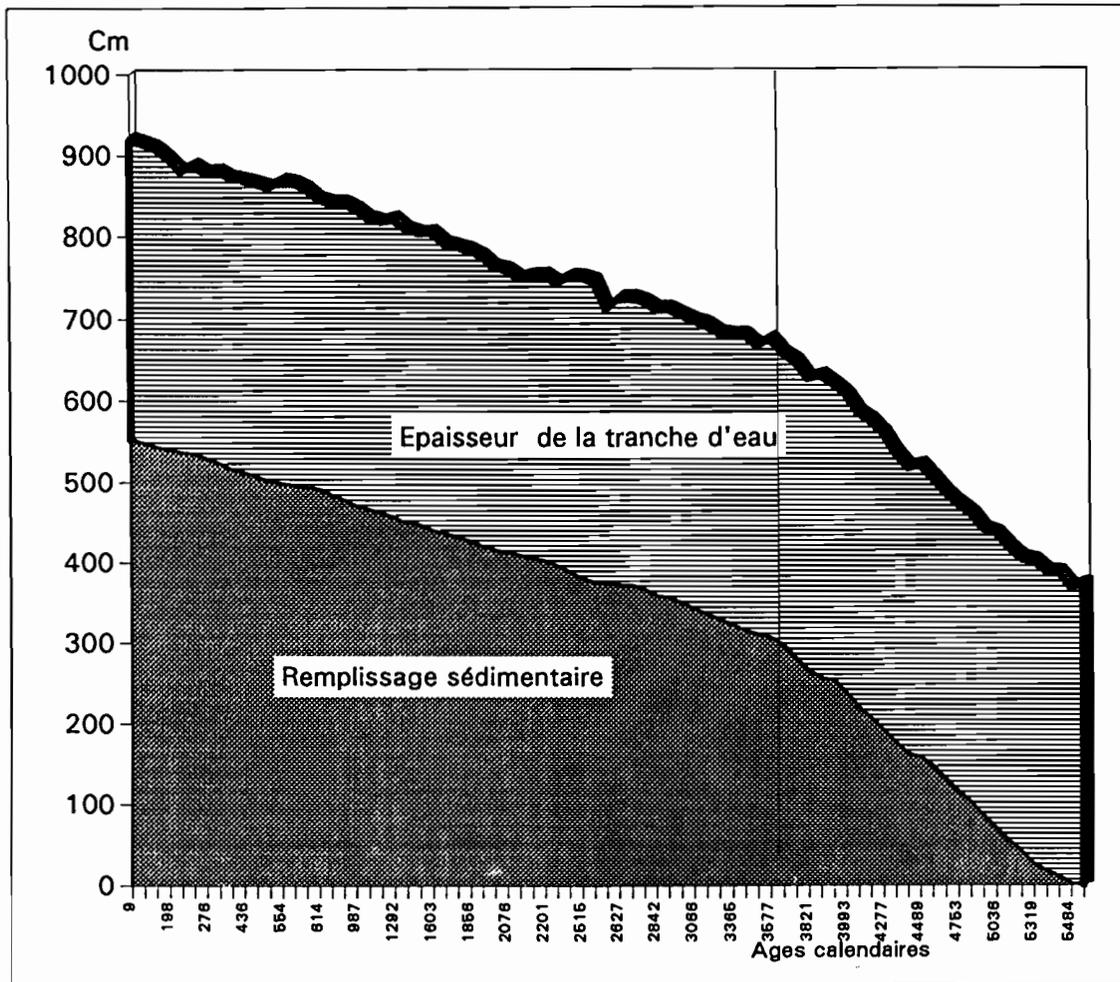
La profondeur du lac au lieu de prélèvement de la carotte a évolué en fonction des apports et des pertes en eaux, eux-mêmes contrôlés par les paramètres climatiques (Précipitation, Evaporation et Evapotranspiration) et les paramètres topographiques. Parmi ces derniers il faut prendre en considération l'élévation du fond du lac par accumulation des sédiments et l'évolution de l'exutoire.

Les diatomées benthiques sont présentes à 5 300 - 5 500 *cal.* ¹⁴C ans B.P. avec des pourcentages plus faibles qu'actuellement au point OW4. Par contre, leurs pourcentages, de même que ceux des épiphytes et des aérophiles, sont du même ordre de grandeur qu'actuellement entre 5 300 et 2 800 ans B.P. Cela suggère que le lac n'a jamais été de beaucoup plus profond que de nos jours durant cette tranche de temps. Or l'on sait que le fond du lac se situait à 5 m environ en dessous de sa position actuelle car il n'était pas encore occupé par les sédiments qui se sont déposés sur 5 m d'épaisseur environ. Dans ces conditions, on peut admettre que le niveau moyen du lac était il y a 5 000 ans à une altitude inférieure à son altitude actuelle et qu'il se situait probablement en dessous de son exutoire. Les effets de colmatage (figure VIII.3), liés à l'accumulation des sédiments dans le fond du lac, ont entraîné une élévation du plan d'eau moyen et celui-ci a finalement atteint le niveau de l'exutoire. Les diatomées ne permettent pas de repérer le moment où le lac a atteint son exutoire. Néanmoins, une diminution de la vitesse de sédimentation et des flux détritiques vers 3 600 *cal* ¹⁴C ans B.P. (Wirrmann *et al.*, 1997) laisse penser que l'exutoire aurait alors commencé à fonctionner, au moins en période de hautes eaux, et que les détritiques ont alors été évacués.

Modifications de la qualité des eaux

La figure VIII. 4 (A) représente : les variations du pourcentage des diatomées caractéristiques du pH : diatomées alcaliphiles (courbe 1), diatomées acidophiles (courbe 2). Nous constatons que les alcaliphiles sont présentes en plus fortes proportions que les acidophiles dans presque tous les échantillons. Cela suggère

Altitude du plan d'eau



L'altitude du plan d'eau est déterminée en fonction de l'âge par le remplissage et l'épaisseur de la tranche d'eau. Le fonctionnement de l'exutoire (droite verticale) est déterminé à partir du moment où la vitesse de sédimentation change.

VIII.3. Altitude du plan d'eau (en fonction du temps), calculée en tenant compte du colmatage par les sédiments et de l'épaisseur estimée de la tranche d'eau par fonction de transfert.

une alimentation prépondérante par les eaux alcalines issues du lac Mévia sur la presque totalité des 5 500 dernières années.

Les diatomées alcaliphiles rencontrées dans la présente étude sont des espèces pour la plupart tychoplanctoniques. Elles tendent à diminuer en pourcentages lorsque la bathymétrie augmente et qu'il y a alors développement des diatomées planctoniques (rappelons que celles-ci n'ont pas d'affinités au pH clairement définies).

Les plus fortes fréquences des diatomées alcaliphiles, observées à 5 000-4 500 et 3 800-2 800 *cal.* ¹⁴C ans B.P. atteignent des valeurs supérieures celles observées actuellement à l'Est de la partie centrale du lac Ossa, au débouché des eaux en provenance du lac Mévia. Ces fortes fréquences impliquent un pH beaucoup plus alcalin qu'actuellement au lieu de prélèvement de la carotte. Sachant que les diatomées alcaliphiles sont principalement tychoplanctoniques, il faut envisager un milieu moyennement profond. La présence en proportions non négligeables d'espèces aérophiles semble indiquer la proximité des zones épisodiquement asséchées.

L'interprétation des plus fortes fréquences en diatomées alcaliphiles se heurte à deux données en apparence contradictoire :

(1) Elles peuvent indiquer un renforcement des apports en eaux alcalines issues du Mévia. Cela implique des valeurs plus fortes qu'actuellement du volume V1 des eaux qui sont drainées dans le bassin versant du lac Mévia. De telles valeurs supposent que le facteur Précipitation moins Evaporation (P - E) était relativement élevé.

(2) Ces valeurs relativement fortes de P - E devraient être enregistrées par un haut niveau lacustre or cela ne semble pas être le cas.

Une solution possible serait d'admettre que l'évaporation était très diminuée par rapport à ses valeurs actuelles. Dans cette hypothèse, nous pouvons envisager des valeurs relativement fortes de P - E (et donc des apports importants par le drainage des bassins versants) mais aussi des précipitations relativement faibles (d'où une faible acidification du milieu par les pluies).

Finalement, et sous réserve de vérification ultérieure, nous proposons d'associer les fréquences les plus fortes en alcaliphiles à des conditions climatiques peu évaporantes et de ce fait probablement caractérisées par une saison sèche peu

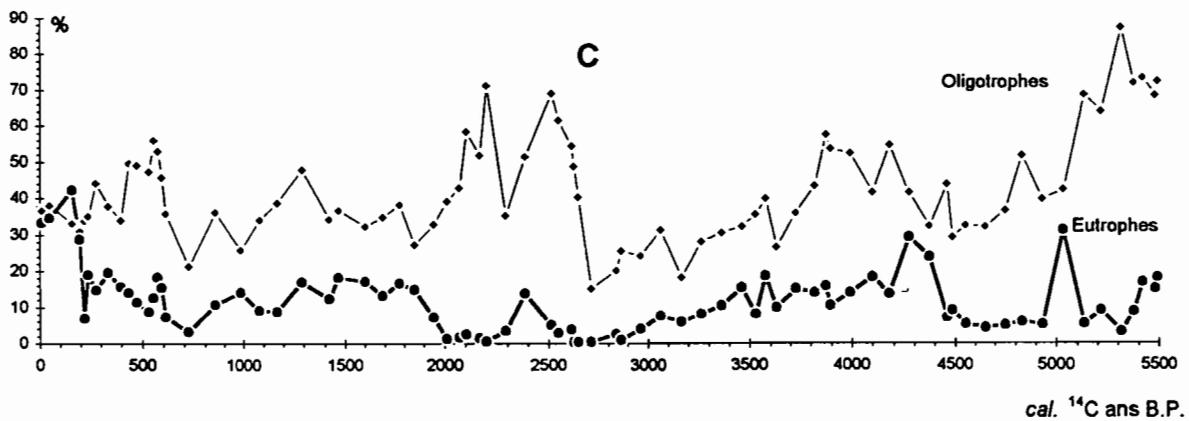
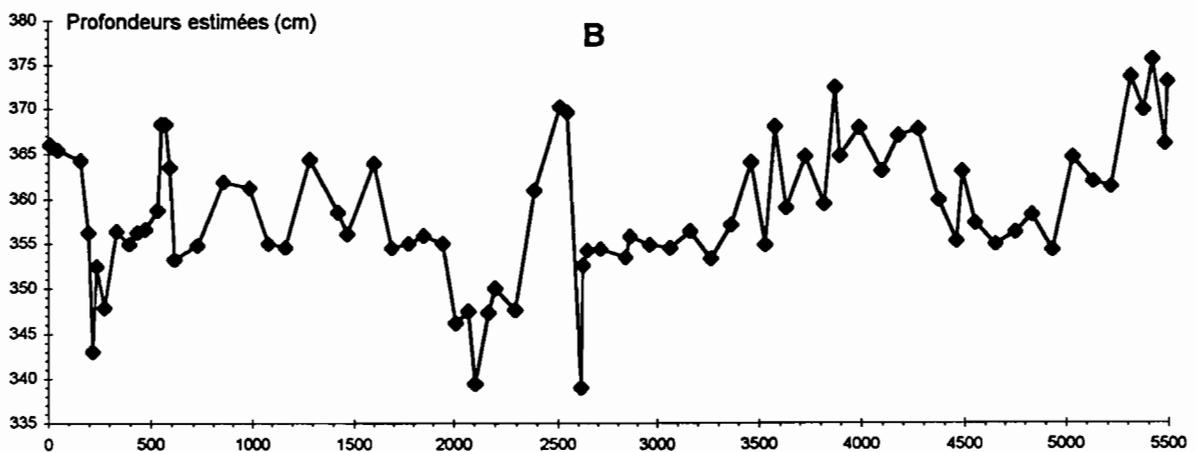
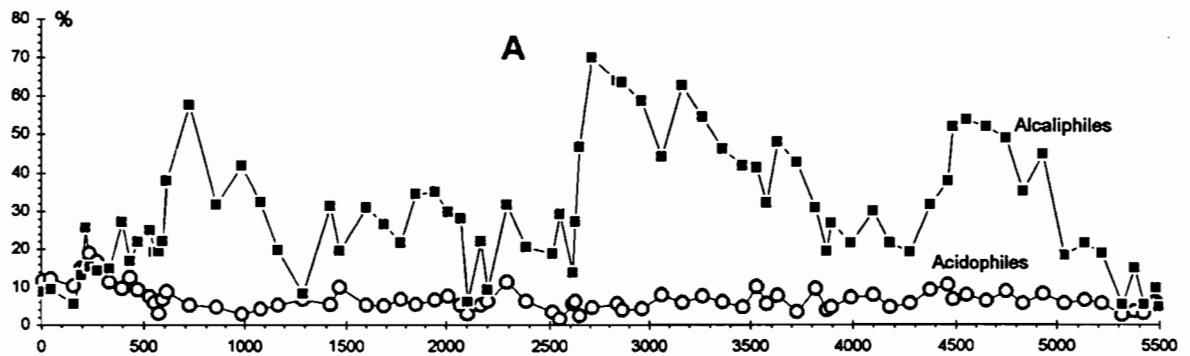


Figure VIII.4. Variations de la qualité des eaux et comparaison avec les variations moyennes annuelles (B) estimées par fonction de transfert de l'épaisseur de la tranche d'eau (en fonction du temps) par l'étude des mélanges des groupes écologiques indicateurs de pH (A) et des caractères trophiques (C).

marquée (précipitations assez bien réparties sur l'année, ou présence très fréquente de brouillards). Les épisodes où les diatomées alcaliphiles diminuent au profit des diatomées planctoniques n'impliquent pas forcément une diminution du pH.

Les espèces acidophiles restent présentes avec de faibles pourcentages sur toute la longueur de la carotte sauf dans la partie supérieure durant les derniers siècles. Elles sont représentées ici avec des pourcentages proches de ceux des alcaliphiles. Cela suggère une acidification récente du milieu.

La figure VIII.4 (C) présente les variations de pourcentages des diatomées eutrophes et oligotrophes. La prépondérance des espèces oligotrophes par rapport aux espèces eutrophes sur toute la carotte à l'exception de la partie supérieure montre que le lac Ossa a été oligotrophe durant les 5 500 dernières années.

VIII.1.3. Comparaison avec les signaux palynologiques.

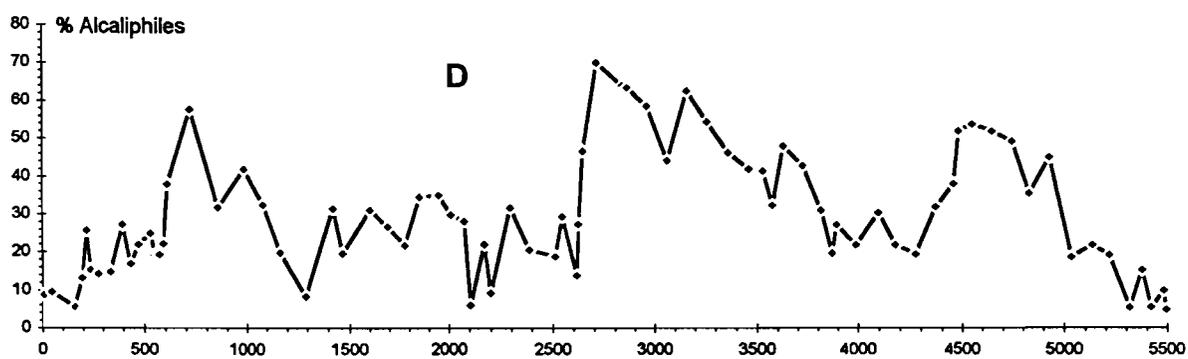
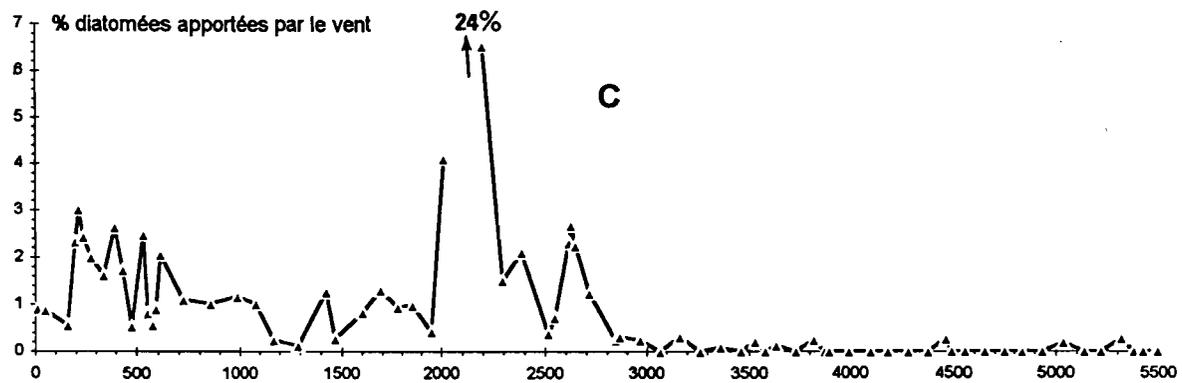
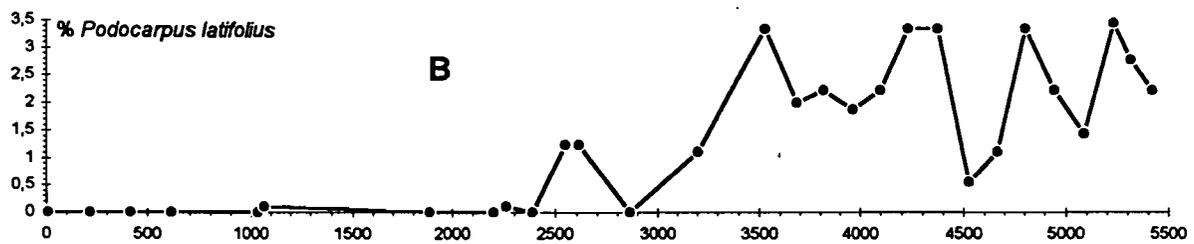
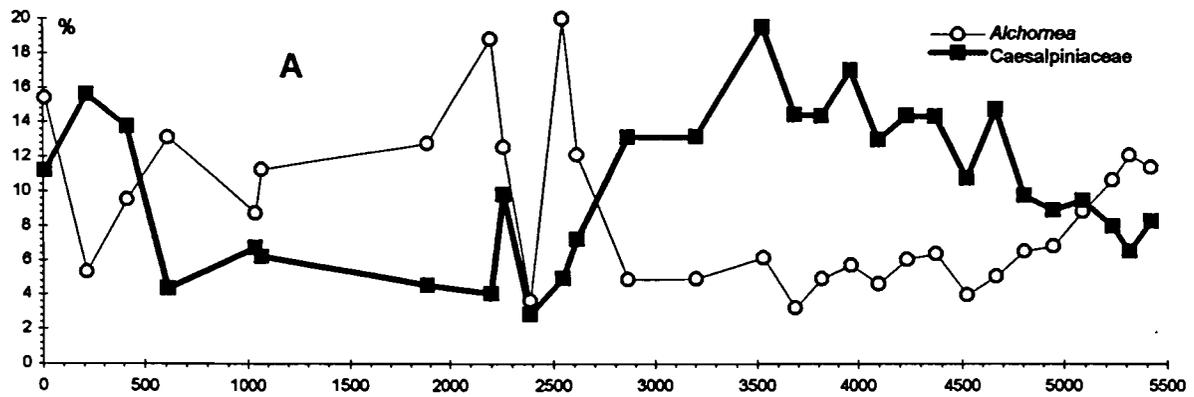
La figure VIII.5 présente une comparaison entre les données palynologiques et les données diatomologiques obtenues sur la carotte OW4.

(A) Les variations du pourcentage de deux taxons caractéristiques (Reynaud-Farrera *et al.*, 1996). La courbe 1 représente les modifications du pourcentage de *Alchornea*. Ce taxon arboré connu dans les forêts humides est typiquement héliophile. On peut le considérer comme un indicateur de forêt perturbée (nombreuses ouvertures provoquées par la chute des arbres). La courbe 2 représente les variations des pourcentages des *Caesalpiniaceae*. Au Cameroun cette famille est bien représentée dans la forêt dense humide biafréenne.

(B) Les variations du pourcentage de *Podocarpus latifolius*. Ce taxon se rencontre de nos jours principalement dans les étages montagnards et sub-montagnards. Maley (1991) considère qu'il s'agit d'un indicateur d'un climat à brouillards très fréquents sans saison sèche bien marquée.

(C) Les variations des pourcentages des diatomées exotiques indicatrices d'apports en poussières par l'harmattan.

(D) Les variations du pourcentage des diatomées alcaliphiles. Nous avons relié dans le paragraphe précédent les plus fortes fréquences en alcaliphiles à un climat peu évaporant sans saison sèche bien marquée et avec des précipitations qui peuvent être inférieures à l'actuel.



cal. ¹⁴C ans B.P.

Figure VIII,5. Interprétation paléoclimatique. Tentative de détermination des sources d'apport en eau dans le lac Ossa par l'étude des variations des alcaliphiles (D), de la saisonnalité par les variations de la quantité des apports en diatomées par les poussières (C), et comparaison avec les données palynologiques (B) et (A).

La comparaison entre ces courbes fait apparaître de bonnes corrélations entre l'évolution de la végétation et l'évolution du climat telle qu'elle a été définie par les diatomées :

- L'augmentation du pourcentage des *Caesalpiniaceae* entre 5 000 et 3 500 ans, puis le maintien de ces pourcentages à des valeurs assez élevées indiquent la présence d'une forêt dense humide dans la région du lac Ossa. Cela est en bon accord avec les interprétations déduites des diatomées : un climat à saison sèche peu marquée et faiblement évaporant est favorable à la forêt dense même si les précipitations sont un peu inférieures à l'actuel. A la base de la carotte, vers 5 500 ans, les fréquences relativement faibles en *Caesalpiniaceae* et les fréquences assez élevées d'*Alchornea* suggèrent un climat à saisons un peu plus contrastées et plus évaporant. Les diatomées ne permettent pas de proposer une interprétation plus précise du climat.

- De fortes perturbations au sein de la forêt (forte augmentation d'*Alchornea*) sont apparues brusquement vers 2 700 ans alors que les diatomées indiquent pour la première fois des apports en poussières par l'harmattan (apparition des diatomées exotiques) et un abaissement brusque du niveau lacustre. Il y a eu alors apparition d'un climat à saisons contrastées. La quasi disparition de *Podocarpus latifolius* et la diminution des *Caesalpiniaceae* est en bon accord avec cette interprétation.

- La forêt est restée en permanence fortement perturbée jusqu'aux derniers siècles. La présence des diatomées exotiques montre une influence plus ou moins intense de l'harmattan. Le signal palynologique ne révèle pas de modifications majeures dans la végétation. Par contre, les diatomées font apparaître des changements significatifs du climat (voir ci-dessous).

IX. LES GRANDES ETAPES DE L'EVOLUTION DU CLIMAT DEPUIS 5 500 ANS. COMPARAISONS AVEC D'AUTRES REGIONS.

La période 5 500 - 5 200 ans

Le traitement statistique des données a révélé que cette période se distingue de toutes les périodes suivantes (cf. résultats de la CAH § IV.4.2). Cela s'explique en particulier par une proportion maximale des diatomées planctoniques. Le lac était plus profond qu'actuellement mais nous avons vu précédemment que cela n'implique pas forcément des conditions climatiques plus humides (peu ou pas de

perles par l'exutoire de surface). Les données fournies par l'étude des diatomées ne sont pas en contradiction avec la palynologie ; Celle-ci suggère que la forêt était assez perturbée en raison d'un pourcentage assez élevé d'*Alchornea*.

La période 5 200 -2700 ans

Globalement cette période est caractérisée par une forte fréquence des diatomées tychoplanctoniques alcaliphiles. Celles-ci enregistrent l'installation d'une végétation aquatique sur le lieu du sondage OW4 ou à proximité et donc une bathymétrie plus faible que dans l'épisode antérieur. Le scénario que nous avons proposé précédemment suggère un climat faiblement évaporant, sans saison sèche bien marquée avec des précipitations qui pourraient être inférieures à leurs valeurs actuelles. De telles conditions étaient favorables à une forêt humide peu perturbée (Caesalpinaceae) et à la présence de *Podocarpus* (brouillards fréquents).

Les variations de la bathymétrie suggèrent de faibles oscillations du climat avec des conditions peut être relativement moins humides vers 5 200-4 700 ans B.P. et une tendance humide entre 4 700 et 3 800 ans.

Nous retiendrons ici que le climat même s'il a connu des fluctuations mineures est resté très favorable à la forêt dense humide. Par contre les études palynologiques réalisées dans le Sud-Congo révèlent un changement progressif de végétation qui a été marqué notamment par une augmentation de la fréquence d'un taxon (*Celtis*) indicateur de forêt semi-caducifoliée (Vincens, et al. 1994) dans la région de Sinnda. Il y a eu très probablement dans le Sud-Congo un renforcement de la saisonnalité qui ne s'est pas manifesté dans la région de Ossa.

Période 2 700 - 2 000 ans

Cette période débute par un changement brusque du climat. Celui-ci est marqué par : (1) l'apparition des diatomées exotiques indiquant un renforcement de la saison sèche (apports en poussières éoliennes par l'harmattan durant l'hiver boréal), (2) une diminution du facteur P-E marquée par une réduction de la profondeur moyenne du lac, et par une diminution des apports en eaux alcalines issues du lac Mévia (faible fréquence des diatomées alcaliphiles). Les pourcentages des diatomées acidophiles restent bas et l'on peut supposer que les apports en eaux météoriques acides n'ont pas été suffisants pour acidifier le milieu aquatique.

Cette modification brusque du climat a entraîné de fortes perturbations dans l'écosystème forestier (développement d'*Alchornea*) autour du lac Ossa. Elle est également connue à Barombi Mbo dans l'Ouest Cameroun (Maley, 1992) où ses effets sur la végétation ont été encore plus marqués (présence de Graminées suggérant une ouverture significative de la forêt et l'apparition de savanes incluses). Dans le Sud-Congo, la savane s'est étendue au détriment de la forêt (Schwartz, 1991) sur les bordures du massif forestier; un assèchement du lac Sinnda a eu lieu à une date non déterminée avec précision (postérieure à 4 000 ans d'après Vincens *et al.*, 1994); une ouverture de la forêt est décelée à Kitina (4° 16' S; 12° E) dans le massif du Mayombe (Elenga *et al.*, 1996).

Ce changement climatique a donc eu une grande extension régionale au Nord et au Sud de l'équateur sur les bordures du Golfe de Guinée. Il est chronologiquement proche d'un renforcement de la sécheresse dans le Sud du Sahara (assèchement des lacs vers 2 500 ans B.P.). On peut donc envisager une intensification de l'érosion éolienne dans cette région d'où l'apparition à Ossa des apports en poussières transportées par l'harmattan.

L'évolution du climat semble avoir été différente dans les zones forestières de l'Afrique de l'Ouest car les reconstitutions paléohydrologiques montrent un haut niveau du lac Bosumtwi au Ghana entre 3 000 et 2 000 ans B.P. (Talbot et Delibrias, 1980) et les études palynologiques n'ont décelé aucune modification importante de la forêt autour de ce lac (Maley, 1991). Ces données mériteraient d'être confirmées par des analyses à plus haute résolution temporelle. De plus, les âges radiocarbone qui n'étaient pas à l'époque normalisés ^{13}C et qui ne prenaient pas en compte un éventuel effet réservoir mériteraient d'être révisés.

L'étude des diatomées révèle que ce changement a été suivi par une période (2 700-2 000 ans B.P.) de forte instabilité séculaire. Celle-ci a été marquée par une succession d'époques favorables aux espèces aérophiles (assèchements épisodiques sur le lieu du sondage ou à proximité), aux espèces planctoniques (remontée du niveau lacustre vers 2 500 ans B.P.) et aux diatomées benthiques (vers 2 650 et 2 200-2 100 ans B.P.). Durant toute cette période, la forêt reste intensément perturbée (fortes fréquences d'*Alchornea*).

Période 2000-600 ans

La principale caractéristique de cette période réside dans le fait que les assemblages de diatomées sont constitués au niveau de chaque échantillon d'un mélange d'espèces d'affinités écologiques différentes ne comportant pas (sauf rares exceptions) de groupe fortement dominant : les pourcentages d'espèces planctoniques, tychoplanctoniques et benthiques varient autour d'une moyenne de 25-30 % et les épiphytes sont représentées en pourcentages assez importants (environ 12-15%).

Cette caractéristique n'a pas d'équivalent actuel. Trois interprétations peuvent être envisagées : (1) de fortes variations saisonnières à pluriannuelles de la bathymétrie auraient entraîné un mélange d'espèces qui se développent en période de hautes eaux et de basses eaux ; (2) le milieu, moyennement profond, serait colonisé par une végétation aquatique flottante (présence d'épiphytes) au sein de laquelle s'individualisent de petits secteurs d'eau libre (présence des tychoplanctoniques) et de plus grandes surfaces d'eaux libres (présence de planctoniques) et (3) les diatomées sont remaniées à partir de différentes zones écologiques, ce qui impliquerait un brassage important des eaux du lac.

Une tendance générale est cependant clairement enregistrée par une augmentation de la profondeur entre 2 000 et 1 500 ans B.P. environ dans un milieu où les épiphytes restent assez abondantes et ensuite par une augmentation des diatomées alcaliphiles. Cela suggère une tendance humide ayant abouti à un climat moins évaporant entre 1 200 et 600 ans B.P. Cette tendance n'est pas enregistrée dans les spectres palynologiques et une végétation perturbée s'est maintenue. Par contre les études palynologiques de Barombi Mbo dans l'Ouest du Cameroun montrent que la forêt pourrait avoir répondu ici à cette tendance humide car les Graminées ont pratiquement disparu entre 2 000-1 500 ans B.P.

Dans le Sud-Congo une remise en eau du lac Sinnda, précédemment asséché révèle une amélioration du climat vers 1 200 ans *cal.* ¹⁴C B.P. Mais une forêt encore très perturbée s'est maintenue à Kitina (Mayombe).

En Afrique de l'Ouest (Bosumtwi), les reconstitutions paléohydrologiques suggèrent le maintien des hauts niveaux lacustres jusqu'à 1 000 ans B.P. au moins. Dans le Sud du Sahara, les données sont rares sur la tranche de temps 2 000-600 ans B.P. mais quelques sites archéologiques témoignant d'une utilisation de la

métallurgie (Grébénart, 1983) indiquent des conditions localement moins arides qu'actuellement vers 1 000 ans B.P.

Finalement, une amélioration du climat peut être envisagée pour la période considérée mais elle n'a été enregistrée que dans quelques sites. En outre, ses effets sur la végétation ne sont pas apparents sauf au Borombi Mbo.

Période 600-200 ans B.P.

Cette période est caractérisée par une tendance vers une réduction du facteur P-E : (1) les évaluations quantitatives indiquent une réduction de la bathymétrie ayant culminé vers 250 ans B.P.; (2) une augmentation de la fréquence des aérophiles avec un maximum vers 300 ans B.P. montre que des assèchements au moins épisodiques ont eu lieu dans la zone de prélèvement de la carotte OW4 ou à proximité ; (3) la fréquence des diatomées acidophiles révèle que le pH a atteint les valeurs les plus basses de toute l'histoire du lac. Cela pourrait indiquer des précipitations épisodiquement assez abondantes pour renforcer l'acidification du milieu ; (4) des teneurs relativement élevées en diatomées exotiques suggèrent un renforcement des apports en poussières depuis le Sahara.

L'âge qui est proposé pour cette phase climatique (600-200 *cal.* ¹⁴C ans B.P.) doit être considéré comme provisoire en raison des incertitudes de la calibration des âges radiocarbone pour cette tranche de temps. Néanmoins, il est certain que cette phase climatique n'est pas antérieure à 700 ans B.P. La palynologie ne révèle pas que la forêt reste fortement perturbée comme dans les épisodes antérieurs.

Les Caesalpiaceae sont représentées en faibles pourcentages. Quelques indices suggèrent que la phase sèche a eu lieu dans d'autres régions. Une baisse significative du lac Sinnda (Sud-Congo) a été mise en évidence vers 600 ans B.P. (Vincens et *al.*, 1994). Un abaissement drastique du niveau du lac Bosumtwi en Afrique de l'Ouest a eu lieu à une date non précisée durant le dernier millénaire (Talbot et Delibrias, 1980).

Les deux derniers siècles

Cette période est marquée par l'instauration d'un climat humide : (1) une augmentation de la profondeur du lac est décelée par une forte fréquence des planctoniques. Cela est confirmé par une diminution de la fréquence des épiphytes

et des aérophiles; (2) une réduction des pourcentages des diatomées exotiques suggère de plus faibles apports en aérosols issus du Sahara; (3) une acidification du milieu (le pourcentage des acidophiles est supérieur à celui des alcaliphiles) pourrait indiquer une contribution plus forte des précipitations acides à l'alimentation du lac; (4) une tendance à l'eutrophisation est enregistrée par une augmentation des diatomées eutrophes dont les pourcentages deviennent comparables à ceux des oligotrophes.

Ce changement climatique est enregistré dans les données palynologiques (augmentation des *Caesalpinaceae*) de la carotte OW4. Il en est de même à Kitina dans le Sud-Congo où une recrudescence des taxons forestiers et une régression des essences forestières héliophiles dans les spectres palynologiques vers 490 ans B.P. indiquent un retour à des conditions plus humides (Elenga *et al.* 1996). Au Ghana, une forte élévation du niveau du lac Bosumtwi enregistre une amélioration des bilans en eaux et cette élévation s'est poursuivie jusqu'à la période actuelle.

Bien que les datations soient encore trop imprécises pour que des corrélations détaillées soient proposées entre les sites, il est maintenant démontré que le climat est devenu plus humide en Afrique équatoriale durant les derniers siècles. Ce changement très récent est très important pour comprendre la végétation actuelle. Il explique la transgression de la forêt sur la savane qui a été mise en évidence par l'analyse du ^{13}C dans la matière organique des sols au Cameroun (Guillet *et al.*, 1996) et au Congo (Schwartz, 1996). Cette transgression se poursuit encore aujourd'hui (Youta Happi et Bonvallot, 1996)

X. Conclusion générale

1- Nous avons montré que les diatomées sont fortement corrélées à la bathymétrie moyenne annuelle. L'analyse « empirique » révèle une relation claire avec le pH mais cette relation est encore difficile à quantifier en l'absence de mesures en période de hautes eaux. Une relation avec les nitrates dissous dans l'eau est possible mais elle n'est pas démontrée en l'absence d'un coefficient de corrélation significatif.

2- Un scénario d'évolution du lac Ossa en réponse aux changements climatiques a été proposé à partir des études sur l'actuel. Ce scénario repose sur l'identification de trois types d'apports en eaux : le premier provient d'un bassin versant

relativement grand où les eaux évoluent vers des faciès alcalins; le second provient d'un petit bassin versant où les eaux restent acides jusqu'à leur débouché dans le lac; le troisième provient des précipitations acides qui ont lieu sur le lac lui même.

(3) Les relations (« empiriques » et/ou statistiques) entre les diatomées actuelles et les paramètres environnementaux nous ont fourni les bases d'une interprétation des assemblages fossiles. Il a été possible d'estimer les variations relatives de P-E. En outre, nous avons proposé une hypothèse cohérente sur les changements relatifs des précipitations d'une part et de l'évaporation d'autre part au moins pour certaines périodes.

(4) Deux événements climatiques ont eu un impact majeur sur les environnements holocènes :

- Le premier, déjà repéré par des études palynologiques antérieures dans l'Ouest du Cameroun et le Sud-Congo, est clairement enregistré à 2 700 *cal.* ¹⁴C ans B.P. par les diatomées du lac Ossa. Celles-ci montrent que le climat, auparavant caractérisé par des conditions faiblement évaporantes, sans saison sèche bien marquée et peut être par des précipitations plus faibles qu'actuellement, est devenu abruptement beaucoup plus contrasté en terme de saisonnalité. Ce changement a été suivi pendant 700 ans par une forte variabilité des précipitations.

- Le deuxième a eu lieu à Ossa après 700 ans B.P. et probablement vers 200 ans B.P. Une intense phase sèche de courte durée antérieure à cette date a été suivie par une phase climatique humide. Ce changement a été repéré dans d'autres sites en Afrique subéquatoriale. Il a eu un impact considérable sur la végétation car il s'est traduit par une transgression de la forêt sur la savane au Nord et au Sud du massif forestier.

(5) Des oscillations climatiques moins intenses et moins abruptes que les changements précédents ont été repérées par l'étude des diatomées à différentes époques de l'Holocène moyen et récent. Ces oscillations n'ont pas eu d'incidences importantes et généralisées sur la végétation. Identifiées pour le moment dans une seule carotte il sera nécessaire d'en donner confirmation par des études ultérieures à Ossa ou dans d'autres sites.

BIBLIOGRAPHIE

Aubreville, A., 1948. Etude sur les forêts de l'Afrique équatoriale française et du Cameroun. *Sect. Tech. Afric. Trop., Bull. Sci.*, **2**, 132 pp.

Aubreville, A., 1962. Savanisation tropicale et glaciation quaternaire. *Adansonia*, **II**, **1**, 16-84.

Battarbee, R.W., 1986. Diatom analysis. In: Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology. B.E. Berglund, John Wiley & Sons, 527-578.

Battarbee, R.W., 1990. The causes of lake acidification, with special reference to the role of acid deposition. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, **B327**, 339-347.

Benzecri, J.P., 1973. L'analyse des données. Dunod, Paris, 619 pp.

Benzecri, J.P., 1980. Pratique de l'analyse des données. Analyse des correspondances. Dunod, Paris, 315 pp.

Birks, H.J.B., Line, J.M., Juggins, S., Stevenson, A.C. and Ter Braak, C.J.F., 1990. Diatoms and pH reconstruction. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, **B327**, 263-278.

Bourelly, P. et Manguin, E., 1952. Algues d'eau douce de la Guadeloupe. Edition Sedes, France, 276 pp.

Brouwer, L.C., 1996. Nutrient Cycling in Pristine and Logged Tropical Rain Forest. A study in Guyana. Thesis Universiteit Utrecht. Tropenbos Guyana, Series 1. 224 pp.

Charles, D.F., 1985. Relationship between surface sediment diatom assemblages and lakewater characteristics in Adirondack Lakes. *Ecology*, **66**, 934-1011.

Charpy-Roubaud, C. and Sournia, A., 1990. The comparative estimation of phytoplanktonic, microphytobenthic and macrophytobenthic primary production in the oceans. *Mar. Microb. Food Webs*, **4**, 31-57.

Cholnoky, B.J., 1968. Die Ökologie der Diatomeen in Binnengewässer. J. Cramer (Ed), 699 pp.

Cleve-Euler, A., 1951-1955. Die diatomeen von Schweden und Finnland. Teil I (163 pp.), II (158 pp.), III (255 pp.), IV (232 pp.), V (153 pp.). Stockholm, Almqvist et Wiksells Boktryckeri AB.

Dupré, M.C. et Pinçon, B., 1997. Métallurgie et politique en Afrique centrale. Deux mille ans de vestiges sur les plateaux batéké Gabon, Congo, Zaïre. Karthala, Collection «Hommes et Sociétés» Paris, 266 pp.

Elenga, H., Schwartz, D., Vincens, A., Bertaux, J., de Namur, C., Martin, L., Wirrmann, D. et Servant, M., 1996. Diagramme pollinique holocène du lac Kitina

(Congo): mise en évidence de changements paléobotaniques et paléoclimatiques dans le massif forestier du Mayombe. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **323**, II, 403-410.

Essomba, J.M., 1989. Dix ans de recherches archéologiques au Cameroun méridional (1979-1989). *Nsi*, **6**, 33-57.

Fenelon, J.P., 1981. Qu'est-ce-que l'analyse des données ? Lefonen, Paris, 309 pp.

Forti, M.C. and Neal, C., 1992. Hydrochemical cycles in tropical rainforests: an overview with emphasis on central Amazonia. *J. Hydrol.*, **134**, 103-115.

Fritz, S.C., Juggins, S., Battarbee, R.W. and Engstrom, D.R. 1991. Reconstruction of past changes in salinity and climate using a diatom-based transfer function. *Nature*, **352**, 706-708.

Fritz, S.C., Juggins, S. and Battarbee, R.W., 1993. Diatom assemblages and ionic characterization of lakes of the northern Great Plains, North America: a tool of reconstructing past salinity and climates fluctuations. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **50**, 1844-1856.

Gasse, F., 1980. Les diatomées lacustres plio-pléistocène du Gadeb (Ethiopie). Systématique, paléoécologie, biostratigraphie. *Rev. Algol.*, **3**, 249 pp.

Gasse, F., 1986. East African diatoms, taxonomy, ecological distribution. *Bibliotheca Diatomologica*, J. Cramer (Ed), Berlin-Stuttgart, 201 pp.

Gasse, F., 1987. Diatoms for reconstructing palaeoenvironments and paleohydrology in tropical semi-arid zones. *Hydrobiologia*, **154**, 127-163.

Gasse, F. and Tekaïa, F., 1983. Transfer functions for estimating paleoecological conditions (pH) from East African diatoms. *Hydrobiologia*, **103**, 85-90.

Gasse, F., Fontes, J.C., Plaziat, J.C., Carbonel, P., Kaczmarska, I., De Deccker, P., Soulié-Marsche, I., Callot, Y. and Dupeuble, P.A., 1987. Biological remains and stable isotopes for the reconstruction of environmental and hydrological changes in the holocene lakes from north sahara. *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.*, **60**, 1-46.

Gasse, F., Stabell, B., Fourtanier, E. and van Iperen, Y., 1989. Freshwater diatom influx in intertropical Atlantic: relationships with continental records from Africa. *Quat. Res.*, **32**, 229-243.

Gasse, F., Juggins, S. and Ben Khelifa, L., 1995. Diatom-based transfer function for inferring hydrochemical characteristics of African paleolakes. *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.*, **117**, 31-54.

Germain, H., 1981. Flore des diatomées. Soc. Nouv. Ed Boubée, Coll."Faunes et Flores actuelles", Paris, 444 pp.

Grébénart, D., 1983. La métallurgie du cuivre et du fer autour d'Agadez (Niger), des origines au début de la période médiévale. Vues générales. *Métallurgies africaines*, Paris, Société des africanistes (Mémoires de la Société des africanistes), 109-126.

Greenacre, M.J., 1984. Theory and applications of correspondence analysis. Academic Press, New York, London, 364 pp.

Grimaldi, C. et Pedro, G., 1996. Importance de l'hydrolyse acide dans les systèmes pédologiques des régions tropicales humides. Rôle de la forêt et conséquences sur la génèse des sables blancs tropicaux. *C.R. Acad. Sci. Paris*, **323**, II, 483-492.

Guillet, B., Maman, O., Mariotti, A., Girardin, C. et Schwartz, D., 1996. Preuves pédologiques de l'avancée de la forêt sur la savane au Cameroun: contribution de la géochimie organique et isotopique. *Symposium «Dynamique à long terme des écosystèmes forestiers intertropicaux»*, Paris, France, résumé, 149-153.

Guiot, J. et Roux, M., 1993. Reconstitution statistique des environnements passés à partir de données paléocéologiques. *In* : Biométrie et Environnement, J.D. Lebreton et B. Asselain (Eds.), Masson, Paris, 123-149.

Hustedt, F., 1927-1966. Die Kieselalgen. *In* : L.Rabenhorst's Kryptogamen. Flora von Deutschland, Osterreich und der Schweiz. *Akademische Verlagsgesellschaft Leipzig*, 1 (1927-30), 920 pp.; 2 (1931-59), 845 pp.; 3 (1961-66), 816 pp.

Hustedt, F., 1930. Die Süßwasser-Flora Mitteleuropas. Bacillariophyta (Diatomeae). Verlag Von Gustav Fischer, Jena, 466 pp.

Hustedt, F., 1937-39. Systematische und ökologische untersuchungen über die Diatomeen-Flora von Java, Bali und Sumatra. *Archiv. Hydrobiol.*, Suppl., 15, 393-506.

Hustedt, F., 1957. Die Diatomeenflora des Fluss-systems der Wasser im Gebiet der Hansestadt Bremen. *Abh. Nat. Ver. Bremen*, **34**, 18-140.

Imbrie, J.J. and Kipp, N.G., 1971. A new micropaleontological method for quantitative paleoclimatology: application to a late Pleistocene Carribean core. *In* : The late Cenozoic glacial ages, K.K. Turekian (Ed.), Yale University Press, 71-181.

Kolbe, R.W., 1932. Grundlinien einer allgemeinen Ökologie der Diatomeen. *Ergeb. Biol.*, **8**, 221-348.

Krammer, K., 1992. *Pinnularia*. Eine Monographie der europäischen Taxa. *Bibl. Diatomol.*, J. Cramer (Ed), Berlin-Stuttgart, 351 pp.

Krammer, K. und Lange-Bertalot, H., 1986. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bacillariophyceae. Teil 1: Naviculaceae. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, 876 pp.

Krammer, K. und Lange-Bertalot, H., 1988. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bacillariophyceae. Teil 2: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, 596 pp.

Krammer, K. und Lange-Bertalot, H., 1991. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bacillariophyceae. Teil 3: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena. 576 pp.

Kutzbach, J.E. and Street-Perrot, F.A., 1985. Milankovitch forcing of fluctuations in the level of tropical lakes from 18 to 0 kyr BP. *Nature*, **317**, 130-134.

Lange-Bertalot, H., 1993. 85 Neue taxa und über 100 weitere neue definierte Taxa ergänzend zur Süßwasserflora von Mitteleuropa. *Bibl. Diatomol.*, 2/1-4, 27, J. Cramer (Ed), Berlin-Stuttgart, 454 pp.

Lebart, L., Morineau, A. et Fenelon, J.P., 1982. Traitements des données statistiques. Méthodes et programmes. 2ème éd., Dunod, Paris, 510 pp.

Lebreton, J.D., Chessel, D., Richardot-Coulet, M. et Yoccoz, N., 1988. L'analyse des relations espèces-milieu par l'analyse canonique des correspondances. *Acta Oecol.*, **9**, 2, 137-151.

Leroux, M., 1983. Le climat de l'Afrique tropicale. Champion, Paris, 633 pp.

Letouzey, R., 1968. Etude phytogéographique du Cameroun. Lechevalier, Paris, 508 pp.

Letouzey, R., 1985. Notice sur la carte phytogéographique du Cameroun au 1:500 000. IRA, Yaoundé et Inst. Cart. Intern. Végétation, Toulouse, 5 vol.

Lilliefors, H.W., 1967. On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown. *Amer. Statist. Ass. J.*, **62**, 399-402.

Lowe, R.L., 1974. Environmental requirements and pollution tolerance of freshwater diatoms. National Environment Research Center Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, (Ohio), 334 pp.

Maley, J., 1981. Etudes palynologiques dans le bassin du Tchad et paléoclimatologie de l'Afrique nord-tropicale de 30 000 ans à l'époque actuelle. *Trav. et Doc. ORSTOM*, **129**, 586 pp.

Maley, J., 1991. The African rain forest vegetation and palaeoenvironments during Late Quaternary. *Clim. Change*, **19**, 79-98.

Maley, J., 1992. Commentaires sur la note de D. Schwartz. Mise en évidence d'une péjoration climatique entre ca 2 500 et 2 000 ans BP en Afrique tropicale humide. *Bull. Soc. Géol. France*, **163** (3), 363-365.

Maley, J., 1995. Holocene changes in the African rain forest: Paleomonsoon and sea surface temperature variations. *International Symposium INQUA, Paleomonsoon Symp.*, 10 Berlin, Abstract, 1p.

Maley, J., 1996. The African rain forest: main characteristics of changes in vegetation and climate from the upper Cretaceous to the Quaternary. In: *Essays on the ecology of the Guinea-Congo rain forest*, I.J. Alexander, M.D. Swaine and R. Watling, *Proceed. R. Soc. Edinburgh, Biol. Soc.*, **104B**, 31-73.

Martin, L. y Flexor, J.M., 1987. Vibro-testemunhador leve: construção, utilização e possibilidades. *2ème Congr. Ass. Brasileira Est. do Quaternario*, Publ. sp., p.1-2.

Miskane, N. Paléotempératures et variations hydrologiques au cours de l'Holocène récent, dans une vallée glaciaire des Andes de Bolivie, par l'étude des diatomées. *Thèse Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris*, (en préparation).

Mölder, K. und Tynni, R., 1967 Über Finlands rezente und subfossile Diatomeen. *C. R. Acad. Sci. Finland*, **39**, 199-217.

Mölder, K. und Tynni, R., 1968-1973. Über Finlands rezente und subfossile Diatomeen. *Bull. Geol. Soc., Finland*, **40**, 151-170; **41**, 235-251; **42**, 129-144; **43**, 203-220; **44**, 141-159; **45**, 159-179.

Morin, S., 1979. Relief et Hydrographie. In : *Atlas de la République unie du Cameroun. Jeune Afrique*, Paris, 5-8.

Munsell Soil Color Charts, 1975. Macbeth, Division of Kollmorgen Corporation, Baltimore, USA.

Ndam, J.R., Bedimo Bedimo, J.P., Braun, J.J., Viers, J., Robain, H. et Nyeck, B., 1996. Le bassin versant élémentaire de Nsimi-Zoetele (Sud-Cameroun): site pilote pour l'étude des cycles hydrogéochimiques sous forêt tropicale humide d'Afrique Centrale. *Rapport d'Activité 1994-1995 du programme Environnement Géosphère Intertropicale (PEGI)*.

Nguetsop, F., Servant-Vildary, S., Roux, M., Reynaud-Farrera, I., Servant, M. et Wirrmann, D., 1996. Le lac Ossa, Cameroun: relations statistiques diatomées/milieux aquatiques, application à l'estimation des paléo-niveaux lacustres durant les 5 000 dernières années. Comparaisons avec les changements de végétation, *Actes Symposium «Dynamique à long terme des écosystèmes forestiers intertropicaux»*, Paris, soumis.

Njike Ngaha, P.R., 1984. Contribution à l'étude géologique, stratigraphique et structurale de la bordure du bassin atlantique au Cameroun. *Thèse, Université de Yaoundé*, 131 pp.

Olivry, J.C., 1986. Fleuves et rivières du Cameroun. MESRES - ORSTOM, Paris, 733 pp.

Oslisly, R. et Fontugne, M., 1993. La fin du stade néolithique et le début de l'âge de fer dans la moyenne vallée de l'Ogooué au Gabon. Problèmes chronologiques et changements culturels. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **316**, II, 997-1003.

Paillès, C., 1989. Les diatomées du lac de Maar du Bouchet (Massif-Central, France). Reconstitution des paléoenvironnements au cours des 120 derniers millénaires. *Thèse de Doctorat*, Université Aix-Marseille II, 283 pp.

Patrick, R., 1948. Factors effecting the distribution of diatoms. *The Bot. Rev.* **14** (8), 473-524.

Patrick, R. and Reimer, C.W., 1966-75. The diatoms of United States. *Monogr. Acad. natur. Sc. Philadelphia*, **13(1)**: 688 pp; **13(2)**: 213 pp.

Pourchet, M., Pinglot, J.F. et Maley, J., 1987. Résultats des mesures radiométriques sur les sédiments de quelques lacs camerounais. Rapport Dact., CNRS, Université J. Fournier, Grenoble, 12 pp.

Quéchon, G., 1995. La fin du néolithique et les débuts de la métallurgie dans le massif de Termit (Niger): éléments de méthodologie. *In* : Milieux, Sociétés et Archéologues, M. Marliac, ORSTOM-KARTHALA (Coll. «hommes et sociétés»), 303-312.

Reavie, E.D., Roland, I.H. and Smol, J.P., 1995. An expanded weighted-averaging model for inferring past total phosphorus concentrations from diatom assemblages in eutrophic British Columbia (Canada) lakes. *J. Paleolimnol.*, **14**, 49-67.

Reynaud-Farrera, I., 1995. Histoire des paléoenvironnements forestiers du sud Cameroun à partir d'analyses palynologiques et statistiques de dépôts holocènes et actuels. *Thèse Doctorat*, Université de Montpellier II, 198 pp.

Reynaud-Farrera, I., Maley, J. et Wirrmann, D., 1996. Végétation et climat dans les forêts du sud-ouest du Cameroun depuis 4 770 ans BP: analyse pollinique des sédiments du lac Ossa. *C.R. Acad. Sc. Paris*, **322**, IIa, 749-755.

Round, F.E., 1981. *The Ecology of Algae*. Cambridge University Press, 653 pp.

Roux, M., 1979. Estimation des paléoclimats d'après l'écologie des foraminifères [Paléoclimats]. *Cah. An. Données*, **4**, 1, 61-79.

Roux, M., 1985. Algorithmes de classification. Méthodes et Programme. Masson, Paris, 151 pp.

Roux, M. et Servant-Vildary, S., 1984. Comparaisons statistiques de peuplement de diatomées fossiles et actuelles provenant des montagnes de Bolivie. *Cah. ORSTOM, Sér. Géol.*, **XIV**, 1, 3-14.

Roux, M., Servant-Vildary, S. and Servant, M., 1991. Inferred ionic composition and salinity of a Bolivian quaternary lake as estimated from fossil diatoms in the sediments. *Hydrobiologia*, **210**, 3-18.

Schoeman, F.R., 1973. Systematical and ecological study of the diatom flora of Lesotho with special reference to water quality. V & R Printers, Pretoria, 355 pp.

Schwartz, D., 1991. Intérêt de la mesure du $\delta^{13}\text{C}$ des sols en milieu naturel équatorial pour la connaissance des aspects pédologiques et écologiques des relations savane-forêt. Exemples du Congo. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, **26**, **4**, 327-341.

Schwartz, D., 1996. Une évaluation de la vitesse de progression des lisières forestières sur les savanes: trois études de cas au Congo. *Symposium «Dynamique à long terme des écosystèmes forestiers intertropicaux»*, Paris, France, résumé, 183-185.

Segalen, P., 1967. Les sols et la géomorphologie du Cameroun. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, **V**, **2**, 137-188.

Servant, M., 1973. Séquences continentales et variations climatiques: évolution du bassin du Tchad au Cénozoïque supérieur. *Thèse de Doctorat d'Etat*, Université Paris VI, 348 pp.

Servant, M. et Servant S., 1970. Les formations lacustres et les diatomées du Quaternaire récent du fond de la cuvette tchadienne. *Rev. Géogr. phys. et Géol. dyn.*, **12** (**1**), 63-76.

Servant, M. et Servant-Vildary, S., 1980. L'environnement quaternaire du bassin du Tchad. *In* : The Sahara and the Nile, M.A.J Williams, and H Faure, Balkema, Rotterdam, 133-162.

Servant-Vildary, S., 1978. Etude des diatomées et paléolimnologie du bassin Tchadien au Cénozoïque supérieur. *Trav. Doc. ORSTOM*, (2 vol.), **84**, 346 pp.

Servant-Vildary, S. et Roux, M., 1985. Recherche d'une fonction de transfert Diatomées/Altitudes/Températures actuelles et application à l'Holocène. Poster session. *Colloque et Séminaire Climat et Développement*. 15-16 Octobre 1985, ORSTOM, Bondy, France.

Servant-Vildary, S. et Roux, M., 1990 (a). Variations de température estimées à partir du déplacement en altitude des associations de diatomées dans une séquence holocène de la cordillère orientale de Bolivie. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **311**, **II**, 429-436.

Servant-Vildary, S. et Roux, M., 1990 (b). Multivariate analysis of diatoms and water chemistry in Bolivian saline lakes. *Hydrobiologia*, **197**, 267-290.

Sigha Nkamdjou, L., Carre, P. et Seyler, P., 1995. Bilans hydrologiques et géochimiques d'un écosystème forestier équatorial de l'Afrique Centrale: la Ngoko à Moloundou (sud-est du Cameroun). *Réseau Erosion*, **14**, 574-575.

Simonsen, R., 1987. Atlas and Catalogue of the diatom types of Friedrich Hustedt. J. Cramer (Ed) . 1, 525 pp., 2, 597 pp., 3, 619 pp.

Stuiver, M. and Reimer, P., 1993. Extended 14C data base and revised CALIB 3.0 14C age calibration program. *Radiocarbon*, **35**, 215-230.

Suchel, J.B., 1988. Les climats du Cameroun. *Thèse*, Université Saint-Etienne, 1188 pp.

Sylvestre, F., 1997. La dernière transition glaciaire-interglaciaire (18 000-8 000 14C ans B.P.) dans les Andes tropicales sud (Bolivie) d'après l'étude des diatomées. *Thèse Doctorat*, Muséum National d'Histoire Naturelle, 243 pp.

Talbot, M.R. and Delibrias, G., 1980. A new late Pleistocene-Holocene water-level curve for Lake Bosumtwi, Ghana. *Earth. Planet. Sci. Let.*, **47**, 336-344.

Ter Braak, C.J.F., 1986. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, **67 (5)**, 1167- 1179.

Ter Braak C.J.F. and Prentice, I.C., 1988. A theory of gradient analysis. *Adv. Ecol. Res.*, **18**, 271-317.

Ter Braak, C.J.F. and Van Dam, H., 1989. Inferring pH from diatoms: a comparison of old and new calibration methods. *Hydrobiologia*, **178**, 209-223.

Ter Braak, C.J.F. and Juggins, S., 1993. Weighted averaging partial least squares regression (WA-PLS): an improved method for reconstructing environmental variables from species assemblages. *Hydrobiologia*, **269/270**, 485-502.

Vallerie, M., 1971. Carte pédologique du Cameroun occidental à 1/1 000 000. Notice explicative n°45, ORSTOM, Paris, 48 pp.

Van Dam, H., Suurmond, G. and Ter Braak, C.J.F., 1981. Impact of acidification on diatoms and chemistry of dutch Moorlands Pools. *Hydrobiologia*, **83**, 425-459.

Van Dam, H., Mertens, A. and Sinkeldam, J., 1994. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Neth. J. of Aquat. Ecol.*, **28 (1)**, 117-133.

Van Heurck, H., 1880-1885. Synopsis des diatomées de Belgique. Van Heurck, Anvers, 120 pp.

Vernet, R., 1995. Climats anciens du Nord de l'Afrique. L'Harmattan, Paris, 180 pp.

Vincens, A., Buchet, G., Elenga, H., Fournier, M., Martin, L., de Namur, C., Schwartz, D., Servant, M. et Wirrmann, D., 1994. Changement majeur de la végétation du lac Sinnda (vallée du Niari, Sud-Congo) consécutif à l'assèchement climatique holocène supérieur: apport de la palynologie. *C.R. Acad. Sci. Paris*, **318**, II, 1521-1526.

Vyverman, W. and Sabbe, K., 1995. Diatom-temperature transfer functions based on the altitudinal zonation of diatom assemblages in Papua New Guinea: a possible tool in the reconstruction of regional palaeoclimatic changes. *J. Paleolimnol.*, **13**, 65-77.

Wirrmann, D., 1992. Le lac Ossa: une monographie préliminaire. *Rev. de Géographie du Cameroun*, **XI**, **1**, 27-38.

Wirrmann, D., Bertaux, J. and Bitom-Kossoni, A., 1997. Present-Day and Holocene lacustrine sedimentation in littoral Cameroon: example of Lake Ossa. *European Union of Geosciences*, Strasbourg, France, poster.

Youta Happi, J. et Bonvallot, J., 1996. La disparition des savanes au centre Cameroun entre 1950 et 1990. *Symposium «Dynamique à long terme des écosystèmes forestiers intertropicaux»*, Paris, France, résumé, 199-200.

Liste des figures

Figure I.1. Carte physique du Cameroun (Morin, 1979).....	11
Figure I.2 Schéma des principaux flux atmosphériques (Janvier et Juillet) et localisation des zones de haute pression (Leroux, 1983).....	
Figure I.3 Localisation du FIT et extension des brumes sèches (Suchel, 1988).....	15
Figure I.4 Les grandes zones climatiques du Cameroun (d'après Mobi Etia, 1969 ; Olivry, 1986 ; Suchel, 1988 in Reynaud-Farrera, 1995).....	17
Figure I.5 Carte phytogéographique du Cameroun (Letouzey, 1968, 1985).....	18
Figure I.6 Le bassin de la rivière Sanaga et localisation du lac Ossa	20
Figure I.7 Débits moyens mensuels (m3/s) de la rivière Sanaga à Edéa entre 1970 et 1980 (Olivry, 1986).....	22
Figure I.8 Le lac Ossa et son bassin versant (Wirmann, 1994)	23
Figure I.9 Evolution mensuelle comparée des nombres moyens (années 1951 à 1960) de jours de brumes dans quelques sites du Cameroun (entre 9°18' et 2°56' lat. N) (Suchel, 1988).....	27
Figure I.10 Comparaison entre les précipitations moyennes mensuelles à Dizangué entre Mai 1992 et Août 1993 et la profondeur mesurée à l'exutoire (Wirmann, communication orale).....	31
Figure I.11 Profondeur moyenne annuelle dans le lac Ossa et les lacs voisins, de la zone la plus profonde à la zone la moins profonde : Zone I (180 - 241 cm), II (242 - 288), III (289 - 355), IV (356 - 373), V (374 - 411).....	33
Figure I.12: Lac Ossa et lacs voisins. Composition ionique des eaux, en haut, relation anions/cations ; en bas relation conductivité/TDS (<i>total dissolved salts</i>).....	35
Figure I.13 Lac Ossa et lacs voisins. AFC, plan 1/ 2 ordinations des points de prélèvement des sédiments superficiels définis par la composition la composition ionique des eaux	37
Figure I.14 Lac Ossa et lacs voisins Lac Ossa et lacs voisins. AFC, plan 1/ 3 ordinations des points de prélèvement des sédiments superficiels définis par la composition la composition ionique des eaux	38
Figure II.1 Localisation des points de prélèvement de sédiments superficiels dans les lacs Ossa, Mwembé, Mboli, Iléka, Nsipés et sur les bordures de la Sanaga (Wirmann, 1994).....	42
Figure II.2 Carotte FOW1 et FOW2. Comparaison entre la flore de l'eau et la flore de l'interface eau/sédiment et des sédiments superficiels jusqu'à 10 cm et 5 cm de profondeur par l'analyse des variations de l'abondance de l'espèce dominante <i>Aulacoseira muzzanensis</i> .	
Figure II.3 Diversité spécifique des genres les plus abondants dans la flore sub-actuelle.....	49
Figure II.4 : Teneur en diatomées des échantillons de sédiments superficiels (les teneurs sont exprimées en nombre de valves/gramme de sédiment sec) I < 5 x10 ⁷ ; II comprises entre 5 et 15 x10 ⁷ ; III > 15 x10 ⁷ . (1) groupe d'échantillons riches en sable ; (2) groupe d'échantillons riches en argiles et débris organiques figurés à organiques ; (3) riches en argile et sans débris végétaux.....	69
Figure II.5 : Représentation spatiale des teneurs en diatomées des sédiments superficiels (I, II, III) en fonction de la composition minéralogique (1, 2 et 3)	71
Figure II.6 : Première AFC, plan 1/ 2. Ordination des échantillons de sédiments superficiels définis par la composition spécifique.....	80
Figure II.7: Deuxième AFC, plan 1/ 2 . Ordination des échantillons de sédiments superficiels définis par la composition spécifique.....	84
Figure II.8 : Deuxième AFC, plan 2/3. Ordination des échantillons de sédiments superficiels définis par la composition floristique.	87
Figure II.9 : Ensemble des sédiments superficiels. Classification ascendante hiérarchique. Dendrogramme des échantillons de sédiments superficiels.....	89
Figure II.10 : Distribution spatiale des classes hiérarchiques dans le lacs Ossa et les lacs voisins	94
Figure II.11 : AFC, Plan 1/ 2, Visualisation de l'ensemble des groupes caractéristiques des axes 1, 2 et 3	100
Figure III.1: Carotte OW4: Description lithologique et datations radiocarbone en fonction de la profondeur (cm).....	105
Figure III.2: Carotte OW4: Relation entre les âges radiocarbone conventionnels ou les âges radiocarbone calibrés et la profondeur.	
Figure IV.1: Carotte OW4. Diversité spécifique des genres dominants dans la flore fossile.....	111
Figure IV.2: Carotte OW4. Variations du nombre d'espèces.....	

Figure IV.3: Carotte OW4. Variation de l'abondance (%) de quelques espèces dominantes en fonction de la profondeur (cm).	114
Figure IV.4: Carotte OW4. Variation de l'abondance (%) de quelques espèces écologiquement significatives en fonction de la profondeur (cm).	116
Figure IV.5: Carotte OW4. Variations de la teneur en diatomées (en haut) et des flux de diatomées (en bas) en fonction du temps (cal. ¹⁴ C ans B.P.).	118
Figure IV.6: Carotte OW4. Variation de l'abondance (%) des groupes d'espèces indicatrices de la bathymétrie: planctoniques et tychoplanctoniques (profond); benthiques et épiphytiques (peu profond) et aérophiles (très peu profond) en fonction du temps (cal. ¹⁴ C ans B.P.).	121
Figure IV.7: Carotte OW4. Variations du pourcentage cumulé des planctoniques et des tychoplanctoniques (A) et des planctoniques (B).	122
Figure IV.8: Carotte OW4. Variation de l'abondance (%) des espèces indicatrices de pH. (A) pH acides (acidophiles). (B) pH basiques (alcaliphiles), en fonction du temps (cal. ¹⁴ C ans B.P.).	126
Figure IV.9: Carotte OW4. Variation de l'abondance (%) des espèces indicatrices de faibles teneurs en matières nutritives: oligotrophes (B); fortes teneurs eutrophes (C). (A) variations du rapport oligotrophes/eutrophes en fonction du temps (cal. ¹⁴ C ans B.P.).	128
Figure IV.10: Carotte OW4. Variations de l'abondance (%) des diatomées apportées par le vent en fonction du temps (cal. ¹⁴ C ans B.P.).	130
Figure IV.11: Analyse factorielle des correspondances, plan 1/2. Ordination des échantillons fossiles définis par la composition floristique. Mise en évidence des groupes caractéristiques des axes 1 et 2.	133
Figure IV.12: AFC, plan 2/3. Ordination des échantillons fossiles définis par la composition floristique. Mise en évidence des groupes caractéristiques de l'axe 3.	136
Figure IV.13: Carotte OW4. Classification hiérarchique, dendrogramme des échantillons fossiles. ...	140
Figure IV.14: Carotte OW4. Les grandes étapes de l'évolution du lac Ossa d'après la répartition des classes hiérarchiques (C). Comparaison avec les variations de l'abondance des planctoniques+tychoplanctoniques (A), et planctoniques seules (B), en fonction du temps (cal. ¹⁴ C ans B.P.).	148
Figure IV.15: Variations de l'abondance (%) des diatomées indicatrices de la paléobathymétrie (A et B) et du pH (C) entre 5 497 et 2 714 ans B.P.	149
Figure IV.16: Variations de l'abondance (%) des diatomées indicatrices de la paléobathymétrie (A et B) et du pH (C) et des diatomées apportées par le vent (D) entre 2 648 et 2 076 ans B.P.	151
Figure IV.17 Variations de l'abondance (%) des diatomées indicatrices de la paléobathymétrie (A et B), du pH (C) et des diatomées apportées par le vent (D) entre 2 013 et 614 ans B.P.	153
Figure IV.18 Variations de l'abondance (%) des diatomées indicatrices de la paléobathymétrie (A et B), du pH (C) et des diatomées apportées par le vent entre 614 ans B.P. et l'actuel.	155
Figure VI.1: Analyse canonique des correspondances sur les échantillons de sédiments superficiels définis par la composition floristique et sur les paramètres environnementaux mesurés dans l'eau au même point de prélèvement. (A) représentation graphique conjointe échantillons sédiments superficiels/paramètres environnementaux, plan 1/2; (B) Représentation graphique conjointe espèces actuelles/paramètres environnementaux, plan 1/2; (C) Représentation graphique conjointe des seuls paramètres environnementaux, plan 1/2.	168
Figure VI.2: Analyse factorielle de trois tableaux de données: (1) en actif les données floristiques actuelles en fonction des classes de bathymétrie I à V, (2) en passif les données floristiques actuelles dans les sédiments superficiels (SO, FOW, MO, NS, MB, MV, SA) et (3) en passif les données floristiques fossiles numérotées (01 à 0554, gras soulignés).	
Figure VI.3: Validation des résultats des fonctions de transfert: relation entre les valeurs estimées de la profondeur et les valeurs mesurées (moyennes annuelles). (A) Méthode des moyennes par classe; (B) méthode des moyennes pondérées.	176
Figure VI.4: Comparaison entre: (A) les variations de niveau du paléolac Ossa estimées par la méthode des moyennes par classe (B) les variations de niveau du paléolac Ossa estimées par la méthode des moyennes pondérées (C) les pourcentages des diatomées planctoniques considérées comme indicateur des variations relatives du niveau lacustre en fonction du temps (cal. ¹⁴ C ans B.P.).	177
Figure VII.1: Hypothèse pour la mise en évidence des trois principales sources d'alimentation en eau du lac Ossa (V1>V2>V3) basée sur les abondances de diatomées indicatrices de pH (pH basiques: alcaliphiles et pH acides: acidophiles).	186
Figure VII.2 : Transport des diatomées d'eau douce du continent vers l'Océan Atlantique. Aires sources, 1 : été boréal, 2: hiver boréal, 3: printemps austral. Mode de transport, 4: trajectoire des poussières, 5: transport par les fleuves. (d'après Kalu, 1979 in Gasse <i>et al.</i> , 1989).	

Figure VIII.1 : Variations relatives (%) des diatomées apportées par le vent et variations de l'épaisseur de la tranche d'eau estimée en fonction du temps.	192
Figure VIII.2 : Validation des variations moyennes annuelles estimées par fonction de transfert de l'épaisseur de la tranche d'eau (en fonction du temps) par l'étude des mélanges des groupes écologiques indicateurs de la profondeur: très faibles profondeurs B (aérophiles et épiphytes); faibles profondeurs A (benthiques) et profondeurs élevées et/ou grandes surfaces d'eau libre A (planctoniques).	193
Figure VIII.3 : Altitude du plan d'eau (en fonction du temps), calculée en tenant compte du colmatage par les sédiments et de l'épaisseur estimée de la tranche d'eau par fonction de transfert.....	195
Figure VIII.4 : Variations de la qualité des eaux et comparaison avec les variations moyennes annuelles (B) estimées par fonction de transfert de l'épaisseur de la tranche d'eau (en fonction du temps) par l'étude des mélanges des groupes écologiques indicateurs de pH (A) et des caractères trophiques (C).	197
Figure VIII.5 : Interprétation paléoclimatique. Tentative de détermination des sources d'apport en eau dans le lac Ossa par l'étude des variations des alcaliphiles (D), de la saisonnalité par les variations de la quantité des apports en diatomées par les poussières (C), et comparaison avec les données palynologiques (B) et (A).	199

Liste des tableaux

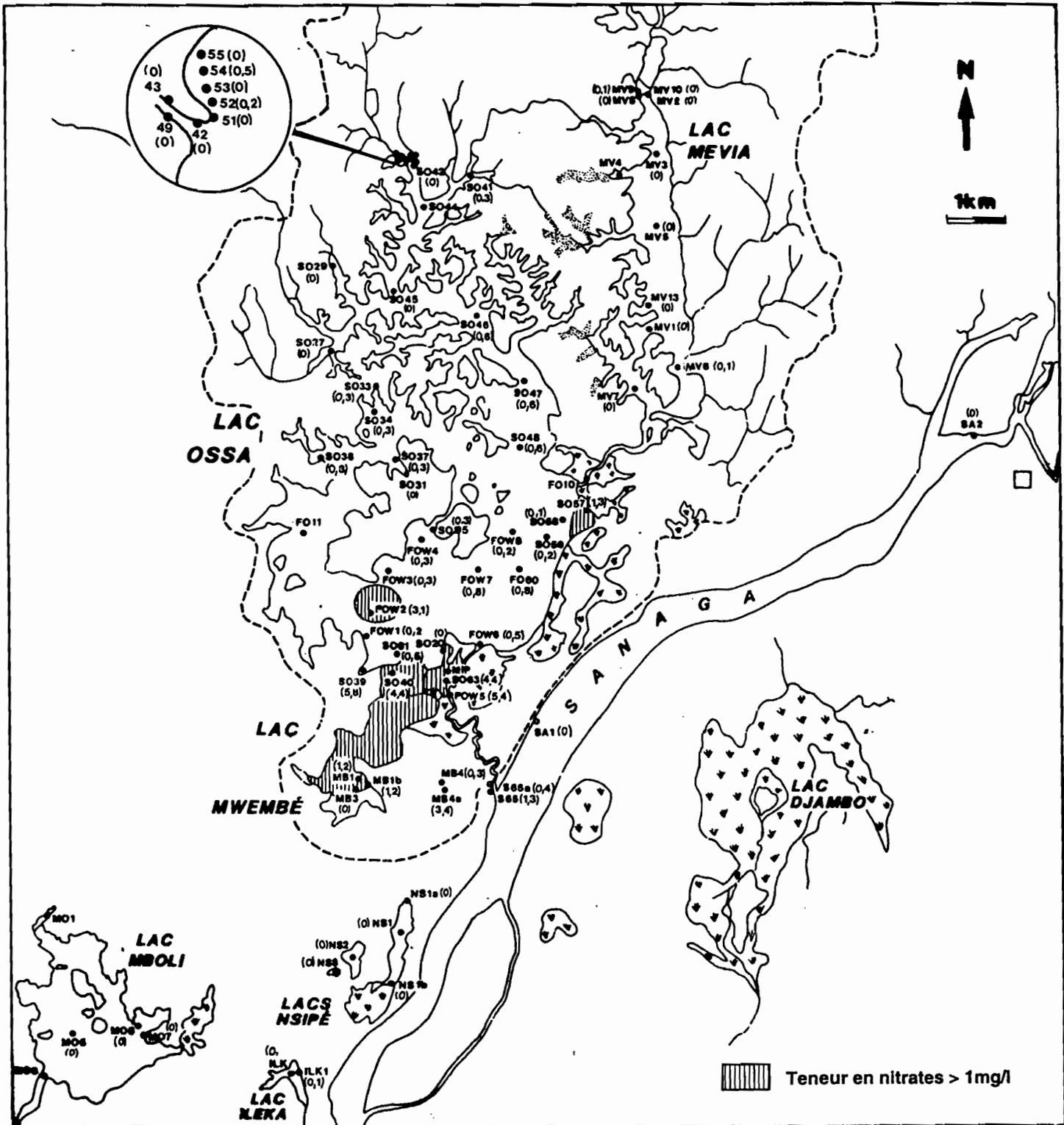
Tableau I.a Données climatiques à la Safacam et à Edéa, stations météorologiques les plus proches de Ossa	25
Tableau I.b Concentrations minimales, maximales et moyennes des ions et salinité (TDS) des ions et salinité (en mg l ⁻¹)	
Tableau II.a : Récapitulatif du nombre des échantillons prélevés et étudiés dans les différents sites d'Ossa.	43
Tableau II.b Représentativité spatiale des espèces présentes à plus de 5% ..	
Tableau II.c : Liste des espèces dominantes associées aux plus faibles salinités (TDS).....	53
Tableau II.d : Liste des espèces dominantes associées aux plus fortes salinités (TDS).....	53
Tableau II.e : Abondance (>50 %) de <i>A. muzzanensis</i>	55
Tableau II.f : Abondance (> 25 %) de <i>A. italica</i>	55
Tableau II.g : Abondance (> 50 %) de <i>A. aff. italica</i>	56
Tableau II.h : Abondance (> 18%) de <i>Fragilaria leptostauron</i> var. <i>dubia</i>	57
Tableau II.i : Diversité spécifique et espèces dominantes associées aux pH inférieurs à 5.....	63
Tableau II.j : Diversité spécifique et espèces dominantes associées aux pH supérieurs à 8	64
Tableau II.k : Relation entre teneurs élevées en diatomées, taxons dominants et caractère sédimentologique des échantillons.....	72
Tableau II.l : Ensemble des échantillons de sédiments superficiels. Analyse factorielle des correspondances des données floristiques. Valeurs propres, inertie et inertie cumulée.....	78
Tableau II.m : Ensemble des échantillons de sédiments superficiels, première analyse factorielle des correspondances. Contributions absolues et qualités de représentation des espèces et échantillons significatifs sur l'axe 1.	79
Tableau II.n : Ensemble des échantillons de sédiments superficiels, première analyse factorielle des correspondances. Contributions absolues et qualités de représentation des espèces et échantillons significatifs sur l'axe 2.	81
Tableau II.o : Partie des échantillons de sédiments superficiels après mise en éléments supplémentaires, de 12 échantillons, deuxième analyse factorielle des correspondances. Valeurs propres et pourcentages d'inertie des 10 premiers axes factoriels.....	82
Tableau II.p : Partie des échantillons de sédiments superficiels après mise en éléments supplémentaires, de 12 échantillons. Deuxième analyse factorielle des correspondances. Contributions absolues et qualités de représentation des espèces et échantillons significatifs sur l'axe 1.	83
Tableau II.q : Partie des échantillons de sédiments superficiels après mise en éléments supplémentaires, de 12 échantillons. Deuxième analyse factorielle des correspondances ; Contributions absolues et qualités de représentation des espèces et échantillons significatifs sur l'axe 2.....	85
Tableau II.r : Partie des échantillons de sédiments superficiels après mise en éléments supplémentaires, de 12 échantillons, deuxième analyse factorielle des correspondances ; Contributions absolues et qualités de représentation des espèces et échantillons significatifs sur l'axe 3.....	86

Tableau II.s : Tableau récapitulatif des résultats de la classification ascendante hiérarchique sur les échantillons de sédiments superficiels. Classes et sous-classes, espèces caractéristiques et espèces accompagnatrices.....	91
Tableau III.a: Carotte OW4: Liste des âges radiocarbone.....	108
Tableau IV.a: Carotte OW4. Espèces largement réparties dans le temps (groupe A), moyennement réparties dans le temps (groupe B), faiblement réparties dans le temps (groupe C) et fréquence minimum, maximum et moyenne.....	112
Tableau IV.b: Teneurs en diatomées sub-actuelles dans la partie ouest du lac Ossa et fortes teneurs en diatomées fossiles : relation avec les espèces dominantes.....	
Tableau IV.c: Carotte OW4. Analyse factorielle des correspondances des échantillons fossiles définis par la flore. Valeurs propres, inertie et inertie cumulée.....	131
Tableau IV.d: Carotte OW4. Analyse factorielle des correspondances des échantillons fossiles définis par la flore. Contributions absolues et qualités de représentation sur l'axe 1.....	132
Tableau IV.e: Carotte OW4. Analyse factorielle des correspondances des échantillons fossiles définis par la flore. Contributions absolues et qualités de représentation sur l'axe 2.....	134
Tableau IV.f: Carotte OW4. Analyse factorielle des correspondances des échantillons fossiles définis par la flore. Contributions absolues et qualités de représentation sur l'axe 3.....	135
Tableau IV.g: Carotte OW4. Analyse factorielle des correspondances des échantillons fossiles définis par la flore. Contributions absolues et qualités de représentation sur l'axe 5.....	137
Tableau IV.h: Carotte OW4. Analyse factorielle des correspondances des échantillons fossiles définis par la flore. Contributions absolues et qualités de représentation sur l'axe 5.....	138
Tableau IV.i: Tableau récapitulatif des résultats de la classification hiérarchique sur les échantillons fossiles. Classes et sous-classes d'échantillons, espèces caractéristiques et espèces accompagnatrices.....	142
Tableau VI.a: Sédiments superficiels. Comparaison entre les valeurs propres, les corrélations canoniques de l'ACC et l'AFC.....	166
Tableau VI.b: Sédiments superficiels. Corrélations variables/facteurs des 4 premiers axes de l'ACC.....	169
Tableau VI.c: Sédiments superficiels. Corrélations des variables entre elles.....	169
Tableau VI.d: Sédiments superficiels. Régression d'après la méthode des moyennes par classe. Liste des classes de profondeur (I à V) et bornes de chaque classe avec le nombre d'échantillons actuels compris entre ces bornes.....	170
Tableau VI.e: Autoécologie des espèces actuelles d'après l'ACC. Optima et Tolérances.....	173
Tableau VI.f: Sédiments superficiels. Résultats des fonctions de transfert par les deux méthodes de régression. Coefficients de détermination, écart-types et marges d'erreur.....	174
Tableau VI.g: Sédiments superficiels. Calibration bathymétrie/diatomées. Profondeurs estimées par les deux méthodes comparées aux profondeurs mesurées.....	175
Tableau VI.h: Récapitulatif des données fossiles. Liste des échantillons étudiés, profondeur (cm), âges estimés (ans ¹⁴ C B.P. et âges calendaires), paleoprofondeurs estimées (en cm) en valeurs moyennes annuelles par les deux méthodes.....	178

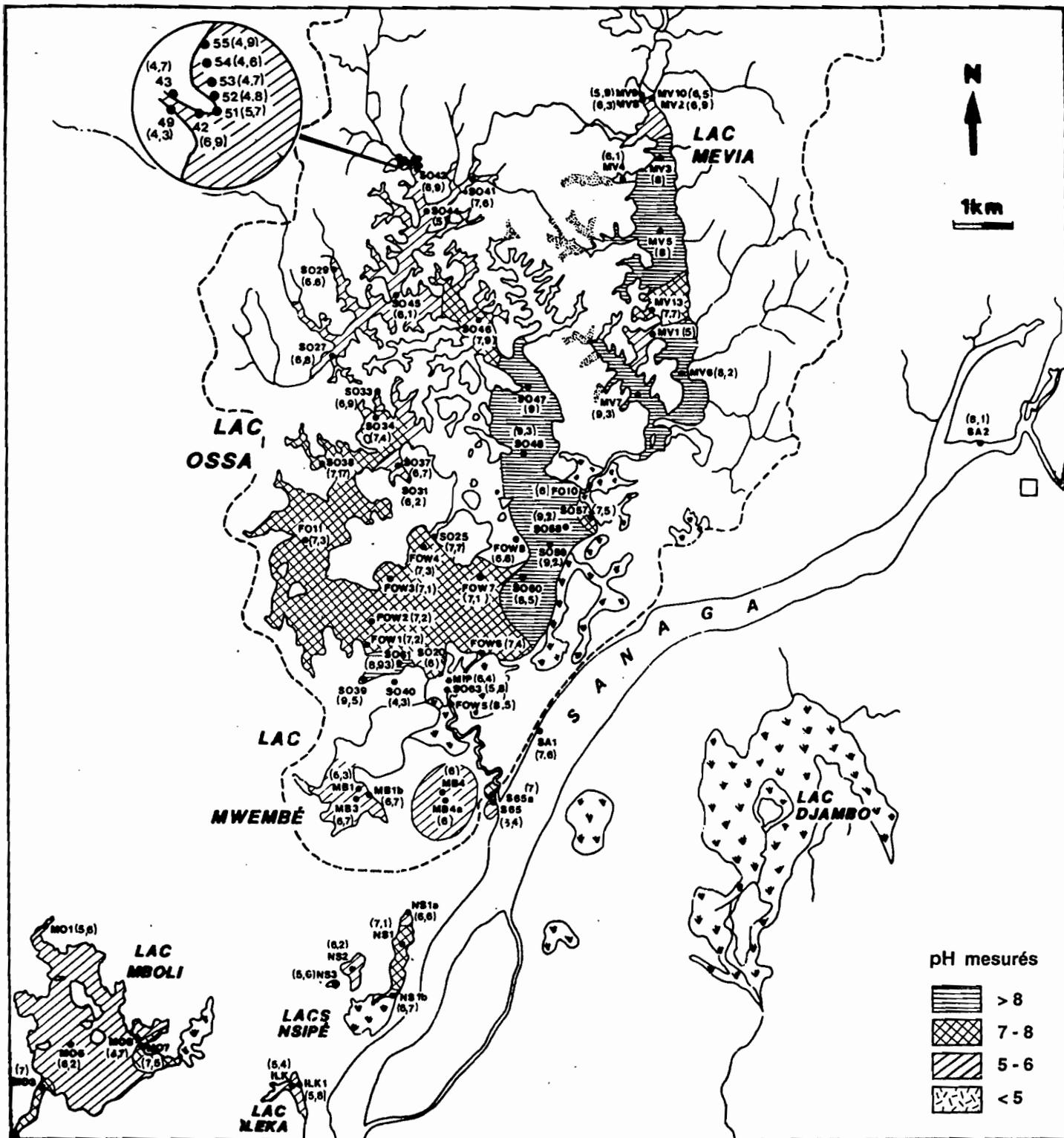
ANNEXES

Annexe I : Caractéristiques physico-chimiques des sites de prélèvement au moment de l'échantillonnage

Sites de prélèvement	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Cations	Anions	TDS	SiO ₂	pH	Cond (µs/cm)	Turb (NTU)	O ₂ dissous (mg/l)	T (°C)	Prof (cm)	Date de prélèvement
FO18													6,03	15	7	4,99	30,3	180	21.05.1994
FO11													7,3	8	15	6,47	29,8	230	22.05.1994
FOW1	0,02	0,07	1,53	0,39	2,44	0,39	0,19	0,56	2,01	3,59	5,60	0,56	7,18	11	24	6,6	29,2	150	04.04.1993
FOW2	0,34	0,30	0,86	1,52	2,44	0,71	3,10	1,44	3,02	7,69	10,72	1,44	7,18	11	24	6,6	29,2	175	04.04.1993
FOW3	0,66	0,46	1,10	1,89	8,24	0,71	0,25	0,48	4,10	9,68	13,78	8,41	7,18	11	24	6,6	29,2	215	20.05.1994
FOW4	0,66	0,46	1,10	1,89	8,24	0,71	0,25	0,48	4,10	9,68	13,78	8,41	7,28	11	19	8,12	29,2	215	20.05.1994
FOW5	0,46	0,37	0,98	1,75	1,22	0,85	5,40	1,25	3,55	8,72	12,27	7,73	8,51				30,8	230	20.05.1994
FOW6	0,44	0,35	0,94	1,63	6,41	0,78	0,43	1,59	3,37	9,21	12,57	7,62	7,38				29,6	290	21.05.1994
FOW7	0,32	0,22	0,98	1,68	3,97	1,21	0,74	0,14	3,20	6,06	9,26	4,72	7,08	12	20	6,17	29,4	245	21.05.1994
FOW8	0,20	0,20	0,82	1,70	3,36	0,99	0,19	0,10	2,92	4,63	7,55	5,51	6,64	29	13	6,34	30,9	200	21.05.1994
ILK													5,44	8	1	7,03	31,4	410	19.12.1994
ILK1	0,16	0,13	0,47	0,94	1,22	1,03	0,12	0,53	1,71	2,90	4,61	4,5	5,82	9	2	8,12	31,4	50	19.03.1995
MB1	0,66	0,82	2,19	1,91	11,29	1,03	1,12	0,34	5,58	13,77	19,34	10,56	6,27	18	41	5,33	30,4	130	17.12.1994
MB1b	0,66	0,82	2,19	1,91	11,29	1,03	1,12	0,34	5,58	13,77	19,34	10,56	6,71	19	25	12,53	31	10 - 30	17.12.1994
MB3	0,62	0,80	1,41	2,02	11,29	0,60	0	0,14	4,86	12,04	16,89	11,28	6,71	19	25	12,53	31	175	17.12.1994
MB4	0,14	0,05	0,27	1,27	2,14	1,03	0,31	0,05	1,73	3,52	5,25	3,68	5,94	8	8	3,45	25,4	5	20.03.1995
MB4a	0,28	0,23	1,72	1,43	0,92	1,28	3,41	1,11	3,66	6,71	10,37	20,28	5,94	8	8	3,45	25,4	5 - 10	20.03.1995
MP	0,48	0,37	0,98	1,63	2,44	0,82	4,34	1,59	3,46	8,18	12,64	7,69	6,39	13	68	4,49	29,7	5 - 10	17.12.1994
MO1													5,59	6	4	4	29,3	220	19.12.1994
MO3													6,09	4	7	8,21	30,9	160	19.12.1994
MO5	0,18	0,15	0,27	0,90	1,83	0,75	0	0,10	1,50	2,67	4,17	2,15	6,21	4	4	8,89	31,3	260	19.12.1994
MO7	0,10	0,11	0,39	1,15	2,44	0,92	0	0,10	1,75	3,46	5,21	2,54	7,5	5	9	9,55	34,8	70	19.03.1995
MO8	0,08	0,10	0,31	0,99	1,53	0,75	0	0,05	1,48	2,32	3,80	2,65	6,75	4	10	10,59	34,3	175	19.03.1995
MY1	0,58	0,43	1,13	2,25	6,41	1,49	0	1,39	4,40	9,29	13,68	4,59	8,04	14	10	10,38	30	180	28.01.1995
MY10	0,76	0,46	1,17	2,25	5,80	1,38	0	2,40	4,65	9,58	14,23	6,08	6,51	22	23	7,87	30,1	80	18.03.1995
MY13	0,58	0,43	1,13	2,25	6,41	1,49	0	1,39	4,40	9,29	13,68	4,59	7,63	18	13	10,29	31,8	200	18.03.1995
MY2	0,90	0,67	0,94	2,28	10,68	0,82	0	0,24	4,79	11,74	16,52	9,65	6,91	20	8	5,77	28,6	42	28.01.1995
MY3	0,50	0,43	0,98	2,12	7,63	0,89	0	0,34	4,02	8,85	12,87	6,96	8,07	15	9	9,9	31,5	190	28.01.1995
MY4													6,16	80	17	6,24	30,8	30	28.01.1995
MY5	0,50	0,43	0,98	2,12	7,63	0,89	0	0,34	4,02	8,85	12,87	6,96	8,01	14	6	10,14	31,6	210	28.01.1995
MY6	0,50	0,37	0,76	2,16	7,63	0,96	0,12	0	3,81	8,71	12,52	6,81	8,2	15	32	11,76	34,3	50	28.01.1995
MY7	0,80	0,43	0,90	0,71	5,49	0,85	0	0,29	2,64	6,63	9,27	5,85	9,36	14	11	11,7	32,5	135	28.01.1995
MY8	0,96	0,47	1,17	2,28	4,27	1,63	0	3,79	4,89	9,70	14,58	9,61	6,29	26	4	5,96	26,7	7	18.03.1995
MY9	1,16	0,54	1,25	2,30	5,19	1,63	0,19	3,94	5,25	10,94	16,19	9,97	5,86	27	6	4,03	26,1	60	18.03.1995
NS1	0,30	0,23	0,78	1,27	5,19	0,67	0	0	2,58	5,86	8,44	3,33	7,1	8	8	10,33	31,9	280	18.12.1994
NS1a	0,30	0,23	0,78	1,27	5,19	0,67	0	0	2,58	5,86	8,44	3,33	6,58				32,2	155	18.12.1994
NS1b	0,30	0,23	0,78	1,27	5,19	0,67	0	0	2,58	5,86	8,44	3,33	6,69	8	8	10,28	32,6	30	18.12.1994
NS2	0,48	0,23	0,63	1,15	3,97	0,75	0	0,05	2,49	4,76	7,25	5,65	6,22	9	8	8,48	29,8	250	18.12.1994
NS3	0,14	0,12	0,39	1,27	2,75	0,89	0	0,19	1,92	3,83	5,74	4	5,65	9	2	9,42	29,6	140	18.12.1994
SA5a	0,20	0,07	0,20	0,92	0,31	1,10	0,37	0,38	1,39	2,16	3,55	3,96	5,73	5	5	10,19	26	10	20.03.1995
SA1	1,96	1,12	1,64	2,30	18,31	0,36	0	0	7,03	18,66	25,69	10,13	7,84	33	19	10,59	30,5	60	19.03.1995
SA2	2,04	1,19	1,60	2,28	18,31	0,39	0	0	7,12	18,70	25,81	10,23	8,13	31	21	10,78	29,5	30-50	20.03.1995
SO20	0,34	0,43	1,17	1,91	8,85	0,71	0	0	3,85	9,56	13,41	8,57	6,01	21	11	4,17	26,2	230	20.07.1994
SO25	0,66	0,46	1,10	1,89	8,24	0,71	0,25	0,48	4,10	9,68	13,78	8,41	7,66	18	9	8,15	27	270	20.07.1994
SO27	0,24	0,26	0,63	1,38	5,19	0,60	0	0	2,50	5,79	8,29	2,22	6,79	7	10	7,3	31	206	14.12.1994
SO28	0,20	0,24	0,78	1,45	4,58	0,67	0	0,29	2,67	5,54	8,21	2,21	6,62	7	10	4,94	31	90	14.12.1994
SO31	0,38	0,30	0,98	1,66	6,41	0,71	0	0,29	3,32	7,40	10,72	3,67	6,25	14	8	5,25	32,2	97	15.12.1994
SO33	0,26	0,26	0,82	1,56	5,19	0,92	0,25	0,24	2,90	6,60	9,50	2,98	6,94	14	13	8,21	33,1	110	16.12.1994
SO34	0,26	0,26	0,82	1,56	5,19	0,92	0,25	0,24	2,90	6,60	9,50	2,98	7,39	11	9	9,43	33	200	16.12.1994
SO37	0,26	0,26	0,82	1,56	5,19	0,92	0,25	0,24	2,90	6,60	9,50	2,98	6,71	13	10	6,95	32,8	170	16.12.1994
SO38	0,26	0,26	0,82	1,56	5,19	0,92	0,25	0,24	2,90	6,60	9,50	2,98	7,17	12	7	9,61	32,9	210	16.12.1994
SO38	0,34	0,18	0,90	1,66	4,27	0,96	0,50	0,10	3,08	5,82	8,90	2,2	9,55	15	12	10,07	34,1	185	16.12.1994
SO40	0,66	0,50	1,29	0,85	0,00	0,99	5,77	1,30	3,30	8,06	11,36	4,54	4,33	170	12	10,7	34,1	5 - 10	16.12.1994
SO41	0,30	0,20	0,39	1,13	2,44	1,03	0,25	0,43	2,01	4,15	6,16	4,33	7,61	6	16	8,08	29,8	45	27.01.1995
SO42	0,10	0,10	0,35	0,92	0,92	0,75	0	0,62	1,47	2,28	3,75	3,82	6,87	6	18	10,17	30,8	30	27.01.1995
SO43	0,14	0,11	0,47	1,04	0,92	0,82	0	0,67	1,75	2,40	4,16	3,91	4,76	6	8	9,97	25,1	15	27.01.1995
SO44	0,18	0,17	0,47	1,22	3,05	0,75	0	0	2,04	3,80	5,83	3,36	5,02	6	11	10,73	30,9	190	27.01.1995
SO45	0,18	0,17	0,47	1,22	3,05	0,75	0	0	2,04	3,80	5,83	3,36	6,16	6	13	10,21	31,5	255	27.01.1995
SO46	0,16	0,16	0,51	1,27	2,75	0,85	0,62	0,34	2,09	4,55	6,64	3,1	7,86	8	16	9,68	33	180	27.01.1995
SO47	0,16	0,16	0,51	1,27	2,75	0,85	0,62	0,34	2,09	4,55	6,64	3,1	8,99	11	30	10,18	33,3	140	27.01.1995
SO48	0,16	0,16	0,51	1,27	2,75	0,85	0,62	0,34	2,09	4,55	6,64	3,1	9,34	11	24	10,6	33,1	130	27.01.1995
SO48	0,14	0,11	0,47	1,04	0,92	0,82	0	0,67	1,75	2,40	4,16	3,91	4,35	8	8,1	9,6	25,4	50	17.03.1995
SO51	0,10	0,10	0,35	0,92	0,92	0,75	0	0,62	1,47	2,28	3,75	3,82	5,75	8	8	8,6	27,6	10	17.03.1995
SO52	0,10	0,10	0,55	1,13	1,53	0,89	0,19	0,62	1,87	3,22	5,09	3,74	4,78	8	8	9,35	29,7	10	17.03.1995
SO53	0,10	0,11	0,47	1,08	1,83	0,82	0	0,67	1,76	3,32	5,08	3,77	4,66	8	8	9,16	31,2	20	17.03.1995
SO54	0,08	0,06	0,47	1,06	1,22	0,78	0,43	0,96	1,67	3,40	5,06	4,01	4,63	9	8	9,49	32,8	10	17.03.1995
SO55	0,04	0,05	0,27	0,92	1,22	0,75	0	0,34	1,28	2,30	3,58	4	4,87	9	8	9,49	30,4	10	17.03.1995
SO57	0,44	0,32	0,86	1,77	3,97	0,99	1,30	0,38	3,39	6,65	10,03	4,9	7,54	9	505	9,97	36,6	20	17.03.1995
SO58	0,22	0,20	0,94	1,75</															



Annexe II : Lac Ossa et lacs voisins : distribution spatiale des teneurs en nitrate (mg/l) pendant la période de basses eaux.



Annexe III : Lac Ossa et lacs voisins : distribution spatiale des pH pendant la période de basses eaux.

Annexe IV : Tableau des abondances (%) des espèces de diatomées dans la carotte FOW1

code espèces et Espèces	FA 00	FA 01	FA 0,5	FA 02	FA 03	FA 04	FA 05	FA 06	FA 07	FA 08	FA 10
ALA ACHNANTHES LANCEOLATA	0,1	0,17	0,28	0	0	0,05	0,04	0,46	0,14	0,06	0,04
CAI CALONEIS INCOGNITA	0	0,17	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CYEL CYMBELLA ELGINENSIS	0,19	0,35	0,16	0,59	0,19	0,1	0,17	0	0,37	0	0
CYHU CYMBELLA HUSTEDTII	0	0,17	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CYME CYMBELLA MESIANA	0	0	0	1,33	0	0	0	0	0	0,06	0
CYMG CYCLOTELLA MENEGHINIANA	0	0,17	0	0	0	0,05	0	0	0,05	0	0
CYML CYMBELLA SILESIACA	0,1	0	0	0,59	0,19	0	0	0,04	0	0	0,15
CYOC CYCLOTELLA OCELLATA	0	0	0,24	0	0,09	0	0,17	0,13	0	0,16	0,19
ELAS EUNOTIA ASTERIONELLOIDES	21,85	3,39	3,13	0	0,28	0,49	0,81	0	0,18	0,08	0
EUEP EUNOTIA EPITHEMOIDES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,06
EUF EUNOTIA FABA	0	0,78	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EUFL EUNOTIA FLEXUOSA	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,06	0,06
EUX EUNOTIA HEXAGLYPHIS	0	0	0	0,3	0	0,29	0	0,06	0,18	0	0,06
EUN EUNOTIA INTERMEDIA	0	0	0	0	0	0	0,09	0	0	0	0
EUS EUNOTIA INCISA	0	0	0	0,59	0	0,24	0,6	0,5	0,28	0,52	0,3
EUMN EUNOTIA MINOR	0	0,35	0,48	0	0	0,1	0,09	0	0	0	0,38
EUMT EUNOTIA MONODON TROPICA	0	0,17	0	0	0	0,05	0	0	0	0	0,06
EUPR EUNOTIA PRAERUPTA	0	0	0,08	0	0	0	0	0	0	0	0
EUPV EUNOTIA PECTINALIS VENTRALIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0,28	0	0
EUSD EUNOTIA SUDETICA	0,05	1,04	0,64	0,74	0	0,59	0	0,63	0	0,48	0
EZ EPITHEMIA ADNATA	0	0,09	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0
FB FRAGILARIA BREVISTRATA	0	0	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0
FLD FRAGILARIA LEPTOSTAURON DUBIA	0	2	2,49	1,62	0	1,56	1,46	0	0,78	0,6	0
FP FRAGILARIA PINNATA	0,1	0	0	0	0,09	0	0	0,5	0	0	0,49
FRAC FRAGILARIA CONSTRUENS	0	0,69	0,92	0	0,09	0,59	0,26	0,34	3,13	0,12	0
FRAX FRAGILARIA CONSTRUENS EXIGUA	0,82	12,24	15,32	2,51	0	3,33	4,92	2,06	0	2,75	1,63
FRDE FRAGILARIA DENSESTRATA	0,87	6,51	3,93	0,89	0	0,83	1,11	0,63	1,84	0,52	1,02
FRH FRUSTULIA RHOMBOIDES RHOMBOIDES	0	0,09	0	0	0	0,05	0	0,17	0,14	0	0
GG GOMPHONEMA GRACILE	0	0	0	0	0,09	0,29	0,09	0,17	0	0	0,23
GLIN GOMPHONEMA LINGULATIFORME	0,1	0	0,06	0	0	0,15	0	0	0	0	0,23
GP GOMPHONEMA PARVULUM	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HA HANTZSCHIA AMPHOXYYS	0	0	0	0	0,09	0	0	0	0	0	0
MA AULACOSEIRA AMBIGUA	0	0	0	0	0	0	0	2,94	0	0	0
MEMU AULACOSEIRA MUZZANENSIS	64,89	67,64	63,75	60,71	67,1	71,39	61,6	74,29	74,89	76,3	78,84
MG AULACOSEIRA GRANULATA	1,01	0,78	0,76	1,03	1,4	0,93	8,65	2,6	1,06	3,07	1,16
MGA AULACOSEIRA GRANULATA ANGUSTISSIMA	0,1	0	0,08	0	0	0	0,39	0,46	0,18	0,12	0,04
MGV AULACOSEIRA GRANULATA VALIDA	0	0	0	0	0	0,49	0,13	0,25	0,28	0,12	0,46
MI AULACOSEIRA ITALICA	1,59	6,16	3,57	2,66	3,31	6,11	6,13	7,51	12,47	11,17	11,46
NAC NAVICULA PLACENTULA	0	0	0	0,3	0	0,1	0	0	0,09	0	0,04
NAEX NAVICULA EXIGUA	0	0	0,16	0	0,09	0	0	0	0	0	0
NAPH NAVICULA PHYLLIPTA	0	0	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0
NAU NAVICULA MUTICA	0,1	0,17	0,06	0	0	0,1	0,26	0,17	0,14	0	0
NAV NAVICULA LAEVISSIMA	0	0	0	0,3	0,19	0,1	0,17	0	0	0	0
NCU NAVICULA CUSPIDATA	0	0	0,06	0	0	0,05	0	0	0	0	0
NEAP NEIDRUM AMPLIATUM	0	0	0	0,3	0,65	0	0,26	0,08	0,18	0	0
NEI NEIDRUM IRIDIS	0	0,17	0	0,69	0,09	0,1	0,17	0,13	0,09	0,16	0,04
NPP NAVICULA PUPULA	0,05	0,26	0,24	0,3	0	0,29	0,43	0,25	0	0,2	0,42
NSSU NAVICULA SEMINULOIDES SUMATRANA	0	0,17	0,4	0	0	0,1	0,26	0	0	0,16	0
NTGR NITZSCHIA GRACILIS	1,49	0,52	0,06	0	0	0	0,09	0	0	0	0
NTIT NITZSCHIA INTERMEDIA	0,05	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0
ORRO ORTHOSEIRA ROSEANA	0	0	0	0	0,09	0,05	0	0	0,09	0	0
PBNA PINNULARIA BRAUNIANA	0	0	0	0	0	0	0,17	0	0	0	0
PBR PINNULARIA BRAUNII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,06
PICA PINNULARIA VIRIDIFORMIS	0	0	0,56	0,59	1,49	0,15	0,17	0,06	0	0	0
PIDE PINNULARIA DIVERGENS ELLIPTICA	0	0	0,32	0	0	0	0	0	0	0	0
PIDI PINNULARIA DIVERGENS	0,14	1,46	3,49	6,57	6,16	3,06	1,28	0,46	0	0	0,3
PIDM PINNULARIA DIVERGENS MALAYENSIS	0	0	0	0	0	0	1,88	1,09	0,37	0,52	0
PIGL PINNULARIA SUBGIBBA	0	0,43	1,12	2,51	3,41	1,61	1,24	0,5	0,74	0,6	0,57
PIME PINNULARIA MESOLEPTA	0	0	0	0,3	0,09	0,1	0	0	0	0	0
PIMI PINNULARIA MICROSTAURON	0,29	2,17	2,09	3,55	4,11	2,25	1,41	1,89	1,24	1,16	0,8
PITO PINNULARIA STOMATOPHORA	0	0,52	0,56	4,26	4,25	1,61	1,07	0,5	0,05	0	0,27
SA STAURONEIS ANCEPS	0	0,17	0,56	0	0	0	0	0,08	0	0	0
SGRA STAURONEIS ANCEPS GRACILIS	0	0	0	0	0	1,17	1,41	0,25	0	0,24	0,06
SPH STAURONEIS PHOENICENTERON	0	0	0,28	0,59	0,84	0,15	0	0,08	0,09	0	0
STA STEPHANODISCUS ASTREA	0	0,17	0,44	0,59	0,37	0,34	0,17	0,21	0,51	0,36	0,46
STEC STENOPTEROBIA CURVULA	1,11	0	1	1,03	0,09	0,2	0,17	0	0	0	0
SUE STENOPTEROBIA DELICATISSIMA	4,66	0	1	0,3	0	0	0,17	0	0	0	0
SURO SURIRELLA ROBUSTA	0,36	0,61	1,26	1,33	5,04	0,66	0,51	0,46	0,18	0,36	0,23
SYNU FRAGILARIA ULNA	0	0,17	0,16	0,44	0,09	0	0	0	0	0	0
Nombre de valves comptées	2079	1152	2493	677	2143	2045	2336	2384	2174	2506	2636

Annexe V : Tableau des abondances (%) des espèces de diatomées dans la carotte FOW2

codes espèces et espèces	FB 00	FB 00	FB 0,5	FB 01	FB 02	FB 03	FB 04	FB 05
ALA ACHNANTHES LANCEOLATA	0	0	0,16	0,53	0,17	0	0	0
CYEL CYMBELLA ELGINENSIS	0	0	0,09	0,15	0,22	0,25	0,1	0,16
CYMG CYCLOTELLA MENECHINIANA	0	0	0	0	0	0	0	0,41
CYML CYMBELLA SILESIAICA	0,2	0	0	0	0	0	0	0
CYOC CYCLOTELLA OCELLATA	0	0	0	0,08	0	0,5	0,41	0,25
CYTR CYMBELLA CUSPIDATA	0	0	0	0,15	0	0	0	0
EUMS EUNOTIA ASTERIONELLOIDES	0	2,05	1,81	2,11	1,71	0	0,1	1,4
EUEP EUNOTIA EPITHEMOIDES	0	0	0	0	0	0	0,1	0
EUFL EUNOTIA FLEXUOSA	0	0,66	0	0	0,06	0	0	0
EUPX EUNOTIA HEXAGLYPHIS	0	0,66	0	0	0	0	0	0
EUMN EUNOTIA MINOR	0,47	0	0,36	0,66	0,22	0	0,21	0,16
EUMT EUNOTIA MONODON TROPICA	0	0	0	0	0,06	0,25	0,1	0,06
EUPR EUNOTIA PRAERUPTA	0	0	0,09	0,06	0	0,25	0,21	0
EUSD EUNOTIA SUEDICA	0,13	0	0	0,3	0,22	0,25	0	0,49
EZ EPITHEMIA ADNATA	0	0	0	0	0	0,25	0	0,25
FLD FRAGILARIA LEPTOSTAURON DUBIA	0	0	2,14	0	0	0	0,82	2,55
FP FRAGILARIA PINNATA	0	0,66	0	0,98	1,1	0,66	0	0
FRAC FRAGILARIA CONSTRUENS	0	1,37	0,18	3,69	1,65	0	0,21	0
FRAX FRAGILARIA CONSTRUENS EXIGUA	1,6	2,39	2,05	0	0	0,25	1,03	4,12
FRBI FRAGILARIA BIDENS	0	0	0	0	0	0	0,21	0
FRDE FRAGILARIA DENSESTRATA	1,6	0,34	1,98	1,51	0,11	0,75	0,41	0,99
FRH FRUSTULIA RHOMBOIDES RHOMBOIDES	0,07	0	0,18	0,23	0,26	0	0,1	0,08
GG GOMPHONEMA GRACILE	0,13	0	0,18	0	0,11	0,25	0,1	0
GLIN GOMPHONEMA LINGULATIFORME	0	0	0	0	0,22	0,5	0,1	0,16
HA HANTZSCHIA AMPHOXYIS	0,07	0	0	0	0,06	0	0	0
MA AULACOSEIRA AMBIGUA	0	0	0	0	0	0,25	1,03	0
MEMU AULACOSEIRA MUZZANENSIS	69,6	71,67	71,43	71,84	62,98	60,31	69,17	68,72
MG AULACOSEIRA GRANULATA	0,73	0	1,86	0,9	0,77	4,01	4,73	2,86
MI AULACOSEIRA ITALICA	0	4,44	3,21	3,99	2,53	0,75	0	2,39
NAEX NAVICULA EXIGUA	0	0	0	0	0,06	0	0,21	0,16
NAU NAVICULA MUTICA	0,13	0	0,18	0	0	0	0,21	0
NAV NAVICULA LAEVISSIMA	0	0	0,18	0,15	0,11	0,5	0,1	0,16
NEAP NEIDRUM AMPLIATUM	0	0,66	0,09	0,15	0	0,75	0,21	0,16
NEI NEIDRUM IRIDIS	0	0,66	0,09	0,3	0,06	0,25	0,41	0
NPP NAVICULA PUPULA	0	0,66	0,09	0,36	0,33	0,5	0	0,49
NSSU NAVICULA SEMINULOIDES SUMATRANA	0,27	0	0,18	0,15	0	0	0	0
NTGR NITZSCHIA GRACILIS	0	0	0,45	0,08	0,17	0,75	0	0,33
NTIT NITZSCHIA INTERMEDIA	0	0,34	0	0,15	0,11	0	0,1	0
NUSA NAVICULA AMERICANA	0	0	0	0,08	0	0	0	0,08
PBNA PINNULARIA BRAUNIANA	0,13	0	0	0	0,06	0	0	0
PICA PINNULARIA VIRIDIFORMIS	0	0	0,54	0,3	0,44	2,36	0,62	0,58
PIDI PINNULARIA DIVERGENS	0,67	3,41	4,29	3,54	0	15,14	7,71	4,53
PIGL PINNULARIA SUBGIBBA	0,2	0,66	1,52	0,6	0,66	4,13	1,95	2,72
PIME PINNULARIA MESOLEPTA	0,07	0	0	0,08	0,17	0	0	0,49
PIMI PINNULARIA MICROSTAUON	0,53	3,07	3,04	2,26	2,09	8,76	3,6	1,56
SPH STAURONEIS PHOENICENTERON	0	1,02	0,09	0,15	0,39	0,63	0,21	0,41
STA STEPHANODISCUS ASTREA	0,07	0	0	0,23	0,33	0,5	0	0,49
STEC STENOPTEROBIA CURVULA	2,4	0	0,89	0,98	1,21	0,66	0,62	0,62
SUE STENOPTEROBIA DELICATISSIMA	0	0	0	0,53	0	0,25	0,21	0,16
SURO SURIRELLA ROBUSTA	0,73	4,44	2,77	2,26	1,1	4,68	4,42	1,73
SYNU FRAGILARIA ULNA	0	0,66	0,09	0,45	0,06	0	0	0
Nombre de valves comptées	1500	293	1120	1328	1818	799	973	1215

Tableau des abondances des espèces de diatomées dans les horizons de sols superficiels

espèces	L1	L28	L30	L45	L8	DJ50
ALA ACHNANTHES LANCEOLATA					2	
CONO COSCINODISCUS NORMANI					2	
CYOC CYCLOTELLA OCELLATA	2					
EUPV EUNOTIA PECTINALIS VENTRALIS						63
MEMU AULACOSEIRA MUZZANENSIS	2		1	2		
MG AULACOSEIRA GRANULATA						1
MGT AULACOSEIRA GRANULATA TUBULOSA	4	12	2	2	6	2
MGV AULACOSEIRA GRANULATA VALIDA	19	27	3	14	17	
ORRO ORTHOSEIRA ROSEANA		1	2	2		
PICA PINNULARIA VIRIDIFORMIS						4
STA STEPHANODISCUS ASTREA	12	4	1	2	5	

Annexe VI : Lac Ossa et lacs voisins : nature des sédiments (1), nombre d'espèces rencontrées (2) et teneurs en diatomées dans les sédiments sub-actuels (3).

	(1)	(2)	(3)
Echantillons	Nature du sédiment	Nombre d'espèces rencontrées	Nombre de valves par gramme de sédiment sec / 10 ⁷
FO10	argileux	51	15
FO11	"	33	9,8
FOW1	"	29	0,4
FOW2	"	20	1,1
FOW3	"	31	33
FOW4	"	34	25
FOW5	argilo-organique	51	1,1
FOW6	"	40	4
FOW7	argileux	39	3,5
FOW8	organo-argileux	21	5,3
ILK	argileux	40	273
ILK1	organo-argileux	13	3
MB1	argilo-organique	19	34
MB1b	organique	13	360
MB3	argileux	18	16
MB4	organique	20	1
MB4a	"	24	1,5
MIP	argilo-organique	34	21,5
MO1	"	24	4,8
MO2	argileux	"	29,2
MO3	"	23	10
MO4	"	"	1,5
MO5	"	25	2
MO7	sablo-organique	24	0,06
MO8	organo-argileux	15	0,3
MV1	argileux	53	8,6
MV10	sablo-argileux	53	0,75
MV13	argileux	46	18
MV2	argilo-sableux	32	0,5
MV3	argilo-organique	55	6,9
MV4	"	34	340
MV5	"	52	11
MV6	"	55	3
MV7	"	44	29
MV8	organo-argileux	49	0,04
MV9	sablo-argileux	63	0,025
NS1	argileux	24	5,5
NS1a	argilo-organique	15	0,1
NS1b	"	14	29
NS2	argileux	30	84,5
NS3	argilo-organique	27	1,9
S65a	argilo-sableux	64	0,14
SA1	sablo-argileux	46	0,3
SA2	sablo-argileux	41	0,03
SO20	organo-argileux	34	3,8
SO22	argileux	"	0,18
SO25	"	45	1
SO27	"	26	4,8
SO29	"	34	22
SO30	"	"	6,08
SO31	argilo-organique	35	11
SO33	argileux	45	8,5
SO34	"	41	11,2
SO37	"	34	10,7
SO38	"	29	29
SO39	"	23	3,8
SO40	argilo-sableux	36	0,4
SO41	argileux	36	35,9
SO42	sablo-organique	19	1
SO43	sablo-organique	20	0,23
SO44	argileux	38	20
SO45	"	49	16
SO46	"	45	32
SO47	"	44	10
SO48	"	42	3,5
SO49	"	29	0,21
SO50	organo-sableux	"	0,72
SO51	"	17	0,52
SO52	"	40	1
SO53	"	29	1,6
SO54	"	41	2,8
SO55	"	37	3,1
SO57	"	50	0,32
SO58	sablo-argileux	38	0,3
SO59	"	33	0,23
SO60	argileux	49	0,22
SO61	argileux	34	1,9
SO63	argilo-organique	58	0,5
SO65	argilo-sableux	56	0,7

1	A	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE
		MB4	MB4a	MIP	MO1	MO3	MO5	MO7	MO8	MV1	MV2	MV3	MV4	MV5		
2	ACAS ACHNANTHES AFF. SACCOLA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	ACE ACHNANTHES CLEVEI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	ACEN ACHNANTHES ENGBRECHTII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,27	0	0
5	ACIF ACHNANTHES INFLATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	ACPR ACTINELLA PERONIOIDES	0	0	0	0,22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	ACSH ACHNANTHES SUBHUDSONIS	0	0	0	0	0	0	0,22	0	0	0	0	0	0	0	0
8	ACTH ACHNANTHES THERMALIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	AD ACHNANTHES DELICATULA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	AEX ACHNANTHES EXIGUA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	AEXA ACHNANTHES EXIGUA EXIGUA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23,83	0,73	61,37	4,45	0	0,55
12	AEXE ACHNANTHES EXIGUA ELLIPTICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0,47	17,82	0	25,76	15,98	0	0,47
13	AGRI ACHNANTHES GRISHUNA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,05	0	0	0	0	0
14	ALA ACHNANTHES LANCEOLATA	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,12	0	0	0
15	ASB ANOMOEOEONES BRACHYSIRA	0	0,21	1,01	0,22	0,25	0	1,52	0	0,18	0,58	0	0	0	0,31	0
16	AY AMPHORA LYBCA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	CAB CALONEIS BACILLUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,08	0	0	0
18	CAI CALONEIS INCOGNITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0,16	0	0,24	0	0	0	0,18
19	CCP CYCLOTELLA PSEUDOSTELLIGERA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	CD COCCONEIS DIMINUTA	0	0	0	0	0	0	0	0	0,31	0	0,12	0,12	0,13	0	0,16
21	CONO COSCINODISCUS NORMANNI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	COPE COCCONEIS PEDICULUS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,15	0	0	0,13	0	0
23	COS COCCONEIS SCUTELLUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	CP COCCONEIS PLACENTULA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,13	0	0,16
25	CYCS CYCLOTELLA STELLIGERA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	CYDI CYCLOTELLA DISTINGUENDA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	CYEL CYMBELLA ELGINENSIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	CYHU CYMBELLA HUSTEDTII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	CYL CYMBELLA GRACILIS	0	0	2,78	0	0	0	0	0	0,18	0,44	0,24	0,08	0,81	0,82	0,47
30	CYLN CYMBELLA LANCEOLATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	CYME CYMBELLA MESIANA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	CYMG CYCLOTELLA MENEGRINIANA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	CYML CYMBELLA SILESIACA	0,27	0,42	3,28	0	0	0	0	0	2,03	0,16	0,73	0,08	0,94	0,93	1,40
34	CYMT CYMBELLA MINUTA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0
35	CYNA CYMBELLA NAVICULIFORMIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	CYO CYMBELLA OBSCURA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	CYOC CYCLOTELLA OCELLATA	0	0	0	0	0,49	1,38	0	1,85	0,82	0	0,24	0	0	0	0,16
38	CYSL CYMBELLA SIMILIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,18	0,16
39	CYTR CYMBELLA CUSPIDATA	0	0	0	0,88	1,23	0,35	0	0	0,70	0,15	0,24	0,19	0,13	0	1,84
40	DS DIPLOEIS SUBOVALIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,13	0	0
41	DSB DENTICULA SUBTILIS	0	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
42	EAPA EUNOTIA PALUDOSA PALUDOSA	0	15,40	2,78	0,22	0	0	0,87	0	0	0	0	0	0	0	0
43	ENAA ENTOMONEIS AFF. ALATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44	EPMI EUNOTIA IMPLICATA	0,27	0	0	0	0	0	0	0	0	0,15	0	0	0	0	0
45	EUAP EUNOTIA AFF. PIRLA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
46	EUAR EUNOTIA ARCUS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47	EUAS EUNOTIA ASTERIONELLOIDES	0,27	0,42	8,96	0	0	0	0	0	0	2,27	0,81	0,08	0,27	0	0,78
48	EUCB EUNOTIA CIRCUMBOREALIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
49	EUFP EUNOTIA EPTHEMIOIDES	0	0	0	0	0	0	0	0	0,18	0	0	0,08	0	0	0
50	EUF EUNOTIA FABA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
51	EUFF EUNOTIA FALLAX FALLAX	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52	EUFL EUNOTIA FLEXUOSA	3,12	1,04	3,28	0	0	0	0,22	0	0	0,15	0	0,12	1,01	0,47	0
53	EUHX EUNOTIA HEXAGLYPHIS	2,44	14,28	0	4,42	0,49	0	3,37	0	0	0	0	0	0,13	0,47	0
54	EURN EUNOTIA INTERMEDIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,18
55	EUIS EUNOTIA INCISA	11,85	11,03	8,33	10,17	4,18	0,35	34,93	0,55	2,03	9,80	1,70	0,99	3,24	3,33	2,96
56	EUL EUNOTIA BILUNARIS	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0,00	0	0	0	0
57	EULM EUNOTIA BILUNARIS MUCOPHILA	0,27	0,83	2,78	0	0	0	0	0	0	0,15	0	0	0	0	0
58	EUMN EUNOTIA MINOR	0	0	0	0	0	0	0	0	0,82	0	0	0	0	0	0
59	EUMT EUNOTIA MONODON TROPICA	0	0,83	0,25	0	0	0	0	0	0	0,15	0	0	0	0	0
60	EUP EUNOTIA PECTINALIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,13	0	0,16
61	EUPR EUNOTIA PRAERUPTA	17,48	0,83	0,00	0,88	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
62	EUPU EUNOTIA PECTINALIS UNDULATA	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
63	EUPV EUNOTIA PECTINALIS VENTRALIS	3,52	3,12	0,25	0	0	0	0	0	0,18	0,15	0	0,12	0,27	0,31	0,31
64	EURA EUNOTIA RABENHORSTII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
65	EUSA EUNOTIA SUBARCUATOIDES	0	0	0,78	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
66	EUSD EUNOTIA SUDETICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0,18	0	0	0	0,13	0	0,16
67	EUSI EUNOTIA SIOLI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
68	EUSV EUNOTIA PSEUDOVENERIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
69	EUTN EUNOTIA TENELLA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
70	EUVE EUNOTIA VENERIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
71	EUWU EUNOTIA WUMBAE	0	0,42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
72	EUZD EUNOTIA ZYGODON DEPRESSA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
73	EUZE EUNOTIA ZYGODON ELONGATA	0	0,21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
74	EUZI EUNOTIA ZYGODON	2,17	1,48	0	1,10	0	0	0	0	0	0,15	0	0	0,13	0,47	0
75	EZ EPTHEMIA ADNATA	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
76	FB FRAGILARIA BREVISTRATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
77	FBIC FRAGILARIA BICEPS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
78	FCA FRAGILARIA CAPUCINA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
79	FCAV FRAGILARIA CAPUCINA VAUCHERIAE	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	FL FRAGILARIA LEPTAUSTORON	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
81	FLD FRAGILARIA LEPTOSTAURON DUBIA	0	0	0	0	0	0	0	0	6,25	18,13	3,78	4,29	18,98	0,82	6,88
82	FP FRAGILARIA PINNATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0,55	0	0,24	0	0,40	0	0
83	FRAC FRAGILARIA CONSTRUENS	0	0	0	0	0	0	0	0	1,72	0	0,97	0,25	2,16	0	1,66
84	FRAX FRAGILARIA CONSTRUENS EXIGUA	0	0	0,25	0	0	0	0	0	1,09	0	1,08	0	0	0	0
85	FRC FRUSTULIA RHOMBOIDES	0	0	0	0	0	0	0	0	0,18	0,15	0	0	0	0	0
86	FRCV FRAGILARIA CONSTRUENS VENTER	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,75	0	0	0,27	0	0
87	FRD FRAGILARIA DELICATISSIMA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
88	FRDE FRAGILARIA DENSESTRATA	0	0	0	0	0	0,89	0	0	1,09	0,58	0,38	0	0,27	0,18	0,18
89	FRH FRUSTULIA RHOMBOIDES	43,90	32,99	10,88	8,95	0	0,88	7,29	4,12	2,03	2,41	0,85	0,25	2,18	4,11	2,10
90	FRJ FRAGILARIA JAVANICA	0	0	0,22	0	0	0	0	0	0	0,73	0	0,08	0,13	0,18	0
91	FRNE FRAGILARIA NEOPRODUCTA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
92	GC GOMPHONEMA CLEVEI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,15	0	0	0,27	0	0,18
93	GG GOMPHONEMA GRACILE	0,54	0,21	2,02	0	0	0	0	0	0,82	0	0,12	0,19	0,87	0,16	0,78
94	GLIN GOMPHONEMA LINGULATIFORME	0	0	0	0	0	0	0	0	0,18	0,44	0,12	1,27	9,04	0	0,31
95	GGGL GOMPHONEMA GRACILOIDES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,32	0	0	0	0	0
96	GOMO GOMPHONEMA MONTANUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
97	GOMT GOMPHONEMA MINUTUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
98	GP GOMPHONEMA PARVULUM	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0,31	0,15	0	0,08	0	0	0,47
99	GV															

	A	BJ	BK	BL	BM	BN	BO	BP	BQ	BR	BS	BT	BU	BV	BW
1	Exploce	\$048	\$049	\$051	\$052	\$053	\$054	\$055	\$057	\$058	\$059	\$060	\$061	\$063	\$065
111	MIT AULACOSEIRA ITALICA TENUISSIMA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
112	MNY AULACOSEIRA NYGAARDII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
113	NAAE NAVICULA AFF ELEPHANTIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
114	NABA NAVICULA BALCANICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
115	NAC NAVICULA PLACENTULA	0	0,40	2,88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,28
116	NACA NAVICULA CAPITATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
117	NACO NAVICULA CONCINNA	0	0	0	0	0	0	0	0,85	0,44	0,23	0,94	0,17	0,63	2,33
118	NACR NAVICULA CAPTORADIATA	0	2,01	1,21	5,45	1,85	1,23	1,81	0	0	0	0	0	0	0
119	NADE NAVICULA DENSE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120	NADI NAVICULA DIVERSIPUNTATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
121	NAEX NAVICULA EXIGUA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,63	0
122	NAGA NAVICULA GASTRIFORMIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
123	NAHA NAVICULA HALOPHILA	0	0	0	0	0	0	0	0,22	0	0	0	0	0	0
124	NAHE NAVICULA HEIMANSII	0	0	0,73	11,48	4,40	8,87	12,94	0	0	0	0	0	1,05	4,86
125	NAI NAVICULA MINIMA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
126	NAKO NAVICULA KOTSCHYI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
127	NALP NAVICULA LAEVISSIMA PERHIBITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
128	NANY NAVICULA NYASSENSIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
129	NAOM NAVICULA OMEGOPSIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,42	0,52
130	NAPL NAVICULA PLATYCEPHALA	0	0	0	0	0	0	0,22	0	0	0	0,47	0	0,63	0,26
131	NASC NAVICULA SCHOENFELDII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
132	NAU NAVICULA MUTICA	0	0	0	0	0	0	0,22	0	0	0	0,47	0	0,63	0,26
133	NAV NAVICULA LAEVISSIMA	0,17	0	0	0	0	0	0	0	0	0,23	1,05	0,17	0	0,26
134	NAVO NAVICULA OBLIGATA	0	0	0,48	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0
135	NAVR NAVICULA VIRIDULA ROSTELLATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,07
136	NBA NAVICULA BACILLUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,83	0,78
137	NCN NAVICULA CONTENTA	0	0,80	0	0	0,23	0	0	0	0	0	0	0	1,88	0
138	NCO NAVICULA COHNII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,21	0
139	NCON NAVICULA CONSTANS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,26
140	NCOO NAVICULA COCCONEIFORMIS	0	1,81	0	0	0	0,48	0	0	0	0	0	0	0	0
141	NCU NAVICULA CUSPIDATA	0,17	0	0	0	0	0	0	0	0,44	0	0,70	0	0	0,26
142	NEAF NEIDIUM AFFINE	0	0,80	0,97	1,38	0	1,48	1,48	0,22	0	0	0,23	0	0	0
143	NEAP NEIDIUM AMPLIATUM	0,17	0	0	0,39	0,70	0	0,42	0,22	0,85	0	0,23	0,17	0,21	0,52
144	NEI NEIDIUM IRIDIS	0	0	0,24	0,88	1,39	1,23	0,85	0,22	0,22	0	0,84	0,34	0,21	0,26
145	NEXF NAVICULA EXIGUIFORMIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,04
146	NF NITZSCHIA FRUSTULUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
147	NG NAVICULA GASTRUM	0	0	0	0	0	0,25	0	0,22	0	0	0	0	0,21	0,26
148	NIAM NITZSCHIA AMPHIBIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,23	0	0	0
149	NIAS NITZSCHIA AFF. SUBDENDICULA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
150	NISU NITZSCHIA SUBACICULARIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,26
151	NMV NAVICULA MUTICA VENTRICOSA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
152	NPP NAVICULA PUPULA	0,51	0,40	0	0,39	0,70	0,48	1,70	1,09	0	0,70	0,70	0,34	0,21	0,52
153	NRA NAVICULA RADIOSA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
154	NRAD NAVICULA RADIOPUNTATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
155	NRON NAVICULA ROTUNDA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
156	NRT NAVICULA CRYPTOTENELLA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,26
157	NSM NAVICULA SEMINULUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,05	0,26
158	NSSU NAVICULA SEMINULOIDES	3,42	0	0	0,18	0	0	0	11,07	5,87	0,70	1,40	0	0	0,26
159	NSUA NAVICULA SUBARVENSIS	0	0,80	18,98	4,86	0	0,48	0	0	0	0	0	0	0	0
160	NTEP NITZSCHIA EPIPHYTICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
161	NTGR NITZSCHIA GRACILIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
162	NTIT NITZSCHIA INTERMEDIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,26
163	NUSA NAVICULA AMERICANA	0,17	0	0	0	0	0	0	0	0,22	0	0	0	0	0
164	ORRO ORTHOSEIRA ROSEANA	0	0	0	0,18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,26
165	PA PINNULARIA ACROSOPHERIA	0	0	0	0	0	0	0	0,22	0	0	0	0	0,21	0
166	PANG PINNULARIA ANGLICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
167	PBNA PINNULARIA BRAUNIANA	0,17	0,40	0	1,38	2,55	2,98	4,24	0,85	0	0,23	0	0	0	0,26
168	PBR PINNULARIA BRAUNII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
169	PBRA PINNULARIA BRAUNII AMPHICEPHALA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
170	PBRE PINNULARIA BREVICOSTATA	0,17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
171	POIB PINNULARIA DIVERGENS BACILLARIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
172	PIB PINNULARIA BOREALIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,42
173	PICA PINNULARIA VIRIDIFORMIS	2,48	0	0	0,23	0,25	0,64	5,32	4,38	0,83	5,98	1,03	0,63	0	0
174	PIDE PINNULARIA DIVERGENS ELLIPTICA	0,51	0	0	0,87	3,24	1,23	1,08	0,85	0,22	0,47	0,84	0	0,21	0
175	PIDI PINNULARIA DIVERGENS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
176	PIDM PINNULARIA DIVERGENS MALAYENSIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,17	0	0
177	PIEP PINNULARIA EPISCOPALIS	0	0	0	0	0	0	0	0,87	0,87	0	0,47	0	0	0
178	PIGF PINNULARIA GIBBIFORMIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
179	PIGI PINNULARIA GIBBA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
180	PIGL PINNULARIA SUBGIBBA	1,88	0,40	0	0,97	3,94	1,97	3,18	1,09	0,87	1,63	0,47	0,68	1,88	0,26
181	PILE PINNULARIA LEGUMEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
182	PIMA PINNULARIA MAJOR	0	0	0	0	0	0	0	0	1,09	0	0,23	0,17	0	0
183	PIME PINNULARIA MESOLEPTA	0	0	0	0	0	0	0	0,22	0	0	0	0	0	0,26
184	PIMI PINNULARIA MICROSTAUROURON	0,88	0	0	0,19	1,16	0,74	0,21	0,85	0	1,40	0	2,05	0,84	0
185	PIOB PINNULARIA OBSCURA	0	0,40	3,39	11,98	1,18	1,97	1,27	0	0	0	0	0	0	0
186	PIRU PINNULARIA ACUMINATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
187	PISC PINNULARIA GIBBA SANCTA	0,51	0	0	0	0,48	0	0	0,43	0,22	0	0	0,34	0,21	0
188	PISE PINNULARIA SUBCAPITATA ELONGATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
189	PISU PINNULARIA SUBCAPITATA	0	1,21	0	0	0,46	0	0	0,22	0	0,23	0,23	0,34	1,78	0
190	PITO PINNULARIA STOMATOPHORA	0,88	0	0	0	0	0	0	3,81	1,98	1,16	2,34	0	0,42	0
191	PINBF PINNULARIA BRANDELIFORMIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
192	PSIM PINNULARIA SIMILIFORMIS	0	2,01	0	0	0,23	0	0,42	0	0	0	0	0	0	0
193	PSUR PINNULARIA SUBCAPITATA	0	0	0	0,88	0,70	0,25	1,27	0	0	0	0	0	0	0
194	SA STAURONEIS ANCEPS	0,17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,23	0	0	1,04
195	SGRA STAURONEIS ANCEPS GRACILIS	0,77	0	0	0	0	0,25	0,21	1,30	0,44	0,47	1,84	0,88	0,21	0,52
196	SK STAURONEIS KRIGERII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
197	SPH STAURONEIS PHOENICENTERON	0,34	0	0	0	0	0	0	0,43	0,22	0,70	1,40	0	0,21	0
198	STA STEPHANODISCUS ASTREA	0,51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
199	STAI STEPHANODISCUS ASTREA	0,17	2,01	0	0	0,23	0,25	0	0,87	0	0,23	3,04	0,34	0,84	1,55
200	STAM STEPHANODISCUS ASTREA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
201	STAW STAURONEIS WISLOUCHII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,52
202	STCR STAURONEIS CRUCICULA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
203	STEC STENOPTEROBIA CURVULA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
204	STSM STAURONEIS SMITHII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,26
205	SUCA SURIPELLA CAPRONII	0	0	0	0	0	0	0	0,87	0	2,33	0,23	0	0	0
206	SUCO SURIPELLA CONSTRICTA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
207	SUE STENOPTEROBIA DELICATISSIMA	0	0,40	0	0,39	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0
208	SUEN SURIPELLA ENGLERI	0	0	0	1,17	0,23	0	0,42	0	0	0	0	0	0	0
209	SUL SURIPELLA LINEARIS	0	0	0,24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210	SURO SURIPELLA ROBUSTA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
211	SYDO SYNEDRA DORSIVENTRALIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,47	0	0,42	2,72
212															

Annexe VIII : Distribution spatiale des diatomées considérées comme caractéristiques de la tranche d'eau (Fig. A1-A5), du pH (Fig. A6-A7) et du caractère trophique (Fig. A8-A9)

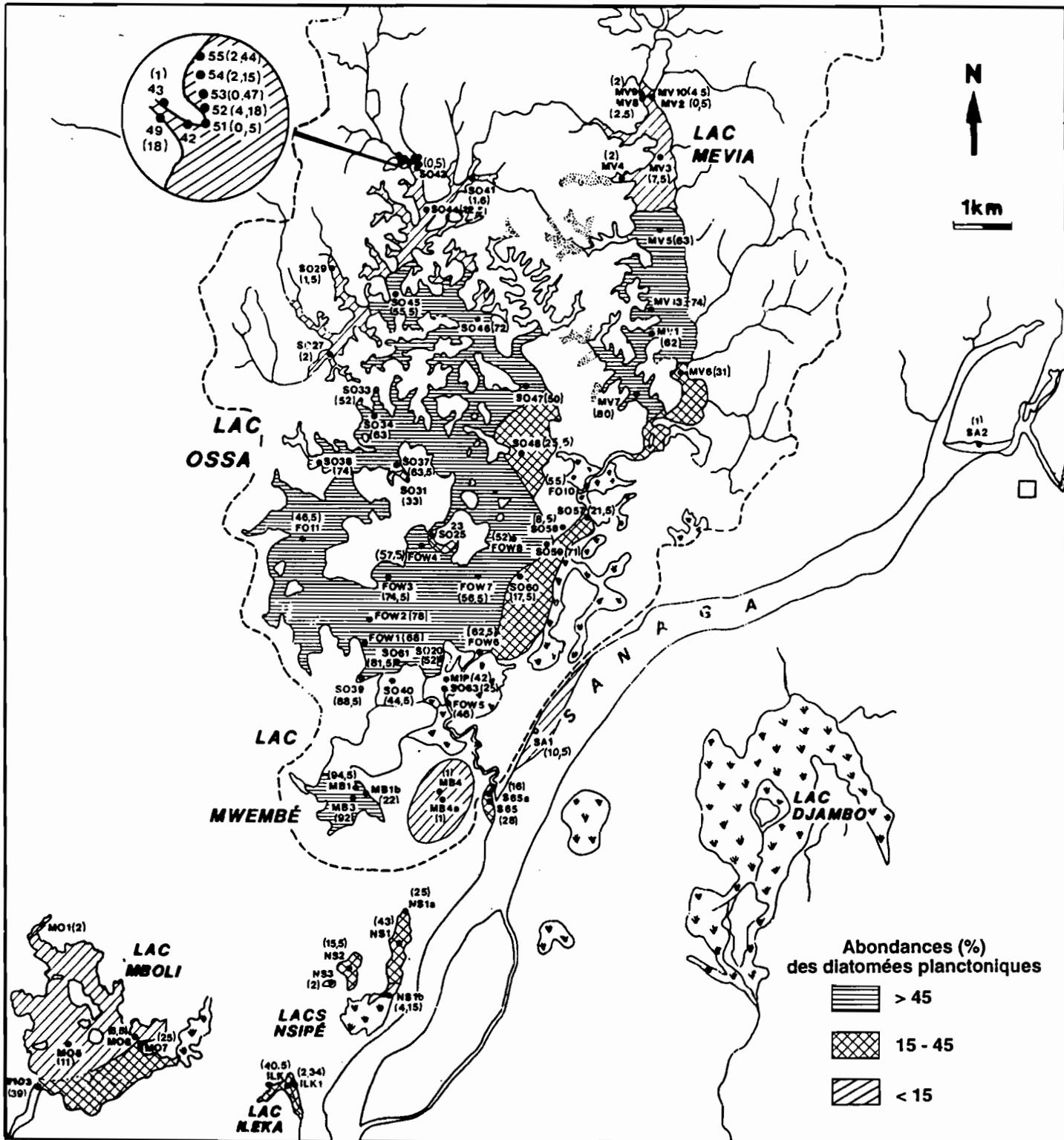


Fig. A1 : Distribution spatiale des diatomées planctoniques.

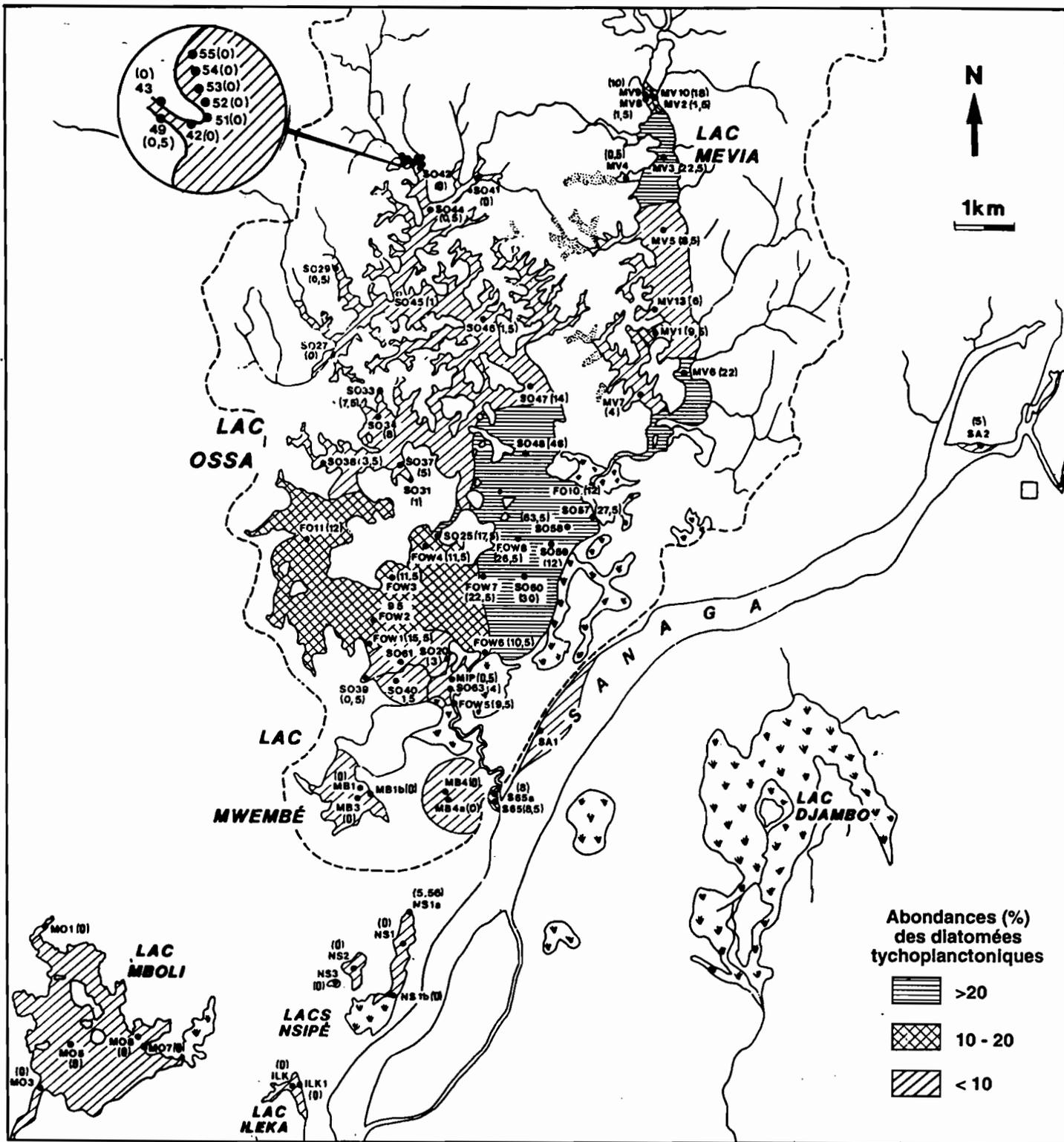


Fig. A2 : Distribution spatiale des diatomées tychoplanctoniques.

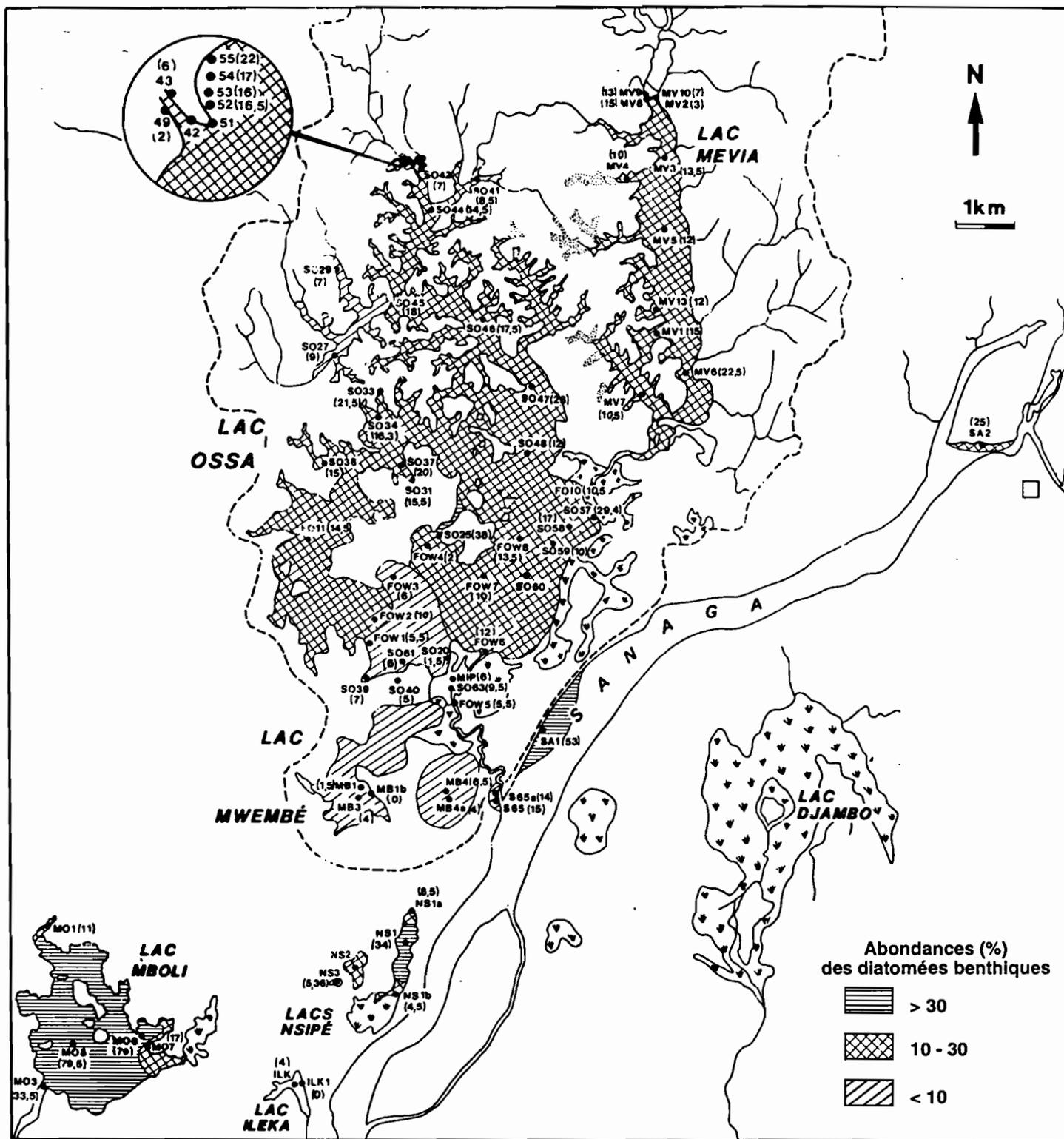


Fig. A3 : Distribution spatiale des diatomées benthiques

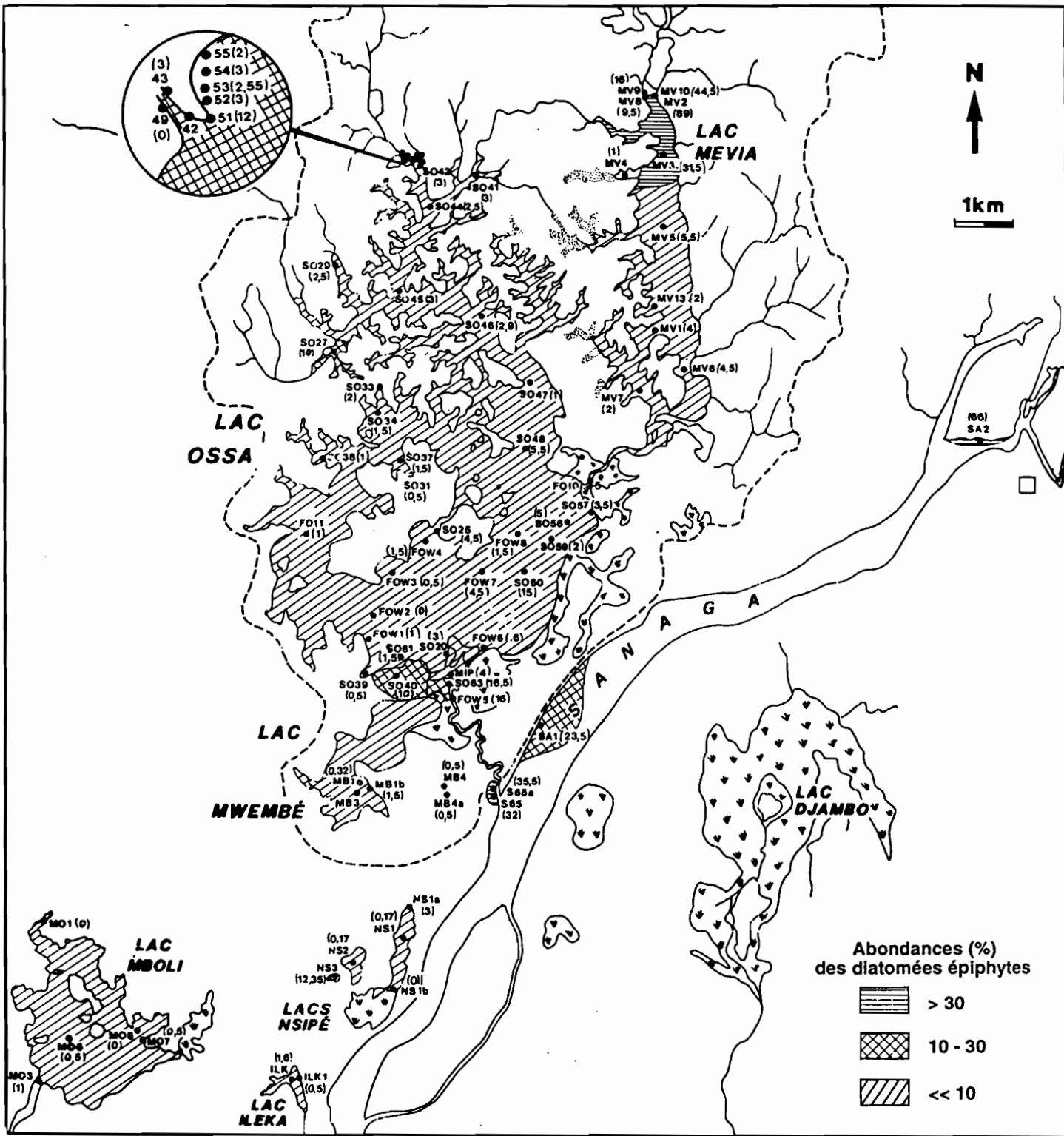


Fig. A4 : Distribution spatiale des diatomées épiphytes

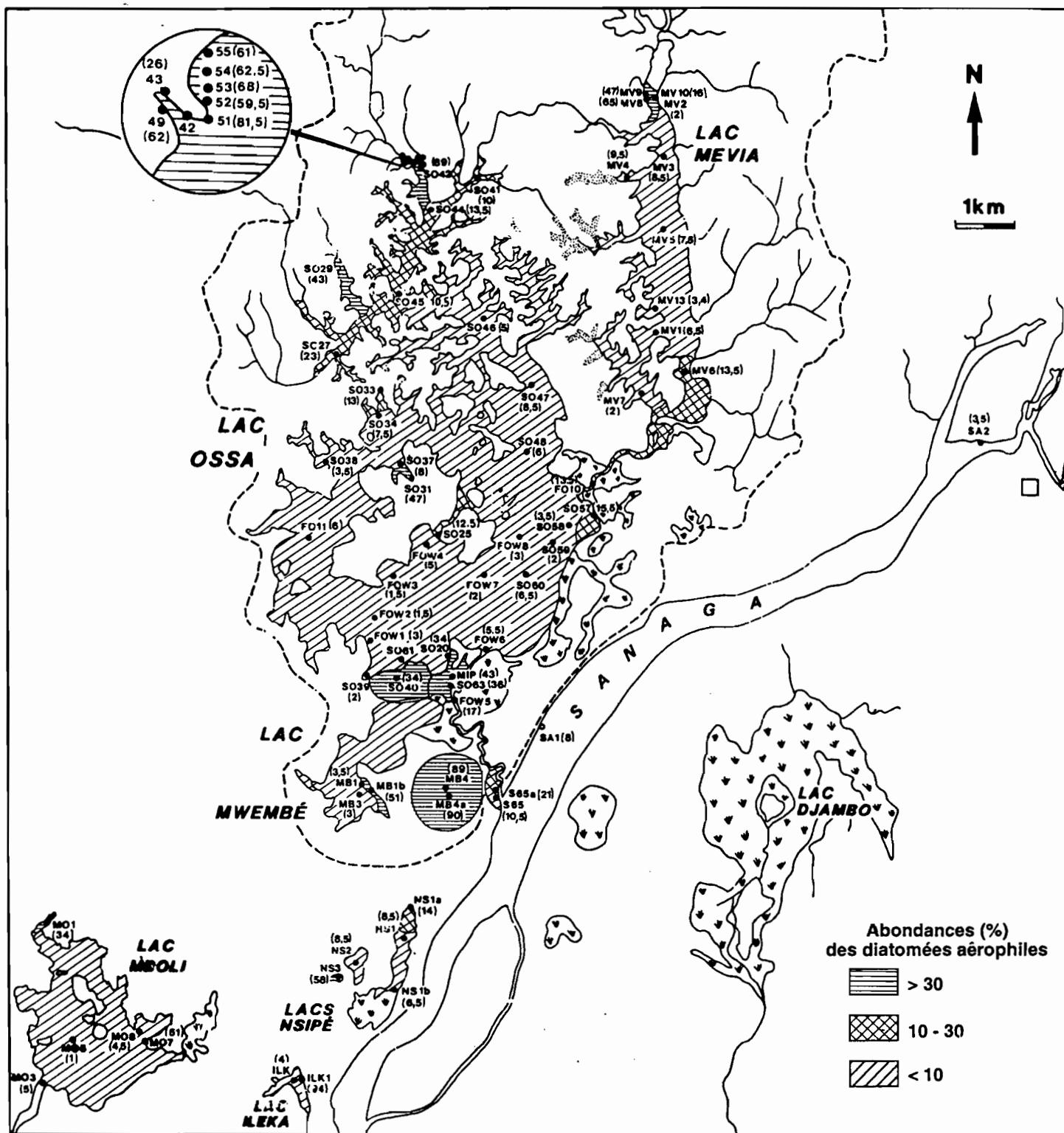


Fig. A5 : Distribution spatiale des diatomées aérophiles.

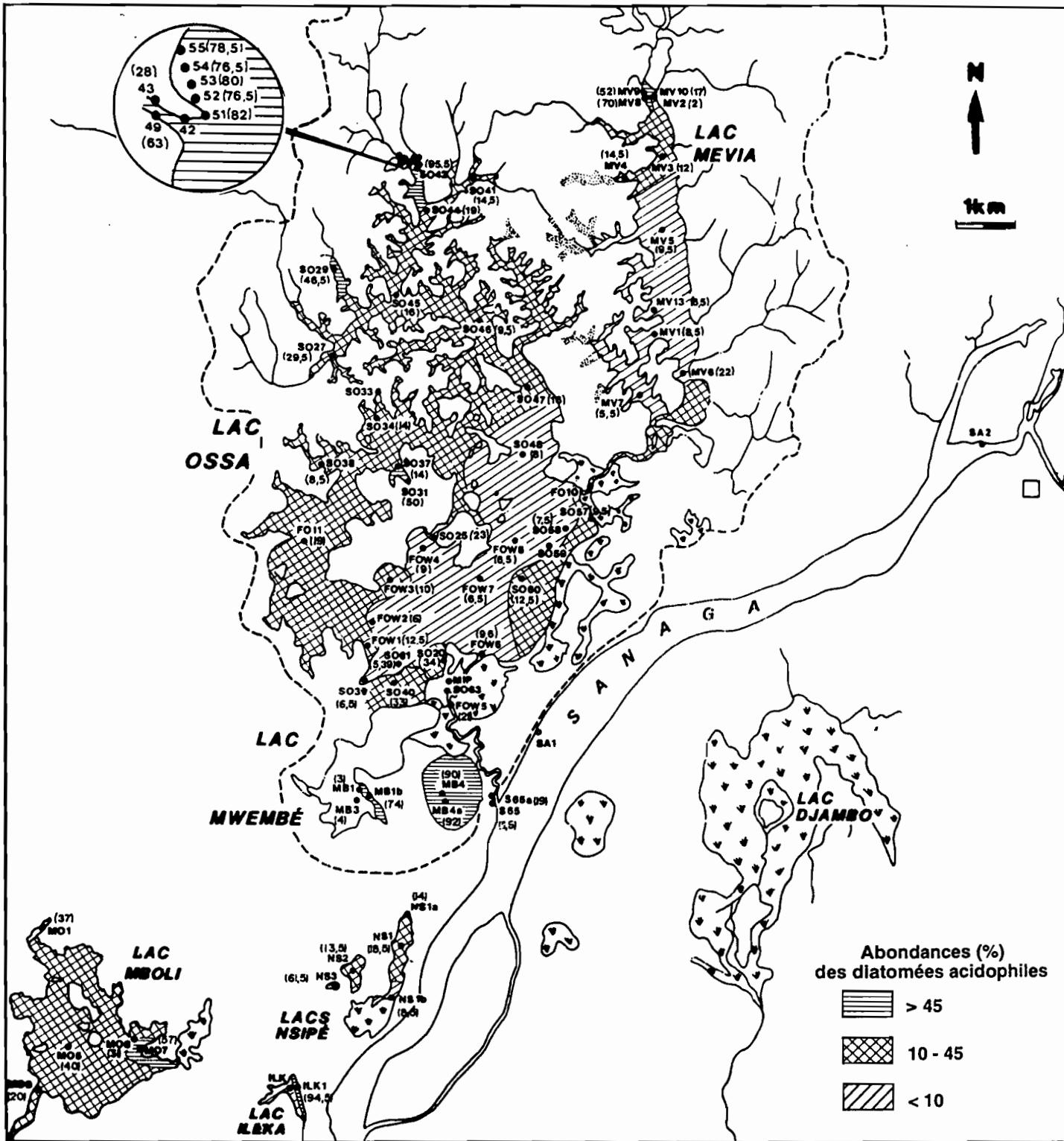


Fig. A6 : Distribution spatiale des diatomées acidophiles.

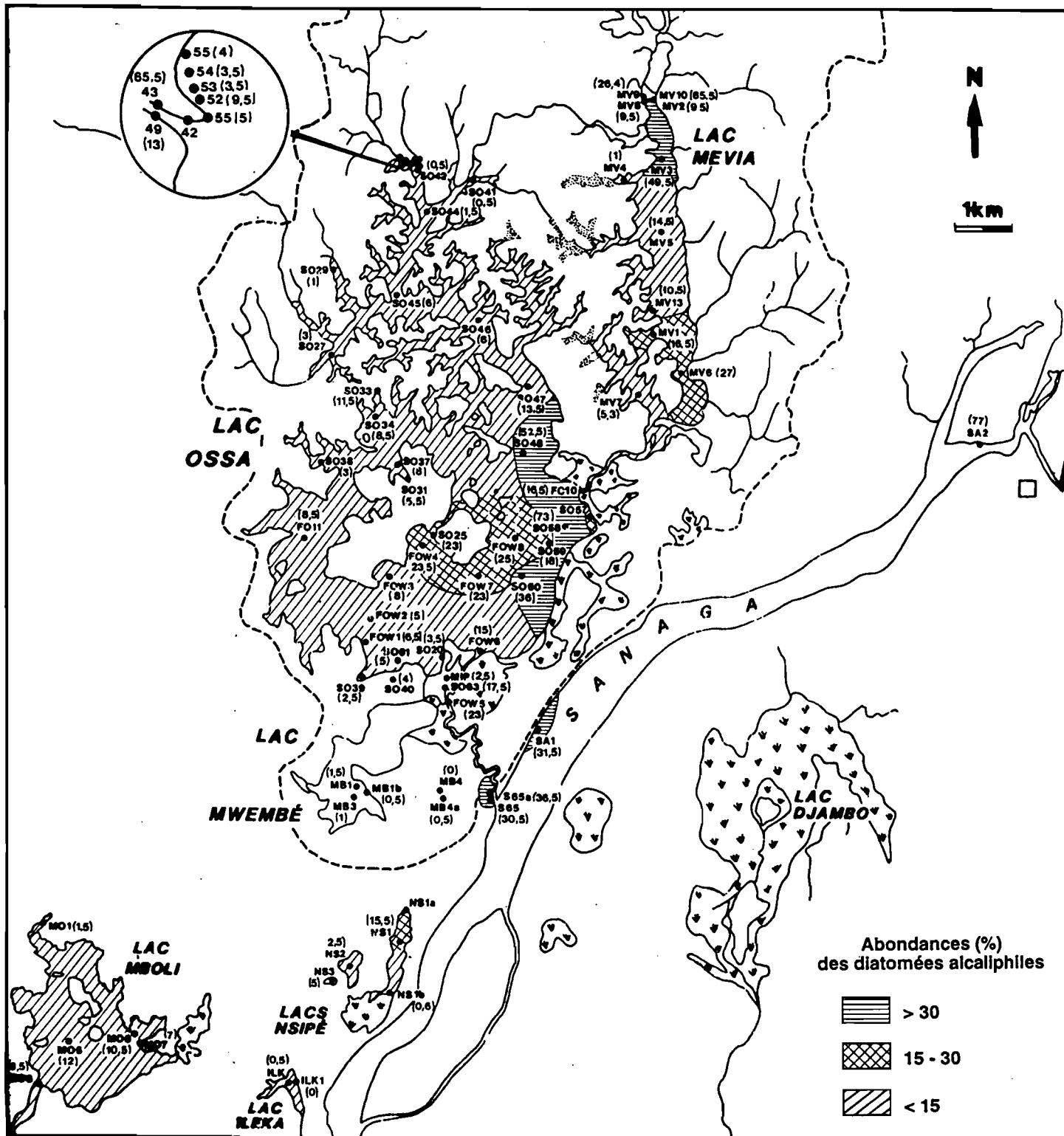


Fig. A7 : Distribution spatiale des diatomées alcaliphiles.

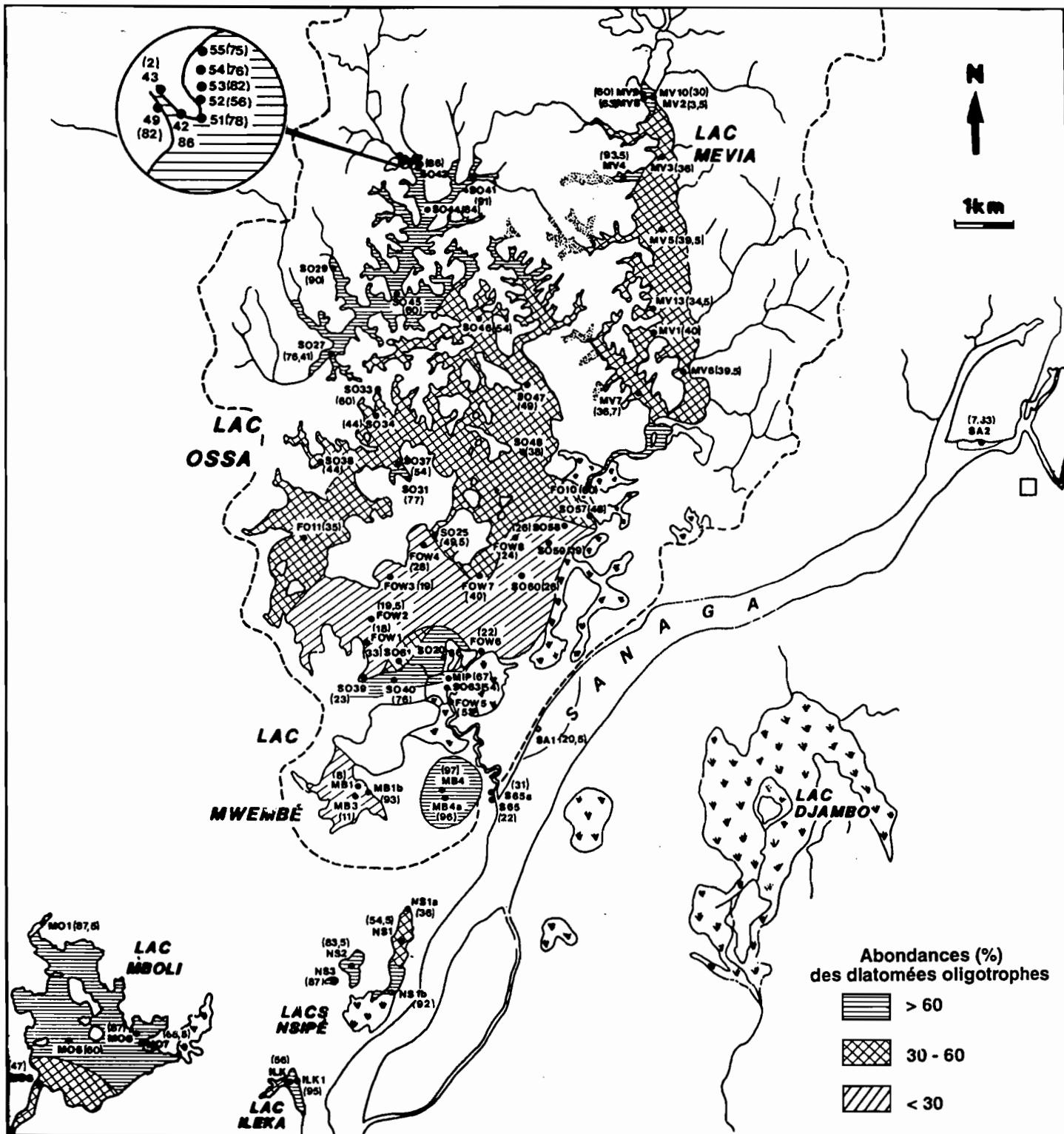


Fig. A8 : Distribution spatiale des diatomées oligotrophes.

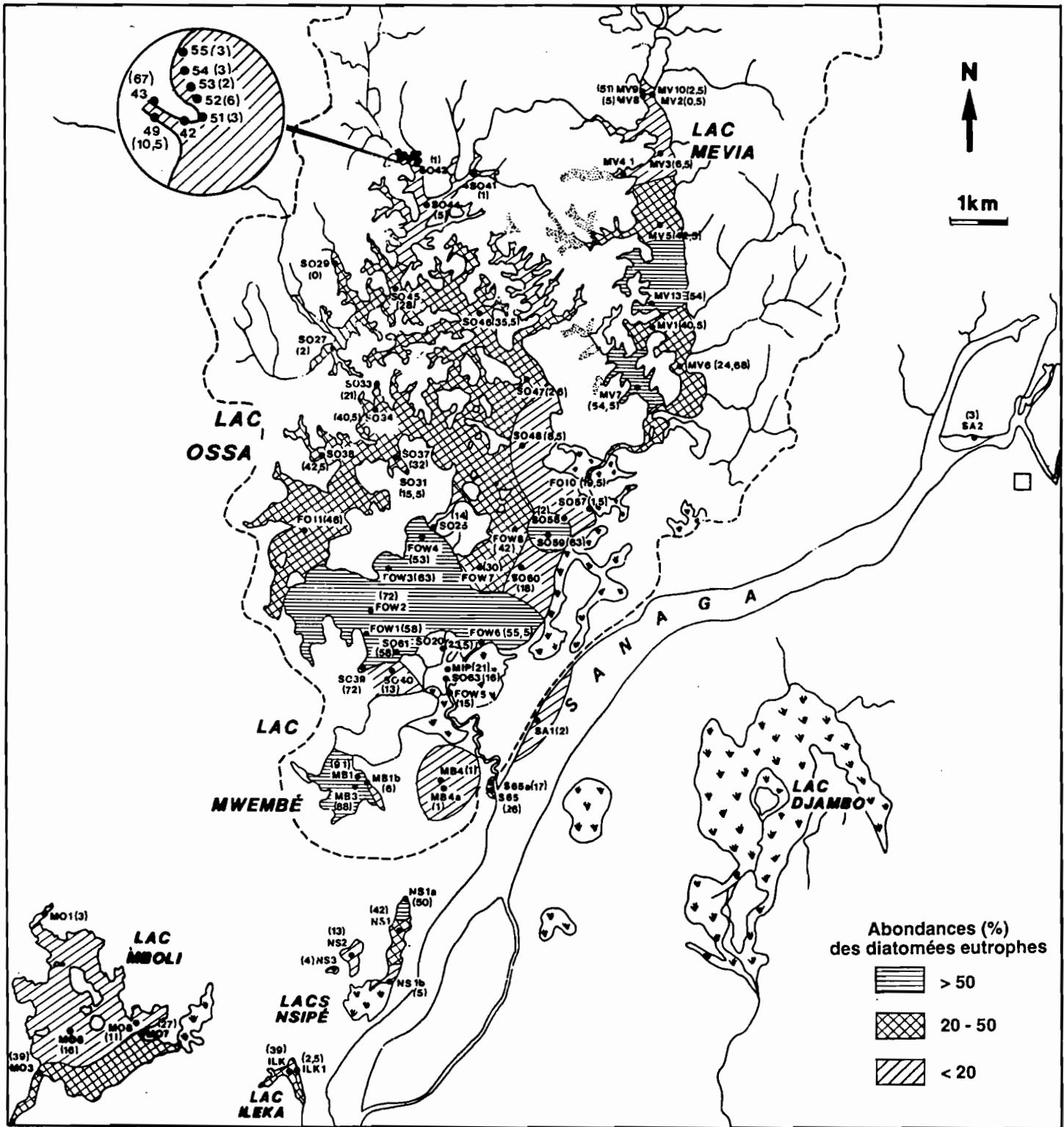


Fig. A9 : Distribution spatiale des diatomées eutrophes.

Annexe IX : Tableau des abondances (%) des espèces de diatomées dans la carotte OW4

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1.	Espèce	0001	0006	0010	0014	0017	0019	0024	0030	0037	0041	0046	0063	0066	0067	0069	0082
2	ABR ACHNANTHES BREVIPES	0	0	0	0	0,40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	ACH ACHNANTHES HELVETICA	0	0	0	0,19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	ACIF ACHNANTHES INFLATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	ACR ACHNANTHES ROSENSTOCKII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	ACSH ACHNANTHES SUBHUNDONIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,23	0	0	0	0	0,16	0
7	ACT ACHNANTHES TRINODIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	AD ACHNANTHES DELICATULA	0	0	0	0	0,81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	AEX ACHNANTHES EXIGUA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	AEKE ACHNANTHES EXIGUA ELLIPTICA	0	0	0	0,19	0	0	0	0	0	0,23	0	0	0	0	0,16	0
11	AGRI ACHNANTHES GRISHUIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0,28	0	0	0	0	0	0	0
12	AHK ACHNANTHES KRYOPHILA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	ALA ACHNANTHES LANCEOLATA	0	0	0	0	0	0	0,27	0	0	0	0,27	0	0,18	0	0	0
14	ASB ANOMOONEIS BRACHYSIRA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	AUC AULACOSEIRA CRENULATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	AULA AULACOSEIRA LAEVISSIMA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	AY AMPHORA LYBICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	CAB CALONEIS BACILLUM	0	0	0	0	0	0,57	0	0	0	0,23	0,27	0,43	0	0	0,16	0,83
19	CAI CALONEIS INCOGNITA	0,52	0	0,26	0,56	0,81	0	0,53	0,54	1,38	0,35	0	0,22	0,18	0,19	0,82	1,43
20	CAS CALONEIS SCHURMANNIANA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	CONO COSCINODISCUS NORMANNI	0	0	0,14	0	0	0	0,27	0	0	0	0,14	0	0	0,28	0	0
22	CP COCCONEIS PLACENTULA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	CSL CALONEIS SILICULOSA LIMOSA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	CYAA CYMBELLA ALPINA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	CYCS CYCLOTELLA STELLIGERA	0	0	0	0	0	0	0	0,54	0	0	0	0	0	0	0	0
26	CYEL CYMBELLA ELGINENSIS	0,26	0	0	0	0	0	0,27	0,54	0	0	0	0	0	0	0	0
27	CYL CYMBELLA GRACILIS	0	0	0,26	0	0	0,26	0	0	0	0,23	0	0	0	0	0	0
28	CYLN CYMBELLA LANCEOLATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	CYME CYMBELLA MESIANA	0	0,25	0	0	2,82	0	1,80	1,89	1,11	0,23	0,27	0,43	0	0,19	0	0,83
30	CYMG CYCLOTELLA MENEGRINIANA	0	0,26	0	0,19	0	0	0,27	0	0	0	0	0	0	0	0	0,48
31	CYML CYMBELLA SILESIIACA	0,39	0,82	0	1,31	1,21	1,14	1,07	0,27	0,55	1,50	1,08	1,83	0,38	1,41	1,83	0
32	CYOC CYCLOTELLA OCELLATA	0,78	0,26	0	0	1,01	0,28	0	0,27	0,83	0,48	1,08	0,85	0,18	0	0,33	1,90
33	CYTR CYMBELLA CUSPIDATA	0	0	0,28	0,19	0	0	0	0,54	0	0,23	0,14	0,22	0	0,56	0,33	0,32
34	CYY CYMBELLA CYMBIFORMIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	DKU DENTICULA KUETZINGII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	DS DIPLOEIS SUBOVALIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	EEPA EUNOTIA PALUDOSA PALUDOSA	0	0	0	0	0,40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	EPMA E. PECTINALIS MINOR INTERMEDIA	0	0	0	0	0,40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	EUA EUNOTIA ASTERIONELLOIDES	0	0	2,38	0,84	0	0,71	0,27	0,27	0,41	0	0	0	0	0	0	0
40	EUBO EUNOTIA BONSSENSIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,22	0	0	0	0
41	EUEP EUNOTIA EPITHEMOIDES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,23	0	0	0	0	0	0
42	EUFF EUNOTIA FALLAX FALLAX	0	0	0	0	0	0	0,27	0	0	0	0	0	0	0	0	0
43	EUFL EUNOTIA FLEXUOSA	0	0,75	0,28	0	0,40	0	0,53	0,14	0,55	0,23	0,54	0	0,38	0	0,16	0
44	EUHX EUNOTIA HEXAGLYPHIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45	EUMN EUNOTIA INTERMEDIA	0	0	0	0	0	0	0,53	0	0	0	0	0	0	0	0	0
46	EUIS EUNOTIA INCISA	2,20	3,38	2,10	4,11	0,80	2,42	2	1,35	0	3,24	2,03	1,29	0,81	0,38	0,88	0,32
47	EUU EUNOTIA LINEOLATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48	EUMA EUNOTIA PECTINALIS M. IMPRESSA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
49	EUMN EUNOTIA MINOR	0	0	0	0	0	0	1,33	1,08	1,84	0	1,08	0,88	0	0,47	0	0,32
50	EUMT EUNOTIA MONODON TROPICA	0,26	0	0,28	0	0,81	0	1,47	0,27	0,28	0	0,27	0	0	0	0,16	0,32
51	EUP EUNOTIA PECTINALIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52	EUPR EUNOTIA PRAERUPTA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
53	EUPU EUNOTIA PECTINALIS UNDULATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
54	EUPV EUNOTIA PECTINALIS VENTRALIS	0	1,00	0	0,19	2,82	0,57	0	1,22	1,52	0,35	2,71	1,08	0,38	0	0,33	0,83
55	EURH EUNOTIA RHOMBOIDEA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
56	EUSD EUNOTIA SUETICA	0,26	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0,23	0	0	0	0	0	0
57	EUSE EUNOTIA SEPTENTRIONALIS	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
58	EUSV EUNOTIA PSEUDOVENERIS	0	0	0	0,19	0	0	0	0	0,28	0	0	0	0,55	0	0,16	0,83
59	EUTN EUNOTIA TENELLA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60	EUWU EUNOTIA WUMBAE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
61	EUZI EUNOTIA ZYGODON	0,28	0	0	0,19	0	0	0	0	0	0,89	0	0	0	0	0	0
62	EZ EPITHEMIA ADNATA	0	0	0	0	0	0	0	0,27	0	0	0	0	0	0	0	0
63	FB FRAGILARIA BREVISTRATA	0	0	0	0	0	0,85	0	0	0,28	0	0	0	0	0	0	0
64	FE FRAGILARIA ELLIPTICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
65	FLD FRAGILARIA LEPTOSTAURON DUBIA	5,57	8,08	5,33	10,55	18,15	11,88	11,47	12,58	17,43	11,88	14,07	13,04	11,84	11,49	12,84	23,97
66	FL F. LEPTOSTAURON LEPTOSTAURON	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
67	FP FRAGILARIA PINNATA	0	0	0	0,19	0,81	0	0	0	0,28	0	0	0,88	0,55	0	0,85	4,13
68	FRAC FRAGILARIA CONSTRUENS	1,55	0,87	0	1,21	2,82	0,57	0,53	1,08	4,98	3,12	5,41	4,98	4,83	3,58	5,55	4,44
69	FRAX FRAGILARIA CONSTRUENS EXIGUA	6,22	4,23	0,84	3,38	7,48	4,84	2,4	2,98	1,11	1,18	0,81	1,40	1,48	0,56	1,47	0,32
70	FRC FRUSTULIA RHOMBOIDES CRASSINERVA	0	0	0	0,19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
71	FRCV FRAGILARIA CONSTRUENS VENTER	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
72	FRD FRAGILARIA DELICATISSIMA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
73	FROE FRAGILARIA DENSESTRIATA	2,59	1,99	1,12	2,05	1,21	4,58	0,27	2,17	0,83	1,85	0,14	0,43	1,18	0,38	0,82	1,59
74	FRH FRUSTULIA RHOMBOIDES RHOMBOIDES	2,48	2,11	4,07	4,88	7,28	8,70	7,60	3,25	2,49	3,12	0,81	0,97	1,09	1,04	2,77	3,33
75	FRJ FRAGILARIA JAVANICA	0,39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
76	FRNE FRAGILARIA NEOPRODUCTA	0	0	0	0	0	0	0,27	0	0	0	0	0	0	0	0	0
77	FRR FRUSTULIA RHOMBOIDES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
78	FV FRAGILARIA VIRESCENS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
79	GAC GOMPHONEMA ACUMINATUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	GCC G. CONSTRICTUM CAPTATUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
81	GG GOMPHONEMA GRACILE	0,28	0,25	0,42	0,28	0,40	0	0,53	0,27	0	0	0,41	0	0,55	0,19	0	0
82	GLN GOMPHONEMA LINGULATIFORME	0,28	0,25	1,28	0,56	0,40	0,28	1,87	2,71	3,80	1,18	1,82	2,37	0,73	2,07	2,53	1,59
83	GOMA GOMPHONEMA ANGUSTATUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
84	GOMI GOMPHONEMA ANGUSTUM	0	0	0	0	0	0,28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	Espeços	0001	0008	0010	0014	0017	0019	0024	0030	0037	0041	0046	0063	0066	0067	0069	0082
85	GP GOMPHONEMA PARVULUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
86	GFSU G.PARVULUM SUBELLIPTICA	0	0	0	0	0,40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87	GVP GOMPHONEMA VIBRIO PULVINATUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
88	HA HANTZSCHIA AMPHOXYS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,09	0	0
89	MDA AULACOSEIRA ALPIGENA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90	MEMU AULACOSEIRA MUZZANENSIS	32,26	33,83	40,81	28,57	6,05	18,80	14,53	19,22	15,21	13,87	10,89	8,08	12,39	17,89	15,50	6,87
91	MG AULACOSEIRA GRANULATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0,41	0	0	0,85	0	0,19	0	0
92	MGA A. GRANULATA ANGUSTISSIMA	0,81	0,25	0,70	0	0	0	0	0	0	0	0,88	0	0,18	0	0	0,16
93	MGT AULACOSEIRA GRANULATA TUBULOSA	0,39	0	0,28	0,85	0,81	0,57	0,83	0,54	0,41	0,35	0	0,75	0,46	0,19	0,49	0,63
94	MGV AULACOSEIRA GRANULATA VALIDA	0,52	0,25	0,28	0,84	2,02	0,71	0,53	1,08	1,11	0,89	0,27	0,88	0	0,19	0,24	1,43
95	MI AULACOSEIRA ITALICA	18,58	19,90	19,78	13,82	3,02	14,10	18,13	19,22	20,75	28,71	28,01	30,82	43,35	44,07	34,87	7,14
96	MIS AULACOSEIRA SUBARCTICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
97	MIT AULACOSEIRA ITALICA TENUISSIMA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
98	MNY AULACOSEIRA NYGAARDII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,48	0	0	0
99	NABA NAVICULA BALCANICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0,28	0	0	0	0	0,19	0,18	0
100	NAC NAVICULA PLACENTULA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
101	NAGA NAVICULA GASTRIFORMIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
102	NAHA NAVICULA HALOPHILA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
103	NAIS NAVICULA ISERTII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
104	NAMM NAVICULA MUTICA MUTICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
105	NAPL NAVICULA PLATYCEPHALA	0	0,25	0	0	0	0,28	0	1,49	0,28	0	0,27	0	0,18	0	0,65	0
106	NAU NAVICULA MUTICA	0	0,50	0,28	0	0	0	0,53	0	0,89	0	0	0	0	0	0	0
107	NAV NAVICULA LAEVISSIMA	0	0,75	0	0,37	0,81	0	0,8	0,41	0,28	0,46	0,27	0,85	0,18	0,38	0,49	0,79
108	NBA NAVICULA BACILLUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,65	0	0	0
109	NCO NAVICULA COHNII	0	0	0	0,19	0	0,28	0	0	0	0	0	0	0	0	0,18	0
110	NCU NAVICULA CUSPIDATA	0	0	0	0,19	1,81	0	0,53	0,27	0	0	0,27	0,85	0,18	1,98	0	0,79
111	NEAF NEIDIUM AFFINE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
112	NEAP NEIDIUM AMPLIATUM	0	0	0,98	0,37	0	0	0,53	0,14	0,14	0,23	0,54	0	0,73	0	0,33	0
113	NEGR NEIDIUM GRACILE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
114	NEI NEIDIUM IRIDIS	1,30	0	0,42	0,58	0	1,71	0,27	0	1,11	0,92	0	1,29	0,38	0,19	0	0,63
115	NEPR NEIDIUM PRODUCTUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
116	NHER NEIDIUM HERCINICUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
117	NILT NITZSCHIA LATENS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,32
118	NIRM NEIDIUM IRIDIS AMPHIGOMPHUS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,54	0	0	0	0
119	NPP NAVICULA PUPULA	0,28	0,75	0,14	1,77	0,40	0,57	1,8	1,78	0,83	0,81	0,54	0,75	0,55	0,85	0,98	1,11
120	NPR NAVICULA GALLICA PERPUSILLA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
121	NRA NAVICULA RADIOSA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
122	NRAD NAVICULA RADIOPUNTATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
123	NSM NAVICULA SEMINULUM	0,28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,38	0	0
124	NSSU N. SEMINULOIDES SUMATRANA	0	0	0	0	0,40	0,85	0,8	0	1,11	0,89	0,27	3,77	0,91	1,41	1,79	0
125	NTGR NITZSCHIA GRACILIS	0	0	0,28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
126	NUSA NAVICULA AMERICANA	0	0	0	0,19	0	0,57	0	0	0,55	0,23	0,27	0,43	0,38	0,19	0	0,16
127	OM FRAGILARIA LEPTOSTAURON MARTYI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
128	PA PINNULARIA ACROSPHERIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
129	PBNA PINNULARIA BRAUNIANA	0	0,75	0	0,19	0	0	0,83	0,54	0,55	0	0,14	0,43	0,18	0,47	0,49	0
130	PBRE PINNULARIA BREVICOSTATA	0	0	0	0	0	0,28	0,27	0	0	0,89	0,27	0	0,18	0,38	0,49	0,32
131	PBRI PINNULARIA BREISSONII	0	0	0,70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
132	PDIB PINNULARIA DIVERGENS SACILLARIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
133	PIAN PINNULARIA ANGUSTA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
134	PIS PINNULARIA BOREALIS	0	0	0	0,40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
135	PISB PINNULARIA BOREALIS SCALARIS	0	0	0,28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
136	PICA PINNULARIA VIRIDIFORMIS	1,84	1,49	1,40	3,55	10,28	7,83	4,87	3,52	2,90	5,55	8,09	4,09	3,48	1,89	2,85	12,08
137	PIDE PINNULARIA DIVERGENS ELLIPTICA	0	0,25	0,28	2,24	0	2,58	0	0,81	0	1,39	1,08	0,75	0	0	0,82	0,63
138	PIDI PINNULARIA DIVERGENS	0,78	0	0	0	0,81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
139	PIDM PINNULARIA DIVERGENS MALAYENSIS	0,91	1,00	0,98	0	0	0	0,8	0	0	0	0	0	0,38	0	0	0,32
140	PIEP PINNULARIA EPISCOPALIS	0,28	0,37	0,84	0	0	0	0,8	0	0,41	0	0,27	0,11	0,38	0,09	0,24	1,90
141	PIGI PINNULARIA GIBBA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
142	PIGL PINNULARIA SUBGIBBA	6,22	3,23	4,21	4,01	7,48	4,58	4	4,87	2,49	4,86	3,11	4,42	1,84	2,92	1,79	3,49
143	PIIT PINNULARIA INTERRUPTA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
144	PILB PINNULARIA LANGE-BERTHALOTII	0	1,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
145	PIMA PINNULARIA MAIOR	0,28	0,50	0	0,19	0,60	0,28	0	0	0,28	0,23	0,27	0,85	0,38	0	0,18	0
146	PIME PINNULARIA MESOLEPTA	0,28	0,50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,73	0	0,33	0,32
147	PIMI PINNULARIA MICROSTAURON	0,28	0,82	0,28	1,49	1,61	1,57	2,27	1,22	0	1,16	1,08	1,08	0,38	0,38	0,33	0,32
148	PIOB PINNULARIA OBSCURA	0	0	0	0	0	0	0	0	0,55	0	0	0	0	0	0	0
149	PIPU PINNULARIA INFIRMA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
150	PIRU PINNULARIA ACUMINATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
151	PISC PINNULARIA GIBBA SANCTA	0,13	0,25	1,12	0	0	0	0,4	0,54	1,11	0	0,88	0,88	0,55	0	0,16	1,59
152	PITO PINNULARIA STOMATOPHORA	1,84	4,10	2,38	2,05	6,05	2,58	6,2	2,71	1,86	1,39	2,98	1,29	1,81	1,04	1,14	2,22
153	PNBF PINNULARIA BRANDELIIFORMIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,18	0	0	0
154	PSIM PINNULARIA SIMILIFORMIS	0	0	0	0	0	0,28	0	0	0	0,23	0	0	0	0	0	0
155	PSUD PINNULARIA SUDETICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
156	RHAC RHOPALODIA ACCUMINATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
157	SA STAURONEIS ANCEPS	0	0	0	0	0	0	0	0,54	0,28	0	0,54	0,22	0,18	0	0,33	0,32
158	SAS STAURONEIS ANCEPS SIBERICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
159	SCRU SCHIZOSTAURON CRUCICULA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
160	SGRA STAURONEIS ANCEPS GRACILIS	3,24	1,37	2,38	4,58	2,02	3,28	2,87	3,25	3,73	3,82	3,79	1,29	1,55	0,85	2,12	1,75
161	SPH STAURONEIS PHOENICENTERON	2,20	1,37	1,40	1,98	4,03	1,42	2,4	2,44	1,88	1,27	2,84	2,59	0,82	0,88	0,98	6,19
162	STA STEPHANODISCUS ASTREA	0	0	0	0	0	0,57	0,53	0	0,28	0	0	0,85	0	0	0	0
163	STAI S. ASTREA INTERMEDIA	0	0,82	0	0,84	0,20	0,57	0	0	0,83	0,46	0,27	0,22	0,38	0,19	0,18	0
164	STAM STEPHANODISCUS ASTREA MINUTULA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
165	STMI STEPHANODISCUS TENUIS MINOR	0	0	0	0	0	0	0	0	0,23	0	0	0	0	0	0	0
166	SUCA SURIRELLA CAPRONII	1,84	1,37	0,70	0	0,20	0	0,53	0,88	0	0	1,35	0,88	0,64	0,38	0,33	1,75
167	SYNU FRAGILARIA ULNA	0	0	0	0	0	0	0,27	0	0	0	0	0	0	0	0	0
168	Nombre de valves comètes	772	804	713	1071	496	702	750	739	723	885	739	928	1088	1082	1228	830

	A	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG
1	Especies	0088	0076	0082	0086	0091	0097	0104	0106	0113	0117	0122	0126	0133	0137	0142	0144
2	ABR ACHNANTHES BREVIPES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	ACH ACHNANTHES HELVETICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	ACIF ACHNANTHES JNFLATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	ACR ACHNANTHES ROSENSTOCKII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	ACSH ACHNANTHES SUBHUSSONIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	ACT ACHNANTHES TRINODIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	AD ACHNANTHES DELICATULA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	AEX ACHNANTHES EXIGUA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	AEXE ACHNANTHES EXIGUA ELLIPTICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	AGRI ACHNANTHES GRISHUNA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	AHK ACHNANTHES KRYOPHILA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	ALA ACHNANTHES LANCEOLATA	0	0	0	0	0	0	0,21	0	0	0,22	0	0	0	0	0	0
14	ASB ANOMOEONEIS BRACHYSIRA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	AUC AULACOSEIRA CRENULATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	AULA AULACOSEIRA LAEVISSIMA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	AY AMPHORA LYBICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	CAB CALONEIS BACILLUM	1,10	0,20	0,47	0	0,50	0	0	0	0	0	0	0,43	0,21	0	0	0
19	CAI CALONEIS INCOGNITA	0	0,30	0	0,61	0	0,27	1,05	0,53	0,37	0,85	0	0,22	0,21	0	0	0
20	CAS CALONEIS SCHUMANNIANA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	CONO COSCINODISCUS NORMANII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	CP COCCONEIS PLACENTULA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	CSL CALONEIS SILICULOSA LIMOSA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	CYAA CYMBELLA ALPINA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	CYCS CYCLOTELLA STELLIGERA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	CYEL CYMBELLA ELGINENSIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	CYL CYMBELLA GRACILIS	0	0	0	0,20	0	0	0	0	0	0	0	0	0,21	0	0	0
28	CYLN CYMBELLA LANCEOLATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,35
29	CYME CYMBELLA MESIANA	0	0	0	0,20	1,12	0,54	0,21	0	0,19	0,22	0	0	0,63	0,28	0	0
30	CYMG CYCLOTELLA MENECHINIANA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	CYML CYMBELLA SILESIIACA	1,10	1,21	2,58	2,83	5,87	8,02	8,18	4,81	8,02	7,34	7,24	7,08	7,5	2,83	1,03	2,83
32	CYOC CYCLOTELLA OCELLATA	0,44	0,20	0	0	0	0	0	0	0	0,22	0,54	0,22	0,42	0	1,37	0,35
33	CYTR CYMBELLA CUSPIDATA	1,88	1,01	0,47	1,21	0,50	0,80	0,10	1,06	0,85	1,30	1,07	0,85	1,04	0,85	0,89	0
34	CYY CYMBELLA CYMBIFORMIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	DKU DENTICULA KUETZINGII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	DS DIPLONEIS SUBOVALIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	EEPA EUNOTIA PALUDOSA PALUDOSA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	EPMA E. PECTINALIS MINOR INTERMEDIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	EUAS EUNOTIA ASTERIONELLOIDES	0	0	0	0	0	0	0	0	0,22	0	0	0	0	0	0	0
40	EUBO EUNOTIA BONSAENSIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41	EUFP EUNOTIA EPITHEMIOIDES	0	0	0,23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,34	0
42	EUFF EUNOTIA FALLAX FALLAX	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
43	EUFL EUNOTIA FLEXUOSA	0	0	0	0	0	0	0,21	0	0,19	0	0,27	0,22	0	0	0	0
44	EUHX EUNOTIA HEXAGLYPHIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,27	0	0,10	0	0	0
45	EUIN EUNOTIA INTERMEDIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
46	EUIS EUNOTIA INCISA	0	0,61	0	0,51	0	0	0,84	1,88	0,85	1,84	1,81	1,41	0,73	1,13	0	0
47	EULI EUNOTIA LINEOLATA	0	0	0	0	0	0,27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48	EUMA EUNOTIA PECTINALIS M. IMPRESSA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
49	EUMN EUNOTIA MINOR	1,88	0,20	0	0	0,50	1,61	0	1,88	0	0	0	0	0	0	0	0
50	EUMT EUNOTIA MONODON TROPICA	0	0	0,12	0	0,75	0,27	0	0,27	0,19	0	0,27	0	0	0	0	0
51	EUP EUNOTIA PECTINALIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52	EUPR EUNOTIA PRAERUPTA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
53	EUPU EUNOTIA PECTINALIS UNDULATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,22	0	0	0	0	0	0
54	EUPV EUNOTIA PECTINALIS VENTRALIS	0	0,20	0	0,10	0	0	0	0,27	0	0	0	0	0,42	0	0	0,71
55	EURH EUNOTIA RHOMBOIDEA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
56	EUSD EUNOTIA SUDETICA	0,44	0	0	0	0	0,27	0	0,27	0	0	0	0,43	0,42	0	0	0
57	EUSE EUNOTIA SEPTENTRIONALIS	0,22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,22	0	0	0	0
58	EUSV EUNOTIA PSEUDOVENERIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,34	0
59	EUTN EUNOTIA TENELLA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60	EUWU EUNOTIA WUMBAE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
61	EUZI EUNOTIA ZYGODON	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
62	EZ EPITHEMIA ADNATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
63	FB FRAGILARIA BREVISTRATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
64	FE FRAGILARIA ELLIPTICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
65	FLD FRAGILARIA LEPTOSTAURON DUBIA	38,42	20,48	31,38	22,75	8,74	6,18	23,56	13,01	14,37	18,78	12,87	23,34	20,83	15,18	15,08	3,18
66	FLL F.LEPTOSTAURON LEPTOSTAURON	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
67	FP FRAGILARIA PINNATA	1,85	1,81	0	0,20	0	0	1,88	0	5,84	0,88	0	0	0	0	0	0
68	FRAC FRAGILARIA CONSTRUENS	12,84	8,48	7,03	5,78	5,24	0,27	3,25	4,25	5,75	4,10	4,58	8,82	11,25	12,61	9,85	0,71
69	FRC FRAGILARIA CONSTRUENS EXIGUA	2,20	2,02	0,70	2,43	1,75	1,34	1,05	0,27	1,48	0	0,54	0,87	0,83	0	0	0
70	FRC FRUSTULIA RHOMBOIDES CRASSINERVA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
71	FRCV FRAGILARIA CONSTRUENS VENTER	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,34	0
72	FRD FRAGILARIA OELICATISSIMA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
73	FRDE FRAGILARIA DENSESTRIATA	0,44	0,61	0,82	0	0	0,27	0,83	1,06	0,93	0,32	0,27	0,85	1,04	0,28	0	0
74	FRH FRUSTULIA RHOMBOIDES RHOMBOIDES	0,68	1,31	0,47	1,21	0,75	0,54	1,57	1,73	1,58	0,88	1,07	0,85	0,42	0,85	1,37	2,12
75	FRJ FRAGILARIA JAVANICA	0	0	0	0	0	0,27	0	0	0	0	0	0,11	0	0,28	0	0
76	FRNE FRAGILARIA NEOPRODUCTA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
77	FRR FRUSTULIA RHOMBOIDES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
78	FV FRAGILARIA VIRESCENS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
79	GAC GOMPHONEMA ACUMINATUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	GCC G. CONSTRICTUM CAPITATUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
81	GG GOMPHONEMA GRACILE	0	0	0,23	0	0	0	0	0	0,58	0	0,40	0	0,21	0,28	0	0
82	GLIN GOMPHONEMA LINGULATIFORME	4,39	5,85	1,78	4,15	4,99	4,82	2,72	4,85	2,13	5,82	3,49	5,32	5,84	7,37	1,37	1,41
83	GOMA GOMPHONEMA ANGUSTATUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
84	GOMI GOMPHONEMA ANGUSTUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	A	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG
1	Espèces	0089	0076	0082	0088	0091	0097	0104	0106	0113	0117	0122	0128	0133	0137	0142	0144
85	GP GOMPHONEMA PARVULUM	0	0	0	0	0	0,27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
86	GPSU G.PARVULUM SUBELLIPTICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87	GVP GOMPHONEMA VIBRIO PULVINATUM	0	0,40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
88	HA HANTZSCHIA AMPHIOXYS	0,22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,22	0	0	0	0
89	HDA AULACOSEIRA ALPGENA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90	HTEMU AULACOSEIRA MUZZANENSIS	2,86	10,38	13,82	8,00	8,36	15,88	11,83	17,93	16,87	12,88	15,85	12,82	6,77	0,85	1,54	1,77
91	MG AULACOSEIRA GRANULATA	0	0	0	0	0	0,54	0,21	0	0	0	0	0,98	0,21	0	0	0
92	MGA A. GRANULATA ANGUSTISSIMA	0	0,20	0,23	0	0,25	0,40	0,21	0,13	0,19	0	0,27	0,54	0,10	0,14	0	0
93	MGT AULACOSEIRA GRANULATA TUBULOSA	0,22	0,40	0	0,81	0	0	0,42	0,27	0,19	0,78	0,27	0,54	0,10	1,58	4,80	7,42
94	MGV AULACOSEIRA GRANULATA VALIDA	0,55	0,40	0,70	0,40	0,25	0,13	0,63	0	0,48	0,54	0,87	0,43	0,31	1,70	5,68	15,55
95	MI AULACOSEIRA ITALICA	8,23	22,81	15,22	11,22	6,12	37,08	21,28	13,94	19,93	15,87	9,92	12,81	16,35	1,58	0,88	2,12
96	MIS AULACOSEIRA SUBARCTICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
97	MIT AULACOSEIRA ITALICA TENUISSIMA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
98	MNY AULACOSEIRA NYGAARDII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
99	NABA NAVICULA BALCANICA	0,22	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0,21	0,28	0	0
100	NAC NAVICULA PLACENTULA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
101	NAGA NAVICULA GASTRIFORMIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
102	NAHA NAVICULA HALOPHILA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,34	0
103	NAIS NAVICULA ISERTII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
104	NAMM NAVICULA MUTICA MUTICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,34	0
105	NAPL NAVICULA PLATYCEPHALA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,43	0,83	0	0	0
106	NAU NAVICULA MUTICA	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
107	NAV NAVICULA LAEVISSIMA	0	0,20	0,23	0,81	1,82	0,54	1,05	0,53	0,56	0,85	1,07	0,43	0,10	0,71	0,88	0
108	NBA NAVICULA BACILLUM	0	0	0	0	0	0	0,21	0	0	0	0	0	0	0	0	0
109	NCO NAVICULA COHNII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
110	NCU NAVICULA CUSPIDATA	0,22	0,71	0,70	0,81	0,25	0,27	0	0,53	1,02	0,22	0,54	0	0	0,85	1,03	0
111	NEAF NEIDIUM AFFINE	0	0	0,23	0	0	0	0	0	0,37	0	0	0,22	0,42	0	0	0
112	NEAP NEIDIUM AMPLIATUM	0,22	0	0,70	0,81	0,50	0	0	0,53	0	0,54	0,27	0	0,42	0,28	0	0,71
113	NEGR NEIDIUM GRACILE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
114	NEI NEIDIUM IRIDIS	0,88	1,01	0,35	0,81	0,50	0,80	0,42	0,53	0,19	0,54	0	0	0,31	0,57	1,03	0
115	NEPR NEIDIUM PRODUCTUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,27	0	0	0	0	0
116	NHER NEIDIUM HERCINICUM	0	0,40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
117	NILT NITZSCHIA LATENS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
118	NIRM NEIDIUM IRIDIS AMPHIGOMPHUS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
119	NPP NAVICULA PUPULA	0,77	0,40	1,78	1,82	1,00	1,20	1,47	1,08	0,83	0,85	0,80	1,18	0,83	1,13	0	0
120	NPR NAVICULA GALLICA PERPUSILLA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
121	NRA NAVICULA RADIOSA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
122	NRAD NAVICULA RADIOPUNTATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
123	NSM NAVICULA SEMINULUM	0	0	0	0	0	0,27	0	0	0	0	0	0	0	0,28	0	0
124	NSSU N. SEMINULOIDES SUMATRANA	2,20	0,81	1,41	1,21	1,00	0	1,15	0,53	2,87	1,19	1,81	2,82	1,04	0	0	0,71
125	NTGR NITZSCHIA GRACILIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
126	NUSA NAVICULA AMERICANA	0,44	0,81	0,70	0,81	1,75	0,80	0,21	0,88	0,19	0,22	1,81	0,85	0,42	0,57	0,34	0
127	OM FRAGILARIA LEPTOSTAURON MARTYI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
128	PA PINNULARIA ACROSPHERIA	0	0	0	0	0,50	0	0,21	0	0	0,22	0,27	0	0	0	0	0
129	PBNA PINNULARIA BRAUNIANA	0,88	0,40	0	0	0	0	0,42	0,80	0,56	0	0	0,22	0,21	0	0	0
130	PBRE PINNULARIA BREVICOSTATA	0	0,20	0	0,81	0	0,27	0,42	0	0,83	0	0,27	0,22	0,21	0	0	0
131	PBRI PINNULARIA BREISSONII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
132	PDBI PINNULARIA DIVERGENS BACILLARIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
133	PIAN PINNULARIA ANGUSTA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,83	0	0	0
134	PIB PINNULARIA BOREALIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,22	0	0	0	0,28	0	0,71
135	PIBS PINNULARIA BOREALIS SCALARIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
136	PICA PINNULARIA VIRIDIFORMIS	2,86	2,22	2,58	8,88	11,81	2,41	2,93	8,37	2,41	5,08	10,59	4,13	5	24,50	27,88	41,34
137	PIDE PINNULARIA DIVERGENS ELLIPTICA	0	0	0,47	1,42	1,37	2,01	1,28	0,27	0	1,08	2,28	1,08	2,40	4,11	2,08	0
138	PIDI PINNULARIA DIVERGENS	0	0,20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
139	PIDM PINNULARIA DIVERGENS MALAYENSIS	0	0,20	0,23	0	1,37	0,40	0	1,06	0,37	0	0	0,43	0	0	0	0
140	PIEP PINNULARIA EPISCOPALIS	0,11	0,40	0,12	0,40	1,75	0	0,21	0,53	0,19	0,22	0,87	0,88	0	1,70	4,80	9,54
141	PIGI PINNULARIA GIBBA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
142	PIGL PINNULARIA SUBGIBBA	2,86	4,04	4,33	7,98	8,74	2,81	3,88	4,38	2,88	5,08	4,29	3,58	2,81	5,10	2,82	0,71
143	PIIT PINNULARIA INTERRUPTA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
144	PILB PINNULARIA LANGE-BERTHALOTII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
145	PIMA PINNULARIA MAIOR	0	0,40	0,23	0,81	1,00	0	0,21	0,53	0,19	0,43	0,40	0,85	0,42	1,13	3,43	0
146	PIME PINNULARIA MESOLEPTA	0,22	0,81	0,70	0	0	0,54	0	0	0,19	0	0,27	0	1,04	0	0	0
147	PIMI PINNULARIA MICROSTAURON	1,21	0,71	0,36	1,01	2,00	0,27	1,05	2,88	0,85	1,73	2,55	1,19	1,58	1,70	0	0,71
148	PIOB PINNULARIA OBSCURA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
149	PIPU PINNULARIA INFIRMA	0	0,40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
150	PIRU PINNULARIA ACUMINATA	0	0	0	0	2,00	0	0	0	0,58	0,22	0	0,22	0,42	0	0	0,71
151	PISC PINNULARIA GIBBA SANCTA	0,44	0,81	0,70	0,81	1,00	0,80	0,42	0,27	0	0,22	0	0,22	0,42	1,42	0	0
152	PITO PINNULARIA STOMATOPHORA	1,21	1,82	0,82	2,53	4,48	1,81	1,15	2,92	0,93	3,02	4,42	0,85	1,35	2,41	3,09	2,83
153	PINBF PINNULARIA BRANDELIFORMIS	0	0	0	1,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,34	0
154	PSIM PINNULARIA SIMILIFORMIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
155	PSUD PINNULARIA SUOETICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
156	RHAC RHOPALODIA ACCUMINATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
157	SA STAURONEIS ANCEPS	0	0	0	0,81	0	0	0,83	0	0	0,43	0	0	0	0,28	0	0
158	SAS STAURONEIS ANCEPS SIBERICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
159	SCRU SCHIZOSTAURON CRUCICULA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
160	SGRA STAURONEIS ANCEPS GRACILIS	2,20	4,24	3,18	4,35	4,00	4,95	2,20	4,85	2,78	3,02	2,88	2,71	1,88	3,28	3,09	2,12
161	SPH STAURONEIS PHOENICENTRON	2,52	1,41	3,18	0,81	8,11	2,01	2,51	2,88	2,32	2,05	2,55	1,08	0,83	0,85	2,08	0
162	STA STEPHANODISCUS ASTREA	0	0	0,23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,37	0
163	STAI S. ASTREA INTERMEDIA	0,33	0,20	0	0	0	0	0,21	0	0,19	0	0	0	0	0,85	0	1,41
164	STAM STEPHANODISCUS ASTREA MINUTULA	0	0	0,23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
165	STMI STEPHANODISCUS TENUIS MINOR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
166	SUCA SURIRELLA CAPRONII	0,22	0,40	0,35	0	0,25	0,27	0	0,27	0,85	0	1,07	0	0,31	0	0	0
167	SYNU FRAGILARIA ULNA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,34	0
168	Nombre de valves comptés	811	891	854	889	801	747	955	753	1078	828	748	821	880	708	583	283

	A	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW
1	Esplores	0149	0161	0167	0164	0173	0178	0180	0181	0182	0187	0195	0197	0204	0210	0217	0224
2	ABR ACHNANTHES BREVIPES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	ACH ACHNANTHES HELVETICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	ACIF ACHNANTHES INFLATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	ACR ACHNANTHES ROSENSTOCKII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	ACSH ACHNANTHES SUBHUODSONIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	ACT ACHNANTHES TRINODIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	AD ACHNANTHES DELICATULA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	AEX ACHNANTHES EXIGUA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	AEXE ACHNANTHES EXIGUA ELLIPTICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	AGRI ACHNANTHES GRISHUNA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	AHK ACHNANTHES KRYOPHILA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	ALA ACHNANTHES LANCEOLATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,22	0	0
14	ASB ANOMOEONEIS BRACHYSIRA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,23
15	AUC AULACOSEIRA CRENULATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,45	0	0	0	0	0	0
16	AULA AULACOSEIRA LAEVISSIMA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,34	0	0	0	0	0	0
17	AY AMPHORA LYBICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	CAB CALONEIS BACILLUM	0	0	0	0,58	0,25	0	0	0	0	0,22	0	0	0	0	0	0
19	CAI CALONEIS INCOGNITA	0	0	0,30	1,40	0,25	0,29	0	0	0,17	1,23	1,70	0,63	0,73	1,77	1,08	2,28
20	CAS CALONEIS SCHUMANNIANA	0	0	0	0	0	0	0,27	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	CONO COSCINODISCUS NORMANII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	CP COCCONEIS PLACENTULA	0	0	0	0	0	0	0,54	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	CSL CALONEIS SIUCULOSA LIMOSA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	CYAA CYMBELLA ALPINA	0	0	0	0	0	0	0,54	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	CYCS CYCLOTELLA STELLIGERA	0	0	0	0	0	0	0,23	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	CYEL CYMBELLA ELGINENSIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	CYL CYMBELLA GRACILIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	CYLN CYMBELLA LANCEOLATA	0	0	0	0	0	0	4,61	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	CYME CYMBELLA MESIANA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	CYMG CYCLOTELLA MENEHINIANA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	CYML CYMBELLA SILESIACA	0,39	0	5,12	2,93	1	0,29	0,27	1,12	0,35	2,02	0,49	1,29	1,22	1,55	0,63	0,23
32	CYOC CYCLOTELLA OCELLATA	0,78	0,48	0	0	0	0	0	0,28	0	0,22	0,24	0	0	0	0	0
33	CYTR CYMBELLA CUSPIOATA	0	0,48	2,41	1,12	0,26	0,29	1,08	0	0	0	0,31	1,34	0,88	0,21	0,46	0
34	CYY CYMBELLA CYMBIFORMIS	0	0	0	0	0	0	1,90	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	DKU DENTICULA KUETZINGII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	DS DIPLONEIS SUBOVAUS	0	0	0	0	0	0	1,08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	EEPA EUNOTIA PALUDOSA PALUDOSA	0	0	0	0	0	0	0,27	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	EPMA E. PECTINALIS MINOR INTERMEDIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	EUAS EUNOTIA ASTERIONELLOIDES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	EUBO EUNOTIA BONSAENSIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41	EUEP EUNOTIA EPITHEMIOIDES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,24	0	0,21	0
42	EUFF EUNOTIA FALLAX FALLAX	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
43	EUFL EUNOTIA FLEXUOSA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44	EUHX EUNOTIA HEXAGLYPHIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45	EUIN EUNOTIA INTERMEDIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
46	EUIS EUNOTIA INCISA	0	0,48	1,38	0,58	0	0	0,27	0	0	0	0	0,31	0,37	0,68	1,08	1,26
47	EULI EUNOTIA LINEOLATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48	EUMA EUNOTIA PECTINALIS M. IMPRESSA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
49	EUMN EUNOTIA MINOR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,11
50	EUMT EUNOTIA MONODON TROPICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,44	0	0
51	EUP EUNOTIA PECTINALIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52	EUPR EUNOTIA PRAERUPTA	0	0	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
53	EUPU EUNOTIA PECTINALIS UNDULATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
54	EUPV EUNOTIA PECTINALIS VENTRALIS	0,78	0	0,30	0,98	0,75	0	0	0	0,36	0	0,24	0	0	0	0,21	0
55	EURH EUNOTIA RHOMBOIDEA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
56	EUSD EUNOTIA SUDETICA	0	0	0,80	0	0,25	0	0	0	0	0	0,49	0,31	0	0	0	0
57	EUSE EUNOTIA SEPTENTRIONALIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
58	EUSV EUNOTIA PSEUDOVENERIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,63	0	0,44	0,21	0
59	EUTN EUNOTIA TENELLA	0	0	0	0	0	0	0,54	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60	EUWU EUNOTIA WUMBAE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
61	EUZI EUNOTIA ZYGODON	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,18	0	0	0	0,23
62	EZ EPITHEMIA ADNATA	0,39	0	0	0	0	0	1,63	0	0	0	0	0	0	0	0	0
63	FB FRAGILARIA BREVISTRIATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
64	FE FRAGILARIA ELLIPTICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
65	FLD FRAGILARIA LEPTOSTAURON DUBIA	9,14	3,15	17,77	11,31	11,25	18,87	5,01	20,85	27,48	47,48	42,77	40,35	37,73	27,99	39,92	38,88
66	FL F. LEPTOSTAURON LEPTOSTAURON	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
67	FP FRAGILARIA PINNATA	0	0	0	0	0	0,58	0,27	0	0,89	1,23	1,22	0	0	0,88	3,70	1,14
68	FRAC FRAGILARIA CONSTRUENS	11,87	5,08	11,80	5,87	6,13	7,96	3,25	6,32	16,75	16,46	15,19	20,25	15,26	8,52	10,56	7,07
69	FRAX FRAGILARIA CONSTRUENS EXIGUA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,31	0	0	0	0
70	FRC FRUSTULIA RHOMBOIDES CRASSINERVA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
71	FRCV FRAGILARIA CONSTRUENS VENTER	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
72	FRD FRAGILARIA DELICATISSIMA	0	0	0	0	0	0	0,88	0	0	0	0	0	0	0	0	0
73	FRDE FRAGILARIA DENSESTRIATA	0	0	0,30	1,12	1,13	0,87	0	0	0,22	0,24	0	0,98	1,11	1,37	1,80	1,80
74	FRH FRUSTULIA RHOMBOIDES RHOMBOIDES	1,75	0,48	2,11	0,84	0,25	0	0	1,12	0	1,68	2,79	0,63	0,49	1,11	1,48	1,80
75	FRJ FRAGILARIA JAVANICA	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,22	0	0
76	FRNE FRAGILARIA NEOPRODUCTA	0	0	0	0	0	0	2,98	0	0	0	0	0	0	0	0	0
77	FRR FRUSTULIA RHOMBOIDES	0	0	0	0	0	0	4,20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
78	FV FRAGILARIA VIRESCENS	0	0	0	0	0	0	0,27	0	0	0	0	0	0	0	0	0
79	GAC GOMPHONEMA ACUMINATUM	0	0	0	0	0	0	0,27	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	GCC G. CONSTRICTUM CAPTATUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
81	GG GOMPHONEMA GRACILE	0	0	0	0	0	0	0,54	0	0	0	0	0	0,49	0	0	0
82	GLIN GOMPHONEMA LINGULATIFORME	1,58	0,48	2,88	1,40	0,5	0,87	0,54	0	0	0,90	1,22	0,31	0	0,22	0,21	1,14
83	GOMA GOMPHONEMA ANGUSTATUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
84	GOMI GOMPHONEMA ANGUSTUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	A	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW
1	Espèces	0149	0161	0167	0164	0173	0178	0180	0181	0182	0187	0195	0197	0204	0210	0217	0224
85	GP GOMPHONEMA PARVULUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,31	0	0	0	0
86	GPSU G.PARVULUM SUBELLIPTICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87	GVP GOMPHONEMA VIBRIO PULVINATUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
88	HA HANTZSCHIA AMPHIOXYS	0	0	0	0	0	0,29	0,27	0	0	0	0	0	0,24	0,77	0	0,23
89	MDA AULACOSEIRA ALPIGENA	0	0	0	0	0	0	0,95	0	0	0	0	0,31	0	0	0	0
90	MEMU AULACOSEIRA MUZZANENSIS	0,97	0,48	2,71	12,57	4,25	2,60	1,76	0,28	0,35	0,11	2,55	0,63	3,17	6,75	5,70	7,30
91	MG AULACOSEIRA GRANULATA	0	0	0,80	0,84	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0,24	0	0	0,34
92	MGA A. GRANULATA ANGUSTISSIMA	0	0	0	0,28	0,25	0	0,14	0	0	0,22	0	0	0,24	0	0,21	0
93	MGT AULACOSEIRA GRANULATA TUBULOSA	4,09	1,84	0,45	0,56	0,25	0,43	0,54	0,42	0,52	0,34	0	0	0,24	0	0	0
94	MGV AULACOSEIRA GRANULATA VALIDA	4,28	3,63	1,05	0,84	0,125	0,29	1,76	1,40	1,38	0,90	0,24	0,31	0	0	0,32	0
95	MI AULACOSEIRA ITALICA	0,59	0,73	7,23	31,84	57,25	50,90	0,81	0,28	0,17	2,35	5,47	4,08	7,45	8,85	6,78	9,01
96	MIS AULACOSEIRA SUBARCTICA	0	0	0	0	0	0	0,54	0	0	0	0	0	0	0	0	0
97	MIT AULACOSEIRA ITALICA TENUISSIMA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
98	MNY AULACOSEIRA NYGAARDII	0	0	0	0	0	0,29	0	0	0	0	2,43	0,47	2,69	1,22	1,69	0,46
99	NABA NAVICULA BALCANICA	0	0	0	0,58	0,25	0,29	0	0	0	0,45	0	0,31	0,48	0,22	0,63	0
100	NAC NAVICULA PLACENTULA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
101	NAGA NAVICULA GASTRIFORMIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
102	NAHA NAVICULA HALOPHILA	0,39	0	0	0	0	0	0	0	0,69	0	0	0	0,24	0	0	0
103	NAIS NAVICULA ISERTII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
104	NAMM NAVICULA MUTICA MUTICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
105	NAPL NAVICULA PLATYCEPHALA	0	0	0,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,31	0	0	0	0
106	NAU NAVICULA MUTICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
107	NAV NAVICULA LAEVISSIMA	0	0	1,81	0,70	0,75	0,87	0,54	0	0	0	0,49	0	0,24	0,44	0,32	0,46
108	NBA NAVICULA BACILLUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
109	NCO NAVICULA COHNII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
110	NCU NAVICULA CUSPIDATA	0	0,48	0,80	0	0	0	0	0	0,35	0	0	0	0	0	0,2112	0
111	NEAF NEIDIUM AFFINE	0	0	0,90	0,58	0	0	0	0	0	0	0	0	0,49	0,22	0,63	0,80
112	NEAP NEIDIUM AMPLIATUM	0	0	0	0	0	0	0,54	0,58	0	0	1,70	0	0,49	0,22	0	0
113	NEGR NEIDIUM GRACILE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
114	NEI NEIDIUM IRIDIS	0,78	0	0,90	0	0	0,58	0,54	0,84	0	0,90	0,24	0,31	0	0,66	0,42	0,57
115	NEPR NEIDIUM PRODUCTUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
116	NHER NEIDIUM HERCINICUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
117	NILT NITZSCHIA LATENS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
118	NIRM NEIDIUM IRIDIS AMPHIGOMPHUS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
119	NPP NAVICULA PUPULA	0	0	1,05	0	1	0	0	0	0,35	0	0,24	0,31	0,73	1,55	1,80	0,60
120	NPR NAVICULA GALLICA PERPUSILLA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
121	NRA NAVICULA RADIOSA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
122	NRAD NAVICULA RADIOPUNTATA	0	0	0,30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
123	NSM NAVICULA SEMINULUM	0	0	0,60	0	0	0,87	0	0	0,35	0	0	0	0	0	0	0
124	NSSU N. SEMINULOIDES SUMATRANA	0	0	0	0,84	0,5	0,58	0	0	0	1,46	1,94	0,63	2,20	2,88	4,75	3,42
125	NTGR NITZSCHIA GRACILIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
126	NUSA NAVICULA AMERICANA	0	0	0,75	0	0,25	0	0	0	0,17	1,34	0,24	0,84	0,98	1,00	1,18	1,14
127	OM FRAGILARIA LEPTOSTAURON MARTYI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,22	0,00	0	0	0	0	0
128	PA PINNULARIA ACROSPHERIA	0	0	0,30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,24	0	0,21	0
129	PBNA PINNULARIA BRAUNIANA	0	0	0,30	0	0,5	0	0	0	0	0	0,73	0	0,49	0,77	0	1,14
130	PBRE PINNULARIA BREVICOSTATA	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0,22	0,24	1,88	0,49	0,44	0,63	1,14
131	PBRI PINNULARIA BREBISSESONII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
132	PDIB PINNULARIA DIVERGENS BACILLARIS	0	0	0	0	0	0	0,54	0	0	0	0	0	0	0	0	0
133	PIAN PINNULARIA ANGUSTA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
134	PIB PINNULARIA BOREALIS	0,39	0	0	0	0	0	0,54	0	0	0	0	0	0	0	0	0
135	PIBS PINNULARIA BOREALIS SCALARIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
136	PICA PINNULARIA VIRIDIFORMIS	37,94	46,73	9,94	8,28	4	5,64	27,10	29,21	27,98	8,27	4,98	4,87	5,37	6,19	3,38	2,85
137	PIDE PINNULARIA DIVERGENS ELLIPTICA	1,95	5,33	4,97	2,79	0,25	0	2,44	4,21	2,07	1,79	0,85	1,57	1,22	1,99	0,95	0,80
138	PIDI PINNULARIA DIVERGENS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
139	PIDM PINNULARIA DIVERGENS MALAYENSIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,44	0	0
140	PIEP PINNULARIA EPISCOPALIS	5,64	12,11	0,90	0	1	2,03	1,78	3,37	1,36	0	0,36	0	0,24	0,22	0,21	0
141	PIGI PINNULARIA GIBBA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
142	PIGL PINNULARIA SUBGIBBA	1,17	0,97	5,27	5,03	1	0,56	2,17	0,84	1,38	2,24	3,52	5,85	3,88	5,09	1,27	5,70
143	PIIT PINNULARIA INTERRUPTA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
144	PILB PINNULARIA LANGE-BERTHALOTII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,23
145	PIMA PINNULARIA MAIOR	3,50	3,39	0	0,28	0,5	0,43	2,30	3,37	0,89	0,87	0,38	0,63	0,49	1,11	0,42	0,34
146	PIME PINNULARIA MESOLEPTA	0	0	0,30	0	0	0	0	0	0	0	0,24	0,31	0	1,11	0,42	0,11
147	PIMI PINNULARIA MICROSTAUON	0	0,48	2,88	1,40	0,88	0,29	0,81	0	0	0	0	0,63	0,98	0,88	0,21	0,46
148	PIOB PINNULARIA OBSCURA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
149	PIPU PINNULARIA INFIRMA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
150	PIRU PINNULARIA ACUMINATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,73	0	0,98	0,88	0,63	0,46
151	PISC PINNULARIA GIBBA SANCTA	0	0	0	0,58	0,5	0,29	0	0	0	0,58	0,73	0,63	1,22	1,88	1,58	0,57
152	PITO PINNULARIA STOMATOPHORA	5,45	9,20	3,92	3,07	3	0,58	9,21	14,75	8,48	2,24	1,09	5,34	1,71	2,88	1,27	1,03
153	PINBF PINNULARIA BRANDELIFORMIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0,69	0	0	0	0	0	0	0
154	PSIM PINNULARIA SIMILIFORMIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
155	PSUD PINNULARIA SUDETICA	0	0	0	0	0	0	0,54	0	0	0	0	0	0	0	0	0
156	RHAC RHOPALODIA ACCUMINATA	0	0	0,30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
157	SAC STAURONEIS ANCEPS	0	0	0	0	0	0	1,90	0	0	0	0	0	0,24	0	0	0
158	SAS STAURONEIS ANCEPS SIBERICA	0	0	0	0	0	0	0,27	0	0	0	0	0	0	0	0	0
159	SCRU SCHIZOSTAUON CRUCICULA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
160	SGRA STAURONEIS ANCEPS GRACILIS	1,75	2,42	4,52	1,88	0,5	1,74	2,17	3,93	2,42	3,02	2,19	1,88	1,83	3,98	2,53	3,53
161	SPH STAURONEIS PHOENICENTERON	3,50	0,48	1,51	0,56	0	0,29	2,57	6,18	4,49	2,24	1,58	1,41	1,34	1,00	0,84	0,23
162	STA STEPHANODISCUS ASTREA	0,78	0,97	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
163	STAI S. ASTREA INTERMEDIA	0	0	0	0,70	0	0	0	0,56	0,35	0	0	0	0	0	0	0
164	STAM STEPHANODISCUS ASTREA MINUTULA	0	0	0	0	0	0	0	0,28	0	0	0	0	0	0	0	0
165	STMI STEPHANODISCUS TENUIS MINOR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
166	SUCA SURRELLA CAPRONII	0	0	0	0	0	0,43	0	0	0	0	0,24	0,78	0,49	0,77	0	0,88
167	SYNU FRAGILARIA ULNA	0,39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
168	Nombre de valves comptés	514	413	664	718	800	691	738	712	579	883	823	637	819	904	947	877

	A	AX	AY	AZ	BA	BB	BC	BD	BE	BF	BG	BH	BI	BJ	BK	BL	BM
1	Epilobes	0231	0237	0242	0248	0266	0271	0287	0296	0299	0316	0333	0348	0362	0378	0391	0396
2	ABR ACHNANTHES BREVIPES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	ACH ACHNANTHES HELVETICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0,18	0	0	0	0	0	0	0
4	ACIF ACHNANTHES INFLATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	ACR ACHNANTHES ROSENSTOCKII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	ACSH ACHNANTHES SUBHUSDONIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	ACT ACHNANTHES TRINODIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	AD ACHNANTHES DELUCATULA	0	0	0,21	0	0,52	0	0	0	0	0	0,27	0	0	0	0	0
9	AEX ACHNANTHES EXIGUA	0	0	0	0	0,26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,22
10	AEXE ACHNANTHES EXIGUA ELLIPTICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,23	0	0,28	0	0	0	0
11	AGRI ACHNANTHES GRISHUNA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	AHK ACHNANTHES KRYOPHILA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	ALA ACHNANTHES LANCEOLATA	0,33	0,21	0,21	0,23	0	0	0	0,23	0,19	0	0	0	0	0	0	0
14	ASB ANOMOEOEINIS BRACHYSIRA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	AUC AULACOSEIRA CREMULATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	AULA AULACOSEIRA LAEVISSIMA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	AY AMPHORA LYBICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	CAB CALONEIS BACILLUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0,19	0	0	0	0	0	0	0
19	CAI CALONEIS INCOGNITA	0,17	0,21	1,27	0,23	1,04	0,94	1,98	0,47	0,76	0,23	0,54	0,28	0,54	0,78	1,58	0,22
20	CAS CALONEIS SCHUMANNIANA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	CONO COSCINODISCUS NORMANII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	CP COCCONEIS PLACENTULA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	CSL CALONEIS SILICULOSA LIMOSA	0	0	0	0	0	0	0,26	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	CYAA CYMBELLA ALPINA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	CYCS CYCLOTELLA STELLIGERA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	CYEL CYMBELLA ELGINENSIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	CYL CYMBELLA GRACILIS	0	0	0	0	0	0	0	0,23	0,19	0	0	0	0	0	0	0
28	CYLN CYMBELLA LANCEOLATA	0,17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	CYME CYMBELLA MESIANA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	CYMG CYCLOTELLA MENEGHINIANA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	CYML CYMBELLA SILESIAICA	0,50	1,24	0,84	0,91	1,56	0,71	0,26	1,40	0,57	0,23	0,80	0,56	0,81	0,59	0	0
32	CYOC CYCLOTELLA OCELLATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	CYTR CYMBELLA CUSPIDATA	0,83	0	0,83	0,48	0,91	0,24	1,11	0,47	0,76	0,56	0,54	0,83	0,27	0,39	0,57	0,86
34	CYY CYMBELLA CYMBIFORMIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	DKU DENTICULA KUETZINGII	0,17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	DS DIPLONEIS SUBOVALIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	EEPA EUNOTIA PALUDOSA PALUDOSA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	EPMA E. PECTINALIS MINOR INTERMEDIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	EUAS EUNOTIA ASTERIONELLOIDES	0	0	0	0,23	0	0	0	0	0	0	0	0,28	0	0	0	0,22
40	EUBO EUNOTIA BONSAENSIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41	EUFP EUNOTIA EPITHEMIOIDES	0	0,21	0,21	0	0,26	0	0,26	0	0	0	0	0,27	0,59	1,13	0,22	0
42	EUFF EUNOTIA FALLAX FALLAX	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
43	EUFL EUNOTIA FLEXUOSA	0	0	0	0,23	0	0	0	0	0	0	0	0	0,27	0,20	0,28	0
44	EUHX EUNOTIA HEXAGLYPHIS	0	0	0,21	0	0	0	0	0	0	0	0	0,28	0	0	0	0
45	EUIN EUNOTIA INTERMEDIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
46	EUIS EUNOTIA INCISA	1,00	1,45	1,48	0,91	0,52	0,94	1,86	0,23	1,34	0,90	1,81	0,55	1,90	1,85	1,98	1,11
47	EUUL EUNOTIA LINEOLATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48	EUMA EUNOTIA PECTINALIS M. IMPRESSA	0	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
49	EUMN EUNOTIA MINOR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,20	0,28	0
50	EUMT EUNOTIA MONODON TROPICA	0	0	0	0,23	0	0	0,82	0	0	0,45	0,27	0,55	0	0,20	0,57	0,44
51	EUP EUNOTIA PECTINALIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52	EUPR EUNOTIA PRAERUPTA	0	0	0	0	0	0	0,26	0	0	0	0	0	0	0	0	0
53	EUPU EUNOTIA PECTINALIS UNOULATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
54	EUPV EUNOTIA PECTINALIS VENTRALIS	0	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0,20	0	0
55	EURH EUNOTIA RHOMBOIDEA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
56	EUSD EUNOTIA SUETICA	0,50	0	0	0	0	0	0	0	0	0,23	0	0,28	0,81	0,39	0,57	0,22
57	EUSE EUNOTIA SEPTENTRIONALIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
58	EUSV EUNOTIA PSEUDOVENERIS	0	0	0,21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,20	0,28	0,22
59	EUTN EUNOTIA TENELLA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60	EUWU EUNOTIA WUMBAE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
61	EUZI EUNOTIA ZYGODON	0	0	0,21	0	0,26	0	0	0	0	0	0,27	0	0	0	0	0
62	EZ EPITHEMIA ADNATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
63	FB FRAGILARIA BREVISTRATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
64	FE FRAGILARIA ELLIPTICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
65	FLD FRAGILARIA LEPTOSTAURON DUBIA	34,41	28,53	23,34	17,31	31,55	28,34	15,56	8,17	15,08	11,50	18,77	14,90	13,89	21,48	24,38	33,55
66	FLL F. LEPTOSTAURON LEPTOSTAURON	0	0,21	0	0	0,26	0,47	0,89	0,83	0,38	0,45	0,27	0	0	1,56	1,98	1,22
67	FP FRAGILARIA PINNATA	0	1,76	3,91	2,96	1,04	1,86	3,33	1,87	3,15	2,71	2,82	0,55	1,08	1,56	3,54	4,87
68	FRAC FRAGILARIA CONSTRUENS	5,40	8,43	8,55	5,24	7,82	8,14	3,70	3,73	4,39	4,40	4,28	3,59	2,44	4,29	3,82	6,76
69	FRAX FRAGILARIA CONSTRUENS EXIGUA	0,87	0,21	0	0	1,83	0,83	0	0,47	0,19	0,68	0	0	0	0	0	0
70	FRC FRUSTULIA RHOMBOIDES CRASSINERVA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
71	FRCV FRAGILARIA CONSTRUENS VENTER	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
72	FRD FRAGILARIA DELICATISSIMA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
73	FROE FRAGILARIA DENSESTRIATA	1,83	2,07	1,80	1,26	2,81	1,42	1,80	0,70	0,38	2,03	1,07	0,28	0,27	0,39	1,13	1,89
74	FRH FRUSTULIA RHOMBOIDES RHOMBOIDES	1,18	0,41	0,83	0,91	1,56	0	1,98	0,23	1,53	0,45	1,47	0,83	0,27	1,56	1,13	0,55
75	FRJ FRAGILARIA JAVANICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,20	0	0
76	FRNE FRAGILARIA NEOPRODUCTA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
77	FRR FRUSTULIA RHOMBOIDES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
78	FV FRAGILARIA VIRESCENS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
79	GAC GOMPHONEMA ACUMINATUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	GCC G. CONSTRICTUM CAPITATUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
81	GG GOMPHONEMA GRACILE	0	0,21	0,21	0,23	0	0	0	0	0	0,23	0,27	0	0	0,20	0,28	0
82	GLIN GOMPHONEMA LINGULATIFORME	1,08	0,52	2,22	1,03	1,56	0,24	0,74	0,47	0,95	0,79	0,54	0,55	0,54	1,17	0	1,11
83	GOMA GOMPHONEMA ANGUSTATUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
84	GOMI GOMPHONEMA ANGUSTUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	A	AX	AY	AZ	BA	BB	BC	BD	BE	BF	BG	BH	BI	BJ	BK	BL	BM
1	Exposée	0231	0237	0242	0246	0266	0271	0267	0296	0299	0315	0333	0346	0362	0378	0391	0396
85	GP GOMPHONEMA PARVULUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
86	GPSU G.PARVULUM SUBELLIPTICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87	GVP GOMPHONEMA VIBRIO PULVINATUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
88	HA HANTZSCHIA AMPHIOXYS	0	0	0,42	0	0	0	0	0	0	0	0,27	0	0	0	0	0
89	MDA AULACOSEIRA ALPGENA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90	MEMU AULACOSEIRA MUZZANENSIS	10,06	14,63	7,29	17,06	8,87	14,29	12,59	13,77	8,73	12,97	16,35	13,24	26,96	22,63	5,52	8,19
91	MG AULACOSEIRA GRANULATA	0,17	0,62	0,21	0,34	0,91	0,24	0,99	0,93	0,48	0,86	0,80	0,28	2,03	0,78	1,27	0,22
92	MGA A. GRANULATA ANGUSTISSIMA	0	0	0	0,11	0	0,35	0,25	0,23	0	0,23	0,40	0	0	0,10	0,14	0,33
93	MGT AULACOSEIRA GRANULATA TUBULOSA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
94	MGV AULACOSEIRA GRANULATA VALIDA	0,08	0	0,21	0	0,13	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,28
95	MI AULACOSEIRA ITALICA	18,78	24,78	12,25	31,21	9,78	20,19	22,84	46,67	41,78	39,68	23,73	38,90	24,66	12,48	15,01	20,80
96	MIS AULACOSEIRA SUBARCTICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
97	MIT AULACOSEIRA ITALICA TENUISSIMA	0	0,21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
98	MNY AULACOSEIRA NYGAARDII	1,16	0,31	0,42	0,91	0	0,71	0	0,70	0	0	0	0	0,27	0,20	0	0
99	NABA NAVICULA BALCANICA	1,08	0,41	0,21	0	0,78	0,35	0,25	0,23	0,78	0,23	0	0	0,27	0,20	0,28	0,55
100	NAC NAVICULA PLACENTULA	0	0	0	0,23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
101	NAGA NAVICULA GASTRIFORMIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
102	NAHA NAVICULA HALOPHILA	0	0	0,42	0	0	0	0	0	0	0	0	0,28	0	0	0	0
103	NAIS NAVICULA ISERTII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,22
104	NAMM NAVICULA MUTICA MUTICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
105	NAPL NAVICULA PLATYCEPHALA	0,17	0	0	0	0,26	0	0	0	0	0	0	0,28	0	0	0	0
106	NAU NAVICULA MUTICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0,19	0	0	0	0	0	0	0
107	NAV NAVICULA LAEVISSIMA	0,33	0,21	0,84	0,46	0,52	0,59	1,98	0,23	0	0	0,54	0,83	0,27	0,20	0,28	0,22
108	NBA NAVICULA BACILLUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
109	NCO NAVICULA COHNII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
110	NCU NAVICULA CUSPIDATA	0	0	0	0	0,12	0	0,23	0,19	0	0	0	0	0	0,78	1,13	0,22
111	NEAF NEIDIUM AFFINE	1,00	0,52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
112	NEAP NEIDIUM AMPLIATUM	0,17	0	1,06	0,23	0,65	0,71	0,49	0,23	0	0,88	0,27	0	0,81	0	0,57	0,22
113	NEGR NEIDIUM GRACILE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
114	NEI NEIDIUM IRIDS	0,17	0,21	1,06	0	0	0	0,49	0,47	0,38	0,45	0,54	0,55	0,81	0,59	0	0,22
115	NEPR NEIDIUM PRODUCTUM	0	0	0	0	0	0	0	0,58	0	0	0,27	0	0	0	0	0
116	NHER NEIDIUM HERCINICUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
117	NILT NITZSCHIA LATENS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
118	NIRM NEIDIUM IRIDIS AMPHIGOMPHUS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
119	NPP NAVICULA PUPULA	1,33	1,76	1,06	0,23	0,28	0,35	1,73	0,70	0,95	0,88	0,54	0,28	0,81	0,20	0	0,55
120	NPR NAVICULA GALLICA PERPUSILLA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
121	NRA NAVICULA RADIOSA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
122	NRAD NAVICULA RADIOPUNTATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
123	NSM NAVICULA SEMINULUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
124	NSSU N. SEMINULOIDES SUMATRANA	3,99	3,42	3,91	5,47	3,78	3,78	3,33	2,92	1,53	1,69	1,61	1,86	0,81	0,78	0	4,10
125	NTGR NITZSCHIA GRACILIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,22
126	NUSA NAVICULA AMERICANA	0,17	0,41	1,16	0,23	1,04	0,83	1,48	0,70	0,19	0,23	1,81	0,55	0,27	0,20	1,13	0,22
127	OM FRAGILARIA LEPTOSTAURON MARTYI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
128	PA PINNULARIA ACROSPHERIA	0,17	0,21	0	0	0,26	0	0,25	0	0,57	0	0	0	0,54	0	0	0
129	PBNA PINNULARIA BRAUNIANA	1,16	0,21	1,80	0,68	0	0,71	0,74	0,47	0,38	1,13	0,27	0	0	0	0	0,22
130	PBRE PINNULARIA BREVICOSTATA	1,00	0,41	0,83	0,88	0,78	0,71	0,25	1,05	0,38	0,23	0,80	0,28	0	0,20	0	0
131	PBRI PINNULARIA BREBISONII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
132	POIB PINNULARIA DIVERGENS BACILLARIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
133	PIAN PINNULARIA ANGUSTA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
134	PIB PINNULARIA BOREALIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
135	PIBS PINNULARIA BOREALIS SCALARIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
136	PICA PINNULARIA VIRIDIFORMIS	1,50	1,45	5,70	1,14	2,74	6,85	4,44	2,33	1,15	3,04	4,83	6,48	4,88	6,34	13,03	2,44
137	PIDE PINNULARIA DIVERGENS ELLIPTICA	0,17	0	2,11	0	1,04	0,24	1,23	0	0,57	1,35	1,61	0,83	0,27	1,37	2,69	0
138	PIOI PINNULARIA DIVERGENS	0	0	0	0	0	0	0	0,93	0	0	0	0	0	0	0	1,22
139	PIDM PINNULARIA DIVERGENS MALAYENSIS	0	0	0,21	1,14	1,56	0	0	0	0	0	0,27	0,55	0,81	1,17	0,28	0,22
140	PIEP PINNULARIA EPISCOPALIS	0	0	0,83	0,23	0	0,24	0,25	1,17	0,19	0	0	0	0	0	0,57	0,44
141	PIGI PINNULARIA GIBBA	0	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
142	PIGL PINNULARIA SUBGIBBA	2,16	1,45	5,17	1,71	4,43	1,18	3,70	1,17	3,63	3,38	4,56	2,07	2,98	5,56	4,25	1,77
143	PIIT PINNULARIA INTERRUPTA	0,17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
144	PILB PINNULARIA LANGE-BERTHALOTII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
145	PIMA PINNULARIA MAJOR	0	0,21	0	0	0,39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
146	PIME PINNULARIA MESOLEPTA	0,17	0	0,83	0,48	1,04	0,47	0,25	0	0	0	0,80	0	0,27	0	0	0
147	PIMI PINNULARIA MICROSTAUON	1,00	0,83	0,84	0	1,56	0,47	0,99	0,23	0,57	0,23	1,34	1,10	1,08	0,39	0,28	0,44
148	PIOB PINNULARIA OBSCURA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
149	PIPU PINNULARIA INFIRMA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
150	PIRU PINNULARIA ACUMINATA	0,33	0,21	0,21	0,57	0,26	0	0,25	0	0,19	0,23	0,27	0	0,27	0,20	0	0
151	PISC PINNULARIA GIBBA SANCTA	1,00	0,73	1,27	0,46	0,28	0,24	0,74	0,23	0,95	0,56	0,54	1,10	0,54	0,59	0,85	0,22
152	PTO PINNULARIA STOMATOPHORA	1,50	0	1,80	0,68	2,35	2,24	1,98	0,83	1,53	1,92	0,27	1,93	2,44	1,85	4,53	1,33
153	PBNF PINNULARIA BRANDELIFORMIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0,19	0	0	0	0	0	0	0
154	PSIM PINNULARIA SIMILIFORMIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0,19	0	0	0	0	0	0	0
155	PSUO PINNULARIA SUDETICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
156	RHAC RHOPALODIA ACCUMINATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
157	SA STAURONEIS ANCEPS	0,17	0,82	0,53	0	0,24	0	0	0,19	0,23	0	0	0	0	0	0,28	0
158	SAS STAURONEIS ANCEPS SIBERICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
159	SCRU SCHIZOSTAUON CRUCICULA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
160	SGRA STAURONEIS ANCEPS GRACILIS	1,83	1,87	1,90	2,39	1,43	1,85	1,23	1,17	1,15	2,14	2,01	1,52	1,63	2,83	1,98	1,33
161	SPH STAURONEIS PHOENICENTRON	0,50	0,82	0,83	0	0,26	0,12	0,49	0,23	1,05	1,13	0,54	0,55	1,36	0,98	1,13	0,66
162	STA STEPHANODISCUS ASTREA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
163	STAI S. ASTREA INTERMEDIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
164	STAM STEPHANODISCUS ASTREA MINUTULA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
165	STMI STEPHANODISCUS TENUIS MINOR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
166	SUCA SURIELLA CAPRONII	0,33	0	1,27	0,48	1,04	0,24	1,36	1,87	0,67	0,90	1,21	1,93	1,76	1,46	0,99	0
167	SYNU FRAGILARIA ULNA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
169	Nombre de valves comptés	1203	864	847	878	787	847	810	857	1048	887	746	723	736	1025	706	803

	A	BN	BO	BP	BQ	BR	BS	BT	BU	BV	BW	BX	BY	BZ
1	Epilobes	0408	0422	0437	0461	0467	0482	0498	0611	0627	0637	0643	0652	0654
2	ABR ACHNANTHES BREVIPES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	ACH ACHNANTHES HELVETICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	ACIF ACHNANTHES INFLATA	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0
5	ACR ACHNANTHES ROSENSTOCKII	0	0	0,28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	ACSH ACHNANTHES SUBHUSSONIS	0	0	0	0	0	0	0	0,61	0,28	0,23	0	0,64	0,33
7	ACT ACHNANTHES TRINODIS	0	0	0	0	0	0,19	0	0	0	0	0	0	0
8	AD ACHNANTHES DELICATULA	0	0	0	0	0	0	0	0	0,28	0	0,30	0	0
9	AEX ACHNANTHES EXIGUA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,23	0	0,27	0
10	AEXE ACHNANTHES EXIGUA ELLIPTICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	AGRI ACHNANTHES GRISHUNA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	AHK ACHNANTHES KRYOPHILA	0	0	0	0	0	0	0,68	0	0	0	0	0	0
13	ALA ACHNANTHES LANCEOLATA	0,27	0	0	0,22	0,6	0,88	1,75	1,79	1,88	2,08	0	1,38	0,88
14	ASB ANOMOONEIS BRACHYSIRA	0	0	0,28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	AUC AULACOSEIRA CREMULATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	AULA AULACOSEIRA LAEVISSIMA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	AY AMPHORA LYBICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,27	0
18	CAB CALONEIS BACILLUM	0	0	0	0	0	0	0,28	0,28	0,28	0	0	0	0
19	CAJ CALONEIS INCOGNITA	0,64	0	0,28	0,43	1	0,87	0,68	0,26	0	0	0,30	0	0,18
20	CAS CALONEIS SCHUMANNIANA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	CONO COSCINODISCUS NORMANII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	CP COCCONEIS PLACENTULA	0,27	0,25	0	0	0	0	0	0,28	0	0	0	0,27	0
23	CSL CALONEIS SILICULOSA LIMOSA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	CYAA CYMBELLA ALPINA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	CYCS CYCLOTELLA STELLIGERA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	CYEL CYMBELLA ELGINENSIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	CYL CYMBELLA GRACILIS	0	0	0	0	0	0	0	0,26	0	0	0,30	0	0
28	CYUN CYMBELLA LANCEOLATA	0	0	0	0	0	0,19	0	0,84	0,26	0	0	0	0
29	CYME CYMBELLA MESIANA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	CYMG CYCLOTELLA MENEGHINIANA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	CYML CYMBELLA SILESIIACA	0,81	0,26	0,28	0,88	1	0,19	0	1,02	0	0,23	0	0,27	0,85
32	CYOC CYCLOTELLA OCELLATA	0,27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	CYTR CYMBELLA CUSPIDATA	0	0,25	0,28	0,22	1	0	0	0,51	0,28	0	0	0,82	0,18
34	CYY CYMBELLA CYMBIFORMIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	DKU DENTICULA KUETZINGII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	DS DIPLONEIS SUBOVALIS	0	0	0	0,22	0,25	0,19	0	0	0	0	0	0	0
37	EEPA EUNOTIA PALUDOSA PALUDOSA	0	0	0	0	0	0,19	0	0,28	0	0	0	0,27	0,33
38	EPMA E. PECTINALIS MINOR INTERMEDIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	EUAS EUNOTIA ASTERIONELLOIDES	0	0,25	0	0,43	0	1,17	0	0	0	0	0	0	0
40	EUBO EUNOTIA BOMSAENSIS	0	0	0	0	0	0,19	0	0	0	0	0	0	0
41	EUEP EUNOTIA EPITHEMIOIDES	0,27	0,25	0	0,43	0,26	0,87	0,44	0,26	0,28	0	0,30	0,27	0,33
42	EUFF EUNOTIA FALLAX FALLAX	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
43	EUFL EUNOTIA FLEXUOSA	0	0	0	0	0	0,19	0	0	0	0,23	0	0	0
44	EUHX EUNOTIA HEXAGLYPHIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45	EUMN EUNOTIA INTERMEDIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
46	EUIS EUNOTIA INCISA	1,89	1,49	1,52	1,08	1,26	0,97	2,83	2,30	0,56	1,50	0,81	3,28	1,31
47	EULI EUNOTIA LINEOLATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48	EUMA EUNOTIA PECTINALIS M. IMPRESSA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
49	EUMN EUNOTIA MINOR	0	0	0	0	0,76	0	0,58	0	0	0	0	0,82	0
50	EUMT EUNOTIA MONODON TROPICA	0,27	0,26	0,28	0,85	0,26	0	0,29	0	0	0	0	0	0
51	EUP EUNOTIA PECTINALIS	0	0	0	0	0	0,19	0	0	0	0	0	0	0
52	EUPR EUNOTIA PRAERUPTA	0	0	0	0,22	0	0	0	0	0	0	0	0,27	0
53	EUPU EUNOTIA PECTINALIS UNOULATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
54	EUPV EUNOTIA PECTINALIS VENTRALIS	0	0,26	0,28	0,43	0	0,78	0	1,28	0,28	0	0,30	0	1,31
55	EURH EUNOTIA RHOMBOIDEA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,30	0	0
56	EUSD EUNOTIA SUDETICA	0	0	0,28	0,22	0,76	0	0	0	0	0	0	0	0
57	EUSE EUNOTIA SEPTENTRIONALIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
58	EUSV EUNOTIA PSEUDOVENERIS	0	0,26	0,55	0,43	0,26	0,39	0,58	0	0	0	0	0,54	0
59	EUTN EUNOTIA TENELLA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60	EUWU EUNOTIA WUMBAE	0,27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
61	EUZI EUNOTIA ZYGDDON	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
62	EZ EPITHEMIA ADNATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
63	FB FRAGILARIA BREVISTRATA	0	0	0	0	0	0,18	0,29	0,28	0	0,23	0	0	0
64	FE FRAGILARIA ELLIPTICA	0	0	0	0	0	0,19	0	0	0	0	0	0	0
65	FLD FRAGILARIA LEPTOSTAURON DUBIA	38,39	37,92	34,44	20,83	29,76	10,89	15,08	12,28	2,09	7,98	3,20	4,82	2,84
66	FL F. LEPTOSTAURON LEPTOSTAURON	1,08	1,81	2,82	2,48	0,26	0,78	0,28	0	0	0	0,30	0,27	0
67	FP FRAGILARIA PINNATA	3,77	1,49	1,10	2,16	3,5	0,78	0	0,77	0	0	0,30	0,82	0,33
68	FRAC FRAGILARIA CONSTRUENS	8,78	8,43	8,28	4,84	8,83	2,43	2,05	1,79	0,58	3,24	0,81	1,22	0,33
69	FRAX FRAGILARIA CONSTRUENS EXIGUA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
70	FRC FRUSTULIA RHOMBOIDES CRASSINERVA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
71	FRCV FRAGILARIA CONSTRUENS VENTER	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
72	FRD FRAGILARIA DELICATISSIMA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
73	FRDE FRAGILARIA DENSESTRATA	1,35	0,99	2,20	0	0,26	0	0,29	0	0	0,89	0	0,27	0,85
74	FRH FRUSTULIA RHOMBOIDES RHOMBOIDES	1,82	1,73	1,93	0,85	2,75	1,17	1,17	0	0	0,89	0,30	0,27	0,33
75	FRJ FRAGILARIA JAVANICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
76	FRNE FRAGILARIA NEOPRODUCTA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
77	FRR FRUSTULIA RHOMBOIDES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
78	FV FRAGILARIA VIRESCENS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
79	GAC GOMPHONEMA ACUMINATUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	GCC G. CONSTRICTUM CAPITATUM	0	0	0	0	0	0	0	0,28	0	0	0	0	0
81	GG GOMPHONEMA GRACILE	0	0	0,28	0	0	0,19	0	0,28	0	0,23	0,30	0	0,85
82	GLN GOMPHONEMA LINGULATIFORME	0,54	1,38	0,55	0,43	1,25	0,49	0,58	0,51	0,28	0,23	0,81	1,09	0,33
83	GOMA GOMPHONEMA ANGUSTATUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0,28	0	0	0	0
84	GOMI GOMPHONEMA ANGUSTUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	A	BN	BO	BP	BQ	BR	BS	BT	BU	BV	BW	BX	BY	BZ
1	Espece	0408	0422	0437	0461	0467	0482	0498	0611	0627	0637	0643	0652	0654
85	GP GOMPHONEMA PARVULUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
86	GPSU G.PARVULUM SUBELLIPTICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87	GVP GOMPHONEMA VIBRIO PULVINATUM	0	0,25	0	0	0	0,19	0,58	0,26	0	0	0	0	0
88	HA HANTZSCHIA AMPHIOXYX	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
89	MDA AULACOSEIRA ALPIGENA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90	MEMU AULACOSEIRA MUZZANENSIS	4,85	3,10	4,27	3,56	2,88	28,86	3,07	6,27	1,12	8,24	13,72	13,32	15,50
91	MG AULACOSEIRA GRANULATA	0,27	0,82	0,28	1,73	0,88	1,36	1,81	1,86	0,88	1,82	2,44	0,82	1,88
92	MGA A. GRANULATA ANGUSTISSIMA	0	0,37	0	0,43	0,63	0,39	0,44	0,84	0,84	0,58	0,30	0,54	0,49
93	MGT AULACOSEIRA GRANULATA TUBULOSA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
94	MGV AULACOSEIRA GRANULATA VALIDA	0	0	0	0	0	0	0	0	0,28	0	0	0	0
95	MI AULACOSEIRA ITALICA	16,17	17,10	21,90	35,21	21,98	28,86	55,12	50,90	81,70	87,05	87,84	58,24	66,56
96	MIS AULACOSEIRA SUBARCTICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
97	MIT AULACOSEIRA ITALICA TENUISSIMA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
98	MNY AULACOSEIRA NYGAARDII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
99	NABA NAVICULA BALCANICA	1,08	0,74	0,55	2,38	1	0,19	0,58	0,77	0,28	0,88	0,30	0,68	0
100	NAC NAVICULA PLACENTULA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
101	NAGA NAVICULA GASTRIFORMIS	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0
102	NAHA NAVICULA HALOPHILA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
103	NAIS NAVICULA ISERTII	0	0	0,28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
104	NAMM NAVICULA MUTICA MUTICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
105	NAPL NAVICULA PLATYCEPHALA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,23	0	0	0
106	NAU NAVICULA MUTICA	0	0	0	0,43	0	0	0,58	0,51	0	0	0	0	0
107	NAV NAVICULA LAEVISSIMA	0	0	0,14	0,85	0	0,88	0,88	0,26	0,56	0,23	0,30	0,82	0
108	NBA NAVICULA BACILLUM	0	0	0,28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
109	NCO NAVICULA COHNII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,23	0	0	0
110	NCU NAVICULA CUSPIDATA	0,27	0	0	0,22	0,5	0,10	0	0	0,28	0	0	0	0
111	NEAF NEIDIUM AFFINE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
112	NEAP NEIDIUM AMPLIATUM	0,27	1,49	0	0	0	0,19	0	0,26	0	0	0,30	0	0,33
113	NEGR NEIDIUM GRACILE	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0
114	NEI NEIDIUM IRIDIS	0	0,50	0,28	0,22	0	0,19	0	0,26	0,56	0,23	0	0	0,33
115	NEPR NEIDIUM PRODUCTUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
116	NHER NEIDIUM HERCINICUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
117	NILT NITZSCHIA LATENS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
118	NIRM NEIDIUM IRIDIS AMPHIGOMPHUS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
119	NPP NAVICULA PUPULA	0	0,88	0,28	0	1,25	1,17	0	0	1,12	0,82	0,81	0,85	0
120	NPR NAVICULA GALLICA PERPUSILLA	0	0	0	0	0	0	0	0,51	0	0	0	0	0
121	NRA NAVICULA RADIOSEA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,30	0	0
122	NRAD NAVICULA RADIOPUNCTATA	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0
123	NSM NAVICULA SEMINULUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
124	NSSU N. SEMINULIDES SUMATRANA	1,35	1,24	1,52	1,51	0,75	0,39	0,58	0,26	0	0,48	0	0	0
125	NTGR NITZSCHIA GRACILIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
126	NUSA NAVICULA AMERICANA	0	0,50	0,28	0,43	0,5	0,87	0,28	0	0	0,23	0,30	0,27	0
127	OM FRAGILARIA LEPTOSTAURON MARTYI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
128	PA PINNULARIA ACROSPHERIA	0	0	0	0	0,25	0,19	0	0,26	0	0	0	0	0
129	PBNA PINNULARIA BRAUNIANA	0,54	0,25	0,28	0,78	0,25	0,19	0,58	0	0,28	0	0	0	0
130	PBRE PINNULARIA BREVICOSTATA	0	0	0	0,22	0	0	0	0,26	0	0	0	0	0
131	PBRI PINNULARIA BREBISSEONII	0	0	0	0	0	0,19	0	0	0	0	0	0	0
132	PDB PINNULARIA DIVERGENS BACILLARIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
133	PIAN PINNULARIA ANGUSTA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
134	PFB PINNULARIA BOREALIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
135	PBBS PINNULARIA BOREALIS SCALARIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
136	PICA PINNULARIA VIRIDIFORMIS	8,08	5,95	5,82	3,87	8	3,30	1,17	2,05	0,70	0,88	1,22	0,82	0,49
137	PIDE PINNULARIA DIVERGENS ELLIPTICA	0	0	0	0,22	0,25	0	0	0	0	0	0,30	0	0
138	PIDI PINNULARIA DIVERGENS	1,82	0,50	0,83	0	0	0	0	0,26	0,56	0	0	0	0
139	PIDM PINNULARIA DIVERGENS MALAYENSIS	0	0	0	0,43	1	0,19	0	0,51	0	0	0,30	0	0
140	PIEP PINNULARIA EPISCOPALIS	0	0,50	0	0,22	0,26	0,19	0	0	0,28	0	0	0	0
141	PIGI PINNULARIA GIBBA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
142	PIGL PINNULARIA SUBGIBBA	2,43	2,85	3,03	3,88	3,75	2,82	2,34	2,05	1,40	1,38	0,81	1,38	0,33
143	PIIT PINNULARIA INTERRUPTA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
144	PILB PINNULARIA LANGE-BERTHALOTII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
145	PIMA PINNULARIA MAJOR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
146	PIME PINNULARIA MESOLEPTA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
147	PIMI PINNULARIA MICROSTAUON	0,54	0,88	0,28	1,51	1,125	2,14	2,83	3,07	0,56	0,48	0,30	1,08	1,83
148	PIOB PINNULARIA OBSCURA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
149	PIPU PINNULARIA INFIRMA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
150	PIRU PINNULARIA ACUMINATA	0	0	0	0,22	0,5	0,19	0	0	0	0	0	0	0
151	PISC PINNULARIA GIBBA SANCTA	0,27	0,50	0,55	0,43	0,25	0,39	0	0,26	0	0	0,81	0,27	0,33
152	PILO PINNULARIA STOMATOPHORA	1,82	1,88	1,52	2,58	2	0,39	0,58	0,77	0	0	0,30	0	0
153	PIBF PINNULARIA BRANDELIFORMIS	0	0	0,28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
154	PSIM PINNULARIA SIMILIFORMIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
155	PSUD PINNULARIA SUDETICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
156	RHAC RHOPALODIA ACCUMINATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
157	SA STAUONEIS ANCEPS	0	0,25	0	0	0	0	0	0,51	0	0	0	0,54	0
158	SAS STAUONEIS ANCEPS SIBERICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
159	SCRU SCHIZOSTAUON CRUCICULA	0	0	0	0	0	0	0	0,26	0	0	0	0	0
160	SGRA STAUONEIS ANCEPS GRACILIS	1,75	1,73	1,38	1,51	0,5	1,17	0,88	0,77	0,28	0,82	0,30	0,54	0,33
161	SPH STAUONEIS PHOENICENTERON	0,54	0	0,28	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0
162	STA STEPHANODISCUS ASTREA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
163	STAI S. ASTREA INTERMEDIA	0	0	0	0	0	0,19	0	0	0	0	0	0	0
164	STAM STEPHANODISCUS ASTREA MINUTULA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
165	STMI STEPHANODISCUS TENUIS MINOR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
166	SUCA SURIRELLA CAPRONII	0	0,74	0	0,76	0	0	0	0	0,56	0	0,81	0	0,85
167	SYNU FRAGILARIA ULNA	0	0	0	0	0	0,58	0,58	0,77	0,28	0	0,81	0,85	0
169	Nombre de valves comptees	742	807	726	928	800	1028	884	782	718	885	856	738	813

Annexe X : Liste taxonomique.

Code	Genres et Espèces
ACHNANTHES Bory de Saint Vincent	
ACAS	<i>Achnanthes</i> aff. <i>saccula</i>
ABR	<i>Achnanthes</i> <i>brevipes</i> Agardh
ACE	<i>Achnanthes</i> <i>clevei</i> Grunow
AD	<i>Achnanthes</i> <i>delicatula</i> (Kützing) Grunow
ACEN	<i>Achnanthes</i> <i>engelbrechtii</i> Cholnoky
AEXA	<i>Achnanthes</i> <i>exigua</i> (Grunow) var. <i>exigua</i>
AEXE	<i>Achnanthes</i> <i>exigua</i> (Grunow) var. <i>elliptica</i>
AEX	<i>Achnanthes</i> <i>exigua</i> Grunow
AGRI	<i>Achnanthes</i> <i>grishuna</i> Wuthrich
ACH	<i>Achnanthes</i> <i>helvetica</i> (Hustedt) Lange-Bertalot
ACIF	<i>Achnanthes</i> <i>inflata</i> (Kützing 1844) Grunow
AHK	<i>Achnanthes</i> <i>kryophila</i> Petersen
ALA	<i>Achnanthes</i> <i>lanceolata</i> (Brebisson) Grunow
ACR	<i>Achnanthes</i> <i>rosenstockii</i> Lange-Bertalot
ACSH	<i>Achnanthes</i> <i>subhudsonis</i> Hustedt
ACTH	<i>Achnanthes</i> <i>thermalis</i> (Rabenhorst) Schönfeldt
ACTINELLA Lewis	
ACPR	<i>Actinella</i> <i>peronioides</i> Hustedt
ANOMOEONEIS Pfitzer	
ASB	<i>Anomoeoneis</i> <i>brachysira</i> (Brebisson) Cleve
AULACOSEIRA Thwaites	
MCI	<i>Aulacoseira</i> aff. <i>italica</i>
MDA	<i>Aulacoseira</i> <i>alpigena</i> (Grunow) Krammer
AUC	<i>Aulacoseira</i> <i>crenulata</i> (Ehrenberg) Thwaite
MDH	<i>Aulacoseira</i> <i>distans</i> var. <i>humilis</i> Cleve
MG	<i>Aulacoseira</i> <i>granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen
MGA	<i>Aulacoseira</i> <i>granulata</i> var. <i>angustissima</i> (Müller) Simonsen
MGT	<i>Aulacoseira</i> <i>granulata</i> var. <i>tubulosa</i> Bourrelly & Manguin
MGV	<i>Aulacoseira</i> <i>granulata</i> var. <i>valida</i> (Hustedt) Simonsen
MI	<i>Aulacoseira</i> <i>italica</i> (Ehrenberg) Simonsen
MIT	<i>Aulacoseira</i> <i>italica</i> var. <i>tenuissima</i> (Grunow) Simonsen
AULA	<i>Aulacoseira</i> <i>laevissima</i> (Grunow) Krammer
MEMU	<i>Aulacoseira</i> <i>muzzanensis</i> (Meister) Krammer
MNY	<i>Aulacoseira</i> <i>nygaardii</i> Camburn
MIS	<i>Aulacoseira</i> <i>subarctica</i> (Müller) Haworth
AMPHORA Ehrenberg	
AY	<i>Amphora</i> <i>libyca</i> Ehrenberg
CALONEIS Cleve	
CAB	<i>Caloneis</i> <i>bacillum</i> (Grunow) Cleve
CAI	<i>Caloneis</i> <i>incognita</i> Hustedt
CAS	<i>Caloneis</i> <i>schumanniana</i> (Grunow) Cleve
CSL	<i>Caloneis</i> <i>silicula</i> var. <i>limosa</i> (Kützing) Van Landingham
COCCONEIS Ehrenberg	
CD	<i>Cocconeis</i> <i>diminuta</i> Pantocsek
COPE	<i>Cocconeis</i> <i>pediculus</i> Ehrenberg
CP	<i>Cocconeis</i> <i>placentula</i> Ehrenberg
COS	<i>Cocconeis</i> <i>scutellum</i> Ehrenberg

COSCINODISCUS Ehrenberg	
CONO	<i>Coscinodiscus normanii</i> Gregory
CYCLOTELLA (Kützing) Brébisson	
CYDI	<i>Cyclotella distinguenda</i> Hustedt
CYMG	<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing
CYOC	<i>Cyclotella ocellata</i> Pantocsek
CCP	<i>Cyclotella pseudostelligera</i> Hustedt
CYCS	<i>Cyclotella stelligera</i> Cleve & Grunow
CYMBELLA Agardh	
CYAA	<i>Cymbella alpina</i> Grunow
CYTR	<i>Cymbella cuspidata</i> Kützing
CYY	<i>Cymbella cymbiformis</i> Agardh
CYEL	<i>Cymbella elginensis</i> Krammer
CYL	<i>Cymbella gracilis</i> (Ehrenberg) Kützing
CYHU	<i>Cymbella hustedtii</i> Krasske
CYLN	<i>Cymbella lanceolata</i> (Ehrenberg) Kirchner
CYME	<i>Cymbella mesiana</i> Cholnoky
CYMT	<i>Cymbella minuta</i> Hilse & Rabenhorst
CYNA	<i>Cymbella naviculiformis</i> (Auerswald) Cleve
CYO	<i>Cymbella obscura</i> Krasske
CYML	<i>Cymbella silesiaca</i> Bleisch
CYSL	<i>Cymbella similis</i> Krasske
DENTICULA Kützing	
DKU	<i>Denticula kuetzingii</i> Grunow
DSB	<i>Denticula subtilis</i> Grunow
DIPLONEIS Ehrenberg	
DS	<i>Diploneis subovalis</i> Grunow
ENTOMONEIS Ehrenberg	
ENAA	<i>Entomoneis</i> aff. <i>alata</i>
EUNOTIA Ehrenberg	
EUAP	<i>Eunotia</i> aff. <i>piria</i>
EUAR	<i>Eunotia arcus</i> Ehrenberg
EUAS	<i>Eunotia asterionelloides</i> Hustedt
EUL	<i>Eunotia bilunaris</i> (Ehrenberg) Mills
EULM	<i>Eunotia bilunaris</i> var. <i>mucophila</i> Lange-Bertalot & Nörpel
EUBO	<i>Eunotia bonsaensis</i> Foged
EUCB	<i>Eunotia circumborealis</i> Lange-Bertalot & Nörpel
EUEP	<i>Eunotia epithemioides</i> Hustedt
EUF	<i>Eunotia faba</i> Ehrenberg
EUFF	<i>Eunotia fallax</i> var. <i>fallax</i> Cleve
EUFL	<i>Eunotia flexuosa</i> (Brébisson) Kützing
EUHX	<i>Eunotia hexaglyphis</i> Ehrenberg
EPMI	<i>Eunotia implicata</i> Nörpel, Lange-Bertalot & Alles
EUIS	<i>Eunotia incisa</i> Gregory
EUIN	<i>Eunotia intermedia</i> (Krasske ex Hustedt) Nörpel & Lange-Bertalot
EULI	<i>Eunotia lineolata</i> (Ehrenberg) Hustedt
EUMN	<i>Eunotia minor</i> (Kützing) Grunow
EUMT	<i>Eunotia monodon</i> var. <i>tropica</i> Hustedt
EEPA	<i>Eunotia paludosa</i> var. <i>paludosa</i> Grunow
EUP	<i>Eunotia pectinalis</i> (Müller) Rabenhorst

EUMA	<i>Eunotia pectinalis</i> var. <i>minor f. impressa</i> (Ehrenberg) Hustedt
EPMA	<i>Eunotia pectinalis</i> var. <i>minor f. intermedia</i> Krasske ex Hustedt
EUPU	<i>Eunotia pectinalis</i> var. <i>undulata</i> (Ralfs) Rabenhorst
EUPV	<i>Eunotia pectinalis</i> var. <i>ventralis</i> (Ehrenberg) Hustedt
EUPR	<i>Eunotia praerupta</i> (Ehrenberg)
EUSV	<i>Eunotia pseudoveneris</i> Hustedt
EURA	<i>Eunotia rabenhorstii</i> Grunow
EURH	<i>Eunotia rhomboidea</i> Hustedt
EUSE	<i>Eunotia septentrionalis</i> Ostrup
EUSI	<i>Eunotia siolii</i> Hustedt
EUSA	<i>Eunotia subarcuatoidea</i> Alles, Nörpel & Lange-Bertalot
EUSD	<i>Eunotia sudetica</i> Müller
EUTN	<i>Eunotia tenella</i> (Grunow) Hustedt
EUVE	<i>Eunotia veneris</i> (Kützing) De Toni
EUWU	<i>Eunotia wumbae</i> (Hustedt) Chohnoky
EUZI	<i>Eunotia zygodon</i> Ehrenberg
EUZD	<i>Eunotia zygodon</i> var. <i>depressa</i> Hustedt
EUZE	<i>Eunotia zygodon</i> var. <i>elongata</i> Hustedt

EPITHEMIA Brébisson ex Kützing

EZ	<i>EPITHEMIA ADNATA</i> (Kützing) Brébisson
----	---

FRAGILARIA Lyngbye

FB	<i>Fragilaria biceps</i> (Kützing) Lange-Bertalot
FBIC	<i>Fragilaria brevistriata</i> Grunow
FCA	<i>Fragilaria capucina</i> Desmazières
FCAV	<i>Fragilaria capucina vaucheriae</i> (Kützing) Lange-Bertalot
FRAC	<i>Fragilaria construens</i> (Ehrenberg) Grunow
FRAX	<i>Fragilaria construens</i> f. <i>exigua</i> (W. Smith) Hustedt
FRCV	<i>Fragilaria construens</i> var. <i>venter</i> (Ehrenberg) Hustedt
FRD	<i>Fragilaria delicatissima</i> (W. Smith) Lange-Bertalot
FRDE	<i>Fragilaria densestriata</i> Hustedt
FE	<i>Fragilaria elliptica</i> Schumann
FRJ	<i>Fragilaria javanica</i> Hustedt
FL	<i>Fragilaria leptostauron</i> (Ehrenberg) Hustedt
OM	<i>Fragilaria leptostauron martyi</i> (Héribaud) Lange-Bertalot
FLD	<i>Fragilaria leptostauron</i> var. <i>dubia</i> (Grunow) Hustedt
FRNE	<i>Fragilaria neoproducta</i> Lange-Bertalot
FP	<i>Fragilaria pinnata</i> Ehrenberg
SYNU	<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot
FV	<i>Fragilaria virescens</i> Ralfs

FRUSTULIA Rabenhorst

FRC	<i>Frustulia rhomboides</i> var. <i>crassinervia</i> (Brébisson) Ross
FRH	<i>Frustulia rhomboides</i> var. <i>rhomboides</i> (Ehrenberg) De Toni

GOMPHONEMA Ehrenberg

GAC	<i>Gomphonema acuminatum</i> Ehrenberg
GOMA	<i>Gomphonema angustatum</i> (Kützing) Rabenhorst
GOMI	<i>Gomphonema angustum</i> Agardh
GC	<i>Gomphonema clevei</i> Fricke
GCC	<i>Gomphonema constrictum</i> var. <i>capitatum</i> (Ehrenberg) Cleve
GG	<i>Gomphonema gracile</i> Ehrenberg
GOGL	<i>Gomphonema graciloides</i> Hustedt
GLIN	<i>Gomphonema lingulatiforme</i> Lange-Bertalot & Reichardt
GOMT	<i>Gomphonema minutum</i> (Agardh) Agardh
GOMO	<i>Gomphonema montanum</i> var. <i>subclavatum</i> Grunow
GP	<i>Gomphonema parvulum</i> (Kützing) Kützing

GPSU	<i>Gomphonema parvulum</i> var. <i>subelliptica</i> Cleve
GVIP	<i>Gomphonema vibrio</i> var. <i>pulvinatum</i> Cleve-Euler

GYROSIGMA Hassall

GYNO	<i>Gyrosigma nodiferum</i> (Grunow) Reimer
------	--

HANTZSCHIA Grunow

HA	<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehrenberg) Grunow
HAVI	<i>Hantzschia vivax</i> (W. Smith) M. Peragallo

NAVICULA Bory de Saint Vincent

NAAE	<i>Navicula</i> aff. <i>elephantis</i>
NUSA	<i>Navicula americana</i> Ehrenberg
NBA	<i>Navicula bacillum</i> Ehrenberg
NABA	<i>Navicula balcanica</i> Hustedt
NACA	<i>Navicula capitata</i> Ehrenberg
NACR	<i>Navicula capitatoradiata</i> Germain
NCOO	<i>Navicula cocconeiformis</i> Gregory
NCO	<i>Navicula cohnii</i> (Hilse) Lange-Bertalot
NACO	<i>Navicula concinna</i> Hustedt
NCON	<i>Navicula constans</i> Hustedt
NCN	<i>Navicula contenta</i> Grunow
NRT	<i>Navicula cryptotenella</i> Lange-Bertalot
NCU	<i>Navicula cuspidata</i> (Kützing) Kützing
NADE	<i>Navicula densa</i> Hustedt
NADI	<i>Navicula diversipuntata</i> Hustedt
NAEX	<i>Navicula exigua</i> (Gregory) Grunow
NEXF	<i>Navicula exiguiformis</i> Hustedt
NPR	<i>Navicula gallica</i> var. <i>perpusilla</i> (Grunow) Lange-Bertalot
NAGA	<i>Navicula gastriformis</i> Hustedt
NG	<i>Navicula gastrum</i> (Ehrenberg) Kützing
NAHA	<i>Navicula halophila</i> (Grunow) Cleve
NAHE	<i>Navicula heimansii</i> Van Dam & Kooyman
NAIS	<i>Navicula isertii</i> Foged
NAKO	<i>Navicula kotschyi</i> Grunow
NAV	<i>Navicula laevissima</i> Kützing
NALP	<i>Navicula laevissima</i> var. <i>perhibita</i> (Hustedt) Lange-Bertalot
NAI	<i>Navicula minima</i> Grunow
NAU	<i>Navicula mutica</i> Kützing
NAMM	<i>Navicula mutica</i> var. <i>mutica</i> Kützing
NMV	<i>Navicula mutica</i> var. <i>ventricosa</i> (Kützing) Cleve & Grunow
NANY	<i>Navicula nyassensis</i> O.Müller
NAVO	<i>Navicula obligata</i> Hustedt
NAOM	<i>Navicula omegopsis</i> Hustedt
NAC	<i>Navicula placentula</i> (Ehrenberg) Grunow
NAPL	<i>Navicula platycephala</i> O.Müller
NPP	<i>Navicula pupula</i> Kützing
NRAD	<i>Navicula radiopuntata</i> Hustedt
NRA	<i>Navicula radiosa</i> Kützing
NRON	<i>Navicula rotunda</i> Hustedt
NASC	<i>Navicula schoenfeldii</i> Hustedt
NSSU	<i>Navicula seminuloides</i> var. <i>sumatrana</i> Hustedt
NSM	<i>Navicula seminulum</i> Grunow
NSUA	<i>Navicula subarvensis</i> Hustedt
NAVR	<i>Navicula viridula</i> var. <i>rostellata</i> (Kützing) Cleve

NEIDIUM Pfitzer

NEAF	<i>Neidium affine</i> (Ehrenberg) Pfitzer
NEGR	<i>Neidium gracile</i> Hustedt
NHER	<i>Neidium hercynicum</i> A. Mayer
NEI	<i>Neidium iridis</i> (Ehrenberg) Cleve
NIRM	<i>Neidium iridis amphigomphus</i> (Ehrenberg) Mayer
NEPR	<i>Neidium productum</i> (W. Smith) Cleve

NITZSCHIA Hassall

NIAS	<i>Nitzschia aff subdenticula</i>
NIAM	<i>Nitzschia amphibia</i> Grunow
NTEP	<i>Nitzschia epiphytica</i> O. Müller
NF	<i>Nitzschia frustulum</i> (Kützing) Grunow
NTGR	<i>Nitzschia gracilis</i> Hantzsch
NTIT	<i>Nitzschia intermedia</i> Hantzsch
NILT	<i>Nitzschia latens</i> Hustedt
NISU	<i>Nitzschia subacicularis</i> Hustedt

ORTHOSEIRA Thwaites

ORRO	<i>Orthoseira roseana</i> (Rabenhorst) O'Meara
------	--

PINNULARIA Ehrenberg

PA	<i>Pinnularia acrospheria</i> Rabenhorst
PIRU	<i>Pinnularia acuminata</i> W. Smith
PANG	<i>Pinnularia anglica</i> Krammer
PIAN	<i>Pinnularia angusta</i> (Cleve) Krammer
PIB	<i>Pinnularia borealis</i> Ehrenberg
PIBS	<i>Pinnularia borealis scalaris</i> (Ehrenberg) Rabenhorst
PNBF	<i>Pinnularia brandeliformis</i> Krammer
PBNA	<i>Pinnularia brauniana</i> (Grunow) Mills
PBR	<i>Pinnularia braunii</i> (Grunow) Cleve
PBRA	<i>Pinnularia braunii amphicephala</i> (Amayer) Hustedt
PBRI	<i>Pinnularia brebissonii</i> Kützing
PBRE	<i>Pinnularia brevicostata</i> Cleve
PDIB	<i>Pinnularia divergens bacillaris</i> (M. Peragallo) Mills
PIDE	<i>Pinnularia divergens elliptica</i> (Grunow) Cleve
PIDM	<i>Pinnularia divergens malayensis</i> Hustedt
PIDI	<i>Pinnularia divergens</i> W. Smith
PIEP	<i>Pinnularia episcopalis</i> Cleve
PIGI	<i>Pinnularia gibba</i> Ehrenberg
PISC	<i>Pinnularia gibba</i> var. <i>sancta</i> Grunow
PIGF	<i>Pinnularia gibbiformis</i> Krammer
PIPU	<i>Pinnularia infirma</i> Krammer
PIIT	<i>Pinnularia interrupta</i> W. Smith
PILE	<i>Pinnularia legumen</i> Ehrenberg
PIMA	<i>Pinnularia maior</i> Rabenhorst
PIME	<i>Pinnularia mesolepta</i> (Ehrenberg) W. Smith
PIMI	<i>Pinnularia microstauron</i> (Ehrenberg) Cleve
PIOB	<i>Pinnularia obscura</i> Krasske
PSIM	<i>Pinnularia similiformis</i> Krammer
PITO	<i>Pinnularia stomatophora</i> (Grunow) Cleve
PISE	<i>Pinnularia subcapitata elongata</i> Krammer
PISU	<i>Pinnularia subcapitata</i> Gregory
PSUR	<i>Pinnularia subcapitata</i> var. <i>rostrata</i> Krammer
PIGL	<i>Pinnularia subgibba</i> Krammer
PSUD	<i>Pinnularia sudetica</i> (Hilse) Hilse
PICA	<i>Pinnularia viridiformis</i> Krammer

RHOPALODIA O. Müller	
RHAC	<i>Rhopalodia accuminata</i> Krammer
STAURONEIS Ehrenberg	
SA	<i>Stauroneis anceps</i> Ehrenberg
SGRA	<i>Stauroneis anceps gracilis</i> (Ehrenberg) Brun
SAS	<i>Stauroneis anceps siberica</i> Grunow
STCR	<i>Stauroneis crucicula</i> W. Smith
SK	<i>Stauroneis kriegeerii</i> Patrick
SPH	<i>Stauroneis phoenicenteron</i> (Nitzsch) Ehrenberg
STSM	<i>Stauroneis smithii</i> Grunow
STAW	<i>Stauroneis wislouchii</i> Poretzky & Anisimowa
SCHIZOSTAURON Grunow	
SCRU	<i>Schizostauron crucicula</i> Otto Müller
STEPHANODISCUS Ehrenberg	
STA	<i>Stephanodiscus astrea</i> Grunow
STAI	<i>Stephanodiscus astrea</i> var. <i>intermedia</i> Fricke
STAM	<i>Stephanodiscus astrea</i> var. <i>minutula</i> (Kützing) Grunow
STMI	<i>Stephanodiscus tenuis</i> f. <i>minor</i> Gasse
STENOPTEROBIA Brébisson	
STEC	<i>Stenopteroberia curvula</i> (W. Smith) Krammer
SUE	<i>Stenopteroberia delicatissima</i> (Lewis) Van Heurck
SURIRELLA Turpin	
SUCA	<i>Surirella capronii</i> Brébisson
SUCO	<i>Surirella constricta</i> W. Smith
SUEN	<i>Surirella engleri</i> Otto Müller
SUL	<i>Surirella linearis</i> W. Smith
SURO	<i>Surirella robusta</i> Ehrenberg
SYNEDRA Ehrenberg	
SYDO	<i>Synedra dorsiventralis</i> Otto Müller

Remarques taxonomiques et écologiques des espèces les plus abondantes dans la flore sub-actuelle.

***Achnanthes exigua* (Grunow) var. *exigua* Planche I n° 38, 38, 42**

Valves mesurant 5 à 16 μm de long, 4 à 8 μm de large, avec 20 à 25 stries en 10 μm dans la partie centrale des deux valves. Les stries sont plus serrées aux extrémités, 24 à 28 stries en 10 μm .

***Achnanthes exigua* var. *elliptica* Hustedt Planche I n° 39, 40**

Valves de 6 à 18 μm de long, 4,5 à 7 μm de large, comportant 25 à 30 stries en 10 μm dans leur partie centrale et 28 à 30 stries en 10 μm aux extrémités.

L'écologie de ces variétés est la même que celle de l'espèce. Elles seraient très répandues dans les lacs, les rivières et les torrents (Patrick et Reimer, 1966), dans les marécages et en aval des sources (Schoeman, 1973). Selon Gasse (1986), *A. exigua* et ses variétés ne présenteraient aucune affinité écologique bien déterminée.

Ces deux variétés coexistent au nord du lac Mévia et dépassent chacune 20 % d'abondance dans les échantillons MV2 et MV10.

***Achnanthes lanceolata* (Brebisson) Grunow Planche I n° 32, 41, 43.**

Valves de 12 à 28 μm de long, 6 à 10 μm de large, avec sur 10 à 11 stries en 10 μm .

C'est une espèce épiphyte (Gasse, 1986), elle se rencontre dans les sources, torrents, aires marécageuses (Schoeman, 1973) dans des eaux bien aérées (Patrick et Reimer, 1966). Elle est rhéophile (Hustedt, 1957).

Ses abondances les plus élevées sont observées dans les échantillons S65a (15,5 %), SO65 (14 %), SA1 (11,5 %) et SA2 (53 %) qui ont été prélevés dans le chenal ou dans la Sanaga. Elles y vivent fixées sur des galets ou à des macrophytes.

***Aulacoseira muzzanensis* (Meister) Krammer = *Melosira granulata* var. *muzzanensis* (Meister) Bethge. Planche I n° 36.**

Les cellules sont cylindriques, le diamètre de la valve est compris entre 6 et 15 μm , la hauteur entre 6 et 12 μm , 10 à 13 stries en 10 μm , chaque strie comprend 13 à 18 aréoles rondes ou elliptiques en 10 μm . Chaque strie est constituée par une double rangée d'aréoles. D'après Gasse (1986), cette variété serait très proche de *A. granulata* var. *jonensis* Grun. On observe entre ces deux variétés de nombreuses formes de transition.

Elle est planctonique selon Hustedt (1930), Cholnoky (1968), Schoeman (1973) Germain (1981). Gasse (1980) la considère comme espèce euplanctonique mais pouvant vivre aussi dans des eaux peu profondes et turbides.

Elle est très abondante (> 50 %) dans les échantillons MB1, MB3, MV7, MV13, SO39, SO59, SO61, FOW1, FOW2, FOW3 et FOW4.

Aulacoseira italica (Ehrenberg) Simonsen. Planche I n° 35

Cellules cylindriques mesurant 4 à 7 µm de diamètre, hauteur d'une valve allant de 8 à 14 µm, 16 à 18 stries en 10 µm. Les stries sont légèrement spiralées et comprennent 16 à 21 aréoles en 10 µm.

C'est une espèce planctonique pour Cholnoky (1968) et Mölder & Tynni (1967). Certains auteurs la classent parmi les littorales (Hustedt, 1930, Gasse, 1980 ; Lange Bertalot, 1991).

Elle est abondante (25-36,5 %) dans les échantillons FOW5, FOW7, MV7, SO33, SO38, SO46 et SO61 où elle coexiste avec la variété *tenuissima*.

Aulacoseira aff. italica. Planche I n° 33

C'est une forme proche du morphotype *A. italica*, mais il s'en distingue par le diamètre plus grand des cellules (5 à 13 µm), la faible hauteur des valves (4 à 8 µm) et des stries souvent interrompues. La valve présente 18 à 20 stries en 10 µm, chaque strie ayant 14 à 18 aréoles en 10 µm.

On constate que cette espèce peut être abondante aussi bien en basses qu'en hautes eaux. Son mode serait ainsi comparable à celui de *A. italica* d'après Hustedt (1930), Gasse (1980) et Germain (1981). Ces différents auteurs affirment que *A. italica* est une espèce littorale, benthique ou planctonique.

Elle est assez répandue dans la flore étudiée et dépasse 50 % dans les échantillons MO1, MV4, NS1b, NS2, SO27, SO41 et SO44.

Anomoeoneis brachysira (Brebisson *in* Rabenhorst) Grunow. Planche II n° 6.

La forme la plus commune varie 13 et 22,5 µm de long, certains individus pouvant atteindre 45 µm de long. Les cellules sont larges de 4 à 10 µm, avec 18 à 26 stries en 10 µm.

C'est une espèce de tourbières ou d'étangs tourbeux (Germain, 1981). Elle est rencontrée dans des eaux oligotrophes peu électrolysées des milieux Nord alpins (Krammer et Lange-Bertalot, 1986). Selon Schoeman (1973), c'est une espèce de milieux acides, son pH optimum se situe entre 5,2 et 5,3 (Cholnoky, 1968).

Sa plus forte abondance (11%) est observée dans l'échantillon NS3 du Nsipé.

***Eunotia incisa* Gregory = *Eunotia pseudoveneris* Hustedt.**

Planche I n° 2, 5, 6, 8.

Cellules formant des colonies parfois très longues, on observe des variations considérables de la longueur 18 à 65 µm. La largeur des cellules est comprise entre 4 et 6 µm. Le nombre de stries est de 10 à 14 en 10 µm.

C'est une espèce rencontrée dans les milieux marécageux, dans les sources, les flaques (Hustedt, 1930).

Elle montre des abondances assez élevées (> 25 %) dans les échantillons ILK1, MO7, MV8, MV9, SO49 et SO51.

***Eunotia aff. pirla*. Planche I n° 7**

Espèce morphologiquement proche de *E. incisa*, cellule de 13 à 36 µm de long, large de 5 à 8 µm, 9 à 12 stries en 10 µm.

Cette espèce présente sa plus forte abondance (62,5%) dans l'échantillon SO42 prélevé au Nord du lac Ossa sous 30 cm d'eau et à un pH de 6,87. Elle est peu répandue dans le milieu étudié.

***Eunotia hexaglyphis* Ehrenberg. Planche I n° 9**

Cellule longue de 28 à 75 µm, large de 7 à 10 µm, 9 à 18 stries en 10 µm., le nombre de bosse dorsale varie entre 4 et 11. Cellules formant parfois de fortes colonies.

C'est une espèce rencontrée dans les sources lacs et marais de montagne (Hustedt, 1930 ; Patrick et Reimer, 1966) dans des eaux oligotrophes et froids (Krammer et Lange Bertalot, 1991).

Les plus fortes abondances de l'espèce (> 8%) sont rencontrées dans les échantillons ILK1, MB4a, SO53, SO54, et SO55.

***Eunotia pectinalis var. ventralis* (Ehrenberg) Hustedt. Planche I n° 10**

Cellules mesurant 54 à 110 µm de long, 6 à 8,5 µm de large. Les stries (7 à 9 en 10 µm) sont composées d'une double rangée de points visibles au microscope optique.

L'espèce est rencontrée avec ses variétés dans les flaques, les mares et les sources (Hustedt, 1930). Elles vivent en épiphytes, épipéliques, dans des eaux légèrement acides (Gasse, 1986). Le pH optimum est de 6,5 (Cholnoky, 1968). Selon Patrick et Reimer (1966), elles se développent dans des eaux faiblement minéralisées oligotrophes à eutrophes.

Elle est abondante (26 %) dans l'échantillon MB1b.

Eunotia praerupta Ehrenberg. Planche I n° 3

Les individus rencontrés mesurent 22 à 26 µm de long, 7 à 9 µm de large, avec 12 à 14 stries en 10 µm.

E. praerupta c'est une espèce très répandue dans les étangs et marais, particulièrement en montagne, elle est rare en plaine (Hustedt, 1930). D'après Krammer et Lange-Bertalot (1991), elle se rencontre aussi dans les mousses, les rochers mouillés, les sources, les marécages les flaques, les mares en eaux oligotrophes à mésotrophes. Son pH optimum se situe vers 5,5.

Son abondance maximum est rencontrée dans l'échantillon MB1b.

Eunotia asterionelloïdes Hustedt. Planche I n° 1

Cellules mesurant 23 à 39 µm de long, 2 à 3,5 µm de large, 12 à 19 stries en 10 µm.

Son écologie est peu connue dans la littérature. C'est une espèce planctonique selon Cholnoky (1968).

Elle est relativement abondante (6,5 à 26 %) dans les échantillons SO45, FO10, MB1b, SO49, SO40, MIP, et SO63.

Eunotia paludosa* var. *paludosa Grunow = *E. exigua* (Breb. ex Kütz) var. *exigua*.

Les individus rencontrés mesurent 11 à 21 µm de long, rarement ils atteignent 32 µm. Ils sont larges de 2,5 à 4 µm avec 14 à 24 stries en 10 µm.

C'est une espèce souvent trouvée dans les mousses, dans des eaux à faibles teneurs en éléments minéraux, dans des tourbières, les sources et les petits torrents (Patrick et Reimer, 1966). Elle est largement répandue dans des eaux acides et oligotrophes riches en oxygène dissous (Schoeman, 1973). Elle est acidophile (Hustedt, 1957). Son pH optimum se situe entre 5,2 et 5,3.

Les plus fortes abondances de l'espèce (5 à 15,5 %) sont rencontrées dans les échantillons MB4a, SO40, SO49 et SO51.

Eunotia bilunaris* var. *mucophila Lange-Bertalot et Nörpel.

Les cellules sont longues de 11,5 à 49 µm, larges de 2,5 à 3 µm, avec 16 à 22 stries en 10 µm.

L'espèce et ses variétés sont rencontrées en épiphytes dans des marais, en eau acide stagnante ou courante et peu minéralisée (Lange-Bertalot et Krammer, 1991).

Elle présente des abondances supérieures à 5 % dans les échantillons MV8 et SO52.

Cymbella cuspidata Kützing. Planche I n° 12

Cellules de 35 à 55 µm de long, 8 à 13 µm de large. Le nombre de stries est compris entre 8 et 12 en 10 µm sur les bords dorsal et ventral.

Elle est trouvée dans des étangs parmi les macrophytes (Germain, 1981). Selon Gasse (1980), elle est littorale, oligohalobe, et alcaliphile à indifférente.

Sa plus forte abondance (9,5%) est observée dans l'échantillon SO27.

Cymbella silesiaca Bleisch in Rabenhorst. Planche I n° 13

Valves longues de 36 à 68 µm, larges de 8 à 14 µm, avec 7 à 10 stries en 10 µm sur le bord ventral et 7 à 9 en 10 µm sur le bord dorsal. C'est une espèce rencontrée dans les eaux courantes oligotrophes à eutrophes (Krammer et Lange-Bertalot, 1986). D'après Foged (1974) l'espèce peut vivre dans différents biotopes : lacs, rivières, mares et sources Elle a été trouvée en épiphyte ou épipélique dans de nombreux lacs ouest Africains et dans des eaux à courant faible. Son pH optimum est compris entre 7,7 et 7,8 (Cholnoky, 1968).

Elle montre des abondances proches de 5 % dans les échantillons SO63, SO65 et SA1. Elle vit fixée sur des macrophytes immergés.

Cymbella similis Krasske.

Les valves de 22 à 27 µm de long, 7 à 8 µm de large, comprenant 9 à 11 stries en 10 µm sur les deux bords dans la partie centrale, 12 à 13 aux extrémités.

Elle est rencontrée sur des rochers suintants en eaux froides et oligotrophes (Krammer et Lange-Bertalot, 1986).

Elle atteint 5,5 % dans l'échantillon SO40.

Cymbella gracilis (Ehrenberg 1843) Kützing.

Les valves sont longues de 22 à 36 µm, larges de 4,5 à 7 µm, avec 11 à 14 stries en 10 µm sur le bord dorsal, 11 à 13 en 10 µm sur le bord ventral. Aux extrémités, elles atteignent 15 à 16 en 10 µm.

C'est une espèce très répandue en montagne, peu fréquente à rare en plaine (Hustedt, 1930). Elle se rencontre aussi dans des tourbières acides (Germain, 1981). C'est un taxon d'eaux oligotrophes et peu minéralisées (Krammer et Lange-Bertalot, 1986). Son pH optimum se situe entre 6,3 et 6,5 (Cholnoky, 1968).

Son abondance maximum est observée dans l'échantillon MV9 (5,5 %).

Fragilaria construens (Ehrenberg) Grunow. Planche I n° 23

Cellules longues de 9 à 20 µm, larges de 6 à 10 µm, avec 8 à 11 stries en 10 µm.

Elle est rencontrée dans les zones littorales des lacs et dans les fonds boueux des zones peu étendues (Hustedt, 1930). C'est une espèce alcaliphile vivant dans les eaux oligotrophes riches en oxygène (Schoeman, 1973). Son pH optimum est compris entre 7,5 et 7,8 (Cholnoky, 1968).

Sa plus forte abondance (7%) est observée dans l'échantillon MV6 du lac Mévia.

***Fragilaria pinnata* Ehrenberg. Planche I n° 22**

Les cellules rencontrées sont longues de 5 à 10 µm, larges de 3 à 6 µm. Elles comprennent 8 à 10 stries en 10 µm.

C'est une espèce littorale (Hustedt, 1930) parfois planctoniques (Bourrelly et Manguin, 1952), rencontrée aussi dans des lacs peu profonds et les rivières (Gasse, 1986). D'après Shoeman (1973), elle est un bon indicateur d'eau oligotrophe riche en oxygène. Elle est alcaliphile (Hustedt, 1957), son pH optimum se situe entre 7,6 et 7,8.

Sa plus forte abondance (3 %) est observée dans l'échantillon SO58.

***Fragilaria leptostauron var. dubia* (Grunow) Hustedt.**

Planche I n° 24-25

Valves longues de 6 à 36 µm, larges de 3 à 9 µm, comportant 4 à 11 stries en 10 µm. Malgré la structure des stries nettement différentes de celle de *F. pinnata* les petites formes des deux espèces sont difficiles à séparer en microscopie optique.

D'après Hustedt (1930) et Gasse (1980), elle est littorale mais elle peut aussi coloniser les milieux peu profonds et les fonds boueux (Patrick et Reimer, 1966). Elle est oligotrophe (Cholnoky, 1968).

Ses plus fortes abondances (> 15 %) sont observées dans les échantillons MV10 et MV3 du lac Mévia, SO48, SO57, SO58 et SO60 prélevés à l'Est du lac Ossa.

***Fragilaria construens f. exigua* (W. Smith) Hustedt.**

Valves de forme triangulaire ou sub-triangulaire de 5 à 9 µm de côté. Sur les individus rencontrés, nous n'avons pas pu observer des stries en microscopie optique.

C'est une espèce littorale ou planctonique, oligohalobe et alcaliphile (Gasse, 1980).

Elle dépasse 5 % d'abondance dans les échantillons FO11, FOW1, FOW6 et SO60.

***Fragilaria densestriata* Hustedt.**

Cellules mesurant 7 à 9 µm de long, 3 à 3,5 µm de large. Les stries n'ont pas été observées en microscopie photonique. D'après la description de Simonsen (1987), ces stries sont en position marginales et sont au nombre de 32 en 10 µm.

Son écologie n'est pas connue dans la littérature, son pH optimum se situe vers 6 (Cholnoky, 1968).

Sa plus forte abondance dans la flore sub-actuelle est observée dans l'échantillon FOW1 prélevé sous 150 cm d'eau en Avril (début de la saison des pluies).

Frustulia rhomboïdes (Ehrenberg) De Toni. Planche II n° 4

Cellules mesurant 45 à 110 µm de long, 12,5 à 21 µm de large, avec 30 à 32 stries en 10 µm. Dans le sens longitudinal de la valve, le nombre de points en 10 µm est de 23 à 30.

Elle est rencontrée dans les tourbières (Patrick et Reimer, 1966).

Les abondances les plus élevées (> 20 %) sont observées dans les échantillons ILK1, MB4, MB4a, NS3, SO31 et SO55.

Gomphonema gracile Ehrenberg. Planche II n° 20

Cellules mesurant 35 à 52 µm de long, 6 à 10 µm de larges de 6 à 10 µm, comportant 8 à 12 stries en 10 µm.

C'est une espèce d'eau stagnante particulièrement abondant dans les tropiques (Hustedt, 1930), elle vit de préférence dans des eaux oligotrophes, neutre à légèrement alcaline (Schoeman, 1973).

Son abondance maximum (3 %) est observée dans l'échantillon SO65.

Gomphonema linguliforme Lange-Bertalot et Reichardt

= *Gomphonema grovei* var *lingulatum* (Hustedt) Lange-Bertalot.

Planche I n° 15-19

Cellules longues de 23 à 44 µm, larges de 7 à 8 µm, comportant 15 à 20 stries en 10 µm,

C'est une espèce rencontrée dans les rivières en eau mésotrophe à eutrophe (Lange-Bertalot et Krammer, 1986).

Les abondances les plus élevées sont observées dans les échantillons MV3 (9 %) et SO60 (11%).

Navicula pupula Kützing.

Les individus rencontrés sont longues de 20 à 45 µm, larges de 8 à 12 µm, avec 16 à 20 stries en 10 µm.

Elle se développe dans des biotopes divers, sources thermales, tourbières, rivières, petits et grands lacs, où elle vit en benthiques ou en épiphyte et occasionnellement dans le plancton (Gasse, 1986). C'est un bon indicateur d'eau fortement alcaline si elle est présente en grand nombre (Schoeman, 1973). Elle semble préférer selon Patrick et Reimer (1966) des eaux douces d'assez fortes teneurs en électrolytes. Son pH optimum se situe autour de 8 (Cholnoky, 1968).

Son abondance maximum (5,5 %) est observée dans l'échantillon SA1.

***Navicula seminuloïdes* var. *sumatrana* Hustedt.**

Valves de 6 à 19 µm de long, 4,5 à 6 µm de large, avec 15 à 22 stries en 10 µm.

C'est une espèce rencontrée dans les flaques, rivières, sources, vivant en benthique ou en épiphytes mais pouvant aussi se trouver dans le plancton (Gasse, 1986).

Son abondance maximum est observée dans l'échantillon SO57 (11 %) prélevé dans la partie Est du lac Ossa sous 20 cm d'eau en Mars 1995.

***Navicula cryptotenella* Lange-Bertalot.**

Valves longues de 20 à 42 µm, larges de 5 à 12 µm avec 14 à 16 stries en 10 µm.

Elle est cosmopolite et se rencontre dans des eaux à teneurs faibles à très élevées en électrolytes (Krammer et Lange-Bertalot, 1986).

Son abondance maximum (5,5 %) est observée dans l'échantillon SA1.

***Navicula subarvensis* Hustedt.**

En microscopie optique, seul le contour cellulaire et le raphé sont clairement visibles. Le reste de la cellule est une masse sombre où on observe difficilement les stries. Les valves sont longues de 10 à 17 µm, larges de 4,5 à 9 µm, avec 28 à 30 stries en 10 µm.

D'après l'écologie de *N. arvensis* qui lui est morphologiquement proche, c'est une espèce d'eau oligotrophe et légèrement acide (Schoeman, 1973). Son pH optimum est de 6,5 (Cholnoky, 1968).

Sa plus forte abondance (15%) est observée dans l'échantillon SO42.

***Navicula concinna* Hustedt. Planche II n° 7**

Les cellules sont longues de 26 à 47 µm, larges de 11 à 17 µm, comportant 12 à 17 stries en 10 µm.

L'écologie de l'espèce n'est pas connue dans la littérature, l'holotype a été récolté par Hustedt (1944 in Simonsen 1987) dans une lagune du Cameroun.

Sa plus forte abondance (9,5 %) est observée dans l'échantillon SA1 de la Sanaga.

***Navicula heimansii* Van Dam et Kooyman.**

Cellules de 31 à 47 µm de long, 5,5 à 8 µm de large, avec 12 à 19 stries en 10 µm.

Son écologie est mal connue. D'après Krammer et Lange-Bertalot (1986), elle est cosmopolite et vit dans des eaux à acidité modérée.

A Ossa, sa plus forte abondance (13%) est observée dans SO55 qui a été prélevé sous 10 cm d'eau, et à un pH de 4,87.

Navicula capitatoradiata Germain = *Navicula cryptocephala* var. *intermedia* Grunow. Planche II n° 11

Les cellules sont longues de 33 à 45 µm, larges de 9 à 10 µm, elles comportent 14 à 15 stries en 10 µm.

C'est une espèce commune dans les ruisseaux, moins fréquente dans les dépôts littoraux (Germain, 1981). Elle est épiphyte sur les macrophytes et semble préférer les eaux à très faibles teneurs en solides dissous (Gasse, 1986). Elle est alcaliphile et tolère bien les conditions eutrophes d'après Shoeman (1973), son pH optimum se situe à 8 (Cholnoky, 1968).

Elle atteint 63 % dans l'échantillon SO43.

Neidium iridis (Ehrenberg) Cleve. Planche II n° 2

Valves de 55 à 90 µm de long, 24 à 31 µm de large, avec 18 à 20 stries en 10 µm. Les stries comportent 14 à 18 points en 10 µm.

C'est une espèce d'eau stagnante se rencontrant dans les lacs, les flaques, les tourbières, occasionnellement dans les rivières (Patrick et Reimer, 1966), épipélique (Lange Bertalot et Krammer, 1986).

Elle présente ses plus fortes abondances dans les échantillons MO3 (10,5 %) et MO5 (20 %) du Mboli.

Pinnularia divergens* var. *elliptica (Grunow) Cleve.

Cellules longues de 63 à 155 µm, larges de 15 à 24 µm, comportant 9 à 13 stries en 10 µm.

L'espèce est rencontrée dans les mares, les flaques et les sources en montagnes (Hustedt, 1930), dans des eaux à très faibles teneurs en éléments minéraux (Patrick et Reimer, 1966). Son pH optimum se situe entre 5,8 et 6,1 (Cholnoky, 1968). La variété *elliptica* est plus fréquente en montagne qu'en plaine dans des eaux très oxygénée et à pH inférieur à 6,5 (Krammer, 1992).

Sa plus forte abondance (9%) est observée dans l'échantillon MO8.

Pinnularia stomatophora (Grunow) Cleve.

Les individus rencontrés sont longs (155 à 320 µm) et larges de 20 à 28 µm, avec 8 à 9 stries en 10 µm.

C'est une espèce vivant sur les mousses ou sur la vase (Lange-Bertalot et Krammer, 1986).

Ses plus fortes abondances (> 14 %) sont observées dans les échantillons MO5 et MO8.

Pinnularia brauniana (Grunow) Mills. Planche II n° 20

Valves de 25 à 47 µm, large de 5 à 9 µm, comportant 10 à 14 stries en 10 µm.

Elle est cosmopolite, se rencontre dans des eaux oligotrophes à dystrophes peu électrolysées, de pH inférieur à 6 (Krammer, 1992).

Elle atteint des abondances supérieures à 5 % dans les échantillons MB4, MB4a, MIP et SO55.

Pinnularia subgibba Krammer = *P. gibba* var. *linearis*. Planche II n° 19

Valves de 46 à 96 µm de long, 9 à 11 µm de large, comportant 8 à 9 stries en 10 µm.

C'est une forme benthique (Hustedt, 1930) en milieu peu étendu (Lange-Bertalot, 1992), elle se rencontre dans le périphyton des eaux peu profondes avec des rares occurrences dans les rivières ou dans les tourbières (Gasse, 1986).

Sa plus forte abondance est observée dans l'échantillon MO5 du lac Mboli.

Pinnularia viridiformis Krammer. Planche II n° 17

Cellules longues de 75 à 246 µm, larges de 16 à 31 µm, avec 7 à 10 stries en 10 µm.

D'après l'écologie de *P. viridis* qui lui est morphologiquement proche, c'est une espèce qui se développe préférentiellement sur les fonds (Hustedt, 1930), dans les ruisseaux, les mares, dans les petits lacs (Mölder et Tynni, 1968-1973), ou dans les tourbières (Gasse, 1986).

On observe ses plus fortes abondances dans le lac Mboli dans les échantillons MO5 (18 %) et MO8 (37 %).

Pinnularia microstauron (Ehrenberg) Cleve. Planche II n° 12

Valves de 50 à 72 µm de long, de 12 à 13 µm de large, comportant 8 à 10 stries en 10 µm.

Elle est benthique (Hustedt, 1930; Mölder et Tynni, 1968-1973; Gasse, 1986).

Ses plus fortes abondances (> 12 %) sont observées dans les échantillons FOW4 et NS1.

Pinnularia maior (Kützing) Rabenhorst.

Les individus rencontrés mesurent 150 à 278 µm de long, large de 38 à 40 µm, comportant 7 à 8 stries en 10 µm.

Elle est rencontrée dans le périphyton des lacs peu profonds, dans les rivières et les tourbes (Gasse, 1986). C'est une espèce largement répandue dans les eaux d'assez basses teneurs en éléments minéraux (Patrick et Reimer, 1966), indifférente au pH (Hustedt, 1957). Son pH optimum se situe autour de 6 (Cholnoky, 1968).

Son abondance maximum (5 %) est observée dans l'échantillon MO8.

***Pinnularia gibba* var. *sancta* Grunow.**

Valves de 60 à 75 µm de long, 8 à 14 µm de larges comportant 8 à 11 stries en 10 µm. Son écologie est comparable a celui de *P. subgibba*.

***Stenopterobia curvula* (W. Smith) Krammer.**

Les rares cellules trouvées entières mesurent 92 à 160 µm de long, large de 7 à 10 µm, avec 5 à 6 fibules en 10 µm.

C'est une espèce des milieux tourbeux (Hustedt, 1930), d'eaux acides à neutres, oligo-dystrophes non polluées (Fabri et Leclerq, 1984). Son pH optimum est de 5,5 (Cholnoky, 1968).

Elle atteint 5 % dans l'échantillon FO11.

***Pinnularia obscura* Krasske. Planche II n° 16**

Valves de 14 à 26 µm de long, 4 à 8,5 de large, comportant 10 à 15 stries en 10 µm.

C'est une espèce aérophile sur les mousses (Krammer et Lange-Bertalot, 1992). Elle est rencontrée dans les tourbières du mont Badda mais elle a aussi des occurrences dans les lacs peu profonds et les rivières (Gasse, 1986). Cet auteur relie sa présence dans les boues marginales du lac Nakuru à des fluctuations du niveau lacustre qui créent des habitats subaériens en saison sèche. Elle est oligohalobe et indifférente au pH (Hustedt, 1957). Son pH optimum est de 6 (Cholnoky, 1968).

Sa plus forte abondance (12%) est observée dans l'échantillon SO52.

***Stauroneis phoenicenteron* (Nitzsch) Ehrenberg. Planche II n° 3**

Cellules mesurant 65 à 360 µm de long, 12 à 26 µm de large, comportant 15 à 19 stries en 10 µm. Chaque strie comporte 14 à 18 stries en 10µm.

C'est une espèce présentant une grande plasticité écologique (Patrick et Reimer, 1966), rencontrée dans le périphyton des lacs peu profonds, dans les marécages et dans les rivières (Gasse, 1986). Elle est indifférente au pH (Hustedt, 1957 ; Foged, 1964).

Sa plus forte abondance (4%) est rencontrée dans l'échantillon SO20.

***Stauroneis anceps* f. *gracilis* Rabenhorst.**

Cellules de 65 à 110 µm de long, 9 à 17 µm de large, avec 16 à 26 stries en 10 µm. Ces stries comportent 20 à 22 stries en 10 µm.

C'est un taxon à large amplitude écologique (Germain, 1981), littorale et indifférente au pH (Krammer et Lange-Bertalot, 1986). Elle est aussi trouvée dans le

périphyton des lacs peu profonds, des rivières et dans les tourbières. Son pH est légèrement inférieur à 7 (Cholnoky, 1968).

Stauroneis kriegerii Patrick. Planche II n° 13

Valves de 14 à 23 μm de long, 4 à 6 μm de large, avec 18 à 20 stries en 10 μm .

Elle est littorale, indifférente au pH et oligohalobe (Hustedt, 1957 ; Patrick et Reimer, 1966).

Son abondance maximum (9,5 %) est observée dans MV8.

Planche I

1. *Eunotia asterionelloïdes* Hustedt
- 2, 5, 6, 8. *Eunotia incisa* Gregory
3. *Eunotia praerupta* (Ehrenberg)
4. *Eunotia monodon* var. *tropica* Hustedt
7. *Eunotia* aff. *piria*
9. *Eunotia hexaglyphis* Ehrenberg
10. *Eunotia pectinalis* var. *ventralis* (Ehrenberg) Hustedt
- 11, 17 *Gomphonema clevei* Fricke
12. *Cymbella cuspidata* Kützing
- 13 *Cymbella silesiaca* Bleish
- 14 *Gomphonema graciloïdes* Hustedt
- 15-19 *Gomphonema lingulatiforme* Lange-Bertalot et Reichardt
- 20 *Gomphonema gracile* Ehrenberg
- 21, 34 *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen
22. *Fragilaria pinnata* Ehrenberg
23. *Fragilaria construens* (Ehrenberg) Grunow
- 24-25 *Fragilaria leptostauron* var. *dubia* (Grunow) Hustedt
- 26 *Fragilaria javanica* Hustedt
- 27 *Cyclotella ocellata* Pantocsek
- 28, 31 *Navicula seminulum* Grunow
- 29 *Stephanodiscus astrea* Grunow
- 30, 38, 42 *Achnanthes exigua* (Grunow) var. *exigua*
- 32, 41, 43 *Achnanthes lanceolata* (Brebisson) Grunow
- 33 *Aulacoseira* aff. *italica*
- 35 *Aulacoseira italica* (Ehrenberg) Simonsen
- 36 *Aulacoseira muzzanensis* (Meister) Krammer
- 37 *Aulacoseira granulata* var. *valida* (Hustedt) Simonsen
- 39-40 *Achnanthes exigua* (Grunow) var. *elliptica*
- 44 *Cocconeis scutellum* Pantocsek

× 3000

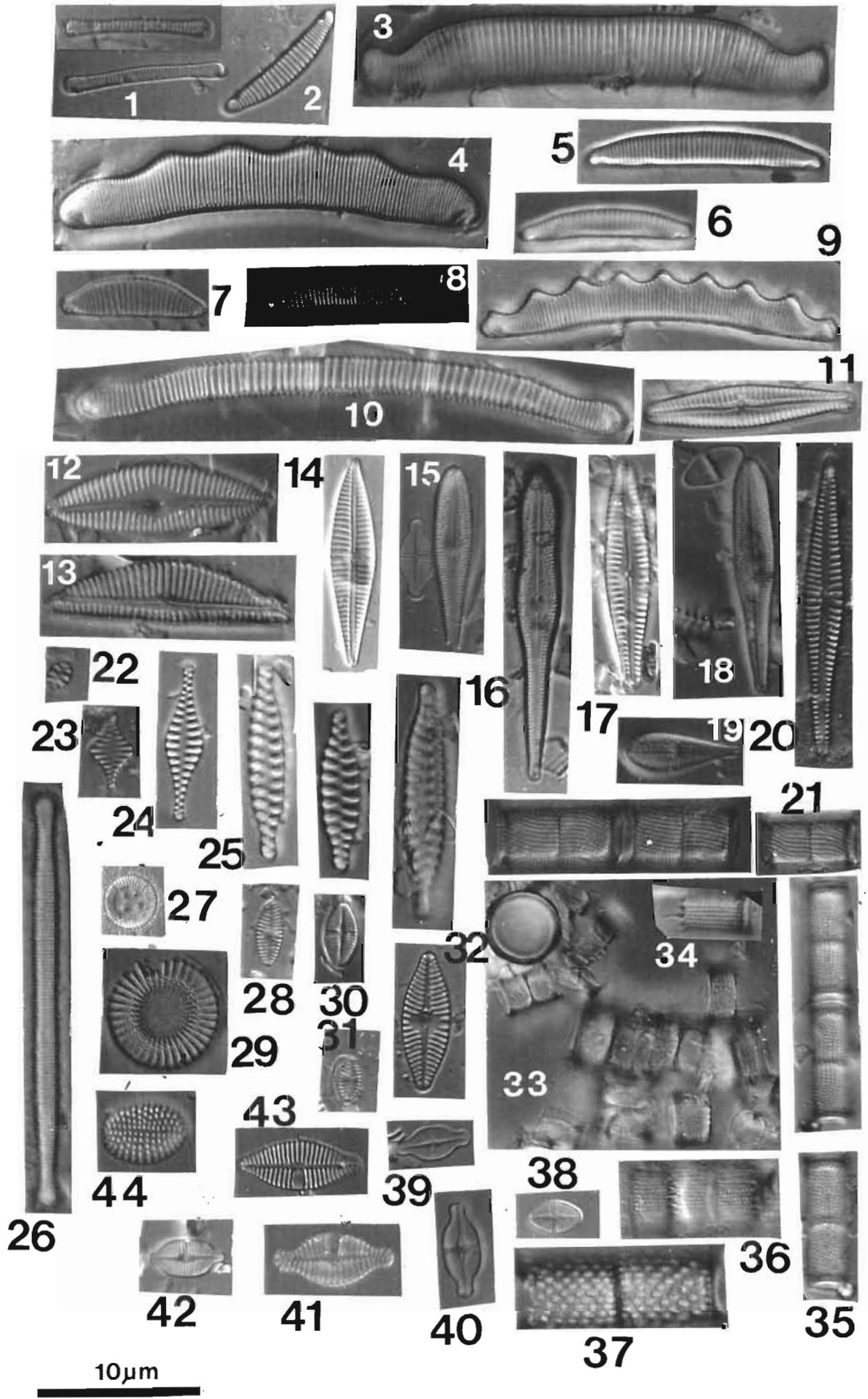
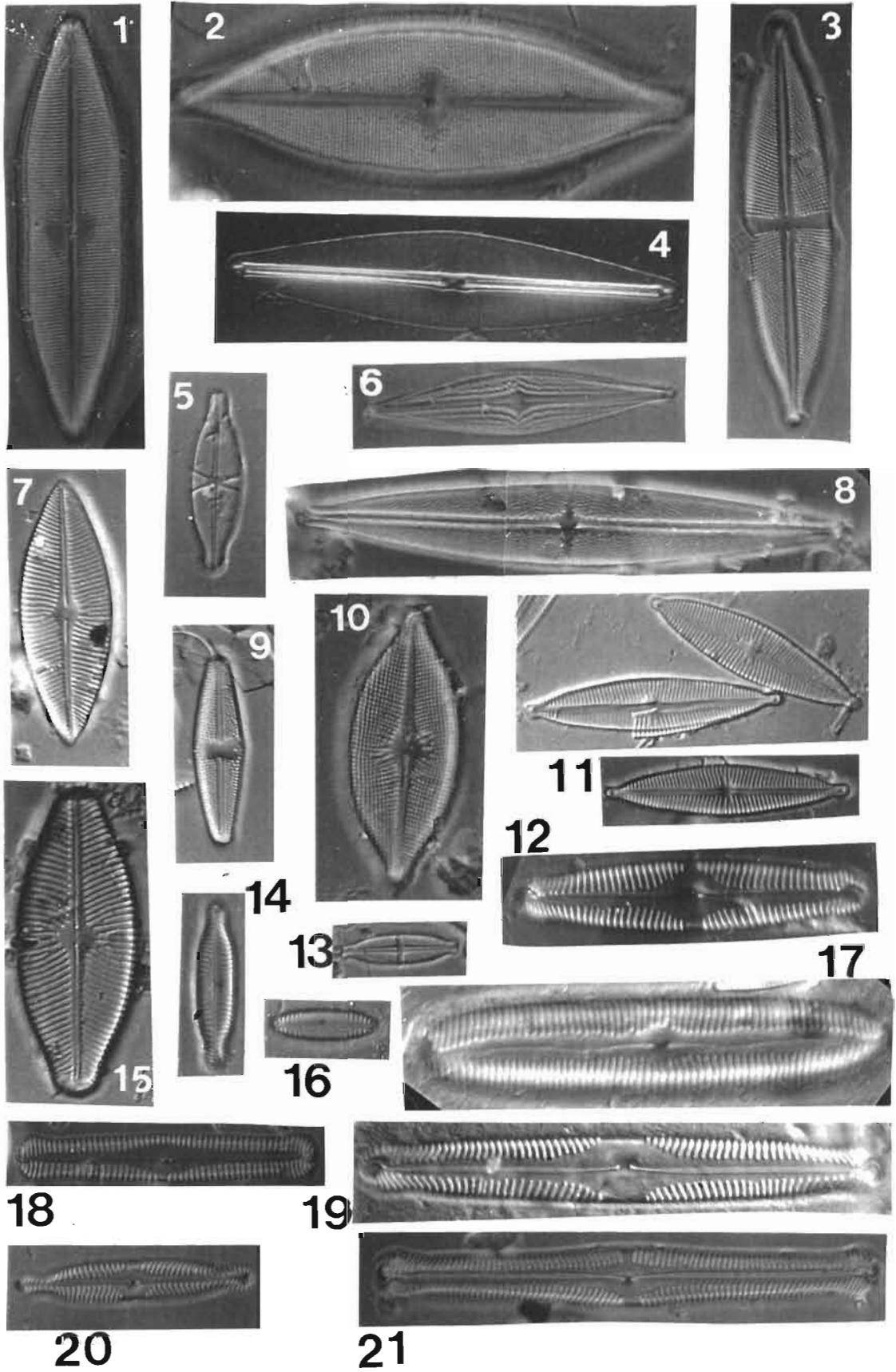


Planche II

1. *Neidium iridis* var. *amphigomphus* (Ehrenberg) Mayer
2. *Neidium iridis* (Ehrenberg) Cleve
3. *Stauroneis phoenicenteron* (Nitzsch) Ehrenberg
4. *Frustulia rhomboïdes* var. *rhomboïdes* (Ehrenberg) De Toni
5. *Stauroneis crucicula* W. Smith
6. *Anomoeoneis brachysira* (Brebisson) Cleve
7. *Navicula concinna* Hustedt
8. *Stauroneis anceps* Ehrenberg
9. *Navicula mutica* var. *mutica* Kützing
10. *Navicula omegopsis* Hustedt
11. *Navicula capitatoradiata* Germain
12. *Pinnularia microstauron* (Ehrenberg) Cleve
13. *Stauroneis kriegerii* Patrick
14. *Pinnularia subcapitata* Gregory
15. *Navicula exiguiiformis* Hustedt
16. *Pinnularia obscura* Krasske
17. *Pinnularia viridiformis* Krammer
18. *Pinnularia acrosphaeria* W. Smith
19. *Pinnularia subgibba* Krammer
20. *Pinnularia brauniana* (Grunow) Mills
21. *Pinnularia gibbiformis* Krammer

x 3000



10µm



Résumé

Les études antérieures faites dans le Sud-Congo et l'Ouest-Cameroun ont montré qu'une période d'extension des savanes au détriment de la forêt a débuté vers 3 000/2 500 ans B.P. Cette période, qui a été en outre caractérisée par d'intenses perturbations au sein des écosystèmes forestiers humides, s'est prolongée jusqu'à une date qui ne remonte pas à plus de quelques siècles dans la plupart des régions étudiées. L'objectif du présent mémoire est de fournir une reconstruction à haute résolution temporelle (~ 70 ans) de l'évolution du lac Ossa (3°S N, 9°36 E) afin d'en extraire une estimation des changements paléohydrologiques et paléoclimatiques. Cette estimation est nécessaire pour mieux comprendre la réponse de la végétation aux variations du climat.

Les reconstructions paléohydrologiques s'appuient sur une étude des assemblages de diatomées (environ 200 espèces) fossilisés dans les sédiments holocènes. Pour mieux interpréter ces assemblages, il a été nécessaire de procéder à une analyse détaillée de la distribution des diatomées actuelles en fonction des caractéristiques physico-chimiques des eaux du lac Ossa. La bathymétrie et le pH sont les principaux facteurs de cette distribution.

L'estimation des modifications passées de la bathymétrie et du pH a permis d'identifier les grandes étapes de l'évolution du lac Ossa durant les 5 000 dernières années. Un changement brusque, daté d'environ 2 700 ans B.P., correspond à un renforcement de la saisonnalité. Celui-ci a entraîné les fortes modifications qui ont été mises en évidence par la palynologie dans la végétation. Un autre événement important a été enregistré par un abaissement du niveau lacustre à 600/200 ans B.P. L'instauration des conditions climatiques humides actuelles est marquée par une remontée du niveau lacustre durant les derniers siècles. Elle correspond à une reconquête forestière sur les bordures du massif montagneux et à une atténuation des perturbations au sein de la forêt humide. D'autres changements ont eu lieu durant l'Holocène mais ils n'ont pas entraîné de modifications assez fortes dans la végétation pour que celles-ci soient enregistrées dans les spectres polliniques.

Mots-clés : Cameroun, Holocène, diatomées, écologie, paléolimnologie, statistiques.