MUSEUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE DE PARIS Spécialité: Sciences de la Terre Quaternaire: Géologie, Paléontologie Humaine, Préhistoire

Thèse

présentée

pour obtenir le grade de Docteur du MUSEUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE

par Florence SYLVESTRE

Sujet: La dernière transition glaciaire-interglaciaire (18 000 - 8 000 ¹⁴C ans B.P.) des Andes Tropicales du Sud (Bolivie) d'après l'étude des diatomées.

Soutenue le 13 Janvier 1997 devant le jury composé de:

Pr. Henry de Lumley, MHNH	Président
Dr. Platt. Bradbury, US Geological Survey	Rapporteur
Dr. Martin Grosjean, Université de Berne	Rapporteur
Dr. Simone Servant-Vildary, ORSTOM	Directeur de thèse
Dr. Patrick De Wever, MNHN	Examinateur
Dr. Jean Marie Rouchy, CNRS-MNHN	Examinateur
Dr. Maurice Roux, Université Marseille II	Examinateur
Dr. Michel Servant, ORSTOM	Directeur de thèse

REMERCIEMENTS

Ce mémoire est le résultat d'un travail commencé à l'Institut de Paléontologie Humaine dans le cadre du DEA « Quaternaire, Géologie, Paléontologie Humaine et Préhistoire » et poursuivi durant trois années au Laboratoire de Géologie du Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris. Je remercie Monsieur Alain Foucault pour m'avoir accueillie au Laboratoire de Géologie pour mon DEA et ma thèse. Ce travail s'inscrit dans les accords de coopération scientifique entre l'Université Mayor de San Andres de la Paz (Bolivie) et l'ORSTOM. Je tiens à exprimer mes remerciements aux autorités boliviennes qui ont autorisé et appuyé ce travail. Je tiens aussi à exprimer ma gratitude à l'ORSTOM, en particulier au département TOA et au programme AIMPACT (UR.12) qui ont financés cette thèse.

Je suis très reconnaissante à Monsieur Henry de Lumley d'avoir appuyé ma demande d'allocation de recherches au Ministère de la Recherche. Cela m'a permis, durant ces trois années, de mener ce travail dans de très bonnes conditions. Je le remercie vivement pour avoir accepté de présider le jury de soutenance de thèse.

Mes remerciements s'adressent à tous les autres membres du jury: Messieurs Platt Bradbury et Martin Grosjean pour avoir accepté d'être les rapporteurs de ce travail, ainsi que Messieurs Patrick De Wever, Jean-Marie Rouchy et Maurice Roux pour avoir accepté de l'examiner.

Je remercie Monsieur le Doyen José Ponce de la Faculté de Géologie de l'Université Mayor de San Andres de la Paz et tous ses collègues, notamment Messieurs Oscar Ballivian, Luis Alberto Rodrigo et Carlos Vargas qui m'ont accueillie à la faveur d'un séjour d'un mois et demi en Bolivie.

Je tiens avant tout à exprimer mon profond respect et toute mon amitié à Monette et Michel Servant. Leur soutien permanent, leur disponibilité sans limite et surtout leur chaleur humaine m'ont permis d'arriver au terme de ce travail. Ils m'ont fait bénéficier, chacun dans leur spécialité, les diatomées pour Monette, et la géologie du Quaternaire pour Michel, de leur grande expérience dans la problématique des reconstitutions des climats. Ils m'ont enseigné la rigueur scientifique et la précision dans l'acquisition des données. Je voudrais également tout particulièrement les remercier pour m'avoir fait découvrir un pays fantastique, haut en couleur et en tradition: la Bolivie. Cela restera un souvenir inoubliable, fort en émotions et en découvertes.

Je remercie Monsieur Marc Fournier pour son accueil chaleureux à chacune de mes visites au Laboratoire du Radiocarbone du Centre ORSTOM de Bondy. Ses conseils et l'examen attentif des échantillons que je lui ai soumis m'ont permis de prendre conscience des difficultés que posent les datations radiocarbone, aussi bien dans le choix ou la préparation des échantillons que dans l'interprétation des résultats. La contribution de Madame Christiane Causse, qui a effectué les datations uranium-thorium au GEOTOP de Montréal, a été à cet égard décisive dans l'élaboration d'une bonne chronologie, je l'en remercie vivement.

Je remercie Monsieur Jean-Marie Rouchy, pour son enseignement de la diffractométrie des rayons X, et pour son aide précieuse en pétrographie et minéralogie. Je le remercie également pour avoir participé à la correction du manuscrit et pour toutes les discussions que nous avons eues durant ces trois dernières années.

J'ignorais tout ou presque de l'analyse des données par les méthodes statistiques. Monette Servant et Maurice Roux m'y ont initié, Maurice Roux mettant à ma disposition les programmes utilisés dans ce travail, je l'en remercie vivement, ainsi que pour les corrections effectuées sur mon manuscrit.

Je remercie Monsieur Alain Foucault pour toutes les réponses qu'il a apportées avec beaucoup de gentillesse aux diverses questions que j'ai pu lui poser.

Je remercie Madame Marie-Madeleine Blanc-Valleron et Monsieur Jean-Pierre Caulet pour leurs suggestions et apports scientifiques qu'ils ont bien voulu me prodiguer dans les différents stades de l'évolution du mémoire, et Madame Marie-France Loutre pour m'avoir fourni les données sur l'insolation.

Je remercie Messieurs Jean-Pierre Ybert et Michel-Alain Roche, «anciens orstomiens» de Bolivie, pour m'avoir confié des données. Je n'oublie pas non plus qu'un bon nombre des données hydrochimiques utilisées dans ce mémoire proviennent des travaux considérables qui ont été effectués pendant près de 10 ans par Monsieur François Risacher.

Je remercie Madame Natacha Davydova, de l'Académie des Sciences de Leningrad, qui au moment de son séjour en France m'a fait profiter de sa très grande expérience dans la détermination des diatomées.

Je remercie Monsieur Jean Landré pour avoir constitué la base de données «Diatus».

Je tiens à remercier tous les membres du Laboratoire de Géologie, pour leur sollicitude et leur gentillesse. Je tiens à remercier tout particulièrement Madame Agathe Cambreleng pour la réalisation graphique de ce travail, pour son efficacité et sa disponibilité dans les moments d'urgence; Mesdames Michèle Baconat et Maud Pallas pour leur aide efficace dans la relecture de la bibliographie, Madame Michèle Destarac pour la réalisation des planches photographiques; Monsieur Pierre Clément pour les analyses par diffractométrie des rayons X et la microscopie électronique.

Je remercie toutes les personnes du Centre ORSTOM de Bondy qui m'ont toujours apporté une aide sincère et efficace, en particulier Mesdames van de Wandel, Aliphat, Feuillet, Baumont, Harley et Aing.

Certains échantillons ont été prélevés sur le terrain par Messieurs Jaime Argollo, Marc Fournier, Philippe Mourguiart, Jean-Marie Rouchy, Michel Servant, Denis Wirrmann. Je leur adresse mes remerciements pour me les avoir confiés. J'ai une pensée pour Julio Cesar Benavides, qui m'a beaucoup aidée dans la collecte des échantillons sur l'Altiplano bolivien lors de ma campagne de terrain. Sa bonne humeur et son efficacité ont éclairé les conditions parfois un peu rudes de la tournée sur l'Altiplano.

Je tiens à exprimer toute mon amitié à mes deux copains thésards, François Nguetsop, mon «frère camerounais», et Naïma Miskane pour leur bonne humeur, leur soutien et leur complicité.

Je remercie mes amis pour leur soutien moral et leurs encouragements, Jean-Jacques, Alain, Philippe, Sandríne, Véronique, Nicolas et Gilles.

Je remercie Gérard qui a toujours su trouver les mots justes pour m'aider à franchir les étapes.

Enfin, j'adresse toute ma reconnaissance à ma mère pour son soutien quotidien, sa compréhension, et son affection.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
I. L'ALTIPLANO BOLIVIEN: TRAVAUX ANTERIEURS	
SUR LES ENVIRONNEMENTS ACTUELS ET QUATERNAIRES	5
I.I. ENVIRONNEMENTS ACTUELS	5
I.1.1. Présentation générale	5
I.1.2. Climat	8
I.1.3. Hydrologie	15
I.2. LE QUATERNAIRE: ETAT DES CONNAISSANCES	19
I.2.1. Historique des travaux	19
I.2.2. Les périodes lacustres	22
I.2.3. Les périodes glaciaires	33
I.3. LES DIATOMEES	35
I.3.1. Les diatomées du lac Titicaca	36
I.3.2. Les diatomées des bassins lacustres du Centre et du Sud de l'Altiplano	36
I.3.3. Les diatomées des hautes vallées andines	37
I.3.4. Les diatomées des milieux fluviatiles holocènes	38
II. REVISION DE LA CHRONOLOGIE LACUSTRE DE L'ALTIPLANO CENTRAL (SALARS DE COIPASA ET DE UYUNI)	39
II.1. MATERIELS D'ETUDE	39
II.1.1. Localisation des sites	39
II.1.2. Description lithologique des sondages	39
II.1.3. Description lithologique des affleurements de bordure	46
II.1.4. Description de l'affleurement de versant: Churacari Bajo CB	46
II.2. DATATIONS PAR LE RADIOCARBONE ET PAR LA METHODE URANIUM-	
THORIUM	51
II.3. CHRONO-STRATIGRAPHIE DES FORMATIONS LACUSTRES	60
II.3.1. La période lacustre Minchin	60
II.3.2. L'interlacustre Minchin/Tauca	60
II.3.3. La transgression lacustre Tauca	63
II.3.4. L'événement régressif Ticaña	65
II.3.5. L'événement lacustre Coipasa	67
III. CHRONOLOGIE LACUSTRE DU SUD DE L'ALTIPLANO (REGION DU LIPEZ)	69
III.1. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	69
III.2. TRAVAUX ANTERIEURS	72

III.3. STRATIGRAPHIE DES FORMATIONS LACUSTRES	74
III.3.1. Le bassin de Chiar Kkota	74
III.3.2. Le bassin de Honda	78
III.3.3. Les lignes de rivage de la laguna Chiar Kkota	81
III.4. DATATIONS RADIOCARBONE ET URANIUM-THORIUM	82
IV. LA FLORE DE DIATOMEES ACTUELLES : CALIBRATION DIATOMEES /	
COMPOSITION IONIQUE / SALINITE	87
IV.1. CALIBRATION: L'ENVIRONNEMENT ACTUEL	88
IV.1.1. Description des lieux de prélèvement	88
IV.1.2. Les assemblages de diatomées actuelles	94
IV.2. RELATIONS ENTRE LA FLORE ACTUELLE DE DIATOMEES ET LES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES.	99
IV.2.1. Ordination: Analyse Canonique des Correspondances (ACC)	103
IV.2.2. Régression: fonctions de transfert sur les composants ioniques	
et la salinité	106
IV.2.3. Optima et tolérances des taxons actuels à la composition ionique et à la salinité	110
V. PALEOENVIRONNEMENTS AU DERNIER MAXIMUM GLACIAIRE	
DANS LE BASSIN DE COIPASA	119
V.1. LA FLORE DE DIATOMEES FOSSILES	119
V.1.1. Description de la flore	119
V.1.2. Définition des assemblages de diatomées par les analyses statistiques multivariées	123
V.2. SIGNIFICATION PALEOECOLOGIQUE DES ASSEMBLAGES DE DIATOMEES	135
V.3. RECONSTITUTION DES VARIATIONS DES NIVEAUX LACUSTRES, DE LA COMPOSITION IONIQUE ET DE LA SALINITE	142
VI. PALEOENVIRONNEMENTS AU TARDIGLACIAIRE ET A L'HOLOCENE	
ANCIEN DANS LES BASSINS DE COIPASA ET DE UYUNI	147
VI.1. LA FLORE DE DIATOMEES FOSSILES	147
VI.1.1. L'affleurement de Churacari Bajo (CB)	147
VI.1.2. L'affleurement Pakollo Jahuira (PJ)	160
VI.1.3. Les affleurements du site Tauca (I, J)	160
VI.1.4. Les diatomées dans les biohermes algaires	160
VI.2. SIGNIFICATION PALEOECOLOGIQUE DES DIATOMEES CARACTERISTIQUES DES MILIEUX LACUSTRES	163
VI.2.1. Les diatomées indicatrices de milieux de faible profondeur oligosalins	163
VI.2.2. Les diatomées indicatrices de milieux de faible profondeur oligosalins à mésosalins	164
VI.2.3. Les diatomées indicatrices d'apports en eau douce	165
VI.2.4. Les diatomées indicatrices de milieux profonds mésosalins	165

VI.3. RECONSTITUTION DES VARIATIONS DES NIVEAUX LACUSTRES, DE LA	166
COMPOSITION IONIQUE ET DE LA SALINITE	100
VI.3.1. Scenario paleohydrologique	100
v1.5.2. Discussion sur l'evolution des facies foniques et de la sainite	170
VII. PALEOENVIRONNEMENTS AU TARDIGLACIAIRE ET A L'HOLOCENE	
ANCIEN DANS LA REGION DU LIPEZ	179
VII.1. LA FLORE DE DIATOMEES FOSSILES	179
VII.1.1. Le bassin de Chiar Kkota	179
VII.1.2. Le bassin de Honda	183
VII.2. SIGNIFICATION PALEOECOLOGIQUE DES DIATOMEES CARACTERISTIQUES DES MILIEUX LACUSTRES	183
VII.2.1. Les diatomées indicatrices de milieux de faible profondeur oligosalins	183
VII.2.2. Les diatomées indicatrices de milieux de faible profondeur mésosalins à polysalins	184
VII.2.3. Les diatomées indicatrices d'apports en eau douce	184
VII.2.4. Remarques sur les espèces endémiques du genre Amphora	184
VII.3. RECONSTITUTION DES VARIATIONS DES NIVEAUX LACUSTRES, DE LA COMPOSITION IONIQUE ET DE LA SALINITE	185
VII.3.1. Scénario paléohydrologique	186
VII.3.2. Discussion sur l'évolution des faciès ioniques et de la salinité	189
VIII. COMPARAISON ENTRE LES CHANGEMENTS HYDROLOGIQUES DE L'ALTIPLANO BOLIVIEN ET DU NORD DE L'ALTIPLANO CHILIEN	193
VIII 1 COMPARAISON AVEC LE NORD DE L'ALTIPLANO BOLIVIEN	193
VIII 1 Rappel des données disponibles sur les variations du lac Titicaca	193
VIII 1.2. Comparaison entre l'évolution du las Titicasa et le bassin de Uvuni-Coipasa	196
VIII 1.3. Comparaison avec les fluctuations des glaciers	170
et les changements des milieux fluviatiles	203
VIII 2. COMPARAISON AVEC LE NORD DU CHILI (ATACAMA)	205
VIII.3. CONCLUSIONS	205
CONCLUSION: PRINCIPAUX RESULTATS, COMPARAISONS AVEC D'AUTRES REGIONS TROPICALES D'AMERIQUE DU SUD ET IMPLICATIONS	
PALEUCLIMATIQUES	209
	209
I.I. Les variations du niveau lacustre	209
I.2. La composition ionique	211
I.3. La salinité	212
II. COMPARAISON AVEC D'AUTRES REGIONS DU CONTINENT AMERICAIN AUX LATITUDES SUB-EQUATORIALES ET TROPICALES SUD	213

II.1. Le Sud-Est de l'Amazonie	213
II.2. Le Brésil central	214
III. COMPARAISON AVEC L'INSOLATION	216
IV. COMPARAISON AVEC LES GRANDES ETAPES DE LA DEGLACIATION GLOBALE	219
	212
BIBLIOGRAPHIE	223
LISTE DES FIGURES	241
LISTE DES TABLEAUX	245
ANNEXE I : Généralités sur les diatomées	249
ANNEXE II : Méthodologie pour une étude de diatomées	255
ANNEXE III : Estimations en mMol.L ⁻¹ des composants ioniques et de la salinité par fonction de transfert dans la carotte CO2 (Coipasa), dans les affleurements de Pakollo Jahuira (PJ), de	
Churacari Bajo (CB), dans les échantillons de la basse terrasse et des biohermes algaires	271
ANNEXE IV : Liste taxonomique	275
ANNEXE V : Tableau des abondances relatives des espèces de diatomées	285
ANNEXE VI: Planches photographiques	313

INTRODUCTION

Ce travail se propose de contribuer à la connaissance des modifications climatiques entre le dernier maximum glaciaire (20 - 15 ¹⁴C ka B.P.) et le début de l'interglaciaire actuel (10 - 8 ¹⁴C ka B.P.) dans les Andes tropicales sud (15 - 23°S) de Bolivie.

Le dernier maximum glaciaire (DMG) est marqué par des températures plus basses qu'actuellement aux moyennes et hautes latitudes des deux hémisphères. Le volume des eaux continentales stockées sous forme de glace a atteint son maximum d'extension à 18 ¹⁴C ka B.P. Aux latitudes tropicales, des températures de 4°C plus basses que de nos jours ont été enregistrées par un abaissement des zones altitudinales de la végétation dans les régions montagneuses. Les évaluations de CLIMAP (1981) indiquent une température plus basse des eaux de surface de l'océan aux moyennes et hautes latitudes. Par contre, elles suggèrent que les températures de l'océan tropical étaient très peu inférieures à l'actuel.

A partir de 15 ¹⁴C ka B.P., la tendance générale est caractérisée par un réchauffement de la planète. Ce réchauffement a été enregistré par un intense recul des glaciers. Ce retrait glaciaire a eu lieu à des dates proches (*ca* 14 - 14,5 ¹⁴C ka B.P.) dans le Nord et le Sud des reliefs montagneux situés à l'Ouest du continent américain (Broecker et Denton, 1989). L'époque la plus chaude du Tardiglaciaire (Bölling-Alleröd en Europe) se situe entre 13 ¹⁴C ka B.P. et 11 ¹⁴C ka B.P.

Un intense et abrupt abaissement de la température est identifié entre 11 et 10¹⁴C ka B.P. par l'étude des carottes de glace du Groenland (Hammer *et al.*, 1985). Cet épisode froid est également enregistré avec une amplitude plus faible dans les carottes de l'Antarctique (Jouzel *et al.*, 1987). Il a été mis en évidence dans de nombreux enregistrements océaniques et continentaux de l'Atlantique Nord et de l'Europe (Duplessy *et al.*, 1981; Woilard et Mook, 1982). Il est également connu dans d'autres régions (Rind *et al.*, 1986), notamment dans les montagnes tropicales de la Cordillère des Andes de Colombie (Van der Hammen *et al.*, 1981.)

La température globale augmente à partir de 10¹⁴C ka B.P. et ses valeurs maximales sont observées vers 6¹⁴C ka dans l'hémisphère nord, et peut-être dès 8¹⁴C ka B.P. dans l'hémisphère sud.

Aux latitudes tropicales nord, une élévation du niveau des nappes d'eau continentales, caractéristique d'une augmentation du facteur climatique P-E (Précipitation-Evaporation) a eu lieu durant le réchauffement global. Cette élévation

est décelée à des dates différentes selon les régions, par exemple à 14 ¹⁴C ka B.P. au Ghana (10°N) (Talbot *et al.*, 1984), à 12 - 13 ¹⁴C ka B.P. dans certaines parties du Sahel en Afrique Centrale et Occidentale (16 - 18°N) (Servant et Servant-Vildary, 1980), à 10,5 ¹⁴C ka B.P. à Haïti (lac Miragoane, 20°N) (Hodell *et al.*, 1991), à 13 ¹⁴C ka B.P. au Venezuela (lac Valencia, 10°N) (Bradbury *et al.*, 1981). Le maximum de cette élévation a été atteint à 8 ¹⁴C ka B.P. ou à 6 ¹⁴C ka B.P. selon les sites. En Afrique Occidentale, l'augmentation du facteur P-E suggère, en accord avec les modèles climatiques globaux (COHMAP, 1988), un renforcement de la mousson de l'été boréal.

Aux latitudes subéquatoriales nord, actuellement très humides, les paysages sont caractérisés par un développement progressif et plus ou moins marqué selon les régions, des éléments arborés de la végétation durant le Tardiglaciaire. La forêt dense humide s'est mise en place au début de l'Holocène à partir de zones de refuge où elle s'était maintenue durant les époques antérieures (Maley, 1989).

Aux latitudes subéquatoriales et tropicales sud, l'évolution des environnements continentaux entre 18¹⁴C ka B.P. et 8¹⁴C ka B.P. est connue dans un nombre limité de sites. En Amérique du Sud (Markgraf, 1989), les travaux effectués dans le Sud-Est de l'Amazonie (6°S), montrent une évolution comparable à celle mise en évidence aux latitudes subéquatoriales nord: remise en eau des dépressions topographiques vers 13¹⁴C ka B.P. (Sifeddine et al., 1994) et développement de la forêt dense humide à l'Holocène ancien (Absy et al., 1991). Au Brésil Central (19°S), une carotte lacustre prélevée dans la dépression de Salitre indique l'installation de milieux marécageux dès 17¹⁴C ka B.P. (Ledru, 1993). Une végétation ouverte (caractérisée par des proportions à peu près équivalentes de taxons arborés et de taxons herbacées) est présente à 17¹⁴C ka B.P. La tendance générale, accidentée par une oscillation sèche de courte durée à 10,5 ¹⁴C ka B.P. est caractérisée par le maintien de ce type de couvert végétal jusqu'à l'Holocène ancien. Les taxons palynologiques suggèrent un contrôle de la végétation par des températures minimales plus basses qu'actuellement. Ces abaissements de température semblent indiquer un renforcement des advections d'air polaire, aujourd'hui encore très actives dans le Sud du Brésil (Ledru et al., 1994).

Dans les Andes de Bolivie (15 - 23°S), le dernier maximum glaciaire est marqué par de bas niveaux lacustres. Le Tardiglaciaire est caractérisé par une forte élévation des plans d'eau, ayant culminé aux alentours de 12 ¹⁴C ka B.P. (Servant et Fontes, 1978). Le passage entre la fin du Pléistocène et l'Holocène est caractérisé par une tendance générale vers des conditions plus sèches qu'actuellement. Le niveau du lac Titicaca se situait au moins à 60 m en dessous de son altitude actuelle

vers 6¹⁴C ka B.P. (Wirrmann *et al.*, 1992). Cette région présente un grand intérêt pour une reconstitution paléoclimatique.

Les hauts plateaux andins (>4000 m d'altitude) comprennent un ensemble de bassins endoréiques favorables à l'enregistrement des changements des bilans en eau dans la sédimentation lacustre. De nos jours, le niveau du lac Titicaca, au Nord de l'Altiplano, répond clairement aux variations saisonnières, pluriannuelles et décennales des précipitations (Melice et Roucou, sous presse).

Les précipitations sont alimentées par de la vapeur d'eau issue de l'Atlantique et de l'Amazonie (Ronchail, 1988; Roche *et al.*, 1990). Durant l'été austral (saison des pluies), cette vapeur d'eau est transportée par les alizés de l'hémisphère boréal, ayant une direction approximativement N-S après avoir traversé l'équateur. Durant l'hiver austral (saison sèche), les alizés de l'hémisphère sud dominent la circulation dans les basses couches de l'atmosphère à l'Est des Andes. Ils sont alors surmontés par les vents d'Ouest de l'hémisphère sud. Ces vents d'Ouest sont dominants aux hautes altitudes (supérieure ou égale à 4000 m) de l'Altiplano.

Notre étude est focalisée sur deux bassins topographiquement indépendants du Sud de l'Altiplano: un grand bassin à 18 - 21°S (salars de Coipasa et de Uyuni), et un petit bassin à 22°30°S (région du Lipez). Le chapitre I présentera la situation actuelle de ces bassins dans le contexte des Andes boliviennes, et un historique des travaux antérieurs sur le Quaternaire récent.

Le chapitre II et III proposent une révision de la stratigraphie régionale des dépôts lacustres entre 20 et 8 ¹⁴C ka B.P. Ils déboucheront sur une estimation des variations du plan d'eau, qui prendra appui sur des observations de terrain (altitude des dépôts par rapport au fond des dépressions actuelles) et sur les modifications des assemblages de diatomées. La chronologie sera établie à partir de datations radiocarbone et uranium-thorium. Nous montrerons que les âges radiocarbone ont une validité satisfaisante pour certaines périodes dans les bassins de Coipasa et de Uyuni, alors qu'ils ont subi un vieillissement apparent pour d'autres périodes. Dans la région du Lipez, l'ensemble des âges radiocarbone présente un vieillissement apparent.

Le chapitre IV sera consacré aux relations entre la flore de diatomées actuelles et les paramètres physico-chimiques des milieux aquatiques. Nous nous appuierons sur une banque de données (Servant-Vildary et Roux, 1990b) que nous avons complétée par de nouveaux prélèvements. Ces relations seront abordées sur les principes (fonction de transfert) mis au point dans l'étude du milieu océanique (Imbrie et Kipp, 1971). Adaptés aux milieux continentaux, ces principes méthodologiques s'appuient sur diverses techniques statistiques d'ordination et de régression. Nous proposerons une comparaison entre les méthodes de régression mises au point d'une part par Roux et al. (1991) (Méthode des moyennes par classe) et d'autre part, par Ter Braak et Van Dam (1989) (Méthode des moyennes pondérées).

Les chapitres V, VI, VII seront consacrés à l'interprétation des modifications des assemblages de diatomées fossiles. Cette interprétation sera réalisée par deux approches complémentaires, la première s'appuiera sur les indications extraites de la littérature concernant l'écologie de chaque espèce de diatomées dans différentes régions du monde, la seconde sur les acquis du chapitre IV, en ce qui concerne les évaluations quantitatives des paramètres salinité et composition ionique. Le paramètre bathymétrie ne fera pas l'objet d'estimations par l'étude des diatomées, car les milieux actuels boliviens n'offrent pas d'équivalents aux situations passées, qui ont été caractérisées par des lacs profonds et salés (le lac Titicaca offre l'exemple d'un lac profond, mais sa salinité est faible de l'ordre de 1 g.L⁻¹). Néanmoins, une estimation de l'altitude des plans d'eau a été possible par les observations de terrain et par les caractéristiques des assemblages de diatomées.

Le chapitre VIII replacera nos évaluations dans le contexte des connaissances disponibles sur les Andes tropicales sud. La discussion portera sur l'ensemble des bassins de l'Altiplano, avec le lac Titicaca au Nord, les bassins de Coipasa et de Uyuni au centre, les bassins de la région du Lipez au Sud en Bolivie, et les bassins de l'Atacama au Nord du Chili.

Le chapitre de conclusion résumera les principaux résultats et s'efforcera de les replacer dans un contexte régional et global.

I. L'ALTIPLANO BOLIVIEN: TRAVAUX ANTERIEURS SUR LES ENVIRONNEMENTS ACTUELS ET QUATERNAIRES

I.1. ENVIRONNEMENTS ACTUELS

I.1.1. PRESENTATION GENERALE

Situé entre 15° et 23° de latitude Sud, l'Altiplano bolivien s'étend sur 191 000 km² entre les Cordillères Orientale et Occidentale des Andes à une altitude comprise entre 3500 et 4600 m (figure I.1). Il se définit comme une vaste unité morphologique endoréique. Quatre grands bassins lacustres occupent des dépressions d'origine tectonique: au Nord, le lac Titicaca (3810 m), au Centre, le lac Poopò (3686 m), les salars de Coipasa (3657 m) et de Uyuni (3653 m). Au Sud (Lipez), des reliefs volcaniques délimitent de nombreuses petites dépressions lacustres isolées les unes des autres, situées entre 4100 m et 4700 m d'altitude. La circulation atmosphérique, générant un fort gradient climatique méridien, induit la présence de lacs d'eau douce au Nord, de lacs salés et/ou complètement asséchés (salars) au Centre et au Sud.

Le substratum géologique, constitué de formations précambriennes et paléozoïques (figure I.2), est surmonté par de puissantes séries volcano-sédimentaires cénozoïques, plus ou moins tectonisées (Lavenu et Marocco, 1984; Martinez, 1980). Les formations calcaires (Paléozoïque - Crétacé supérieur) ont une extension limitée. Des diapirs de gypse et de halite d'âge Crétacé sont signalés au Nord et au Centre-Est du plateau (Risacher, 1992a). Les formations volcaniques sont largement développées dans les parties centrale et méridionale de l'Altiplano. Ces formations sont essentiellement de composition acide ou intermédiaire (andésite, dacite, rhyodacite) (Fernandez *et al.*, 1973; Thorpe *et al.*, 1976). De grandes coulées d'ignimbrites très épaisses sont présentes dans la Cordillère Occidentale, le Sud de l'Altiplano et plus ponctuellement dans la Cordillère Orientale. Elles datent du Miocène supérieur et du Pliocène.



Figure I.1 : L'Altiplano bolivien et ses principales unités morphostructurales (Servant et Fontes, 1978)



••••

Figure 1.2 : Carte géologique simplifiée de l'Altiplano bolivien (Risacher, 1992a).

I.1.2. CLIMAT

I.1.2.1. CIRCULATION ATMOSPHERIQUE

I.1.2.1.1. Changements majeurs de la circulation atmosphérique en relation avec les variations de l'insolation au cours de l'année

La circulation atmosphérique sur les Andes de Bolivie est dominée par les flux d'Ouest de l'hémisphère austral (figure I.3.c), sur une période comprise entre les mois d'Avril-Mai à Novembre-Décembre (hiver austral) correspondant à la saison sèche. Cette circulation d'Ouest se retire vers le Sud au début de l'été austral (Décembre-Janvier) et cède la place à la circulation d'Est, tropicale, matérialisée par les alizés (figure I.3.a). Les vents, qui sont alors de direction NW-SE à NE-SW sur l'Altiplano, transportent de la vapeur d'eau issue de l'océan atlantique et du bassin amazonien (figure I.3.b). Cette vapeur d'eau est à l'origine des précipitations de l'été austral. Ces dernières diminuent selon un gradient général NE-SW depuis le versant amazonien très humide de la Cordillère orientale, jusqu'au versant pacifique aride des Andes centrales.

Ce changement saisonnier de la circulation atmosphérique sur l'Altiplano bolivien s'inscrit dans la dynamique de la circulation atmosphérique générale. Celle-ci est dominée par le flux d'Est (*TW-Trade Winds*), qui est matérialisé au sol, par les alizés. Au voisinage de l'équateur, les alizés des deux hémisphères convergent et génèrent une vigoureuse ascendance, appelée Zone de Convergence Intertropicale (ZCIT), correspondant à une zone de précipitations maximales. En haute altitude, autour de 3000-4000 m, la ZCIT est bien définie. Au sol, la convergence des alizés issus de chacun des deux hémisphères est compliquée par de multiples interactions entre les océans et les continents, elle est plutôt appelée «Equateur Météorologique». La position de la ZCIT est contrôlée par les variations de l'insolation. La ZCIT se déplace au cours de l'année en direction de l'hémisphère d'été. En Amérique du Sud, elle est située dans l'hémisphère Sud au mois de Janvier (figure I.3.a), et dans l'hémisphère Nord au mois de Juillet (figure I.3.c).

En haute altitude, la circulation atmosphérique générale est dominée du pôle à 10° - 20° Sud par le flux d'Ouest. L'axe subtropical de plus forte vitesse de ce flux est appelé «jet subtropical» (*STWJ- Sub Tropical Westerly Jet*). Durant l'hiver, le flux d'Ouest se renforce et trouve l'axe des plus fortes vitesses dans une position proche du tropique. En été, le courant d'Ouest est moins rapide et se déplace vers les hautes latitudes.



Figure I. 3 : Circulation atmosphérique générale en Janvier (a) et en Juillet (c) sur l'Amérique du Sud et flux majeurs de transport de vapeur en eau (b, d.). (Ronchail, 1988; Servant et Ronchail, communication personnelle)

I.1.2.1.2. Les mouvements méridiens des masses d'air

Les grands changements saisonniers de la circulation atmosphérique générale sont compliqués en Amérique du Sud par des déplacements méridiens de masses d'air. Dans les basses couches de l'atmosphère (0 - 1500 m environ), des masses d'air polaires, en provenance du Pacifique Sud Oriental, pénètrent par le Sud du continent américain en moyenne tous les 5 à 6 jours. A l'Est des Andes, elles se déplacent du Sud vers le Nord, en direction du bassin amazonien. Elles atteignent fréquemment les latitudes tropicales, et exceptionnellement l'équateur. Sur les cartes synoptiques, ces masses d'air s'identifient par de hautes pressions (anticyclones mobiles), et sont précédées d'un front froid (figure I.4). Leur pénétration dans l'atmosphère tropical se traduit par des chutes de température très brusques (couramment de l'ordre de 10 à 15°C), et des précipitations plus ou moins abondantes selon les conditions locales. En Bolivie, ce phénomène, appelé el surazo, est fréquent (40% en moyenne des journées) dans la plaine amazonienne et dans la plaine du Chaco (Sud de la Bolivie) (Ronchail, 1989). Un phénomène comparable semble être observé sur le versant ouest des Andes. Les précipitations neigeuses détectées sur images satellites, qui ont lieu sur la partie haute de ce versant (Altiplano Chilien) durant l'hiver austral, pourraient être liées à des pénétrations d'air polaire en direction du Nord (Messerli, sous presse).

De faibles précipitations (10 à 20% du total des précipitations moyennes annuelles) (Schulczewski, 1973) ont également lieu sur l'ensemble de l'Altiplano bolivien durant l'hiver austral. En situation exceptionnelle, une couverture nuageuse peut se maintenir durant plusieurs semaines et donner lieu à des précipitations relativement abondantes (par exemple, situation hiver 1974) (Servant et Villaroel, 1979). De telles précipitations ne semblent pas pouvoir être attribuées à une pénétration d'air polaire. Ce dernier est trop dense pour franchir les hautes chaînes montagneuses des Cordillères orientale et occidentale, et atteindre l'Altiplano. Quelques situations, caractérisées par des cartes synoptiques et des données de radiosondages de La Paz, indiquent que ces précipitations d'hiver doivent être en partie attribuées à d'intenses advections N-S d'air amazonien sur les Andes boliviennes (Servant et Villaroel, 1979). Il est possible qu'une relation puisse exister entre les advections polaires S-N des basses couches de l'atmosphère et les advections amazoniennes N-S de haute altitude. Mais cette relation n'est pas encore démontrée en l'absence d'un nombre suffisant de radiosondages et de traitements statistiques sur les données climatiques journalières.



Figure I. 4 : Exemple d'advections d'air polaire aux latitudes tropicales sud du continent américain. A: Anticyclone; D: Dépression. (Carte synoptique au sol du 16 juillet 1975) (Ronchail, 1989)

I.1.2.1.3. Variabilité interannuelle des précipitations

La variabilité interannuelle des précipitations est en partie liée à l'oscillation australe pacifique (SO) et aux phénomènes climatiques qu'elle génère en partie, notamment l'événement El Niño (ENSO en phase négative). Les premières observations sur des données climatiques enregistrées dans des stations andines de l'Altiplano bolivien sur les dernières décennies (Ronchail, 1995) mettent en évidence que le déficit pluviométrique est variable d'un événement El Niño à l'autre (figure I.5). Pendant les saisons des pluies 1965-1966 et 1982-1983 et plus localisé en 1957-1958, le déficit pluviométrique est généralisé et important sur l'Altiplano, tandis que les conditions pluviométriques ont été proches de la normale en 1972-1973 (figure I.5.a). Une analyse en composantes principales (ACP) sur les totaux hydrologiques annuels enregistrés entre 1952 et 1985 dans 11 stations andines (figure I.5.b) montre également un mode pluriannuel de la variabilité des précipitations, avec des déficits pluviométriques dans la décennie 50-60 et des excédents dans la décennie 70-80.

I.1.2.2. DONNEES CLIMATIQUES

Cette configuration atmosphérique génère un climat montagnard, froid et sec sur l'Altiplano bolivien, caractérisé par l'alternance d'une courte saison pluvieuse centrée sur l'été austral (Décembre-Février) et d'une longue saison sèche centrée sur l'hiver austral (Avril-Novembre). Les températures moyennes annuelles diminuent de 10°C au Nord à 5°C au Sud (figure I.6.a). La pluviosité décroît de 800-1000 mm en moyenne annuelle au Nord (lac Titicaca) à moins de 100 mm/an à l'extrême Sud dans la région du Lipez (figure I.6.b). Les vents dominants sont de direction W-E en hiver et de direction N-E/S-W en été. L'évaporation potentielle, très difficile à estimer compte tenu de la rareté des données dans ces milieux, a été évaluée entre 1000 et 1500 mm/an sur l'ensemble de l'Altiplano (Risacher, 1992a).

La végétation est clairsemée. Près du lac Titicaca, elle revêt l'allure d'une steppe herbeuse avec quelques arbres dans les endroits abrités du vent. Vers le Sud, cette steppe devient progressivement de plus en plus sèche, composée essentiellement par des Poaceae (touffes d'hichus) et des Asteraceae (buissons de tholas). Elle se raréfie aux frontières du Chili et de l'Argentine, laissant apparaître un paysage minéral.





Coordonnées sur le premier axe d'une ACP des totaux annuels hydrologiques (1952-1984) des stations andines

Figure I. 5 : Variabilité des précipitations sur les Andes de Bolivie en relation avec le phénomène El Niño. (Ronchail, 1995)

Pourcentage à la moyenne des précipitations



(Roche et al., 1992)

I.1.3. HYDROLOGIE

Les bassins du Nord de l'Altiplano, principalement le lac Titicaca, ont fait l'objet de nombreuses études (Carmouze *et al.*, 1977; Carmouze *et al.*, 1981; Boulangé et Aquize Jaen, 1981; Dejoux et Iltis, 1992). Un certain nombre de données sont également disponibles sur le lac Poopò (Carmouze *et al.*, 1977; Boulangé *et al.*, 1978). En revanche, peu d'études ont été réalisées sur les salars de Coipasa, de Uyuni, et sur les bassins de la région du Lipez. Ceux-ci ont été essentiellement étudiés d'un point de vue géochimique (Ballivián et Risacher, 1981; Risacher et Fritz, 1991 a-b; Risacher, 1992 a-b). Le tableau I.a propose une synthèse des données morphologiques, hydrologiques et chimiques disponibles sur l'ensemble des bassins et la figure I.7, un schéma du système hydrologique altiplanique.

I.1.3.1. LE LAC TITICACA

Situé au Nord de l'Altiplano, à 3810 m d'altitude, ce lac couvre une superficie totale de 8490 km². Son volume global est estimé à 895.10⁹m³ et sa profondeur maximale est atteinte dans le Grand lac à 285 m (Roche *et al.*, 1992). Le fond du lac correspond au point le plus bas de l'Altiplano. Il est subdivisé en deux sous-bassins connectés par le détroit de Tiquiña: (i) au Nord, le Grand Lac ou Lac Chucuito (profondeur moyenne: 135 m), (ii) au Sud, le Petit Lac ou Lac Huiñaymarca (profondeur moyenne: 9 m) (Boulangé et Aquize Jaen, 1981).

La salinité varie entre $0,9 \text{ g.L}^{-1}$ et $1,2 \text{ g.L}^{-1}$; le lac est classé parmi les lacs d'eau douce à oligosalin. Les eaux sont caractérisées par une dominance de chlore, de sulfate et de sodium.

Le lac Titicaca est alimenté par les précipitations (895 mm/an) et par cinq principales rivières (*Rios* Llave, Coata, Ramis, Huancane, Suchez). L'essentiel des apports par le ruissellement provient du Nord et du Nord-Ouest du bassin versant. Le lac possède, dans sa partie méridionale, un exutoire de surface, le *rio* Desaguadero, qui se situe à 3804 m d'altitude. Cet effluent joue un rôle très modeste dans la régulation hydrique du lac (4,5% des pertes totales) (Carmouze *et al.*, 1977). L'essentiel des pertes (90%) est du à l'évaporation; les pertes par infiltration, estimées à partir du bilan de l'ion Cl, ont été évaluées à $0,630.10^9 \text{m}^3$ par an.

	Localization	Altitudo	Superficie bassin Superficie de		J Superficie du plan	Profondeur	Volume	Drácisitation	O all all d	1
	Localisation	Annual	versant	salar	d'eau	moyenne	volume	Precipitation	Salinite	ions majeurs
	géographique	(m)	(km²)	(km²)	(km²)	(m)		(mm)	(g.L ⁻¹)	
Altiplano Nord										
Lac Titicaca	15°13'-16°35' 68°33'-70°02	3810	57340	_ :	8559	105	895000 (**)	895	0,9 - 1,2	Na CI SO4
Altiplano Central										
Lac Poopò	18°21'-19°10' 66°50'-67°24'	3686	55000	-	2650 - 2020	1,6 - 2,2	2569 - 1317 (**)	390	5 - 100	Na Cl SO₄
Salar de Coipasa	19°03'-19°37' 67°45'-68°30'	3657	30200	2500	200	0,05	-	100	300	Na Ci
Salar de Uyuni	19°37'-21°35' 66°45'-68°15'	3653	46600	10000	_	_	-	100	400	Na Cl
Altiplano Sud (Lip	ez)									
Cañapa	21°30'-68*01'	4140	227	1,5	0,4	0,2	80 (***)	50-100	(*)	Na CI (SO ₄)
Hedionda	21*34'-68*03'	4121	52	4,4	3,8	0,3	1140	50-100	Ö	Na (Mg) CI (SO4)
Chiar Kkota	21°35'-68°04'	4112	20	3,1	2,1	0,2	420	50-100	Ö	Na Cl
Honda	21°37'-68°04'	4110	38	0,5	0,3	0,3	90	50-100	Ö	Na CI (SO ₄)
Pujio	21°37'-68°04'	4110	5,3	0,1	0,07	0,15	10,5	50-100	(*)	Na CI (SO4)
Balivián	21*38'-68*05'	4110	1,9	0,08	0,02	0,2	4	50-100	0	Na CI (SO ₄)
Ramaditas	21°38'-68°05'	4117	277	4	2,4	0,25	600	50-100	Ö	Na Cl
Turquiri	21°24'-67°53'	4270	74	0,4	0,4	0,5	200	50-100	Ö	non connus
Chulluncani	21°32'-67°53'	4430	68	0,9	0,5	0,2	100	50-100	(*)	Na Cl (SO4)
Pastos Grandes	21°39'-67°47'	4440	655	125	12	0,1	1200	50-100	Ö	Na Cl
Cachi Laguna	21°43'-67°57'	4495	258	3,7	1,1	0,1	110	50-100	Ö	Na CI CO3 (SO4)
Kara	21°58'-67°52'	4509	425	13	13	1	13000	50-100	(*)	Na Cl (CO3)
Capina	21*58'-67*35'	4387	660	41	1,3	0,2	260	50-100	ö	Na CI (SO4?)
Colorada	22°11'-67°47'	4278	875	52	50	0,2	10000	50-100	č	Na Cl
Lagunillas		4695	22	0,03	0,03	0,1	3	50-100	ö	non connus
Challviri	22°32'-67°35'	4395	1390	194	25	0,3	7500	50-100	ö	Na CI (SO4)
Hond'a sur	22°35'-67°27'	4510	14	0,3	0,3	0,1	30	50-100	ö	Na CI (CO3) (SO4)
Puripica	22°40'-67°40'	4730	21	1,5	0,7	0,2	140	50-100	Ö	Na CI (SO4)
Laguna Verde	22°48'-67°48'	4310	776	16	16	0,3	4800	50-100	Ö	Na Cl (SO4)
Colipa	22°28'-67°25'	4510	24	0,9	0,9	1,5	1350	50-100	ö	Na CI CO
Hedionda sur	22°27'-67°23'	4530	27	2,9	2,9	0,75	2175	50-100	ö	Na CI CO
Totoral	22°33'-67°16	4550	61	1	1	1	1000	50-100	ö	non connus
Catalcito	22°34'-67°15'	4545	170	2,1	2,1	1	2100	50-100	ö	Na CI (CO ₃)
Bush	22°40'-67°15'	4530	266	21	17	0,6	10200	50-100	ö	Na CI (SO4)
Pelada	22°45'-67°10'	4590	141	1,9	1,9	0,65	1235	50-100	ĕ	Na CI (SO4) (CO1)
Loromayu	22°25'-67°14'	4650	64	8	7,2	0,5	3600	50-100	()	Na (Mo) Cl
Luriques	22*25'-67*14'	4650	38	2,6	0,7	0,6	420	50-100	(*)	Na (Ca) Cl (SO ₄)
Mama Kumu	22°15'-67°07'	4445	65	7,3	7,3	0,3	2190	50-100	(*)	Na Cl
Chojllas	22°24'-67*07'	4545	159	5,2	5,2	3	15600	50-100	Ö	Na Cl
Coruto	22°27'-67°00'	4530	331	25	13	0,5	6500	50-100	(*)	Na (Ca) Cl

(*) la salinité totale pour les lacs de la région du Lipez n'est pas indiquée car elle est très variable. Nous renvoyons le lecteur aux données mesurées de Risacher (1992a)

(**) les volumes des lacs Titicaca et Poopo sont exprimés en m³ 10⁶

(***) les volumes des lacs de l'Altiplano du Sud (Lipez) sont exprimés en m³

(d'après: Roche et al., 1992; Boulangé et al., 1978; Boulangé et Aquize Jaen, 1981; Ballivian et Risacher, 1981; Risacher, 1992a)

Tableau I.a: Caractéristiques géographiques, morphométriques et chimiques des bassins lacustres de l'Altiplano bolivien.

I.1.3.2. LE LAC POOPO

Le lac Poopò est situé à 3686 m d'altitude. Sa superficie (2650 - 2020 km²), son volume (2569 - 1317.10^6 m³) et sa profondeur (1,6 - 2,2 m) varient en fonction de la quantité des apports reçus par le lac en fonction des années et des saisons (Boulangé *et al.*, 1978).

A l'exutoire du lac Titicaca, les eaux ont une salinité de 1 g.L^{-1} . Au cours de leur trajet vers le Sud, elles se concentrent progressivement et atteignent une concentration de 100 g.L⁻¹. La composition chimique des eaux est dominée par le chlore, le sodium et les sulfates.

Le lac est alimenté au Nord par le *rio* Desaguadero et le *rio* Mauri, au Sud, par le *rio* Marquez. En moyenne annuelle, il reçoit 390 mm de précipitation. Les apports sont assurés par les affluents (82%) et les pertes par évaporation (98%) (Carmouze *et al.*, 1977). Lors des années fortement pluvieuses (comme par exemple en 1986), un écoulement des eaux de surface est possible vers le salar de Coipasa par le *rio* Laca Jahuira. D'après les cartes topographiques, le seuil de déversement se situe vers 3690 m d'altitude au Sud du lac.

I.1.3.3. LE SALAR DE COIPASA

Le salar de Coipasa est situé à 3657 m d'altitude. Il est occupé par une croûte de halite de 2 500 km² (Risacher, 1992a-b). Au Nord, un lac permanent est alimenté par le *rio* Lauca. En saison sèche, la profondeur maximale de ce lac est de 50 cm, sa superficie de 200 km², et sa salinité peut atteindre 300 g. L⁻¹. En saison des pluies (100 mm de précipitation en moyenne annuelle), le salar est entièrement recouvert par une saumure de quelques centimètres d'épaisseur.

I.1.3.4. LE SALAR DE UYUNI

Situé en terminaison du système hydrologique, à 3653 m d'altitude, le salar de Uyuni est occupé par la plus grande croûte de halite du monde d'une superficie de 10 000 km². En saison des pluies, il est recouvert par une saumure de quelques centimètres (Risacher, 1992a-b). En saison sèche, quelques flaques très concentrées (300 à 380 g.L⁻¹) subsistent localement. Le salar reçoit essentiellement des apports en provenance du *Rio Grande de Lipez*, dont le bassin versant s'étend dans le Sud de l'Altiplano. Une communication avec le salar de Coipasa est possible par la Quebrada Jahuira, le seuil topographique entre les deux salars se situant à 3655 m d'altitude. De nombreuses sources sont observées sur la bordure des salars et alimentent des zones en permanence humides.



Figure I. 7: Le système hydrologique sur l'Altiplano bolivien selon un profil NE-SW.

18

I.1.3.5. LA REGION DU LIPEZ

La caractéristique principale de cette région est la présence de nombreux petits bassins intravolcaniques situés à des altitudes comprises entre 4100 et 4800 m (figure I.8). Au total, 30 bassins ont été répertoriés (Risacher, 1992a-b). Ils sont occupés par des lacs salés et des croûtes de sel situés dans le fond des bassins. La salinité et la composition ionique des eaux présentent une très grande diversité (figure I.8, cf chapitre IV).

. . .

I.2. LE QUATERNAIRE: ETAT DES CONNAISSANCES

I.2.1. HISTORIQUE DES TRAVAUX

L'hypothèse de l'existence de grands lacs ayant occupés périodiquement les bassins de l'Altiplano bolivien au Quaternaire, a été émise pour la première fois par Minchin (1882). Cette hypothèse a été confirmée par la mise en évidence au Nord, du paléolac *Ballivián* (Bowman, 1909), identifié par des sédiments lacustres dont les plus hauts témoins se situent à ~50 m au-dessus du niveau du lac Titicaca; au Centre le paléolac *Minchin* (Steinman *et al.*, 1904) est attesté par des dépôts lacustres diatomitiques et des constructions algaires carbonatées dont les plus hauts témoins ont été observés jusqu'à ~100 m au-dessus du salar de Uyuni.

Plusieurs lignes de rivage, morphologiquement bien marquées dans le paysage, ont été signalées sur la bordure des bassins de Poopò-Coipasa-Uyuni. L'intérêt de ces lignes de rivage est qu'elles se révèlent parfaitement horizontales sur toutes les bordures des bassins, aux erreurs près des mesures altimétriques (± 5 m). Nous pouvons en conclure qu'il n'y a pas eu de fortes déformations tectoniques des anciens plans d'eau. A ce propos, il faut noter que les altitudes ont été évaluées à partir des cartes topographiques au 1/50 000, et par lecture simultanée sur deux altimètres de précision, dont un se situait dans une station fixe.

Des études plus récentes effectuées par une équipe franco-bolivienne (Université La Paz-ORSTOM) ont révélé que les bassins de l'Altiplano ont en réalité connu cinq périodes majeures de hauts niveaux lacustres (figure I.9). Les périodes lacustres les plus anciennes de la région du lac Titicaca, (*Matoro, Cabana* et *Ballivián*; Lavenu *et al.*, 1984; Servant et Fontes, 1978), des bassins de Coipasa et de Uyuni (*Escara*; Servant et Fontes, 1978) et du Sud Lipez (*Hedionda*; Fernandez, 1980) ne sont pas datées (tableau I.b). Le lacustre Minchin a fait l'objet de datations radiocarbone (Servant et Fontes, 1978) et uranium-thorium (Rondeau, 1990; Causse *et al.*, 1995).



Figure I. 8: Localisation des bassins lacustres dans la région du Lipez. (Risacher, 1992a)



Figure I. 9: Corrélation provisoire entre les périodes lacustres majeures des bassins de l'Altiplano bolivien (Risacher, 1992a).

Il recouvre une longue période (ca 72-22 ka B.P.) de la dernière glaciation. Le lacustre *Tauca* est attribué à la dernière transition glaciaire-interglaciaire (Servant et Fontes, 1978). L'Holocène moyen est caractérisé par des conditions climatiques plus sèches qu'actuellement au Nord (Wirrmann *et al.*, 1992) et au Sud de l'Altiplano (Risacher et Fritz, 1992).

Les bassins de drainage des paléolacs comprennent vers l'amont, un domaine glaciaire dont les plus hauts sommets dépassent 6000 m d'altitude. Dans la Cordillère Orientale, les études effectuées principalement dans la région de La Paz, distinguent quatre glaciations majeures, appelées de la plus ancienne à la plus récente: *Calvario* (Dobrovolny, 1962), *Kaluyo, Sorata* (Servant, 1977) et *Choqueyapu* (Troll, 1927). Une étude plus récente a mis en évidence quatre phases d'avancées glaciaires au cours des 20 000 dernières années dans les Cordillères Royale et d'Apolobamba de Bolivie (Argollo, 1982; Gouze *et al.*, 1986).

Alors que Troll (1927) avait attribué le paléolac *Minchin* à la dernière glaciation (*Choqueyapu*) des Andes de Bolivie, Moon (1939) a suggéré que les hauts niveaux lacustres sont en relation avec des apports de fonte de glaciers. Cette origine des lacs a été dans un premier temps envisagée par Servant et Fontes (1978), puis revue après l'établissement d'une chronologie radiocarbone détaillée de la période lacustre *Tauca* (Servant *et al.*, 1995). Une modélisation des bilans en eau a suggéré que les précipitations étaient respectivement de 300 mm/an et 200 mm/an supérieures aux valeurs actuelles lorsque les niveaux lacustres se situaient respectivement à 3740 et 3720 m d'altitude (Hastenrath et Kutzbach, 1985).

I.2.2. LES PERIODES LACUSTRES

I.2.2.1. LA PERIODE LACUSTRE BALLIVIAN - ESCARA

Cette période lacustre est connue au Nord de l'Altiplano par des sables fins stratifiés où s'intercalent des couches limoneuses à argileuses. Les dépôts reposent sur la surface ravinée d'anciens glacis à couverture caillouteuse. L'altitude des plus hauts témoins suggère que l'exutoire du paléolac se situait à 50 m environ au-dessus de l'exutoire actuel du lac Titicaca (Servant et Fontes, 1978).

Autour du salar de Coipasa, une formation lacustre nommée *Escara* est corrélée aux dépôts du paléolac *Ballivián* (Servant et Fontes, 1978). Les affleurements les plus significatifs se situent autour du massif volcanique de Huachacalla (cf figure I.1). Les dépôts, observés sur 15 m d'épaisseur, sont constitués de limons diatomitiques blancs, riches en silex, localement argilo-calcaires (figure I.10). Les plus hauts témoins de la formation *Escara* ont été observés à 3780 m d'altitude au Nord du salar de Coipasa.

PERIODES LACUSTRES		AGES ¹⁴ 0 (non ca	ka B.P. librés)	AGES	SU/Th	ELEVATION DU PLAN D'EAU		
						Altiplano Nord	Altiplano Central	Altiplano Sud
						Lac Titicaca	Bassins Uyuni-Coipasa	Lipez
Coipasa	v	10,4- 11,4*					~ 7m*	
Ticaña	IV	11,4 - 11,9*	20mg génération	ca 15,07-16, 2 ^{\$}	3 ^{ème} génération 7-14,8 ka ^l	~ 0 - 5 m ^{&}	~ 4 m* ~ 100 m* ^{\$}	~10 m ^{~ @}
	III	12 -13*	3°"" génération					
Tauca	11	13 - 14,5*	11- 15				~ 30 m*	(rionaa)
	I	14, 5 - 15,5 *					~ 4 m*	
Interlacustr	e							
Minchin/Tau	ica .							
Minchin		22 - 27 ⁸ (~37) [#]	2 ^{eme} génération 8,8 - 30,8 ¹ 1 ^{ere} génération 24 - 42 ¹	haut niveau Iacustre: <i>ca</i> 40 ^{\$}	2 ^{eme} génération 34-44 ¹ 1 ^{ere} génération 68-72 ¹	~ 15 m ^{&}	~80 m ^{\$}	~40-50 m ^{~ @} (<i>Ramaditas</i>)
Interlacustre Ballivián (Esc Minchin	:ara)/							
Ballivián-Es	scara	> 35*				~ 50 m ^{&}	~ 125 m ^{\$}	~50 m` (Hedionda)
Interlacustre Balliylán/Cab	ana							
Cabana		?				~ 90 m ^{\$}	?	?
Interlacustre Cabana/Mato	to						•	
Matoro		?				~ 140 m [§]	?	?

d'après: [&]Servant et Fontes, 1978; Fernandez, 1980; [§]Lavenu et al., 1984; Rondeau, 1990;

@Servant-Vildary et Mello e Sousa, 1993; *Servant et al., 1995; #Wirrmann et Mourguiart, 1995; *Causse et al., 1995.

Tableau I.b: Cadre stratigraphique et chronologique des périodes lacustres du Quaternaire sur l'Altiplano bolivien.

.



Figure I. 10: Diagramme stratigraphique du Quaternaire récent de la région Huachacalla (Altiplano central) (Servant et Fontes, 1978).

1,2: substratum volcanique quaternaire; 3: Formation *Escara* (visible sur 15 m d'épaisseur) corrélée avec les dépôts du lac *Ballivián*; 4a: Cônes très grossiers et mal classés; 4b: graviers et cailloutis (10 m d'épaisseur); Surface d'érosion; 5: Récifs d'algues (formation *Minchin*); 6: Limons calcaires à diatomées (phases lacustres *Minchin* et *Tauca* indifférenciées); 7: Basse terrasse sableuse.

Cette formation est peut-être présente sur la bordure sud du salar de Uyuni (région de San Juan), mais elle n'a pas été observée jusqu'à présent autour du lac Poopò (Servant et Fontes, 1978).

Dans la région du Lipez, sur la bordure orientale du bassin de Hedionda, des sédiments lacustres, de nature diatomitique et argileuse, ont été mis en évidence à 50 m environ au-dessus du niveau actuel (Fernandez, 1980). Ces sédiments (formation *Hedionda*) pourraient être l'équivalent des formations *Escara* et *Ballivián*.

Les données géologiques et géomorphologiques régionales indiquent que la période lacustre *Ballivián-Escara* se situe dans l'avant-dernière glaciation (*Sorata*) des Andes de Bolivie (Servant, 1977).

I.2.2.2. LA PERIODE LACUSTRE MINCHIN

Dans la partie sud-est du lac Titicaca (lac Huiñaymarca), deux sondages (TD, TD1) effectués sous 19 m d'eau ont atteint la partie supérieure de la période *Minchin* (Wirrmann *et al.*, 1992). Les variations relatives du plan d'eau ont été reconstituées par une étude palynologique (Ybert, 1992). Le niveau du lac Titicaca était relativement haut à *ca* 21 000 ans B.P. Il s'est abaissé après cette date en dessous de sa position actuelle. Une lacune de sédimentation postérieure à *ca* 18 000 ans B.P. et antérieure à *ca* 13 000 ans B.P., suggère un assèchement dans la zone de prélèvements des carottes TD et TD1 (Servant *et al.*, 1995; Argollo et Mourguiart, 1995). Sur les bordures du lac, des dépôts limono-argileux observés à ~15 m au-dessus du plan d'eau actuel ont été attribués à la période lacustre *Minchin*, mais ils ne sont pas datés (Servant et Fontes, 1978).

Sur les bordures des bassins Poopò-Coipasa-Uyuni, les sédiments lacustres diatomitiques de la période *Minchin* ont été largement érodés. Il en subsiste néanmoins quelques témoins signalés notamment au Nord-Est du lac Poopò (Wirrmann et Mourguiart, 1995). En revanche, les constructions algaires carbonatées sont remarquablement bien conservées et largement développées sur les pentes des bassins (cf § I.2.2.4).

Dans les petits bassins du Lipez, une formation lacustre (*Ramaditas*, Fernandez, 1980) est clairement antérieure aux dépôts tardiglaciaires. Un âge radiocarbone de ca 22 000 ans B.P. sur la partie supérieure des sédiments suggère qu'elle se rattache à la période *Minchin*.

I.2.2.3. LA PERIODE LACUSTRE TAUCA

Cette période est représentée par de nombreux témoins de hauts niveaux lacustres sur les bordures des bassins Poopò-Coipasa-Uyuni et dans les petits bassins du Lipez.

Elle a été observée dans les carottes TD et TD1 du lac Titicaca (Ybert, 1992). Une datation radiocarbone sur matière organique montre que le maximum lacustre est postérieur à ca 13 180 ans B.P. Sur les bordures du lac, une terrasse argileuse à +5 m environ au-dessus du plan d'eau actuel est attribuée à cette période de haut niveau lacustre, mais elle n'a pas été datée.

Dans les bassins Poopò-Coipasa-Uyuni, les premières datations radiocarbone réalisées sur des lits de coquilles de mollusques intercalés dans les diatomites ont situé les hauts dépôts de la période *Tauca* vers *ca* 12 000 ans B.P. Une croûte carbonatée (basse terrasse) située à des altitudes plus basses près du fond actuel des salars, a été datée à *ca* 10 000 ans B.P. (Servant et Fontes, 1978). Récemment, une révision de la stratigraphie régionale du Tardiglaciaire a été réalisée sur la base de 39 datations radiocarbone (Servant *et al.*, 1995). Le chapitre II reprendra les résultats de cette étude. Ceux-ci seront complétés par la description de nouveaux affleurements, par de nouveaux âges radiocarbone, par des âges uranium-thorium et par une comparaison entre les âges ¹⁴C et U/Th.

Dans la région du Lipez, une formation lacustre (*Honda*, Fernandez, 1980), située à quelques mètres au-dessus des plans d'eau actuels, a été attribuée à la période *Tauca*, mais elle n'a pas fait l'objet de datations radiocarbone. Dans le petit bassin de Chiar Kkota, deux anciennes lignes de rivage tapissées par des biohermes algaires ont été observées respectivement à 4 m et 10 m au-dessus du plan d'eau actuel. Deux datations radiocarbone réalisées sur des générations distinctes d'un même bioherme, ont donné respectivement 12 420 \pm 240 et 10 970 \pm 230 ans B.P. (Servant et Fontes, 1978).

I.2.2.4. LES BIOHERMES ALGAIRES CARBONATES

Les constructions algaires carbonatées tapissent de manière presque continue les versants des bassins Poopò-Coipasa-Uyuni, depuis le fond des bassins (3653 m pour le salar de Uyuni) jusqu'à 3750-3760 m d'altitude.

La première étude sur les bioconstructions carbonatées, d'abord assimilées à des stromatolites, a mis en évidence que ces constructions sont polyphasées et qu'elles sont constituées de plusieurs générations de stromatolites (Rondeau, 1990). Récemment, leur étude a fait l'objet d'une révision sur la base de nouvelles observations et de nouvelles mesures altimétriques de terrain (Rouchy *et al.*, 1996).

Cette étude a mis en évidence 4 terrasses majeures localisées à 3745 m, 3720 m, 3700 m et 3660-3670 m d'altitude, et deux terrasses moins marquées situées à 3730 m et 3750-3760 m d'altitude. Rouchy *et al.* (1996) définissent les constructions carbonatées comme des biohermes algaires, le terme «stromatolite» étant réservé aux encroûtements carbonatés laminés construits par des communautés de cyanobactéries et formant des encroûtements à la surface des autres constructions algaires. Associées à 1'étude pétrographique et minéralogique, des datations uranium-thorium et radiocarbone ont été réalisées sur ce matériel (Causse *et al.*, 1995).

Entre 3750 et 3760 m d'altitude, des biohermes algaires dispersés indiquent le plus haut niveau lacustre atteint par les anciens lacs (figure I.11). Une surface d'abrasion littorale est marquée à 3740-3750 m d'altitude.

Entre 3750 m et 3710 m d'altitude, les biohermes sont en forme de dômes (*dome-shaped bioherms*). Ces biohermes correspondent à des encroûtements algaires construits sur des irrégularités du substrat rocheux. La taille de ces biohermes varie en fonction du substrat, de quelques décimètres à 4 m de haut.

A 3700 m d'altitude, les lignes de rivage, observées uniquement dans un site localisé au Nord des bassins de Coipasa et de Uyuni (Oruro), sont caractérisées par des biohermes en forme de cônes inversés (*giant inverted conical bioherms*) de très grande taille (4 m de haut pour 4 m de diamètre au maximum).

Entre 3665 m et 3670 m d'altitude, des biohermes de grande taille (< 5 m) forment des récifs carbonatés. Ces biohermes présentent une morphologie complexe (*giant composite mounds*). Généralement, ils sont composés par deux à trois parties distinctes, formées lors de différents stades lacustres, séparées par des discontinuités majeures, indiquant des phases interlacustres.

La croûte carbonatée formant la basse terrasse à 3660 m d'altitude, est recouverte par différentes formes de constructions. Leurs tailles varient entre quelques centimètres de haut, et plusieurs décimètres à un mètre de diamètre. Les *tufa* sont formés à partir de différents supports tels que des dômes de sable de petite taille (*flat discoid builtup*), ou des fragments de bois (*cylindrical laminated tufa*). Ont été également observés des pisolites (*large pisolitic tufa*) et des biohermes en forme de champignons (*mushroom-like tufa*). Toutes ces formes sont composées par des colonies algaires, avec parfois une enveloppe stromatolitique externe.

Ces constructions algaires carbonatées présentent des phases de croissance algaire pouvant se rattacher à des périodes successives de hauts niveaux lacustres. Entre 3660 et 3680 m d'altitude, les constructions algaires présentent trois générations de croissance, à 3730 m d'altitude elles en présentent deux, et celles à 3750-3760 m n'en présentent qu'une.





Les observations faites sur le terrain lors des prélèvements effectués par Rondeau, Servant et Wirrmann en 1986 dans un site sur la bordure du bassin de Coipasa à 3671 m d'altitude, montrent au sein des constructions biologiques deux générations de croissance algaire, localement séparées par des sédiments détritiques. La génération la plus ancienne, antérieure aux sédiments détritiques est datée par la méthode uranium-thorium de *ca* 68 000 ans B.P. (échantillon 86-91b) (Rondeau, 1990). Un âge U/Th comparable de *ca* 70 300 ans B.P. (échantillon 86-124) a été obtenu à la base d'un bioherme situé à 3700 m d'altitude (Rondeau, 1990) dans un site localisé au Nord-Est de la zone étudiée (Oruro). Ces données suggèrent la présence d'un haut niveau lacustre à une altitude supérieure ou égale à 3700 m, vers *ca* 70 000 ans B.P.

15

Des datations uranium-thorium, réalisées sur la partie médiane (enveloppe interne) de biohermes composites prélevés entre 3660 et 3685 m d'altitude, situent une phase lacustre à *ca* 44 ka B.P. (Causse *et al.*, 1995). Une phase plus récente a été datée sur l'enveloppe externe de cet édifice carbonaté à 16,21 U/Th ka B.P. (figure I.12).

Les plus hautes constructions algaires, situées à 3750-3760 m d'altitude, sont datées à 15,07 U/Th ka B.P (12,93 14C ka B.P.; 15,33 14C cal. ka B.P.) (Causse *et al.*, 1995).

En l'état actuel des observations, les phases lacustres datées de ca 70 U/Th ka B.P.et de ca 44 U/Th ka B.P. suggèrent qu'elles se rattachent à la période *Minchin*. Nous ne savons pas si ces phases lacustres sont représentées à des altitudes supérieures à 3700 m.

La phase lacustre identifiée à 3680 m et à 3760 m, et datée de ca 16 - 15 U/Th ka B.P. est attribuée à la période *Tauca*. Les plus hautes constructions algaires (3750-3760 m) avaient été attribuées à la période lacustre *Minchin* (Servant et Fontes, 1978). Mais les nouvelles observations (Servant et al., 1995; Rouchy et al., 1996) et les âges uranium-thorium (15,07 ka B.P.) (Causse et al., 1995) prouvent qu'elles se rattachent à la période lacustre *Tauca* et situent l'altitude maximale atteinte par le plan d'eau, impliquant un lac de ~100 m de profondeur.

I.2.2.5. L'HOLOCENE

L'Holocène est caractérisé dans l'ensemble des bassins de l'Altiplano par un déficit en eau, enregistré par des abaissements des niveaux lacustres, voire par des assèchements.

Dans la partie sud-est du lac Titicaca, les deux sondages TD et TD1 enregistrent une baisse des niveaux lacustres. Dans le sondage TD, cette baisse est antérieure à 9.620 ± 90^{14} C ans B.P. (Ybert, 1992); dans le sondage TD1, elle est marquée par un




(Causse et al., 1995; Rouchy et al., 1996)

hiatus de sédimentation postérieur à *ca* 13 180 ¹⁴C ans B.P. et antérieur à *ca* 7 700 ¹⁴C ans B.P. (Wirrmann et Mourguiart, 1995). Ce hiatus suggère un assèchement dans la zone de prélèvement du sondage. Cette période de bas niveaux lacustres est enregistrée dans les diagrammes palynologiques par une flore caractérisant un milieu peu profond et salé, comparable à celle du lac Poopò actuel (Ybert, 1992). Les sédiments ne contiennent pas de diatomées (Servant-Vildary, communication personnelle).

Les variations du niveau du lac Titicaca ont été reconstituées entre ca 7 700 ¹⁴C ans B.P. et ca 1 000 ¹⁴C ans B.P. à partir d'une fonction de transfert ostracodes/bathymétrie, appliquée aux sondages TD1 et TE (Mourguiart et Roux, 1990; Mourguiart et al., 1992; (figure I.13). Les estimations obtenues mettent en évidence entre 7 700 ¹⁴C ans B.P. et 5 500 ¹⁴C ans B.P. un lac d'une très faible profondeur, le plan d'eau étant situé à 20 m environ en dessous de sa position actuelle (3809 m). La partie sud-est du lac était alors probablement en grande partie asséchée, et occupée par des mares. De 5 500 ¹⁴C ans B.P. à ca 4 000 ¹⁴C ans B.P., le plan d'eau variations: soumis à des il oscillait autour de 3788-3789 m. est Vers 4 000 ¹⁴C ans B.P., le niveau lacustre connaît une remontée brusque, interrompue par une brève phase d'abaissement vers 2 400 ¹⁴C ans B.P. Cette remontée brutale du plan d'eau est enregistrée par une forte augmentation des taxons algaires (Pediastrum et Botryococcus). Jusqu'à 1 500 ¹⁴C ans B.P., le lac fluctue autour de 3804-3805 m et atteint son niveau actuel après cette date.

Dans le centre de l'Altiplano, une phase très aride a été mise en évidence par la présence de polyhalite dans la croûte de sel du salar de Uyuni (Risacher et Fritz, 1992). D'après la détermination de l'abaissement du niveau de la nappe d'eau interstitielle dans la croûte de sel et l'estimation de la hauteur annuelle d'évaporation de la saumure, les auteurs ont conclu que l'Altiplano central a été affecté au cours de l'Holocène par une phase extrèmement aride pendant une durée d'au moins 2 000 ans. Par comparaison avec d'autres salars actuels, il a été estimé que la hauteur de précipitations pendant cette période n'excédait pas 20 mm/an. Actuellement, la hauteur de précipitations sur le salar de Uyuni est de l'ordre de 200 mm/an. Cette phase aride n'a pu être datée. Mais d'après les résultats obtenus dans les régions voisines, notamment sur l'évolution du plan d'eau du lac Titicaca, il semblerait que cette période soit comprise dans l'intervalle 7 000 - 2 000 ans B.P.

Dans le Sud de l'Altiplano (région du Lipez), l'Holocène est représenté par des colluvions qui nappent les versants et forment au pied des reliefs volcaniques de



AGES ¹⁴C ans B.P.

Figure I. 13: Estimation des variations du niveau lacustre du lac Titicaca entre ca 7 700 ans B.P. et ca 1 000 ans B.P. d'après une fonction de transfert ostracodes/bathymétrie (Mourguiart et al., 1992) grands cônes colluviaux (Fernandez, 1980). Les dépressions lacustres étaient probablement occupées par des croûtes de sel et des saumures.

Les vallées des Andes de Bolivie sont caractérisées par une basse terrasse fluviatile. De nombreuses coupes observées à différentes altitudes (Servant et Fontes, 1984) montrent une alternance de tourbes indicatrices d'un milieu en permanence humide, et de dépôts sableux, plus ou moins grossiers, indicateurs d'un milieu à écoulements de crues, non favorable au développement des tourbières. L'étude de ces terrasses a montré trois étapes dans l'évolution des fonds de vallées durant l'Holocène:

- une période d'humidité permanente est enregistrée à la base de la terrasse (10 000-8 000 ¹⁴C ans B.P.) par des tourbes ou par des limons organiques;

- une période d'écoulements épisodiques à crues bien marquées est enregistrée dans la partie moyenne de la terrasse (7 500 - 4 000 ¹⁴C ans B.P.) par des sables fins ou des graviers, qui se raccordent au pied des versants à des cônes de déjection. Des niveaux de tourbe localement intercalés marquent des épisodes d'humidité dans le fond des vallées;

- une période moins sèche que la précédente est enregistrée dans la partie supérieure (4 000 - 1 600/800 ¹⁴C ans B.P.) par des limons organiques, comprenant fréquemment des intercalations de tourbe.

De brefs épisodes de ravinement sont souvent observés dans les enregistrements fluviatiles du Nord de l'Altiplano, alors qu'ils sont absents dans le Sud. L'érosion des dépôts de la basse terrasse a débuté aux alentours de 1 800 ¹⁴C ans B.P. et s'est poursuivie depuis lors, en progressant de l'amont vers l'aval. Les dépôts holocènes sont peu entaillés par l'érosion régressive dans les parties hautes des profils longitudinaux.

I.2.3. LES PERIODES GLACIAIRES

Les périodes glaciaires les plus anciennes ont été étudiées au Nord du lac Titicaca (versant ouest des Cordillères Royale et d'Apolobamba), et dans la région de La Paz (Servant, 1977; Argollo, 1982; Gouze *et al.*, 1986). Les glaciations les plus anciennes (*Calvario* et *Kaluyo*) sont représentées par deux dépôts morainiques très puissants (100 m); les glaciations les plus récentes (*Sorata*, *Choqueyapu*) sont représentées par des cordons morainiques très bien conservés. La dernière glaciation *Choqueyapu* comprend deux phases d'avancées glaciaires séparées par une période d'érosion et de retrait (Troll et Finsterwalden, 1935; Servant, 1977).

Une reconstruction des oscillations glaciaires au cours des 20 000 dernières années (figure I.14), a été effectuée dans le Sud du Pérou (Mercer *in* Seltzer, 1990) et dans le Nord de la Bolivie (Gouze *et al.*, 1986). Les amplitudes des avancées glaciaires



entre 20 000 et 8 000 ans B.P. (les moraines M4 sont postérieures à 500 ans B.P.) (d'après Gouze *et al.*, 1986; Servant *et al.*, 1995) sont très variables selon les vallées et sont exprimées de manière relative. Les datations par le radiocarbone, réalisées sur des tourbes localement observées sous les dépôts glaciaires ou en arrière des moraines, donnent des âges limites inférieurs ou supérieurs des phases culminantes des avancées.

I.2.3.1. LA DERNIERE PERIODE D'EXTENSION MAXIMALE DES GLACIERS

Cette période est représentée dans toutes les vallées par un groupe de moraines M1, qui se situe en moyenne à 1000 m en dessous de l'altitude actuelle des fronts des glaciers. Ces dépôts sont peu érodés et reposent sur des sédiments organiques postérieurs à 27 000 ans B.P. (Argollo, 1982; Gouze *et al.*, 1986) ou 23 000 ans B.P. (Hérail *et al.*, 1991), et antérieurs à 14 500 ans B.P. (Mercer *in* Seltzer, 1990).

Ce groupe de moraines présente une morphologie complexe. Deux arcs morainiques ont été distingués, l'un situé avant 18 200-15 500 ans B.P. (M1a) (Servant et Argollo, en préparation), l'autre situé entre 15 500 et 14 500 ans B.P. (M1b) (Servant *et al.*, 1995). Ces deux maximums glaciaires sont donc séparés par un retrait momentané entre *ca* 19 000 ans B.P. et 15 500 ans B.P.

D'après la terminologie employée en Bolivie, ces moraines correspondent au dernier maximum de la glaciation *Choqueyapu*.

I.2.3.2. LA PERIODE DE DEGLACIATION

Les observations faites au Pérou ont mis en évidence que la déglaciation a débuté un peu avant 14 500 ans B.P. Elle est accidentée par deux réavancées glaciaires dont les extensions maximales sont situées respectivement après *ca* 13 900 ans B.P. et vers 11 000 ans B.P. (Mercer et Palacios, 1977). Ces deux avancées glaciaires ont été également observées en Bolivie (M2 et M3) (Gouze et al., 1986). Le recul des glaciers jusqu'à leurs limites actuelles est daté vers *ca* 9 900 ans B.P. au Pérou.

I.3. LES DIATOMEES

Les premières études sur les diatomées de l'Altiplano bolivien ont été effectuées au début de ce siècle par Frenguelli (1929, 1939). Ces travaux pionniers concernent le lac Titicaca et quelques bassins du Sud de l'Altiplano. Nous citerons également les travaux du même auteur (1936) et ceux de Hustedt (1927) réalisés dans le bassin de Calama (Formation Loa) et dans des bassins du désert de l'Atacama. Ces travaux ont signalé des taxons endémiques, que nous retrouvons communément dans les bassins du Centre et du Sud de l'Altiplano. Patrick (1961) a effectué une analyse des diatomées contenues dans l'oesophage d'une espèce de flamand rose *Phoenicoparrus jamesi*, provenant des bassins de la région du Lipez.

Plus récemment, les études sur les diatomées de l'Altiplano bolivien ont été reprises dans le cadre de programmes multidisciplinaires ORSTOM-Université La Paz. Ces études ont portées sur différents milieux, lacustres, fluviatiles, et montagnards de haute altitude. Dans un premier temps, l'écologie des diatomées actuelles a été entreprise afin de proposer une interprétation qualitative des assemblages de diatomées fossiles. Dans un second temps, une calibration (relation quantifiée entre la floristique et les différents paramètres physico-chimiques des milieux actuels) propose des reconstitutions quantitatives des paramètres physico-chimiques des milieux anciens.

I.3.1. LES DIATOMEES DU LAC TITICACA

Deux études ont porté sur la répartition des diatomées dans les sédiments superficiels du lac. La première étude qualitative fournit une description taxonomique des espèces observées et la répartition des principaux taxons présents dans les stations de prélèvement (Servant-Vildary, 1992). La seconde étude montre, sur la base d'analyses statistiques multivariées, une répartition des diatomées actuelles en fonction de la profondeur (Miskane, 1992). Cette calibration a permis une interprétation qualitative de la composition des assemblages de diatomées observés par S. Servant-Vildary, dans le sondage TD1 du lac Titicaca (Wirrmann *et al.*, 1992).

Nous signalons également les études de Richerson *et al.*, (1977, 1986), Theriot *et al.* (1985) et Carney *et al.* (1987), dans la partie péruvienne du lac, et les travaux de Liberman et Miranda (1987), dans sa partie bolivienne.

I.3.2. LES DIATOMEES DES BASSINS LACUSTRES DU CENTRE ET DU SUD DE L'ALTIPLANO

Les diatomées fossiles préservées dans les formations lacustres du Quaternaire récent dans les bassins du Lac Poopò, des salars de Coipasa et de Uyuni, ont fait l'objet d'études réalisées sur des formations lacustres du Pléistocène ancien jusqu'à l'Holocène ancien (Servant-Vildary, 1978a; Servant-Vildary et Blanco, 1984):

- pour le Pléistocène ancien et moyen, les formations Charaña et Vito;

- pour la transgression Ballivián, les formations Lauca et Ulloma;

- pour la transgression Minchin, les coupes de Corque-Huachacalla et de Chuca-Khawa;

- pour la transgression Tauca, les coupes de Culluri, Escara, Rio Salado et Tauca.

Ces travaux ont mis en évidence que les lacs quaternaires du Sud de l'Altiplano bolivien contenaient une flore caractéristique de milieux très riches en éléments dissous (Servant-Vildary, 1978a). Nous verrons que les taxons de diatomées déterminés dans l'étude des affleurements concernant la période lacustre *Tauca* ne sont pas différents de ceux mis en évidence lors des études antérieures.

·: . .- .

L'étude des milieux actuels a porté sur des prélèvements effectués dans le lac Poopò et dans 13 bassins de la région du Lipez (Servant-Vildary, 1978b; Iltis, Risacher et Servant-Vildary, 1984; Servant-Vildary, 1984). Une calibration a été réalisée, établissant la relation entre la salinité, la composition ionique et la flore de diatomées (Servant-Vildary et Roux, 1990b). Ces travaux ont conduit à la définition d'une fonction de transfert pour chaque composant ionique et la salinité (Roux et al., 1991). Ces fonctions de transfert ont été appliquées à un affleurement prélevé dans la laguna Ballivián dans la région du Lipez. L'étude des diatomées fossiles dans cet affleurement a permis de définir, pour la période lacustre Minchin, 5 oscillations lacustres, dont deux (M2 et M4) où le plan d'eau aurait franchi le seuil qui sépare la laguna Ballivián de la laguna Ramaditas (profondeur minimum ~50 m) (Servant-Vildary et Mello e Sousa, 1993) (cf chapitre III, § III.2). Ces phases sont séparées par des interlacustres, représentés par des dépôts sableux stériles en diatomées ou par des hiatus de sédimentation. L'estimation des composants ioniques et de la salinité met en évidence 3 épisodes évoluant principalement entre des faciès bicarbonatés sodiques et des faciès chlorurés sulfatés calci-sodiques (Roux et al., 1991). Les dépôts lacustres attribués à la période Tauca, reposent en discordance sur la formation Minchin. Les diatomées indiquent un lac de 5 à 10 m de profondeur, une salinité de 30 g.L⁻¹ et des eaux chlorurées sulfatées sodiques.

I.3.3. LES DIATOMEES DES HAUTES VALLEES ANDINES

Les diatomées ont été étudiées dans une vallée de la Cordillère orientale des Andes entre 4300 et 4800 m d'altitude. L'estimation des paléotempératures à partir des assemblages de diatomées repose sur l'hypothèse qu'en montagne, la répartition des algues aquatiques, comme des végétaux terrestres, est liée au gradient altitudinal et donc à la température. Le déplacement en altitude d'une association de diatomées vivant actuellement à une altitude définie, caractérisée par une température, pourra être indicateur d'un réchauffement dans le cas où cette association se déplace vers le haut de la vallée ou d'un refroidissement si elle se déplace vers le bas (Servant-Vildary, 1982).

Les études se sont attachées à identifier la relation entre la composition des assemblages de diatomées actuelles et les paramètres mesurés du milieu, de manière qualitative dans un premier temps (Servant-Vildary, 1982, 1986; Roux et Servant-Vildary, 1984). Dans un second temps, ces travaux ont été poursuivis par l'estimation des variations de température au cours des 9 000 dernières années dans un sondage situé à 4310 m d'altitude (Servant-Vildary et Roux, 1990a). Cette fonction de transfert a été aussi appliquée à des associations de diatomées fossiles issues d'un sondage

prélevé dans la même vallée à 4800 m d'altitude (Servant-Vildary *et al.*, soumis). Les recherches se poursuivent actuellement par l'élargissement de la calibration des diatomées actuelles sur l'ensemble des micro-habitats de la vallée et par l'étude d'un nouveau sondage (Miskane, thèse en préparation). Les résultats sont comparés à des études botaniques (Ostria, 1987) et palynologiques (Ybert, 1992), réalisées dans la même vallée (Servant-Vildary *et al.*, soumis).

I.3.4. LES DIATOMEES DES MILIEUX FLUVIATILES HOLOCENES

Les diatomées holocènes des milieux humides des fonds de vallées ont fait l'objet d'une étude sur des dépôts prélevés au Nord du salar de Uyuni (Alianza) (Badou, 1992; Jimenez *et al.*, 1993). La modification des assemblages de diatomées a mis en évidence des changements significatifs des milieux fluviatiles dans la zone d'étude.

La base de la coupe débute à la fin du Tardiglaciaire. A ca 11 000 ans B.P., le fond de la vallée est occupé par une rivière à débit relativement fort et riche en éléments dissous. Au début de l'Holocène, le débit de la rivière diminue et «une prairie humide» parcourue par des canaux à faible débit, s'installe dans le fond de la vallée. Les diatomées indiquent également pour la même période de fortes variations à court terme de la teneur en éléments dissous. Au cours de l'Holocène moyen (ca 6 290 -5 400 ans B.P.), les conditions de l'épisode précédent se poursuivent. Cette phase se termine par un assèchement, marqué par la présence d'une espèce benthique préférentielle des fortes concentrations en sels et par des argiles riches en concrétions carbonatées. Après ca 5 400 ans B.P., les conditions humides réapparaissent dans le fond de la vallée et persistent jusqu'à ca 4 750 ans B.P. Entre ca 4 750 ans B.P. et ca 4 150 ans B.P., le milieu est soumis à des variations à court terme, ayant été enregistrées par une alternance entre des épisodes à forte concentration en éléments dissous et des épisodes d'eau douce. Ces conditions persistent jusqu'à ca 3 300 ans B.P. Après cette date, le débit de la rivière s'intensifie et des conditions de forte humidité réapparaissent.

En résumé, les travaux antérieurs effectués dans les bassins lacustres de l'Altiplano ont permis de dégager les principales étapes de l'évolution des paléoenvironnements sur l'Altiplano bolivien au cours du Quaternaire. Ils ont mis en évidence deux grandes périodes lacustres au cours de la dernière époque glaciaire. La première (*Minchin*) est encore mal connue dans le détail. Les données géologiques locales, les datations radiocarbone et uranium-thorium suggèrent qu'elle recouvre une longue tranche de temps comprise entre *ca* 80 et 22 ka B.P. Durant cette période, les plus hauts niveaux lacustres dateraient de *ca* 68 - 72 ka B.P. et *ca* 34 - 44 ka B.P. d'après les âges uranium-thorium. La seconde période lacustre (*Tauca*) succède à une phase d'érosion sur les bordures des bassins du sud de l'Altiplano et à une phase de bas niveaux lacustres dans le lac Titicaca. L'étude des diatomées fossiles montre que les paléolacs ayant occupés les bassins du centre de l'Altiplano, étaient salés.

II. REVISION DE LA CHRONOLOGIE LACUSTRE DE L'ALTIPLANO CENTRAL (SALARS DE COIPASA ET DE UYUNI)

II.1. MATERIELS D'ETUDE

II.1.1. LOCALISATION DES SITES

Le schéma de la figure II.1 donne un exemple de la distribution des formations lacustres dans le bassin de Coipasa, et la figure II.2, la localisation des coupes sédimentaires étudiées dans ce travail.

- Le centre des bassins est occupé par une croûte de halite (H). Notre étude a porté sur deux sondages (CO2 et TA) effectués dans la partie sud du salar de Coipasa (altitude: 3657 m). Nous avons également utilisé le sondage UA réalisé par F. Risacher en 1985-1986, dans le centre du salar de Uyuni (altitude: 3653 m).

- La bordure des bassins correspond à une basse terrasse lacustre très largement étendue autour des salars de Coipasa et de Uyuni. Elle est tapissée par une croûte carbonatée (C) ('basse terrasse' de Servant et Fontes, 1978). Nous avons étudié cette terrasse près du village de Tauca (sites I, J; altitude: ~3657 m) et de la Quebrada Jahuira Pampa (site PJ; altitude: ~3657 m).

- Sur les versants des reliefs volcaniques qui entourent les bassins, les sédiments lacustres meubles (T) ont été largement érodés et les témoins résiduels préservés de l'érosion, sont plus ou moins étendus. Ils ont été étudiés sur deux affleurements CB et CA, respectivement situés à 3685 m et 3690 m d'altitude, près du village de Churacari, sur la bordure nord du salar de Uyuni. Les formations lacustres indurées (constructions algaires carbonatées) ont par contre mieux résisté à l'érosion. Elles tapissent de manière presque continue les pentes des reliefs jusqu'à 3760 m d'altitude. Les lignes de rivage mentionnées dans le chapitre précédent (cf § I.2.2.4) ne sont pas reportées sur le schéma, exception faite de la plus haute terrasse d'abrasion littorale (**BA**) située à 3745 m.

II.1.2. DESCRIPTION LITHOLOGIQUE DES SONDAGES

II.1.2.1. LE SONDAGE CO2 (COIPASA)

Le sondage CO2 a traversé 10 m de sédiment. Dans ce travail, nous présentons l'étude des 5 premiers mètres de la carotte. Entre 487,5 cm et 36 cm, la lithologie ne présente pas de changements importants (figure II.3). Seules les variations de couleur et la structure des dépôts, plus ou moins laminaire, permettent de distinguer différents niveaux. De 487,5 cm à 442,5 cm, le sondage est composé par une argile noire non laminée. De 442,5 cm à 297,5 cm, l'argile non laminée est de couleur grise. On note la présence entre 389 cm et 397,5 cm d'un niveau où



Figure II. 1: Distribution schématique des formations lacustres dans les bassins de l'Altiplano central: exemple sur la bordure du salar de Coipasa

H: Croûte de halite; C: croûte calcaire (basse terrasse); T: sédiments lacustres; BA: biohermes algaires (haute terrasse d'abrasion littorale); RV: reliefs volcaniques



les sédiments ont été affectés par des mouvements de turbidité. De 297,5 cm à 222 cm, les lamines commencent à apparaître, mais ne caractérisent pas le sédiment de manière continue. A partir de 222 cm, les lamines inframillimétriques deviennent très régulières et continues. De 117 cm à 62 cm, l'argile laminée passe de la couleur noire à la couleur brune. Enfin les sédiments argileux se terminent par une couche brune non laminée de 62 cm à 36 cm. A 36 cm, la limite supérieure des argiles se révèle très abrupte et nous pensons qu'elle correspond à une ancienne surface d'érosion. Une croûte calcaire (C), de 4 cm d'épaisseur, perturbée par le sondage, repose sur la surface d'érosion. Cette croûte est incluse dans une matrice argileuse (36-23 cm) contenant des coquilles de gastéropodes. Entre 23 cm et 0 cm, les dépôts sont constitués par des sables grossiers, des cristaux de gypse, et des feldspaths. Les sables sont surmontés par une croûte de halite de 4 à 5 cm d'épaisseur, qui a été perforée avant la réalisation du sondage.

L'analyse de 35 échantillons par diffractométrie des rayons X montre que ces sédiments après séchage, sont composés de manière homogène en moyenne par 45% de halite (NaCl), 30% d'argile, 12% de quartz et 10% de feldspaths. Mais ces valeurs peuvent être faussées par une recristallisation de la halite à partir des saumures interstitielles contenues dans les sédiments. Après dissolution de la halite par traitement à l'eau distillée, le sédiment est alors caractérisé par 55,8% d'argile, 23,7% de quartz et 18,2% de feldspaths (figure II.4).

II.1.2.2. LE SONDAGE TA (COIPASA)

Le sondage TA a été réalisé dans le salar de Coipasa à une centaine de mètre de sa bordure, au Nord du village Tauca. Il a traversé 3 m de sédiment. Le sondage a été réalisé en deux parties, TA1 (97-296 cm) et TA2 (0-84 cm). De la base au sommet, on observe (figure II.5):

- de 296 à 282 cm, une argile organique M à diatomées;

- de 282 à 68 cm, une couche sableuse notée F1, stérile en diatomées;
- de 68 à 18 cm, une couche argilo-limoneuse T à diatomées;
- de 18 à 0 cm, une couche sableuse F2.

II.1.2.3. LE SONDAGE UA (UYUNI)

Le sondage UA, réalisé en 1985-1986 par F. Risacher, est situé au centre du salar de Uyuni à 3653 m d'altitude. La croûte halitique et les sédiments sousjacents ont été traversés jusqu'à 121,14 m de profondeur. Ce sondage permet d'observer l'alternance de 12 niveaux halitiques (H1 à H12) et de 11 niveaux argileux lacustres (L1 à L11) (figure II.6). Lors d'une première étude menée par F. Risacher sur les premiers 70 mètres du sondage (mesures de porosité, dosages de la calcite, du détritique, de la halite et du gypse) et par l'ORSTOM Bondy sur les premiers 47 mètres (dosage du carbone organique et de l'azote au CHN Carlo-Erba), il a été montré que (1) les niveaux halitiques correspondent principalement à de la halite avec peu de gypse et de matériaux détritiques, la matière organique étant absente ou en traces seulement; (2) les niveaux lacustres correspondent principalement à du matériel détritique, du gypse microcristallin et de la calcite,



Figure II. 3: Lithologie simplifiée du sondage CO2 (salar de Coipasa, altitude: 3657 m).



Figure II. 4: Composition minéralogique d'après les analyses par diffraction des rayons X des sédiments du sondage CO2 (après dissolution de la halite).

44



Figure II. 5: Lithologie simplifiée du sondage TA (salar de Coipasa, altitude: 3657 m).

la matière organique étant présente mais toujours en proportion inférieure à 2%. Ces mesures ont été poursuivies par l'étude d'échantillons complémentaires soumis palynologiques, analyses géochimiques, pétrographiques diverses et minéralogiques afin d'étudier la matière organique (Schuler et al., 1995). Il a été montré que la matière organique est peu abondante (COT=0,4% en moyenne). Le palynofaciès montre une grande richesse relative en algues planctoniques lacustres, bien que cette matière organique se rapproche d'une matière organique de type II classiquement observée dans les faciès sapropéliques en domaine marin (Schuler et al., 1995). Seuls les niveaux L1 et L2 ont fait l'objet d'une observation de diatomées. Dans le niveau L1 (1 échantillon à 6,4 m), nous n'avons pas observé de diatomées. Dans le niveau L2 (11 échantillons à 8,2 m, 8,4 m, 9,1 m, 9,6 m, 10,5 m, 11,1 m, 11,6 m, 12,4 m, 13 m, 13,5 m, 14,1 m), quelques frustules de diatomées sont présents. Très fortement affectés par des phénomènes de dissolution chimique, une étude taxonomique n'a pu être envisagée.

II.1.3. DESCRIPTION LITHOLOGIQUE DES AFFLEUREMENTS DE BORDURE

II.1.3.1. L'AFFLEUREMENT PAKOLLO JAHUIRA PJ

Cet affleurement a été prélevé sur la bordure nord du salar de Uyuni à 3657 m d'altitude. Les dépôts affleurent sur 58 cm d'épaisseur (figure II.7).

- A 58 cm, une croûte carbonatée très mince (< 2 cm) est composée par un lit d'aragonite, encadré par deux lits de calcite.

- Entre 58 cm et 6 cm, la lithologie est homogène, composée essentiellement de limons argileux (T).

- A 6 cm du sommet, s'interstratifie un lit très mince de sables (F2).

- La coupe se termine par une croûte carbonatée (C) de 4 cm d'épaisseur, essentiellement composée de calcite. Cette croûte est elle-même surmontée par des biohermes algaires.

II.1.3.2. LES AFFLEUREMENTS DU SITE TAUCA I ET J

Les affleurements I et J, prélevés sur la bordure sud du salar de Coipasa à 3660 m d'altitude, sont respectivement épais de 50 cm et 100 cm (figure II.8). De la base vers le sommet, l'affleurement J est composé par une couche argileuse (T), qui n'a pas été atteinte à la base de l'affleurement I. Cette couche argileuse est surmontée par des sables fluviatiles (F2), suivie par une couche limoneuse à coquilles de mollusques interstratifiées. Le sommet des coupes est moulé par une croûte calcaire (C) à biohermes algaires. Cette croûte carbonatée, déjà mentionnée sur le site PJ, est composée par trois lits de taille infracentimétriques, bien distincts.

II.1.4. DESCRIPTION DE L'AFFLEUREMENT DE VERSANT: CHURACARI BAJO CB

La coupe a été prélevée à 3685 m d'altitude au Nord du salar de Uyuni. Elle présente sur 275 cm d'épaisseur des sédiments lacustres (T) très riches en







Figure II. 7: Lithologie simplifiée de l'affleurement Pakollo Jahuira PJ (bordure nord du salar de Uyuni, altitude: 3657 m).



2

Figure II. 8: Coupe stratigraphique schématique de la basse terrasse (BT) et lithologie simplifiée des affleurements I et J (bordure sud du salar de Coipasa, altitude: 3660 m).

.





C:80-119cm

Niveau argilo-limoneux à lits de coquilles, de characées, d'ostracodes et de diatomées.

B : 119-240cm

Alternances de diatomites et d'argiles diatomitiques. Organisation laminaire.





diatomées (figure II.9). Quatre unités lithologiques sont clairement identifiées de la base vers le sommet:

- entre 275 cm et 240 cm (A): sédiments homogènes argilo-limoneux, très riches en diatomées, interrompus par deux lits de graviers à 260 cm et 270 cm;

- entre 240 cm et 119 cm (B): sédiments très finement laminés. L'épaisseur des lamines varie de quelques millimètres à 2-3 cm. Chaque lamine est composée d'argiles, de limons, d'ostracodes et de diatomées;

- entre 119 cm et 80 cm (C): dépôts comportant un mélange de coquilles de mollusques, de débris de characées, d'ostracodes et de diatomées dans une matrice argilo-limoneuse;

- entre 80 cm et le sommet (D): sédiments homogènes argilo-limoneux riches en diatomées.

II.2. DATATIONS PAR LE RADIOCARBONE ET PAR LA METHODE URANIUM-THORIUM

Tous les âges présentés dans ce travail, sont des âges conventionnels "¹⁴C", exprimés en "ans B.P." (*Before Present*). Les études dendrochronologiques ont montré qu'il existe une différence entre les âges radiocarbone conventionnels et les âges calendaires, en raison des variations de la teneur en carbone 14 dans l'atmosphère. Ces études permettent de calculer les âges calendaires (âge cal.) sur les 11 000 dernières années (Stuiver et Reimer, 1993). Pour les périodes plus anciennes, les datations U/Th sur des coraux sont utilisées pour la calibration des âges ¹⁴C (Bard *et al.*, 1990). Dans ce mémoire, les âges calibrés ont été calculés à partir du programme CALIB 3.0 (Stuiver et Reimer, 1993), et seront utilisées au moment des interprétations.

Toutes les datations radiocarbone effectuées dans les sites étudiés sont présentées dans le tableau II.a (Servant *et al.*, 1995), les datations obtenues dans le cadre de ce travail étant en caractère gras. Elles ont été réalisées par scintillation liquide (méthode classique, n° laboratoire OBDY) par M. Fournier au Laboratoire de Géochronologie du centre ORSTOM-Bondy (Paris) et par spectrométrie de masse par accélérateur (AMS, n°laboratoire Beta) à Beta Analytic (Miami, Floride). La mesure de l'activité ¹⁴C a été effectuée sur du carbone inorganique autochtone (13 échantillons prélevés sur des croûtes calcaires microcristallines, 1 échantillon sur sédiment calcaire, 1 échantillon sur aragonite), sur du carbone inorganique autochtone des organismes biologiques (14 échantillons sur coquilles de mollusques, 11 échantillons sur characées, 3 échantillons sur biohermes algaires), et sur carbone organique autochtone des sédiments lacustres (11 échantillons sur matière organique).

La validité des âges radiocarbone suppose: (i) que le matériel analysé était en équilibre avec le CO_2 de l'atmosphère au moment de la fermeture du système; (ii) qu'aucun échange ne se soit effectué après la fermeture du système.

Stratigraphie régionale	N*	N*	Sites	Altitude	Matériel	¹⁸ O/PDB	¹³ C/PDB	Ages ¹⁴ C ans B.P.	Ages calibrés
Uyuni-Coipasa	éch.	Laboratoire	(fig.ll.2)	<u>(m)</u>		(%o)	(%)	corrigés ¹³ C	(Bard et al. ,1993)
	1	_	_						
	42	Orsay	T	~3660	croûte calcaire		1,18	10450±160	12552
	92/11		PJ	-3657	croute calcaire	-9,38	2,19	10360±50	12761
	91/5	OBDY 1046	T	~3660	croûte calcaire	-9,57	2,4/	10700250	12701
Evénement	126		DI DI	~3660	croûte calcaire	-10,2	2,31	10830+180	12000
Lacustre	120	Orsay		~3653	matière organique	-	2,50	10030±150	12934
Coloasa V	02/10	OBDV 1045		-3660	croîte calcaire	-0.65	1 30	10940±150	12945
(croûte calcaire C)	92/3	OBDY 1057	T	~3660	croûte calcaire	-9,00	24	11020+60	12947
(croate calcula e)	26-36	OBDY 1360	coz	~3653	croîte calcaire	-10,55	19	11130+50	13108
	93/20	OBDY 1362	T	~3660	croûte calcaire	-	2.65	11260±50	13245
	91/1	OBDY 925	PJ	-3660	croûte calcaire	-9.46	2,41	11390±50	13389
	_								
Evénement	93/17	OBDY 1290	т	-3657	coquilles mollusques	-4,58	1,19	11980±50	14100
Ticaña IV	93/18/A	Beta73080	Т	~3660	coquilles mollusques	-	1,4	12960±60	15524
(sables F2)	93/18/B	Beta73081	т	~3660	coquilles mollusques	-	0,5	13130±60	15777
	1220	0	ы				1.04	44720.250	4 4 4 9 7
	230	OPDY 1025		~3090	coquilies mollusques	12.10	1,04	11730±350	14107
	32/0	OBDY 1035		~3090		-12,10	4,32	1000±00	13936
{	92/0	OBDY 011	ц.	~3050	coquilles mollusques	-11,00	1,05	12000±/0	15413
	91/13	OBDY 914	н Н	~3700	characées	-12 57	3 63	12000+40	14020
	876	OBDY 364	A .	~3745	coquilles mollusques	-10.65	47	12100+370	14628
	86/113	OBDY 257	Ĥ	~3720	coquilles mollusques	-10.85	1 73	12210+270	14650
	167	Orsav	RS (")	~3720	coquilles mollusques	10,00	2.46	11090+280	13012
	167	Orsav	RS (1)	~3720	carbonates	-	3.31	12260+130	14516
	876	OBDY 997	A	~3657	characées	-9.57	1.27	12870+50	15379
	92/2	OBDY 1049	Ĥ	~3740	biohermes algaires	-11.31	4.22	12290±50	14516
	93/22	OBDY 1214	M	~3745	biohermes algaires		3,8	12270±50	14488
	UA1400		UA	~3653	matière organique	-		12370+2930/-2160	14660
	91/7	OBDY 919	СВ	~3690	coquilles mollusques	-10,96	1,94	12380±50	14647
811	91/7	OBDY 916	СВ	~3690	characées	-11,91	3,91	12990±40	15550
	91/14	OBDY 918	н	~3690	coquilles mollusques	-10,48	0,28	12390±50	14662
Période lacustre	90/13	OBDY 700	CB	~3690	characées	-11,82	3,99	12490±80	14830
Tauca	90/13	OBDY 681	CB	~3690	coquilles mollusques	-11,39	2,69	12830±80	15348
(Dépôts lacustres T)	91/10	OBDY 929	CA	~3735	characées	-11,75	4	12560±130	14989
	91/10	OBDY 923	CA	~3735	coquilles mollusques	-11,01	1,53	12930±50	15469
	40	Orsay	C (")	~3720	coquilles mollusques	-	1,24	12790±120	15334
	91/9	OBDY 926	CA	~3735	coquilles mollusques	-10,63	1,6	13030±80	15649
	93/24	OBDY 1291	CB	~3690	characées	_	3,93	12850±50	15349
	93/23	OBDY 1289	СВ	~3690	characées		3,61	13190±50	15855
	92/9	OBDY 1007	P	~3690	characées	-11,56	4,42	13620±60	16441
"	91/6	OBDY 8/9	CB	~3690	characees	-11,26	3,96	13530±50	16317
1	91/4/B	Beta73088	PJ	~3657	aragonite	0,39	4,2	15430±80	18458
	94/003	Retaß6766	CO2	~3657	matière organique		-24 9	17750+90	
	34/003	Deta00700	002	~3037		-	-24,3	17750150	
Interlacustre	94/004	Beta/30/4	002	~305/	matiere organique	-	-22,8	1/8/01/0	
Minchin/Tauca	94/CO5	Beta73075	CO2	~3657	matière organique	-	-22,4	18850±100	
(dépôts F-F1)	94/CO6	Beta73076	CO2	~3657	matière organique	-	-22,5	18680±110	
	94/CO7	Beta73077	CO2	~3657	matière organique	-	-22,9	18420±80	
	94/CO8	Beta73078	CO2	~3657	matière organique	_	-25,8	20300±90	
	94/CO9	Beta73079	CO2	~3657	matière organique	-	-19.4	20940±90	
						-			
	1	0054 44							
	93/TA	OBDY 1173	TA	~3657	matière organique	-		25200±100	
Période lacustre	UA2700		UA	~3653	matière organique			30940±680	
Minchin	UA1800		UA	~3653	matière organique			28840±580	
(dépôts M)	402	Orsay	U-U (*)	~3720	coquilles	_	2,2	27940±800	
	403	Orsay	U-U (*)	~3720	coquilles+carbonates	_	2,1	26740±600	
		0.0.0				-			
Echantilions	91/8	OBDY 969	CB	~3685	sediments calcaires	-5,41	-0,1	11300±60	
rajounis	91/12	OBDY 924	PJ	~3058	croute calcaire	-4,41	0,15	6950±50	
	92/5	OBDY 1037	13	~3/00	bionermes algaires	-11,46	3,96	99/0±50	
	92/4	OBDY 1058		~3/00	coquines mollusques	-10,92	1,33	12670-50	
	91/4/A	OBDY 920	-J	~3660	croute calcaire	-12,09	3,/5	14450-50	
	91/2	Bote 74966	CO3	-3657	matière creanieure	-11,00	-22.4	15200-00	
	04/CU1	Deta 71200	002	~- 200/	matiere organique	-	-23,4	10200200	
	94/CO2	Beta 71267	002	~3657	matiere organique		-24,7	1/420170	

(*) échantillons publiés dans Servant et Fontes (1978)

Tableau II.a: Datations radiocarbone et situation dans la stratigraphie des bassins de Coipasa et de Uyuni.

State M 15 Section

Cependant, il s'avère que ces deux conditions ne sont pas toujours observées: (i) du carbone inorganique ancien a pu être incorporé dans les échantillons au moment de la cristallisation des phases minérales (effet réservoir); (ii) du carbone inorganique récent peut avoir recristallisé dans les échantillons après leur dépôt (effet de rajeunissement).

Une autre cause d'erreur peut être induite par un mélange au sein du même échantillon de fractions carbonées ou carbonatées d'origine et/ou d'âges différents (par exemple: mélange d'une calcite détritique et d'une calcite authigène, mélanges par bioturbation ou remaniements des sédiments sur le fond de l'ancien lac). Nous en discuterons au cas par cas dans le paragraphe II.3.

Effet de vieillissement apparent

Le cas d'un vieillissement apparent des âges radiocarbone est fréquent dans les régions où les formations carbonatées sont très développées dans le bassin versant. Au Tibet Occidental par exemple, les âges obtenus sur le carbone inorganique des eaux superficielles actuelles affichent des âges ¹⁴C compris entre ca 3 200 ans B.P. et ca 5 700 ans B.P. Les mesures effectuées sur les principaux tributaires du lac Bangong varient entre ca 2 800 ans B.P. et ca 7 700 ans B.P. Ces vieillissements ont été attribués à des remontées de CO₂ d'origine profonde par les réseaux de faille (Fontes et al., 1996).

Une autre cause de vieillissement apparent est possible lorsque les lacs sont alimentés par des décharges d'eaux souterraines, comprenant une certaine proportion de carbonates fossiles dissous. Un exemple en est donné dans le Nord du Chili (Atacama; laguna Lejía), où les carbonates actuels affichent des âges de ca 8 000 ans B.P., alors que la matière organique actuelle affichent des âges de ca 2 000 ans B.P. (Grosjean et al., 1995).

Dans les cas où des effets de vieillissement sont décelés, les auteurs proposent des coefficients de correction calculés à partir de mesures sur les milieux actuels. Les âges sont corrigés en tenant compte de l'activité ¹⁴C de la matière organique et des carbonates des sédiments actuels. On suppose que le vieillissement apparent des échantillons fossiles est du même ordre de grandeur que le vieillissement apparent des échantillons actuels. Cette hypothèse implique que la proportion du carbone ancien fixé par les végétaux ou les carbonates par rapport au carbone en équilibre avec l'atmosphère ne s'est pas modifiée au cours du temps. Dans le cas du Tibet Occidental, le vieillissement apparent a été estimé à partir des âges radiocarbone mesurés sur la coupe étudiée, en supposant des taux de sédimentation constants. Ce facteur de correction de l'ordre de ca 6 670 ans a été appliqué à l'ensemble des âges radiocarbone mesurés (Fontes et al., 1996).

Une meilleure précision des effets de vieillissement peut être obtenue dans les cas où les datations radiocarbone peuvent être comparées avec des datations obtenues par des méthodes indépendantes. Dans le cadre de cette étude, nous avons eu recours à la méthode uranium-thorium.

La datation U/Th est la mesure de l'état de déséquilibre résiduel entre le thorium (isotope 230) et l'uranium (isotope 234) dont les différences de solubilité font que ces deux éléments ne coexistent ni dans l'eau ni dans les carbonates lors de leur cristallisation. Au moment initial, l'uranium est seul présent. Ultérieurement, si les lois de la radioactivité sont le seul facteur de variation du rapport Th/U, l'état de déséquilibre résiduel mesuré est uniquement fonction du temps écoulé depuis l'événement à dater et l'âge calculé sera un âge vrai.

Les conditions d'application de cette méthode sont plus délicates dans les environnements continentaux que dans les milieux marins, ce qui est généralement dû à la présence de matériaux détritiques (argiles, silicates) associés aux carbonates dans la sédimentation continentale. Ceci implique la présence d'isotopes d'uranium et de thorium dans des conditions initiales indéterminées et indéterminables directement. La variabilité des conditions initiales des milieux continentaux s'observe également au niveau du rapport ²³⁴U/²³⁸U qui peut varier entre 1 et 10, alors que dans le milieu marin, ce rapport est constant et sa valeur unique est égale à 1,15 (Bernat et Church, 1989).

L'estimation d'un âge vrai par cette méthode repose essentiellement sur la clôture du milieu vis-à-vis de l'uranium, le thorium étant insoluble dans les eaux naturelles. L'uranium, soluble, peut subir des phénomènes d'apport qui produiront un rajeunissement de l'âge mesuré, ou des phénomènes de départ-lessivage qui produiront inversement un vieillissement de l'âge. Ces phénomènes sont difficiles à détecter. Toutefois, les isotopes 234 et 238 de l'uranium ne sont pas également mobiles. Dans le cas des échantillons ayant subi un départ d'uranium, ces derniers auront un rapport ²³⁴U/²³⁸U anormalement bas dans un contexte donné. Donc dans le domaine continental, seule la comparaison entre plusieurs valeurs obtenues et la non dispersion entre elles pourront autoriser l'hypothèse de la clôture du système. Si aucune perte ni aucun gain d'uranium ne se sont produits, une estimation de l'âge peut être obtenue par la méthode isochrone.

Les carbonates continentaux contiennent souvent une fraction détritique non négligeable, inséparable mécaniquement de la fraction authigène. Cette fraction détritique est indiquée par la présence de ²³²Th. Il est alors indispensable de distinguer la fraction des radio-isotopes issus de la phase détritique, de celle issue de la phase authigène. Les corrélations des rapports (²³⁰Th/²³²Th) vs. (²³⁴U/²³²Th) et (²³⁴U/²³²Th) vs (²³⁸U/²³²Th) permettent de calculer les rapports à valeur chronométrique ²³⁰Th/²³⁴U et

 234 U/ 238 U de la seule fraction authigène, donc du carbonate (Schwarcz et Skoflek, 1982; Ku et Liang, 1984; Causse, 1992).

Dans le cadre de cette étude, sept échantillons ont été datés par les deux méthodes, le radiocarbone et l'uranium-thorium (tableau II.b) (Causse *et al.*, 1995; Causse *et al.*, en préparation). Les analyses par l'uranium-thorium ont été effectuées par C. Causse et B. Ghaleb au GEOTOP; Université du Québec à Montréal.

Les âges uranium-thorium présentés dans le tableau II.b importants à prendre en compte sont les âges corrigés dits A1. Ils sont obtenus en émettant l'hypothèse d'un rapport d'activité ²³⁰Th/²³²Th égal à 1 dans les argiles continentales. Cette valeur hypothétique est commune dans la nature et proche de celle qui a été déterminée par les corrélations isochrones obtenues sur l'Altiplano bolivien (Causse *et al.*, en préparation).

La comparaison des âges obtenus par les deux méthodes révèlent trois cas de figure (tableau II.b):

(i) un accord parfait entre les âges uranium-thorium et les âges radiocarbone calibrés est observé pour les échantillons PK et HUA44. Pour ces deux échantillons, la contribution détritique est faible. Le rapport de masse U/Th est égal 7,49 et 14,22. Ces mesures confirment la validité de la calibration proposée par E. Bard pour des sites localisés dans un contexte très différent (Bard *et al.*, 1990; Bard *et al.*, 1993).

(ii) les âges obtenus sur les échantillons CHU93/24 et CHU91/6 ont été effectués sur des tiges de characées. A notre connaissance, ce type de matériel n'a pas fait l'objet de datations uranium-thorium. Dans ces échantillons, le rapport de masse U/Th est égal à 1,95 et 2,62, traduisant une forte contribution détritique dans le calcul des âges. Les characées se révèlent donc peu favorables aux datations uranium-thorium, au moins dans le cas précis de notre étude. On peut néanmoins remarquer que les deux méthodes s'accordent pour situer les échantillons analysés dans le Tardiglaciaire.

(iii) les échantillons BO.23H et BO.23M. ont été obtenus respectivement sur les parties supérieure et moyenne de la croûte calcaire **C**. Les âges U/Th de 11 340 ans B.P. (BO.23H) et 10 900 ans B.P (BO.23M) se révèlent plus récents que les âges ¹⁴C calibrés respectivement de 13 279 cal. ans B.P. (BO.23H) et 13 248 cal. ans B.P. (BO.23M). Cela suggère un vieillissement apparent des âges radiocarbone. Ce vieillissement serait compris entre 1 909 et 2348 ans B.P. (en moyenne ~2 000 ans). La croûte calcaire **C** dont les 11 âges radiocarbone obtenus sur celle-ci sont compris entre *ca* 11 390 et *ca* 10 450 ¹⁴C ans B.P. (tableau II.a), se situerait en réalité entre 9 500 ¹⁴C ans B.P. et 8 500 ¹⁴C ans B.P. L'âge urar:um-thorium (15 290 ans B.P.) de la partie inférieure de la croûte (BO.23B) se révèle par contre incompatible avec le

Echantillons	Matériel	²³⁸ U ppb	²³² Th ppb	U/Th	²³⁴ U/ ²³⁸ U	²³⁰ Th/ ²³⁴ U	²³⁴ U/ ²³² Th	²³⁰ Th/ ²³² Th	A0 ka	A1 ka	C ¹⁴ ka B.P.	C ¹⁴ ka cal.
CHU93/24	characées	454,81	232,905	1,95	1,463	0,219	8,737	1,919	26,62	13,6	12,8	15,3
±2σ									±1,8			
CHU91/6	characées	584,63	222,551	2,62	1,473	0,197	11,827	2,334	23,63	14,1	13,5	15,8
±2σ									±0,4			
РК	aragonite	2645,276	352,719	7,49	1,542	0,185	35,341	6,533	21,98	18,86	15,43	18,4
±2σ		10,717	3,14		0,01	0,003	0,38	0,116	±0,39			
HUA 44 (*)	biohermes	313,438	21,603	14,22	1,571	0,143	69,666	9,983	16,67	15,07	12,93	15,33
±2σ		0,863	0,285		0,007	0,003	0,974	0,261	±0,4			
BO.23H (**)	Croûte	307,033	132,416	2,3	1,657	0,177	11,741	2,075	20,92	11,34	11,3	13,2
±2σ	2σ		0,666		0,01 0,008 0,091 0,09 (+1,04/-1,03)		,03)					
BO.23N. (**)	Croûte	235,594	245,085	0,96	1,565	0,293	4,596	1,347	36,9	10,9	11,3	13,2
±2σ		0,949	3,359		0,012	0,033	0,071	0,153	(+4,96/-4	,76)		
BO.23B (**)	Croûte	377,056	410,221	0,91	1,508	0,338	4,237	1,43	43,76	15,29	12,1	14,1
±2σ		1,599	10,744		0,01	0,054	0,115	0,231	(+8,73/-8	,14)		

(*) Causse *et al.*, 1995 (**) Causse *et al.*, en préparation

,

.

contexte géologique local (cette croûte est postérieure aux dépôts de la phase III datée entre 15 800 cal. ans B.P. et 14 100 cal. ans B.P. de la période lacustre *Tauca*).

4

. . .

Si nous ne tenons pas compte des échantillons présentant une forte contribution détritique (CHU93/24, CHU91/6), les différents cas de figure précédents sont compatibles avec le contexte géologique et l'évolution paléohydrogéologique des bassins durant la période considérée.

Les formations carbonatées anciennes sont très peu développées dans les bassins versants. Un vieillissement des âges ¹⁴C par des apports en carbone inorganique ancien peut donc être exclu. Il en résulte que les âges U/Th et ¹⁴C sont relativement proches (ils se rattachent au Tardiglaciaire).

Une pollution par des remontées d'eaux profondes (sources thermales) peut également être négligée. En raison du volume considérable des anciens lacs, on considère que les apports en eaux profondes étaient minimes (nous verrons que cela n'est pas le cas pour les lacs du Lipez).

En revanche, nous devons prendre en compte la relation entre les lacs et les nappes souterraines. Dans le cas d'une transgression lacustre, on peut considérer que l'élévation des niveaux lacustres s'est réalisée plus rapidement que le niveau des nappes phréatiques (figure II.10.b). Les eaux lacustres s'infiltrent dans les nappes et il ne peut y avoir d'apports d'eau fossile dans les lacs. Les échantillons PK et HUA44 prélevés dans des dépôts lacustres transgressifs, se situent dans ce cas de figure.

En période de régression lacustre, les surfaces d'eaux libres s'abaissent plus rapidement que le niveau des nappes phréatiques, si ces dernières ont été rechargées au cours d'une période plus ancienne de hauts niveaux lacustres. Dans ce cas, elles peuvent contaminer les nappes d'eau libre par résurgence au niveau des sources (figure II.10.a). Ce cas de figure est illustré par les échantillons BO.23H et BO.23.M, prélevés dans des dépôts caractéristiques d'une période de niveaux lacustres relativement bas, postérieure à une période de très haut niveau lacustre. Le vieillissement apparent des âges ¹⁴C s'explique donc par la décharge de nappes souterraines.

En résumé, nous considérons que les datations radiocarbone qui correspondent à des périodes de fortes élévations de plan d'eau sont valides. Par contre, les âges radiocarbone qui correspondent à des périodes de bas niveaux lacustres, doivent être corrigés pour tenir compte d'un vieillissement apparent provoqué par la décharge des nappes phréatiques.



Figure II. 10: Relation surface d'eau libre / nappe phréatique.

A) dans le cas d'une régression lacustre B) dans le cas d'une transgression lacustre

Effet de rajeunissement

Une recristallisation du carbonate, incorporant du carbone récent après le dépôt a pour conséquence un rajeunissement des âges mesurés. Ce processus est difficile à déceler lorsque la recristallisation est faible. Néanmoins les caractéristiques minéralogiques et isotopiques peuvent permettre de repérer les échantillons où une possibilité de recristallisation doit être envisagée.

- L'échantillon 91/8 (11 300¹⁴C ans B.P.) est un sédiment lacustre diatomitique à micro-cristaux de calcite, déposé en milieu profond. Il présente des teneurs en ¹³C et en ¹⁸O respectivement anormalement basses et hautes, par rapport aux autres échantillons (tableau II.a).

- L'âge de l'échantillon 91/12 est complètement aberrant dans le contexte géologique. Il est caractérisé par des compositions isotopiques en ¹³C et en ¹⁸O respectivement anormalement basses et hautes (tableau II.a).

- Les échantillons 91/4/A et 91/2 ont été prélevés dans un croûte calcaire composée de deux lits de calcite, entre lesquels est intercalé un lit d'aragonite. L'âge mesuré sur l'aragonite (91/4/B), considéré comme minéral authigène, est égal à 15 430 ans B.P.±80 ans B.P. L'échantillon 91/4/A, prélevé sur la totalité de la croûte, fait apparaître un âge rajeuni de 1860 ans par rapport à l'aragonite; l'échantillon 91/2 prélevé sur le lit de calcite inférieur est rajeuni de 980 ans.

- Les échantillons 92/4 (11 050 \pm 70) et 92/5 (9970 \pm 50) sont prélevés dans le même site. Leurs âges présentent une incohérence avec la stratigraphie régionale et sembleraient rajeunis.

Les analyses sur matière organique totale ont été réalisées sur des échantillons prélevés dans les sondages CO2, TA et UA. On considère que les activités ¹⁴C mesurées sur matière organique correspondent à l'activité initiale au moment de la fermeture du système car les végétaux assimilent le carbone atmosphérique. Cette hypothèse est difficile à vérifier surtout dans le cas de lacs anciens très étendus et très profonds, où le carbone n'était pas toujours parfaitement en équilibre avec l'atmosphère. Les échantillons notés 94/CO3 à 94/CO9, 93/TA ont été prélevés dans des sédiments de milieux très peu profonds, et il est probable que ceux-ci étaient en équilibre avec l'atmosphère (tableau II.a). Les âges radiocarbone présentent une cohérence satisfaisante malgré les inversions entre les échantillons 94/CO5, 94/CO6 et 94/CO7. Les âges des échantillons 94/CO1 et 94/CO2 ne sont pas en accord avec les précédents. Cela s'explique par une erreur de manipulation. Ces échantillons, après leur prélèvement dans la carotte, n'ont pas été immédiatement séchés et sont restés longtemps à température ambiante. Une incorporation de carbone moderne par actions bactériennes est très probable. Geyh et al. (1974), dans une étude de sédiments marins, rapportent que l'activité bactérienne à 4°C provoque une contamination des sédiments de plus de 10% par du carbone moderne. Or, il suffit d'une incorporation de 20 microgrammes de carbone récent dans l'échantillon pour le rajeunir de 1 000 ans.

II.3. CHRONO-STRATIGRAPHIE DES FORMATIONS LACUSTRES

Les figures II.11 et II.12 proposent une représentation schématique de la stratigraphie régionale du Quaternaire récent dans le centre du bassin de Coipasa (figure II.11A), du bassin de Uyuni (figure II.11B), sur les bordures et les versants des bassins de Uyuni-Coipasa (figure II.12). Cette synthèse stratigraphique repose sur des observations de terrain et sur de nombreuses datations. Il intègre les résultats des travaux antérieurs (cf. chapitre I) et ceux obtenus dans le cadre de ce travail. Les interprétations proposées seront confirmées ultérieurement par l'étude des diatomées réalisées dans les enregistrements sédimentaires (cf. chapitre V, VI, VII).

II.3.1. LA PERIODE LACUSTRE MINCHIN

La période lacustre Minchin M recouvre une longue tranche de temps entre ca 80 000 et 22 000 ans B.P. (Causse et al., 1995; Rondeau, 1990). Auparavant connue seulement par les constructions algaires qui tapissent les versants, elle est maintenant identifiée sur la bordure des salars. Cette période est représentée à la base du sondage TA par des argiles organiques à diatomées datées de ca 25 200 ans B.P. Deux datations sur matière organique de 28 840±580 ans B.P. et de 30 940±680 ans B.P. obtenues respectivement sur les niveaux lacustres L3 et L4 dans le sondage UA suggèrent qu'ils se rapportent à la période lacustre Minchin. Aucune corrélation biostratigraphique sur la base de la flore de diatomées ne peut être encore établie car les diatomées de cette période lacustre n'ont pas fait l'objet dans le cadre de ce travail d'une étude détaillée.

II.3.2. L'INTERLACUSTRE *MINCHIN/TAUCA*

Les dépôts lacustres *Minchin* ont été fortement érodés avant la transgression *Tauca*. Les sables fluviatiles F1, mis en évidence sur la bordure des bassins impliquent un abaissement très marqué du niveau lacustre (Servant et Fontes, 1978). Ces sables, observés dans le sondage TA, enregistrent un apport détritique lié à cette érosion. Dans le sondage CO2 (salar de Coipasa), les conditions lacustres se sont maintenues (F, dépôts à diatomées), mais la forte proportion d'une fraction détritique (~40%) suggère que ces dépôts sont les équivalents latéraux des sables F1 (cf figure II.4). Dans le sondage UA (salar de Uyuni), la croûte de halite qui est encadrée par deux datations radiocarbone (*ca* 28 840 ans B.P. - *ca* 12 370 ans B.P.), montre que le bassin de Uyuni



Figure II. 11: Schéma stratigraphique des formations lacustres *Minchin* et *Tauca* dans le centre des bassins de Coipasa et de Uyuni.

H: croûte de halite actuelle; C: croûte carbonatée attribuée à l'événement lacustre *Coipasa*; C': niveau lacustre attribué à l'événement *Coipasa*; F2: sables fluviatiles contenant des lentilles limono-argileuses attribuées à l'événement régressif *Ticana*; T: dépôts lacustres *Tauca*; F1: sables fluviatiles attribués à la période interlacustre *Minchin/Tauca*; F: argiles organiques attribuées à la période interlacustre *Minchin/Tauca*; F: argiles organiques attribuées à la période interlacustre *Minchin/Tauca*; F: argiles organiques attribuées à la période interlacustre *Minchin/Tauca*; M: dépôts lacustres *Minchin.*



Figure II. 12: Bordures et versants des bassins de Coipasa et de Uyuni: Schéma stratigraphique des formations lacustres *Minchin* et *Tauca*.

C: croûte carbonatée attribuée à l'événement lacustre *Coipasa*; F2: sables fluviatiles contenant des lentilles limono-argileuses attribuées à l'événement régressif *Ticana*; T: dépôts lacustres *Tanca*; F1: sables fluviatiles attribués à la période interlacustre *Minchin/Tauca*; M: dépôts lacustres *Minchin*; B: biohermes algaires à 3760 m d'altitude.

62

s'est complètement asséché, alors qu'une nappe d'eau se maintenait dans le bassin de Coipasa au moins entre ca 20 940 et ca 17 750 ans B.P.

II.3.3. LA TRANSGRESSION LACUSTRE TAUCA

Les dépôts de la période lacustre *Tauca* ont été observés aussi bien en basse altitude près des salars (TA, PJ, I, J) qu'à des altitudes plus élevées sur les versants (CB, CA). Les âges ¹⁴C présentent une bonne cohérence interne en accord avec la stratigraphie. Leur validité est confirmée sur deux échantillons par des âges U/Th. Néanmoins, nous verrons que des imprécisions subsistent car certains échantillons contiennent des fractions carbonatées d'âges un peu différents.

La première phase *Tauca I* de la transgression lacustre est observée à la base de PJ (altitude: 3657 m) par une croûte carbonatée à aragonite. Cette croûte est datée par le radiocarbone de 15 430±80 ans B.P., dont l'âge calibré 18 400 cal. ans B.P. est en parfait accord avec l'âge uranium-thorium de 18 860 ans B.P.

La deuxième phase *Tauca II* de la transgression est marquée dans l'affleurement PJ (altitude: 3657 m) par des argiles contenant des diatomées, qui se sont déposées dans le fond de l'ancien lac. Dans l'affleurement CB (altitude: 3685 m), sur la bordure de l'ancien lac, cette deuxième phase de la transgression est représentée par des diatomites incluant des characées en position de vie. Ces diatomites sont datées *ca* 13 500 ans B.P. par le radiocarbone dans leur partie moyenne, et nous présumons qu'elles ont un âge de *ca* 14 500 ans à la base, cet âge ayant été estimé d'après le taux de sédimentation.

Bills *et al.* (1994) ont publié deux âges radiocarbone de 13 790 ans B.P. réalisés sur des coquilles de gastéropodes prélevées dans des dépôts sableux. Ces dépôts se situent à des altitudes élevées (3 772.3 m, 3 783.7 m) mesurées par GPS. Il faudrait alors admettre que la profondeur du lac, au niveau de la coupe CB (3685 m) que nous avons étudiée, aurait été de ~98 m. Or cette hypothèse doit être exclue car nous savons d'après les diatomées que le lac était peu profond au niveau de la coupe CB (Sylvestre *et al.*, 1996; cf chapitre VI). Dans ces conditions, nous estimons que les âges publiés par Bills *et al.* devraient faire l'objet d'études pétrographiques et minéralogiques plus détaillées afin de vérifier si le matériel daté n'a pas été rajeuni par recristallisation.

La troisième phase *Tauca III* de la transgression lacustre est datée sur des biohermes algaires (HUA44) prélevés sur la plus haute ligne de rivage à 3760±5m d'altitude. L'échantillon HUA44 est daté 12 930 ans B.P. par le radiocarbone calibré

15 330 cal. ans B.P., et par l'uranium-thorium 15 070 ans B.P. (Causse *et al.*, 1995). Le niveau du lac se situait à environ 100 m au-dessus du salar actuel. La profondeur maximale du lac était d'environ 110 m (en retirant l'épaisseur de la croûte de halite actuelle) dans les bassins de Coipasa et de Uyuni. Ces évaluations sont basées sur des mesures altimétriques et sur les cartes topographiques existantes. Elles devront peutêtre faire l'objet d'une révision par les mesures plus précises que permettent les techniques GPS actuelles.

Vingt-deux échantillons prélevés dans les dépôts de cette troisième phase lacustre à différentes altitudes, en dessous de 3760 m, ont été datés par le radiocarbone. Les âges se situent entre *ca* 13 000 ans et *ca* 12 000 ans B.P. Néanmoins, trois âges radiocarbone se révèlent un peu plus récents. L'échantillon Orsay 230, prélevé à 3695 m d'altitude, affiche un âge de 11 730 ans B.P. L'échantillon 91/8 prélevé à 3685 m d'altitude, a été discuté précédemment et nous estimons qu'il pourrait être rajeuni par recristallisation. L'échantillon Orsay 167 affiche un âge de 11 090±280 ans B.P. sur coquilles de mollusques, et de 12 260±130 ans B.P. sur la fraction carbonatée (cristaux de calcite). Cet échantillon a été prélevé dans une couche argileuse intercalée dans des dépôts sableux grossiers. Ceux-ci représentent un milieu fluvio-lacustre où les cristaux de calcite ont pu être remaniés à partir de dépôts plus anciens.

Quelques niveaux intercalés dans les diatomites du lacustre *Tauca III* contiennent des coquilles de mollusques et des characées (celles-ci étant caractéristiques d'un milieu peu profond) mélangées à des espèces de diatomées typiquement planctoniques (cf chapitre VI). Des âges radiocarbone significativement différents ont été obtenus sur les coquilles de mollusques et les characées: 12 880 ans B.P. et 11 860 ans B.P. respectivement pour l'échantillon 92/8, 11 950 ans B.P. et 12 090 ans B.P. respectivement pour l'échantillon 91/13. Ces différences peuvent s'expliquer par des phénomènes de remaniements sur le fond de l'ancien lac.

Le sondage UA du salar de Uyuni a traversé une couche argileuse que nous attribuons à la période lacustre *Tauca*. Cela est en accord avec une datation radiocarbone sur matière organique, mais les marges d'erreur sont importantes en raison de la faible quantité de matériel analysé (12 290+2930/-2160 ans B.P.). Le sondage CO2 du salar de Coipasa présente une lacune de sédimentation postérieure à 17 750±90 ans B.P. et antérieure à 11 130±50 ans B.P. Cela suggère que les dépôts *Tauca* ont été complètement érodés sur le lieu du sondage.

II.3.4. L'EVENEMENT REGRESSIF TICANA

En bordure du bassin (I, J, PJ, TA, altitude: 3657-3660 m), les dépôts Tauca sont érodés et recouverts par des sables fluviatiles (F2) d'épaisseur très inégale selon les sites. Ces sables fluviatiles contiennent localement de rares coquilles de mollusques. Celles-ci sont datées 12 960±60¹⁴C ans B.P. (échantillon 93/18/A) et 13 130±60¹⁴C ans B.P. (échantillon 93/18/B). Servant et al. (1995) ont formulé l'hypothèse que ces coquilles sont remaniées des dépôts lacustres antérieurs de la période Tauca. Des lentilles limono-argileuses interstratifiées dans les sables fluviatiles F2, contiennent des coquilles dispersées. Ces coquilles sont datées de 11 980±50 ¹⁴C ans B.P. (échantillon 93/17). Les lentilles limono-argileuses évoquent un milieu de sédimentation localement humide, comparable aux zones humides alimentées par des sources observées actuellement à la périphérie des salars. On peut donc se demander si les dépôts argilo-limoneux qui contiennent les coquilles fossiles n'ont pas été parcourus par des sources. En ce cas, les eaux proviendraient de la décharge des nappes souterraines, chargées durant la période lacustre antérieure Tauca. Un vieillissement apparent des coquilles par la résurgence d'eaux un peu plus anciennes ne peut donc pas être exclu. Cette hypothèse n'a pas pu être vérifiée par une méthode indépendante de datation. Mais nous verrons ci-dessous qu'un apport en carbone inorganique a eu lieu lors de la phase lacustre suivante. Nous considérons comme très probable que l'âge de 11 980¹⁴C ans B.P., obtenu sur l'événement Ticaña a subi un viellissement apparent. Cela permet de comprendre pourquoi cet âge se trouve dans un intervalle de temps (11 500 - 12 000 ans B.P.) qui est par ailleurs caractérisé par quelques âges radiocarbone de haut niveau lacustre (échantillons Orsay 230, Orsay 167, 92/8). Il est possible que la phase lacustre Tauca se soit prolongée un peu après 12 000 ans B.P. Nous verrons au chapitre VI, que des diatomées planctoniques caractéristiques d'un lac profond ont été observées dans toute la partie supérieure de la coupe CB entre ca 13 000 ans B.P. et ca 11 300 ans B.P. Cela exclut l'existence d'oscillations lacustres suggérées par Argollo et Mourguiart (1995) entre ca 12 000 et ca 11 500 ans B.P., en proposant une réinterprétation des données de Servant et al. (1995).

Dans le sondage UA du salar de Uyuni, une croûte de halite est probablement liée à l'assèchement du bassin de Uyuni durant la phase *Ticaña*, car elle se situe entre deux couches lacustres, respectivement datées de $12\,370+2930/-2160$ ans B.P. (échantillon UA 1400) et 10 940±150 ans B.P. (échantillon UA 630) (ces âges effectués par J.C. Fontes sont inédits). La datation à *ca* 10 940 ans B.P. suggère que l'assèchement a eu lieu avant cette date. Il faut néanmoins ne pas exclure un vieillissement apparent des âges par *effet réservoir*.

Dans le sondage CO2 du salar de Coipasa, l'assèchement est marqué par une surface d'érosion. L'absence des dépôts *Tauca* suggère que l'érosion a été intense et peut être soit d'origine éolienne, soit d'origine fluviatile en raison du lieu du prélèvement du sondage (axe d'une vallée fluviatile) dans le centre du bassin.


Figure II. 13: Variations du niveau lacustre dans les bassins de Coipasa et Uyuni entre 15,5 ka B.P. et 8,5 ka B.P.

A. avant la correction des âges ¹⁴C postérieurs à 12 ka B.P. (Servant *et al.*, 1995; Sylvestre *et al.*, 1996)
B. après validation des âges ¹⁴C entre 15,5 ka B.P. et 12 ka B.P. et correction des âges ¹⁴C entre 9,5 ka B.P. et 8,5 ka B.P. (effet réservoir) d'après les âges U-Th.

66

.

A ce stade des observations, nous ne pouvons pas dater avec précision l'événement régressif *Ticaña* (IV). Mais nous verrons au paragraphe suivant qu'il est postérieur à *ca* 12 000 ans B.P.

÷

II.3.5. L'EVENEMENT LACUSTRE COIPASA

Dans le salar de Uyuni, une remise en eau est attestée par des sédiments lacustres C' ayant une épaisseur de 50 cm (figure II.11B). Dans le salar de Coipasa, cet événement est représenté dans le sondage CO2, par une croûte carbonatée C (figure II.11A). Sur les bordures du bassin, il est marqué par une croûte carbonatée à biohermes algaires C (figure II.12). Celle-ci tapisse la surface d'une basse terrasse très étendue autour des salars de Coipasa et de Uyuni vers 3660 m d'altitude. Les 11 datations radiocarbone réalisées sur cette croûte à biohermes affichent des âges compris entre *ca* 11 400¹⁴C ans B.P. et *ca* 10 400¹⁴C ans B.P., quel que soit le lieu de prélèvement. Les âges U/Th des parties moyenne (10 900 ans B.P.) et supérieure (11 340 ans B.P.) de cette croûte carbonatée se révèlent plus récents que les âges ¹⁴C calibrés effectués sur les mêmes échantillons (cf § II.2, tableau II.b). Cela montre que les âges radiocarbone ont subi un vieillissement apparent de l'ordre de 2 000 ans, du à une décharge des nappes phréatiques, alimentées lors de la période lacustre antérieure *Tauca*.

L'événement lacustre, appelé *Coipasa* (V) précédemment situé entre *ca* 11 400 et *ca* 10 400 ans B.P. (Servant *et al.*, 1995; Sylvestre *et al.*, 1996; figure II.13) semble donc dater de l'Holocène ancien. Nous verrons au chapitre VIII que cette remontée du niveau lacustre est en accord avec l'existence d'une phase climatique humide décelée à l'Holocène ancien par l'étude des terrasses fluviatiles de la Cordillère des Andes en Bolivie.

En conclusion, nos observations permettent (1) de proposer un schéma stratigraphique, jusqu'alors basé seulement sur des observations provenant des bordures des bassins, qui inclut des enregistrements dans les centres des bassins. Ces observations mettent en évidence des évolutions différentes dans le bassin de Coipasa et dans celui de Uyuni. (2) Les résultats sont en accord avec ceux obtenus par Servant *et al.*, (1995) et Sylvestre *et al.*, (1996) en ce qui concernent les phases transgressives du lac *Tauca* (figure II.13). En effet, la validité des âges radiocarbone est confirmée par les datations uranium-thorium. (3) Par contre, les datations uranium-thorium récemment acquises suggèrent que l'événement régressif *Ticaña* et l'événement lacustre *Coipasa*, respectivement datés par le radiocarbone de 12 000 - 11 400 ¹⁴C ans B.P. et de 11 400 - 10 400 ¹⁴C ans B.P. (Servant *et al.*, 1995; Sylvestre *et al.*, 1996), sont en réalité plus récents. Les corrections suggérées par l'uranium-thorium montrent que l'événement *Coipasa* se situe entre 9 500 et 8 500¹⁴C ans B.P.

. -

III. CHRONOLOGIE LACUSTRE DU SUD DE L'ALTIPLANO (REGION DU LIPEZ)

III.1. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

La zone d'étude se situe dans la partie nord-occidentale de la région du Lipez, à 21°34' - 21°38' de latitude Sud et 68°03' - 68°05' de longitude Ouest (Canton San Juan, Département de Potosi) (figure III.1). L'unique localité de la région est le campement de *Mina Corina*, autrefois habité par des mineurs.

Les lacs salés (*lagunas*) Hedionda, Chiar Kkota, Honda, Pujio, Ramaditas et Ballivián occupent le fond de dépressions délimitées par des reliefs volcaniques: au Nord le *cerro Cañapa* (altitude: 5882 m), à l'Ouest le *cerro Araral* (altitude: 5682 m), à l'Est le *cerro Tapaquillcha* (altitude: 5758 m), au Sud le *cerro Ascotan Ramaditas* (altitude: 5505 m) et le *cerro Pabelloncito Ramaditas* (altitude: 5200 m). Les dépressions lacustres sont alignées selon une direction N-E/S-W, à une altitude comprise entre 4110 m et 4130 m. Elles sont séparées par des seuils topographiques dont l'altitude est comprise entre 4130 m et 4160 m d'altitude. Les caractéristiques géographiques, morphométriques et chimiques ont été présentées dans le tableau I.a (cf chapitre I).

Les bassins versants des dépressions lacustres sont constitués par des formations volcaniques (figure III.2) (Fernandez, 1980). La plus récente, d'âge Pléistocène, correspond à des coulées de laves composées d'andésites et de dacites, qui délimitent les dépressions lacustres. Elles sont affleurantes sur la bordure ouest des bassins de Hedionda, Chiar Kkota et Honda. La seconde formation volcanique (estrato volcanes), également d'âge Pléistocène, est constituée par des laves d'andésites et de dacites intercalées dans des pyroclastites. Cette formation couvre 70 à 80 % de la zone étudiée: elle correspond à la chaîne montagneuse, formée par les cônes volcaniques alignés selon deux directions préférentielles N-S et E-W. Au sommet de ces volcans affleurent des gisements de soufre natif. Une formation volcanique d'âge Plio-Pléistocène a été identifiée sur un seul affleurement de la bordure est de la laguna Hedionda; aucune corrélation n'a pu être établie, faute d'affleurements. La troisième formation d'âge Miocène supérieur, correspondant à une puissante couche d'ignimbrites (formation Alota), constitue le substratum de l'ensemble des formations géologiques. Dans la zone étudiée, elle est observée sur la bordure nord-est de la laguna Hedionda. Ces ignimbrites reposent sur des formations sédimentaires et conglomératiques d'âge Tertiaire.



Figure III. 1: Localisation géographique de la zone étudiée et du matériel d'étude dans la région du Lipez.



÷

4

.

Figure III.2: Carte géologique et colonne stratigraphique de la région nord-occidentale du Lipez (d'après Fernandez, 1980) Dans toute la région étudiée, un seul écoulement est permanent: le *rio Tapaquillcha*. Il prend sa source au pied du *cerro Chulluncani* et possède un cours d'une dizaine de kilomètres. Il s'infiltre sur la bordure est de la *laguna* Cañapa, située au Nord-Est de la zone étudiée. Les sources, fréquentes sur la bordure des lacs, donnent lieu à des écoulements parfois bien localisés mais le plus souvent diffus. Les eaux des sources proviennent de nappes souterraines alimentées en partie par les précipitations, mais également par des eaux plus anciennes, datant probablement des périodes humides du Quaternaire récent (Ballivián et Risacher, 1981). Dans le bassin de Chiar Kkota, l'analyse chimique des eaux de sources a fait apparaître une décharge d'eaux souterraines, originaires probablement d'une phase lacustre ancienne (Ballivián et Risacher, 1981).

Les glaciers sont absents sur les plus hauts reliefs, malgré les conditions climatiques froides. Cela s'explique par des précipitations très faibles et une intense évaporation par sublimation. La présence de moraines sur les versants des reliefs indiquent une extension des glaciers pendant le Pléistocène, mais elles n'ont pas fait l'objet de datations.

III.2. TRAVAUX ANTERIEURS

Les dépôts lacustres du Quaternaire récent, reconnus dans les bassins de Hedionda, Chiar Kkota, Honda, Ramaditas et Ballivián ont fait l'objet d'une étude géomorphologique et sédimentologique (figure III.1; Fernandez, 1980). Trois périodes lacustres ont été identifiées sur des critères géomorphologiques (altitude relative des dépôts lacustres sur la bordure des bassins). Une coupe sédimentaire, située sur la bordure est de la *laguna* Ramaditas, a permis d'établir la stratigraphie des deux périodes lacustres les plus récentes (figure III.3); la plus ancienne a été mise en évidence sur la bordure est de la *laguna* Hedionda.

Des critères de stratigraphie régionale suggèrent que la période la plus ancienne, représentée par la *formation Hedionda* pourrait se corréler à la période lacustre *Ballivián-Escara* (cf chapitre I, § I.2.2.1). Le plan d'eau se situait à ~50 m audessus du fond des salars actuels.

La seconde période lacustre, représentée par la formation *Ramaditas*, reconnue dans plusieurs bassins (Ramaditas, Honda, Chiar Kkota, Ballivián) est attribuée à la période *Minchin*. Un âge radiocarbone de 22 000±1500 ans B.P. obtenu au sommet des dépôts de la *laguna* Ballivián est en accord avec cette corrélation (Servant-Vildary et Mello e Sousa, 1993). La description des affleurements met en évidence deux phases d'oscillation mineure du niveau lacustre (Fernandez, 1980). Une étude détaillée des



Figure III. 3 : Coupe stratigraphique des formations lacustres du Quaternaire récent sur la bordure est de la *laguna* Ramaditas. (d'après Fernandez, 1980)

diatomées dans les dépôts de la *laguna* Ballivián, a montré que l'évolution du plan d'eau a été plus complexe. Cette étude a permis d'estimer les variations de la salinité et de la composition ionique (cf chapitre I, § I.3.2; Roux *et al.*, 1991; Servant-Vildary et Mello e Sousa, 1993). Le niveau lacustre aurait dépassé à deux reprises l'altitude de 4160 m (profondeur minimale 50 m) impliquant une connection avec la *laguna* Ramaditas.

La troisième période lacustre, représentée par la formation *Honda*, est reconnue dans tous les bassins. Elle est attribuée à la période *Tauca*, sur la base de deux âges radiocarbone réalisés sur des biohermes algaires qui tapissent deux lignes de rivage du bassin de Chiar Kkota. La lithologie des dépôts fait apparaître deux oscillations mineures du plan d'eau (Fernandez, 1980). L'altitude des dépôts et des lignes de rivage indique que la profondeur des paléolacs n'excédait pas une dizaine de mètres, suggérant que les cinq bassins n'étaient pas en connection. L'analyse des diatomées dans un affleurement prélevé dans le bassin de Ramaditas confirme l'existence de ces deux oscillations, la première étant caractérisée par des espèces indicatrices d'un lac peu profond, la seconde étant marquée par une augmentation des diatomées planctoniques, indiquant une légère élévation du plan d'eau. Dans la *laguna* Ballivián, les diatomées indiquent une nappe d'eau de faible profondeur (5-10 m) et une forte évaporation (Roux *et al.*, 1991; Servant-Vildary et Mello e Sousa, 1993).

III.3. STRATIGRAPHIE DES FORMATIONS LACUSTRES

Notre étude porte principalement sur les dépôts de la période lacustre Honda. Ces dépôts ont été étudiés dans les bassins de Chiar Kkota et de Honda.

III.3.1. LE BASSIN DE CHIAR KKOTA

Le plan d'eau de la *laguna* Chiar Kkota est situé à 4110 m d'altitude. La coupe A-B (figure III.4) a été relevée dans une 'baie'' de la bordure sud de la *laguna*. Les plus hauts dépôts lacustres (**R**) affleurent à \sim 22 m au-dessus du plan d'eau actuel. Fernandez (1980) les a attribués à la période lacustre *Ramaditas*. Ces dépôts sont érodés et recouverts par des sables grossiers (S1). Nous présumons que ces derniers se prolongent jusqu'au bord de la *laguna* où ils affleurent à la base de la coupe CHKA. Ils sont surmontés dans cette coupe par des diatomites (**H**), affectées d'un pendage sédimentaire en direction de la *laguna*. Ces diatomites se rattachent à la période lacustre *Honda*. Limitées au sommet par une surface de ravinement, elles ont été complètement érodées vers l'amont. Des colluvions sablo-graveleuses (**FV**) surmontent la diatomite **H**.



Figure III. 4: Coupe schématique stratigraphique des formations lacustres sur la bordure sud de la *laguna* Chiar Kkota et âges radiocarbone (¹⁴C ans B.P.) et uranium-thorium (U-Th) sur les lignes de rivage L1 et L2.

R: dépôts lacustres attribués à la formation lacustre *Ramaditas*; **S1**: sables grossiers; **H**: diatomites attribuées à la formation lacustre *Honda*; **FV**: colluvions; **J**: végétaux calcifiés.

75

Des végétaux calcifiés (J) ont été observés à +13 m sur les sables S1, mais il est difficile de les situer stratigraphiquement par rapport aux diatomites **H**.

Les hauts niveaux lacustres sont représentés par des biohermes algaires qui tapissent deux anciennes lignes de rivage L1 et L2 (profil A'-B'), respectivement situées à \sim +4 m et à \sim +10 m au-dessus du plan d'eau actuel.

Un échantillonnage continu a été réalisé au point CHKA. Un relevé détaillé accompagné d'un échantillonnage partiel a été effectué au point CHKB, situé à l'Est du profil A' - B' où les biohermes ont été échantillonnés.

III.3.1.1. DESCRIPTION LITHOLOGIQUE DE L'AFFLEUREMENT CHKA

L'affleurement CHKA a été échantillonné en continu sur une épaisseur de 242,5 cm. Cinq unités lithologiques ont été distinguées sur la base des observations de terrain complétées par des données provenant de l'étude des diatomées (figure III.5).

- La base est composée par des dépôts graveleux à sableux (S1).

- De 242,5 cm à 148 cm (H1), les dépôts sont composés par une succession de lits finement graveleux, sableux, limoneux, argileux et diatomitiques. Ils présentent une structure laminée centimétrique à millimétrique.

- De 148 cm à 126 cm (S2): sables gris stériles en diatomées.

- De 126 cm à 60 cm (H2), une croûte carbonatée présentant une forte proportion de matériels grossiers volcaniques, est recouverte par des sédiments argilo-sableux à diatomées. A partir de 117 cm, une diatomite pratiquement pure se développe jusqu'à 60 cm. Une croûte carbonatée à biohermes est intercalée dans cette diatomite à 106 cm. Une surface d'érosion tronque les dépôts à 60 cm.

- De 60 cm à 32 cm (S3): sables finement lités, stériles en diatomées.

- De 32 cm au sommet (FV): dépôts colluviaux.

Remarque: au moment du traitement des échantillons prélevés sur l'ensemble de l'affleurement pour l'étude des diatomées, une attaque acide a été réalisée car tous les échantillons sont carbonatés.

III.3.1.2. DESCRIPTION DE L'AFFLEUREMENT CHKB

Le sommet de l'affleurement CHKB se situe à +8 m environ au-dessus du fond du plan d'eau de la *laguna*. La coupe comprend sur 105 cm d'épaisseur, quatre unités lithologiques, pratiquement identiques à celles observées dans l'affleurement CHKA (figure III.5).





- A la base de la coupe, de 105 cm à 68 cm: alternance de sables et d'argiles diatomitiques (H1).

- De 68 cm à 58 cm: sables gris stériles en diatomées (S2).

- De 58 cm à 10 cm: diatomite dans laquelle sont intercalés à 58 cm une croûte à biohermes algaires et quatre lits à characées inférieurs à <1 cm d'épaisseur (H2).

- De 10 cm au sommet: dépôts colluviaux (FV).

Remarque: les échantillons sont carbonatés entre 18 et 33 cm.

III.3.2. LE BASSIN DE HONDA

Le plan d'eau de la *laguna* Honda est situé à 4110 m d'altitude. Les dépôts lacustres de la période *Honda* moulent un promontoire rocheux qui pénètre à l'intérieur de la *laguna* (figure III.6). Cinq unités lithologiques sont observées audessus du substratum rocheux qui affleure de 260 cm à 236 cm:

- à la base, de 236 cm à 222 cm: diatomite (1);

- de 222 cm à 96 cm: argiles compactes homogènes verdâtres à structure polyédrique (2);

de 96 cm à 30 cm: dépôts argilo-sableux à lits intercalés de characées (80-88 cm, 30 - 40 cm), de débris carbonatés (80 - 58 cm, 56 - 46 cm) correspondant vraisemblablement à une altération de biohermes algaires, de diatomite (46 - 40 cm). Une croûte calcaire très sableuse supportant des biohermes algaires très altérés est située à 56 cm (3);

- de 30 cm à 10 cm: diatomite, recouverte par une croûte carbonatée. Cette croûte est composée de trois parties, les parties inférieure et moyenne correspondant à des niveaux de croûte, la partie supérieure à des biohermes algaires de petite taille (3 à 8 cm de diamètre) (4).

- de 10 cm au sommet: colluvions (5).

La figure III.7 suggère les corrélations stratigraphiques que nous proposons sur la base des descriptions lithologiques et de la flore de diatomées entre les affleurements de Chiar Kkota et de Honda. Les trois affleurements montrent une succession lithologique comparable: deux formations lacustres sont séparées par des dépôts sableux.

Les dépôts lacustres (H1), à la base des affleurements CHKA et CHKB, présentent une alternance de lits sableux et argileux. La présence dans l'affleurement CHKA de trois niveaux diatomitiques caractérisés par une flore planctonique



Figure III. 6: Lithologie simplifiée de l'affleurement de Honda et âges radiocarbone (¹⁴C ans B.P.) et uranium-thorium (U-Th).



Figure III. 7: Corrélations stratigraphiques d'après la lithologie et les diatomées des affleurements des bassins de Chiar Kkota (CHKA, CHKB) et de Honda (Région du Lipez).

(*Cyclotella striata*) suggère une corrélation avec les trois niveaux argilo-diatomitiques situés entre 94 et 105 cm, 82 et 85 cm et 68 et 73 cm dans l'affleurement CHKB. Ces dépôts peuvent être corrélés à la séquence lacustre inférieure de Honda (unités lithologiques 1 et 2), car celle-ci est caractérisée à la base par une flore dominée par des espèces périphytiques, suivie par des formes planctoniques d'eau douce (*Cyclotella stelligera*).

Les sables (S2) entre 126 et 148 cm dans CHKA, et 58 cm et 68 cm dans CHKB, marquent un arrêt de la sédimentation lacustre. Ces dépôts sableux (unité lithologique 3) sont beaucoup plus développés (96-30 cm) dans l'affleurement de Honda, et contiennent une flore de diatomées périphytiques (cf chapitre VII, § VII.1.2) dans les niveaux situés à 85 cm, et entre 40 et 46 cm.

Les dépôts lacustres (H2) qui surmontent les sables précédents sont probablement contemporains dans CHKA et CHKB. Mais il faut noter qu'ils sont, dans les deux cas, limités au sommet par une surface d'érosion. Dans l'affleurement CHKA, ils contiennent à la base, une flore de diatomées planctoniques d'eau salée (*Cyclotella striata*) suivie d'une flore de diatomées périphytiques (cf chapitre VII, § VII.1.1). Dans l'affleurement CHKB, ils sont dominés par le même assemblage de diatomées planctoniques d'eau salée (*Cyclotella striata*), contenant néanmoins un niveau caractérisé par des diatomées planctoniques d'eau douce (*Cyclotella stelligera*). Le sommet de l'affleurement de Honda (unité lithologique 4) présente des sédiments diatomitiques caractérisés par une flore planctonique d'eau douce (*Cyclotella stelligera*).

III.3.3. LES LIGNES DE RIVAGE DE LA *LAGUNA* CHIAR KKOTA

La ligne de rivage L1 (figure III.4), située à \sim +4 m au-dessus du fond du bassin actuel, se présente sous la forme d'un tapis algaire peu développé, où aucune structure ne se distingue clairement. Il n'y a pas de façonnement de surface d'abrasion littorale.

La ligne de rivage L2 (figure III.4), située à \sim +10 m au-dessus du fond du bassin actuel, est tapissée par des biohermes algaires qui comprennent trois parties bien distinctes.

- A la base, les biohermes sont constitués de macrophytes, probablement des "juncacées". L'observation en lame mince montre deux générations de ciment entre les tiges de "juncacées"; la première est un ciment micritique calcitique, la seconde un ciment fibreux. - Au-dessus des 'juncacées', un deuxième niveau est composé par un agrégat de cristaux micritiques de calcite et d'organismes lacustres, tels des ostracodes, des algues et des plantes. Le contact entre ce niveau et la couche à 'juncacées' correspond à une surface très nette où sont sédimentés dans la gangue carbonatée des cailloux volcaniques issus du substrat.

- Le sommet du bioherme est constitué de calcite correspondant à une pseudomorphose d'ikaïte (CaCO₃, $6H_2O$). L'ikaïte est reconnaissable par sa forme caractéristique, fuselée, et sa section carrée en coupe transversale. Déjà signalé dans les salars de l'Atacama dans le Nord du Chili (Grosjean *et al.*, 1995), ce minéral n'avait pas encore été mis en évidence dans l'Altiplano bolivien. Nous devons son identification à J.M. Rouchy. L'ikaïte cristallise dans des températures proches de 0°C et se transforme rapidement en calcite, lorsque la température de l'eau augmente (Shearman *et al.*, 1989). Sa présence, lorsqu'il est très largement développé, comme dans le bassin du lac Lahontan (Benson, 1994) constitue un bon indicateur de température des eaux. En effet, il montre qu'une augmentation de la température de l'eau, au delà de 0°C, provoque une transformation de la calcite hydratée (ikaïte) en calcite (Bischoff *et al.*, 1993).

Les lignes de rivage L1 et L2 marquent deux périodes de haut niveau lacustre dans le bassin de Chiar Kkota. Les diatomées des biohermes de la ligne de rivage L1 et des deux parties inférieures de la ligne de rivage L2 montrent une dominance d'une flore planctonique d'eau salée (*Cyclotella striata*). Les observations sur le terrain nous suggèrent qu'elles pourraient correspondre au plus haut niveau lacustre de la phase H2.

L'assemblage des diatomées dans la partie supérieure des biohermes de la ligne de rivage L2 (pseudomorphoses d'ikaïte) est dominé par l'espèce Anomoeoneis sphaerophora costata. Nous verrons plus loin (cf chapitre VII, § VII.3.1), que l'écologie de cette espèce semble révélatrice du milieu particulier dans lequel cristallise l'ikaïte.

III.4. DATATIONS RADIOCARBONE ET URANIUM-THORIUM

En l'absence de matière organique, la chronologie radiocarbone a été établie sur des carbonates. La mesure des âges radiocarbone a été effectuée sur du carbone inorganique autochtone (2 échantillons prélevés sur des croûtes calcaires microcristallines, 1 échantillon sur pseudomorphose d'ikaïte), et sur du carbone inorganique autochtone des organismes biologiques (3 échantillons sur characées, 1 échantillon sur "juncacées", 6 échantillons sur biohermes algaires) (tableau III.a.1).

Tableau III.a1: Datations ¹⁴C

Sites	N° Ech.	N°Labo.	Prof. (cm)	Altitude (m)	Matériel	$\delta^{ m ^{13}C/PDB}$ (‰)	$\delta^{ extsf{18} extsf{O}/ extsf{PDB}}$ (‰)	Ages ¹⁴ C ans B.P.	Ages calibrés (Bard <i>et al.</i> , 1990)
Honda	HON 94/7a	OBDV 1613	11	4110	Biohermes	5.66	-7 227	11890+50	13988
nondu	HON 94/7h	OBDY 1630	11	4110	Biohermes	4 84	-7 69	12990+50	15559
	HON 94/7c	OBDY 1633	11	4110	Biohermes	4 94	-7 906	12330130	14776
	HON 94/9	OBDY 1607	35	4110	Characées	9.66	-8.328	12480+50	14791
	HON 94/12	OBDY 1609	84	4110	Characées	8,35	-8,835	12950±60	15509
	CHKA 94/18	Beta-78872	13	4113	Calcite	2.2		11070±90	
Chiar Kkota	CHK 94/23	Beta-86765	10	4122	Calcite(ika)te)	2.2		12700±50	15119
	CHK 94/22	OBDY 1626	4	4118	Biohermes	3.94	-8.653	12890±50	15409
	CHK 94/23a	OBDY 1628	10	4122	Biohermes	3.52	-8,612	13420±50	16172
	CHK 94/23b	OBDY 1624	10	4122	Juncacées	4,91	-7,03	13325±50	16043
	CHKB 94/21	Beta-78874	15	4118	Characées	2,1	.,	14500±110	17519
	CHKB 94/20	Beta-78873	58	4110	Croûte calcaire	4,5		14270±90	17243
	CHKA 94/13	Beta-78871	106	4110	Biohermes	2,3		14610±90	17623
	CHKA 94/14	OBDY 1640	126	4110	Croûte calcaire	3,85		14570±50	17548

Tableau III.a2: Datations U-Th et ¹⁴C

Echantillons	Matériel	²³⁸ U (ppb)	²³² Th (ppb)	²³⁴ U/ ²³⁸ U	²³⁰ Th/ ²³⁴ U	²³⁸ U/ ²³² Th	²³⁰ Th/ ²³² Th	A0 (ka)	A1 (ka)	Ages ¹⁴ C (ka B.P.)	Ages ¹⁴ C calibrés(ka)
CHK94/23 ±2σ	Calcite	5044,709 18,237	112, 46 1,15	1,796 0,01	0,108 0,002	137,096 1,487	26,484 0,61	12,33 ±0,24	11,81 ±0,24	12,7	15,1
СНК94/23 a ±2 о	Biohermes	2175,4 0,0099	11,84	1,819 0,0094	0,1046 0,0011	561,53 3,81	37,413 0,2	11,92 ±0,13	11,78 ±0,13	13,4	16,17
HON94/7a ±2σ	Biohermes	1450,2 0,0063	20,605	1,856 0,0136	0,00937 0,02	215,1 1,38	106,88 0,6	10,62 ±0,24	10,33 ±0,24	11,8	13,9

Tableau III.a3: Ages ¹⁴C corrigés

Sites	N°Ech.	Ages U/Th	Ages ¹⁴ C B.P.	Ages ¹⁴ C B.P. après correction d'après les datations U/Th
Honda	HON 94/7a	10330±240	11890±50	8110
Chiar Kkota	CHK 94/23 CHK 94/23a	11810±240 11788±130	12700±50 13420±50	8920 9640

Dans le contexte hydrogéologique volcanique particulier de la région du Lipez, et spécialement dans les bassins de Chiar Kkota et de Honda, un vieillissement apparent des âges radiocarbone par un *effet réservoir* doit être envisagé. Nous avons vu que des analyses chimiques réalisées sur un écoulement actuel de la bordure du bassin de Chiar Kkota montre une décharge d'eaux souterraines, originaires probablement d'une phase climatique humide ancienne (Ballivián et Risacher, 1981). Dans le même contexte au Nord du Chili (Atacama), des analyses sur les eaux souterraines et les eaux de surface montrent une proportion de carbone fossile (Grosjean *et al.*, 1995). Nous avons effectué des prélèvements d'eaux actuelles dans la *laguna* Honda pour des mesures d'activité ¹⁴C. Malheureusement, la quantité d'eau que nous pouvions traiter sur le terrain (50 litres) n'a pas permis d'obtenir un échantillon suffisant pour l'analyse.

Trois âges uranium-thorium ont été effectués sur des échantillons datés par le radiocarbone (tableau III.a.2). Deux échantillons ont été prélevés dans les biohermes de la ligne de rivage L2 de Chiar Kkota. L'échantillon CHK94/23a (ciment micritique calcitique) concerne la partie moyenne du bioherme (figure III.4). Il affiche un âge U/Th de 11 780 ans B.P., alors que son âge radiocarbone est 13 420 ans B.P., calibré 16 170 cal. ans B.P. La différence entre les deux âges obtenue par les deux méthodes suggère un vieillissement apparent de l'âge radiocarbone de l'ordre de 4384 ans. L'échantillon CHK94/23 (pseudomorphose d'ikaïte) concerne la partie supérieure du bioherme. Il affiche un âge U/Th de 11 810 ans B.P., cohérent avec l'âge de l'échantillon précédent. Ce résultat suggère que l'âge radiocarbone de l'ordre de l'ordre de 3309 ans.

Un échantillon HON94/7a (bioherme algaire) a été prélevé dans la partie supérieure de la croûte sommitale de Honda. Il affiche un âge U/Th de 10 330 ans B.P., alors que son âge radiocarbone calibré est de 13 900 ans B.P. (11 890 ans B.P.). Cela suggère un vieillissement de 3658 ans.

En résumé, les trois âges obtenus par la méthode uranium-thorium sont en accord avec l'attribution de la formation *Honda* au Tardiglaciaire. Mais ils indiquent que les âges ¹⁴C obtenus sur les mêmes échantillons, sont apparemment trop vieux de 4384 ans à 3309 ans. On peut donc considérer que tous les âges radiocarbone ont subi un vieillissement apparent, qui pourrait être expliqué par une remontée d'eaux profondes et par un apport de carbone inorganique ancien par des sources thermales, très fréquentes dans la région du Lipez. Il apparaît néanmoins d'après ces trois résultats que le vieillissement apparent n'est pas du même ordre de grandeur pour chaque échantillon. Une correction de l'ensemble des âges radiocarbone n'est donc pas envisageable.

A ce stade de l'étude, et d'après les corrélations proposées à partir des observations lithologiques et des assemblages de diatomées, nous suggérons que:

- la séquence lacustre inférieure H1 pourrait être corrélée à la période lacustre *Tauca* des bassins de Coipasa et de Uyuni et se situerait avant *ca* 12 000 ans B.P.; mais cela n'est pas démontré en l'absence de datations.

- la séquence lacustre supérieure H2 est datée par les trois âges uraniumthorium. Dans le bassin de Chiar Kkota, elle est identifiée par les lignes de rivage, dont la supérieure (L2) est datée de *ca* 9 600 ans B.P. Ces lignes de rivage correspondent aux dépôts diatomitiques H2. Dans le bassin de Honda, la croûte sommitale marque l'abaissement des niveaux lacustres après 8 110¹⁴C ans B.P.

Les observations lithologiques effectuées dans les bassins de Hedionda et Ramaditas ont montré également deux séquences lacustres, séparées par un épisode d'assèchement matérialisé par des dépôts détritiques (Fernandez, 1980). Le Tardiglaciaire du Lipez comprend donc deux phases lacustres: la première n'est pas datée, la seconde se rattache à l'Holocène ancien d'après les âges uranium-thorium.

.

IV. LA FLORE DE DIATOMEES ACTUELLES : CALIBRATION DIATOMEES / COMPOSITION IONIQUE / SALINITE

L'interprétation des paléoenvironnements aquatiques nécessite la connaissance de l'écologie des diatomées actuelles dans le milieu étudié. La méthode dite "empirique" permet une reconstitution qualitative ou semi-quantitative des modifications des paléoenvironnements à partir de données écologiques obtenues sur la flore actuelle. A partir des travaux fondateurs de Imbrie et Kipp (1971), les paléoécologistes ont développé une méthode, appelée "fonction de transfert", qui consiste à modéliser les relations entre des données faunistiques ou floristiques et les paramètres physico-chimiques de l'environnement. Appliqués aux données faunistiques ou floristiques fossiles, ces modèles permettent de quantifier les paramètres environnementaux dans le passé.

Dans les milieux aquatiques continentaux, d'énormes efforts ont été réalisés dans le développement et l'utilisation des méthodologies statistiques pour effectuer des fonctions de transfert à partir des diatomées. Les relations quantifiées entre la flore de diatomées actuelles et le pH ont été obtenues par van Dam *et al.*, (1981); Gasse et Tékaïa, (1983); Charles (1985); Birks *et al.*, (1990), la température par Vyverman et Sabbe (1995); Miskane (thèse en préparation), les concentrations en phosphore par Reavie *et al.* (1995). L'application de ces relations aux données floristiques fossiles sont encore rares, des reconstitutions de salinité totale et composition ionique ont été réalisées par Roux *et al.*, (1991); Fritz *et al.*, (1991, 1993); Gasse *et al.*, (1995), de température par Servant-Vildary et Roux, (1990a); Miskane (thèse en préparation), de paléobathymétrie par Paillès (1989) et Nguetsop (1996).

Diverses méthodes peuvent maintenant être utilisées pour effectuer des fonctions de transfert (Ter Braak et Prentice, 1988). La méthode de régression des "Moyennes par Classe" a été appliquée dans les bassins de l'Altiplano bolivien pour estimer les variations de la composition ionique et la salinité pour la période lacustre *Minchin* (Roux *et al.*, 1991). Ces estimations reposent sur une base de données actuelle, constituée de 40 échantillons prélevés dans les lacs salés du Lipez et dans le lac Poopò (Servant-Vildary et Roux, 1990b).

Dans le cadre de ce travail, nous avons appliqué cette méthode et la méthode "des Moyennes Pondérées" sur la même base de données actuelles, à laquelle nous avons ajouté 18 échantillons : 11 proviennent des bordures du salar de Uyuni (échantillons SU02 à SU09, SU10 à SU12) et 7 des lacs du Lipez (Chiar Kkota: CHI 1 à 4; Honda: HON 1 et 2; Ramaditas: RAM1). Notre nouvelle base de données actuelle comprend 58 échantillons.

IV.1. CALIBRATION SUR L'ENVIRONNEMENT ACTUEL

IV.1.1. DESCRIPTION DES LIEUX DE PRELEVEMENT

La calibration dans le milieu aquatique actuel consiste à rechercher les équivalents de toutes les situations possibles qui ont pu se produire dans le passé. Plus le nombre "d'analogues actuels" sera grand, plus l'estimation du paramètre recherché dans le passé sera précise. Or un échantillonnage des environnements lacustres actuels dans un contexte évaporatique, correspondant à des conditions d'extrême aridité, est très dépendant des conditions hydrologiques au moment du prélèvement. En effet, les échantillons actuels sont prélevés lorsqu'il y a de l'eau dans les bassins et cette contrainte restreint considérablement l'éventail de l'échantillonnage.

Pour chacun des 58 échantillons de vase superficielle, les données comprennent un inventaire quantifié des différentes espèces de diatomées et une analyse chimique de l'eau au même lieu de prélèvement. Ont été mesurés la composition ionique (Na, K, Ca, Mg, Cl, SO₄), l'alcalinité, le pH et la salinité. Les conditions de prélèvement, les modalités de l'échantillonnage ainsi que sa représentativité sont définies en annexe II. Nous nous attacherons ici à caractériser géographiquement et chimiquement les prélèvements effectués.

IV.1.1.1. LE LAC POOPO

10 échantillons ont été prélevés sur toute la superficie du lac, du Nord vers le Sud (figure IV.1) à des profondeurs comprises entre 0,5 m et 2 m, puisque le lac Poopò a une profondeur maximale qui varie entre 1,6 et 2,2 m. Son faciès chimique est homogène. A l'exception du relevé PN3, les échantillons présentent des salinités comprises entre 34,46 et 41,34 g.L⁻¹ et une composition ionique dominée par le sodium, le chlore et les sulfates (tableau IV.a). Le relevé PN3, situé à l'embouchure du *rio* Desaguadero, présente une salinité plus faible (14,6 g.L⁻¹) car il enregistre les apports d'eau douce en provenance du lac Titicaca.

IV.1.1.2. LE SALAR DE UYUNI

11 échantillons ont été prélevés dans des mares, dont la profondeur varie entre 2 et 18 cm. Ces mares sont situées sur la bordure nord du salar de Uyuni. L'échantillonnage a été effectué sur un transect d'environ 200 m de long, selon un gradient de salinité croissant depuis une source d'eau douce jusqu'à la croûte de halite







Figure IV. 2: Localisation des prélèvements de sédiments superficiels pour l'étude des diatomées sur la bordure nord du salar de Uyuni.

N° Ech.	Altitude	Na	К	Mg	Ca	SO4	CI	Alk	Salinity	lons majeurs	pН	Prof
	(m)	(mM ľ¹)	(mM i ⁻¹)	(mM ^{[-1})	(mM ľ ⁻¹)	(mM ľ¹)	(mM ľ¹)	(meq.L ⁻¹)	(mg.L ⁻¹)	(%)		(cm)
						1.	AC POOR	ю				
PJ1	3686	720	9,98	20,6	19,4	48	296,2	3,25	34469	Na CI (SO ₄)	8,8	50
PJ7	3686	840	10,69	20,56	17,9	52	289,1	4	37143	Na Cl (SO₄)	8,3	100
PJ8	3686	840	11,32	37,01	19,2	53	331	4,4	39612	Na CI (SC ₄)	8,4	100
PJ9	3686	680	10.2	33.72	19.6	52	331.5	4.4	35641	Na CI (SO4)	8.3	200
PN1	3686	493	11.25	34.4	21.6	77.5	454	4.54	37373	Na CI (SO4)	8.65	200
PN3	3686	188	4 39	16.5	10.8	30 55	175.5	3 22	14667	Na CI (SO ₄)	8,82	50
PN4	3686	550	12 45	39.6	24.3	86.95	495.5	4 69	41341	Na CI (SQ ₄)	8.95	100
DN5	3686	442	10 10	34.2	19.4	72.85	400,0	4,00	34883	Na CL (SQ.)	8 45	150
DNG	3686	442	10,15	34,2	10.0	75 55	400	4,01	35166	Na CL (SO.)	863	200
DN7	3686	440	10,55	34,4	19,9	73,55	413	4,10	35100		7,61	100
		450	10,30		19,9	11,55	423	4,4			7,01	
						SAL	AR DE UT	UNI				
SU02	3653	6,36	0,46	7,28	9,02	7,44	8,16	1,35	919		7,54	8
SU03	3653	7,544	0,484	8,41	10,27	11,128	10,159	1,065	1097	Ca(Mg)Cl(SO ₄)	8,45	10
SU04	3653	13,26	0,81	11,3	15,16	13,114	16,597	2,095	1643	Ca(Na)CI(SO ₄)	8,13	7
SU05	3653	49,603	3,123	24,716	16,606	17,054	61,632	1,72	4699	Na(Mg)Cl(SO₄)	7,64	14
SU06	3653	20,328	1,473	16,306	16,986	15,532	28,098	2,9	2367	Na(Ca)Cl(SO₄)	8,32	18
SU07	3653	62,472	4,211	29,28	21,62	16,24	83,472	3,76	558 9	Na(Mg)Cl(SO ₄)	7,77	7
SU08	3653	400,71	26,578	136,5	27,362	37,81	507,6	2,98	30448	Na(Mg)Cl	6,64	3
SU09	3653	385,67	25,81	134,08	27,814	26,65	479,4	2,96	28793	Na(Mg)Ci	6,74	2,5
SU10	3653	380,87	25,497	135,4	27,08	34,376	435,48	3,105	27308	Na(Mg)Cl	6,57	4
SU11	3653	392,7	25,457	138,56	28,14	35,162	459,81	3,3	28550	Na(Mg)Cl	6,7	2
<u>SU12</u>	3653	445,24	28,751	146,58	29,102	38,308	549,9	2,88	33195	Na(Mg)Cl	6,64	5
						REGI	ONDUL	PEZ				
						Lagu	ina Ballív	vian A o o	45005		0.40	-
BA67	4130	591	43,5	24,9	29,9	59,4	620	4,88	45335	NaCl	8,18	30
~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~	44.40		5 40		4.00	Lag	una Cana	ipa 0.45			0.40	45
CAN4	4140	156	5,42	1,4	1,62	52,8	63,4	2,15	11440	NaCI(SO4)	9,18	15
CD16	4079	1770	100	27.6	6 49	Eagu	1920	ada 21 5	120357	NaCl	84	20
CD16	4270	1770	109	37,0	0,40	62 3	831	120	50166	NaCi	8 5 2	20
0024	4270	005	54	15,7	2,57	l agun	a Chiar K	(kota	59100	INACI	0,52	20
	4110	110 56	74	24 406	76 506	16 65	150.05	1 07	10366	Na(Ca)CI(SQ ₄)	8 04	2
	4110	70.016	F 100	16 760	70,330 E0 E0	10,05	119 44	4,57	7400		8 1	2
	4110	79,910	5,129	10,702	59,50	10	110,44	4,20	7490	$Na(Ca)Cl(SO_4)$	7.04	10
CHI3	4110	87,517	5,387	16,76	59,082	10,82	134,79	4,0	31001		7,94	10
	4110	414,02	20,194	10,01	02,934	49,900	490,32	4,75	60/30	Na(Ca)Cl	8 28	20
CHIS	4110	900	63,9	40,9	55,4	42,5	a Chullur	0,05 Icani	03433	NaCi	0,20	20
счи	4430	1310	307	78.2	18.2	277	1240	35	119261	NaCI(SQ ₄)	8.8	15
	4430	101	321	2 19	4 00	A5 A	55 5	11 4	11377	NaCI(SQ ₄)	10.2	15
CHOB	4430	101	40	2,10	4,99	45,4	obilanur	11,4	11377		10,2	15
CI 20	4495	460	73	0.01	0.06	38.6	128	- 355	36270	NaCO ₂ (Cl)	10 38	50
OLZU	4400	400	75	0,01	0,00	0,00 1 anu	na Hedio	nda	50270	14003(0)	10,00	50
	4121	885	53 7	26.7	13	186	603	10	67099	NaCI(SO ₄)	85	20
	4121	000	55,7	20,7	15	100	una Honi	da io	0/000		0,0	20
	4110	410.83	20 1 / 1	33 11	40 628	123 38	403.82	584	29102	NaCI(SO ₄)	8.38	30
	4110	2 674	0.29,141	1 259	2 020	1 1 66	403,02	1 38	465	Na(CaMo)Cl(CO	7 98	3
HONA	4110	3,074	25 3	5 76	2,552	27 1	290	4 4	31392	NaCl	9.05	20
110114	4110	293	23,3	5,70	4,55	D-ri	200		01002	(luor	5,55	20
DG41	4440	403	26.1	10.0	8 08	7 asi	470	A 25	28564	NaCl	852	20
PG42	4440	106	12 9	5 43	4 00	7,04	227	3 21	13961	NaCl	8.05	100
PG45	4440	1480	101	4 53	27 4	13.2	1730	9.08	103267	NaCl	74	100
PG47	4440	4480	363	143	77.3	25.6	5460	22.9	324141	NaCl	7.2	100
PG23	4440	19.6	1.1	0.45	0.61	0.75	19.7	1.51	1475	NaCI	9,35	100
PG70	4440	174	13.6	3.7	4,99	2,76	204	5.09	12787	NaCl	8,42	20
PG72	4440	3.5	0.42	0.83	1.27	1.09	2.5	3.3	644	Na(Ca)CO ₃ (Cl)	6.95	20
PG73	4440	170	10.2	5,68	4.74	3.15	190	5.13	12189	NaCl	8,15	20
PG74	4440	15.2	1.23	2.28	0.82	1.35	16.9	4.2	1542	Na(Ca)CI(CO ₃)	7.85	20
PG76	4440	196	14.8	5.43	4,99	3,18	234	3.85	14421	NaCl	8.35	20
PG78	4440	2000	128	49,4	37,4	30,4	2420	9,42	144099	NaCl	7,91	20
PG82	4440	1.8	0.1	0.13	0.15	0.15	1.8	0.52	195	Na(Ca)Cl(CO ₃)	9.62	20
PG84	4440	3350	165	51.4	41.1	35.1	3770	9,7	225344	NaCl	7,46	100
PG97	4440	3.7	0.32	0.31	0.31	0.05	4.2	1.36	402	Na(Ca)Cl(CO ₃)	8.92	20
P114	4440	3520	251	105	59.4	33.8	4340	7,68	255230	NaCl	6,95	100
P116	4440	4000	189	85,6	62,3	33,1	4450	13,1	267366	NaCl	7,5	100
						La	guna Puii	o				
PJ30	4118	435	26.1	8.64	9,98	45	409	7.22	31139	NaCI(SO4)	8,85	100
						Lagu	ina Purip	ica			-,	
PUR2	4730	415	44	11.3	11.6	48.5	430	7.8	32785	NaCI(SO₄)	8,52	100
_				. ,-		Lagur	na Ramao	litas		(- - - /	.,	
RAM1	4120	182.3	12,48	31.3	99.4	72	207.9	2.67	15225	NaCI(SO₄)	7.82	3
RAM6	4120	330	26,3	13,4	34,2	32	392	2,93	27658	Na(Ca)Cl	8,15	30
						Lag	una Vero	le				
VER5	4310	196	7,88	10,8	5,44	24	182	7,25	14716	NaCI(SO ₄)	8,72	100

Tableau IV.a: Localisation et caractéristiques chimiques des relevés actuels dans les bassins du Centre et du Sud de l'Altiplano bolivien.

actuelle qui recouvre le salar (figure IV.2). Les sept premiers échantillons (SU02, SU03, SU04, SU05, SU06, SU07) présentent des salinités relativement faibles comprises entre 0,9 et 5,5 g.L⁻¹. A partir de l'échantillon SU08, les salinités augmentent et sont comprises entre 27,30 et 33,19 g.L⁻¹. Les eaux présentent une diversité ionique plus importante que les échantillons du lac Poopò (tableau IV.a). Les deux premiers relevés présentent une composition cationique dominée par le calcium et le magnésium. Les échantillons SU05, SU06, SU07 sont dominés par le sodium, mais présentent encore une sous-dominance importante en calcium et en magnésium. A partir de l'échantillon SU08, les relevés sont essentiellement sodiques et magnésiens. La composition anionique de l'ensemble de ces relevés est beaucoup plus homogène. Les anions sont principalement dominés par le chlore, mis à part les cinq premiers relevés où ils présentent une proportion de sulfates non négligeable.

IV.1.1.3. LA REGION DU LIPEZ

Les 37 prélèvements effectués dans la région du Lipez ont été prélevés dans 13 bassins (figure IV.3). L'ensemble des échantillons couvre une très large gamme de salinité comprise entre 0,195 et 324 g.L⁻¹ et présente une grande diversité de faciès chimique (tableau IV.a).

La composition chimique des saumures des lacs du Lipez dépend de la nature des formations géologiques dans le bassin versant, de l'interaction entre les eaux et les sédiments, et des apports d'eau dans les bassins. Ballivián et Risacher (1981) ont classé les lacs du Lipez en trois types principaux:

- Type I : faciès alcalins

Na (Cl) CO₃ (SO₄): Cachi Laguna, Laguna Colorada.

- Type II : faciès neutres

- Na (Mg) SO₄ Cl: Hedionda, Honda, Pujio, Puripica.

- Type III : faciès neutres

- Na (Mg, Ca) Cl : Chiar Kkota, Ramaditas, Ballivián, Laguna Verde, Pastos Grandes.

Alors que la composition des apports en espèces minérales dissoutes dans les bassins laisse prévoir un nombre important de salars de type Na CO_3 (Cl), les analyses chimiques sur les saumures mettent en évidence que la plus grande partie des lacs sont de type Na Cl et Na Cl (SO₄) (Risacher, 1992a-b). Cet auteur a démontré que cette anomalie géochimique serait due à la présence dans les bassins versants de soufre natif érodé par le vent depuis les sommets des volcans. L'oxydation de ce soufre au contact des eaux diluées bicarbonatées sodiques, apportées par le ruissellement et la



Figure IV. 3: Localisation des prélèvements de sédiments superficiels pour l'étude des diatomées dans dans la région du Lipez. (d'après Servant-Vildary et Roux, 1990)

redissolution d'évaporites anciennes, produit de l'acide sulfurique qui neutralise une grande partie des espèces carbonatées. De plus, vient s'ajouter à ce mécanisme, le rôle amplificateur de l'évaporation. Si les nappes d'alimentation sont situées au niveau du plan d'eau, l'eau du lac peut présenter des compositions chimiques caractérisées par du calcium, du magnésium et des bicarbonates. Ces faciès chimiques ne sont pas fréquents et nous ne possédons qu'un seul échantillon représentant ce type de faciès chimique.

En conclusion, notre tableau de données sur les relevés actuels couvre une large gamme de salinité comprise entre 0,195 et 324,141 g.L⁻¹ (tableau IV.b), mais la plupart des échantillons présente des salinités relativement élevées puisque la moyenne est égale à 46,46 g.L⁻¹ et la médiane à 29 g.L⁻¹. De plus, la majorité des relevés présente un faciès chimique dominé par le chlore et le sodium (figure IV.4).

IV.1.2. LES ASSEMBLAGES DE DIATOMEES ACTUELLES

La détermination des diatomées, jusqu'au niveau spécifique et parfois à la variété, et l'abondance relative de chaque espèce par rapport à la flore totale pour chaque échantillon, sont présentées dans le tableau quadrangulaire en annexe V. Nous avons inventorié au total 191 taxons qui se répartissent en 26 genres.

La majorité des espèces sont des formes périphytiques, du fait que les prélèvements dans ces milieux sont effectués dans des nappes d'eau pelliculaires. Nous avons identifié 13 espèces tychoplanctoniques appartenant au genre *Fragilaria* et 6 espèces planctoniques, 1 du genre *Chaetoceros* et 5 du genre *Cyclotella*. L'espèce du genre *Chaetoceros* (*Chaetoceros sp.*) est localisée principalement dans le lac Poopò dans une zone de surface d'eau libre, d'environ 2 m de profondeur. Les 5 espèces du genre *Cyclotella* (*C. stelligera*, *C. gamma*, *C. meneghiniana*, *C. striata*, *C. sp.*) représentent toujours moins de 5% de la flore totale.

IV.1.2.1. CLASSIFICATION DES MILIEUX ACTUELS PAR LA FLORE DE DIATOMEES

L'intérêt de la détermination des diatomées dans les sédiments actuels est de pouvoir définir une classification des lieux de prélèvement d'après la composition floristique des assemblages. Pour cela, nous avons procédé à des analyses statistiques multivariées, Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) et Classification Ascendante Hiérarchique (CAH), afin de dégager la structure de la répartition des diatomées en fonction des lieux de prélèvement.

Variable (*)	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane
Na	1.8	4480	652.4	396.7
к	0.1	363	43.32	12.64
Mg	0.01	146.58	35.35	20.58
Ca	0.06	99.4	23.37	18.7
SO4	0.05	277	40.71	33.45
a	1.8	5460	682.34	331
Alk	0.52	355	12.12	4.4
TDS	0.195	324.141	46.466	28.948

(*) ions exprimés en mMol.L-1; TDS en g.L-1; Alk en meq.L-1

Tableau IV. b: Statistiques (minimum, maximum, moyenne, médiane) sur les composants ioniques et la salinité mesurés dans les 58 relevés actuels.



Figure IV. 4: Caractérisation chimique des relevés actuels.

IV.1.2.1.1. Analyse factorielle des correspondances (AFC)

L'analyse considère un ensemble i de 191 taxons de diatomées définis par leur abondance dans un ensemble j de 58 échantillons. Les 10 premiers facteurs représentent 55% de la variance totale.

Axes	Valeur propre	% Inertie	Inertie cumulée
1	0,81	7,05	7,05
2	0,79	6,9	13,95
3	0,74	6,4	20,35
4	0,69	6,02	26,37
5	0,62	5,39	31,76
6	0,59	5,15	36,91
7	0,55	4,77	41,68
8	0,53	4,63	46,31
9	0,49	4,23	50,54
10	0,47	4,11	54,65

Tableau IV.c: Valeurs propres, inertie et inertie cumulée des 10 premiers facteurs de l'AFC sur les 58 relevés actuels.

Dans le plan 1 - 2 (figure IV.5), les axes 1 et 2 représentent 13,95% de l'inertie totale du nuage. L'axe 1 est défini par le groupe 1, situé du côté positif de l'axe. Il comporte 3 échantillons BA67, RAM6 et VER5. Ces trois échantillons définissent ce facteur parce qu'ils présentent de fortes contributions absolues, supérieures à 200 (CTR>2*1000/58= 35) et sont expliqués par ce facteur parce qu'ils présentent des contributions relatives de l'ordre de 90%. Ce groupe est essentiellement caractérisé par l'espèce *Nitzschia liebetruthii* (NILI), puisque sa contribution absolue est égale à 751 (CTR>2*1000/191=11) et sa contribution relative à 91%. Dans une moindre mesure, *Denticula valida* (DEV) contribue également à la distinction de ce groupe, avec des contributions absolue et relative respectivement égales à 56 et 90%.

L'axe 2 définit le groupe 2, situé du côté négatif de l'axe et s'opposant sur l'axe 1 au groupe 1. Il est composé par tous les relevés du lac Poopò. Leurs contributions absolues sont comprises entre 40 et 87, alors que leurs contributions relatives sont supérieures à 75%. Ils sont fortement caractérisés par l'espèce de *Chaetoceros sp.* (CHAE). Cette espèce est principalement accompagnée par Achnanthes hirta (AHI), Cocconeis diminuta (CD), Cyclotella gamma (CYGA), Gyrosigma spencerii (GYSP), Nitzschia compressa compressa (NICC) et Fragilaria fasciculata (SYTF).

Dans le plan factoriel 2 - 3 (figure IV.6), l'axe 3 met en évidence deux groupes de relevés, le groupe 3 situé du côté positif de l'axe et le groupe 4, du côté négatif. Le







Figure IV.6 : Relevés actuels. Plan factoriel 2-3 sur les échantillons. -58 échantillons ; 191 espèces -(les axes 2 et 3 représentent 13,3% de l'inertie totale du nuage de points) groupe 3 individualise les échantillons SU02, SU03, SU04, SU05 et SU06 prélevés sur la bordure du salar de Uyuni. Ils sont essentiellement mis en évidence par la forte abondance de *Fragilaria construens subsalina* qui présente une forte contribution absolue égale à 316. Le groupe 4 est déjà mis en évidence par l'axe 3, mais il est plus fortement expliqué par l'axe 4.

Dans le plan factoriel 3 - 4 (figure IV.7), l'axe 4 met en évidence le groupe 4, situé du côté négatif. Il est composé seulement de deux échantillons CD16 et CL20. Ces deux échantillons définissent complètement l'axe puisqu'ils présentent des contributions absolues respectivement égales à 85 et 476, et sont également relativement bien expliqués par ce facteur puisque leurs contributions relatives sont comprises entre 55 et 62%. Ces deux échantillons sont individualisés très nettement dans l'analyse parce-qu'ils sont caractérisés principalement par deux espèces *Stauroneis ssp.* et *Stauroneis wislouchii*, dont les contributions absolues sont respectivement égales à 130 et 429, et les contributions relatives étant de l'ordre de 60%.

En considérant seulement les relevés qui participent à l'explication des 4 premiers axes factoriels, l'AFC a permis de séparer de tous les autres relevés, 4 groupes d'échantillons. Nous avons poursuivi l'analyse par une classification ascendante hiérarchique qui tient compte des 10 premiers axes factoriels.

IV.1.2.1.2. Classification ascendante hiérarchique (CAH)

La CAH fait apparaître 13 classes d'échantillons (figure IV.8). La détermination des espèces caractéristiques pour chaque classe a été effectuée à l'aide du programme VARCAR (Annexe II). Le tableau IV.d présente pour chacune des classes l'assemblage des espèces dominantes et sous-dominantes.

IV.2. RELATIONS ENTRE LA FLORE ACTUELLE DE DIATOMEES ET LES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES.

L'AFC et la CAH ont permis d'individualiser des groupements de milieux (relevés) dont nous connaissons maintenant les espèces caractéristiques. Celles-ci se répartissent en 13 groupes, répondant chacun à des conditions différentes du milieu. Nous nous proposons de mettre en évidence de manière directe cette réponse en effectuant une Analyse Canonique des Correspondances (ACC) sur notre tableau de données.



Figure IV. 7: Relevés actuels. Plan factoriel 3-4 sur les échantillons. -58 échantillons ; 191 espèces -(les axes 3 et 4 représentent 12,43% de l'inertie totale du nuage de points)



Figure IV. 8: Dendogramme de la CAH sur les 58 relevés actuels.
	Classes d'échantillons	Assemblages de diatomées								
		dominantes	sous-dominantes							
I	BA67 RAM6 VER5	Nitzschia liebetruthii	Achnanthes arenaria, A. speciosa; Brachysira aponina; Denticula valida; Surirela sella							
II	CAN4 CD24	Navicula pseudolanceolata Nitzschia hungarica	Gomphonema parvulum; Nitzschia valdecostata; Surirella bathurstensis							
Ш	CHU4 CHU9 PG73 PG74	Mastogloia atacamae Cymbella gracilis	Amphora boliviana elongata; Surirella oregonica, S. wetzelii							
IV	P114 P116 PG41 PG43 PG45 PG47 PG76 PG78 PG84 RAM1	Navicula salinicola	Amphora atacamana, A. atacamana minor; Brachysira aponina; Fragilaria elliptica; Navicula rhyncocephala; Nitzschia accedens chilensis; N. frustulum; N.epithemoides epithemoides; N. pusilla; Rhopalodia wetzelii; Stauroneis anceps							
v	CHI1 CHI2 PG23 PG70 SU07	Fragilaria brevistriata	Amphora carvajaliana, A. delicatissima; Caloneis westii; Nitzschia valdestriata							
VI	PG72 PG82 PG97	Navicula cincta Fragilaria zeilleri Navicula phyllepta	Anomoeoneis sphaerophora angusta; Fragilaria pinnata; Nitzschia frustulum; Nitzschia inconspicua							
VII	CHI3 CHI4 CHI5 HED4 HON1 HON2 HON4 PJ30 PUR2	Amphora carvajaliana	Amphora arenaria; A. platensis							
VIII	SU02 SU03 SU04 SU05	Fragilaria species; F. brevistriata	Achnanthes hungarica, A. lanceolata; Amphora veneta; Cocconeis placentula euglypta, C. placentula lineata; Denticula elegans; Epithemia adnata; Mastogloia elliptica; Rhopalodia gibberula, R. musculus							
IX	PJ1 PJ7 PJ8 PJ9 PN1 PN3 PN4 PN5 PN6 PN7	Chaetoceros sp. Nitzschia compressa compressa N. hungarica	Achnanthes hirta; Cocconeis placentula; Cyclotella gamma; Gyrosigma spencerii; Fragilaria fasciculata							
x	SU08 SU09 SU10 SU11 SU12	Achnanthes delicatula Amphora coffeaeformis	Achnanthes brevipes; Nitzschia communis; N. amphibia							
XI	CD16	Stauroneis wislouchii	Navicula salinicola; Amphora boliviana; A.carvajaliana							
XII	SU06	Fragilaria construens subsalina	Fragilaria species; Mastogloia elliptica; Navicula peregrina; N. incertata; Nitzschia lacuum							
XIII	CL20	Stauroneis ssp. Stauroneis wislouchii								

IV.2.1. ORDINATION: ANALYSE CANONIQUE DES CORRESPONDANCES (ACC)

Différentes méthodes d'ordination ont été employées pour observer la relation entre les données floristiques de diatomées et les paramètres de l'environnement (Roux, 1979; Gasse et Tékaïa, 1983; Ter Braak et Prentice, 1988; Blinn, 1993). La calibration effectuée par Servant-Vildary et Roux (1990b) met relation, par la méthode des contributions des variables/classes - classes/variables, les données de la floristique et les paramètres mesurés de l'environnement. Des études plus récentes sur les milieux salés ont utilisé l'analyse canonique des correspondances (Fritz *et al.*, 1993; Cumming et Smol, 1993; Wilson *et al.*, 1994; Gasse *et al.*, 1995). Cette analyse est une méthode d'ordination des relations espèces - milieu qui traite un ensemble de données comportant n relevés floristiques, chacun étant caractérisé par une mesure de l'abondance de t espèces de diatomées et une mesure de la valeur de p variables environnementales quantitatives. (Les principes de la méthode sont exposés en annexe II).

Sur la nouvelle base de données actuelles, enrichie de 11 échantillons prélevés sur la bordure du salar de Uyuni, et de 7 échantillons prélevés dans la région du Lipez, nous avons introduit dans l'ACC, (1) les espèces de diatomées (dont l'abondance est exprimée en pourcentage), après avoir éliminé celles présentes à moins de 1%, (2) l'ensemble des cations (Na, K, Ca, Mg), des anions (Cl, SO₄), exprimés en mMol.L⁻¹ et en pourcentage par rapport à la salinité totale, (3) le pH, (4) l'alcalinité (Alk) exprimée en meq.L⁻¹, (5) la salinité totale (TDS) exprimée en g.L⁻¹. L'analyse est donc réalisée sur 58 relevés, 16 variables et 148 taxons.

Les axes 1 et 2 prennent en compte 37% de la variance totale. Les valeurs propres des axes 1 (0,69) et 2 (0,67) sont élevées et significatives. La comparaison des valeurs propres du premier axe issues de l'analyse factorielle des correspondances (0,817) et de l'analyse canonique des correspondances (0,693) [(0,693/0,817).100] montre que l'ACC restitue 85% de la variance prise en compte par le premier axe de l'AFC. De même, la comparaison des traces de l'AFC (11,58) et de l'ACC (5,64) permet d'estimer à 48% la part de variabilité floristique expliquée par l'ACC, c'est-à-dire par les paramètres physico-chimiques, ce qui constitue un bon résultat (Roux, communication personnelle).

Les résultats de l'analyse sont présentés sur la figure IV.9: 3 diagrammes représentent la relation relevés-environnement (IV.9.a-b) et la relation espèceenvironnement (IV9-c) dans le plan factoriel 1-2. Ces diagrammes montrent la distribution des relevés prise en compte par les paramètres de l'environnement, et donnent une approximation de la distribution des espèces de diatomées pour chaque variable de l'environnement. L'interprétation des flèches correspondant aux variables de l'environnement est basée sur leur longueur et leur orientation. La longueur des flèches indique l'importance relative de la variable dans l'explication de la variance des diatomées et l'orientation, sa corrélation approximative avec les axes factoriels. L'axe 1 est très bien corrélé au magnésium (corrélation 0,89), au calcium (corrélation 0,58), au



Figure IV. 9: Analyse Canonique des Correspondances (ACC) sur les relevés actuels définis par la composition floristique et sur les paramètres environnementaux. (A) Représentation graphique conjointe des échantillons/paramètres environnementaux, plan 1-2 ; (B) Représentation graphique conjointe espèces actuelles /paramètres environnementaux, plan 1-2 ; (C) Représentation graphique des paramètres environnementaux.

sulfate (corrélation 0,50) et au sodium (corrélation -0,55). L'axe 2 est essentiellement corrélé à l'alcalinité (corrélation 0,68) (tableau IV.e).

Variables	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4
% Alk	-0,43	0,49	0,04	-0,18
% Ca	0,58	0,18	0,12	-0,49
% CI	-0,14	-0,17	0,30	0,49
% К	-0,34	0,20	0,27	0,08
% Mg	0,89	0,35	-0,10	-0,05
% Na	-0,55	-0,43	-0,42	0,24
% SO 4	0,50	0,04	-0,13	-0,62
Alk	-0,56	0,68	-0,38	-0,13
Ca	0,09	-0,21	-0,15	0,05
CI	-0,21	0,11	0,18	0,26
к	-0,28	0,19	0,22	0,19
Mg	0,32	0,16	-0,20	0,73
Na	-0,27	0,09	0,09	0,24
SO4	-0,20	-0,22	-0,25	-0,03
TDS	-0,26	0,10	0,13	0,24
рН	-0,46	0,00	-0,06	-0,52

Tableau IV.e: Corrélations variables-facteurs des 4 premiers axes de l'ACC.

Compte tenu du fait que l'alcalinité est essentiellement mise en évidence par un seul relevé CL20 très fortement alcalin (355 meq.L^{-1}), nous avons réalisé une seconde analyse canonique des correspondances en éliminant cet échantillon. Les corrélations avec le magnésium (corrélation 0,95), le calcium (corrélation 0,62), les sulfates (corrélation 0,62) et le sodium (corrélation -0,68) sont améliorés sur l'axe 1. Sur l'axe 2, elle fait apparaître une corrélation avec le potassium (corrélation -0,54), celle de l'alcalinité restant importante (corrélation -0,42) (tableau IV.f).

Variables	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4		
% Aik	-0,07	-0,42	-0,27	0,81		
% Ca	0,62	-0,08	-0,40	-0,03		
% CI	-0,38	-0,32	0,45	-0,47		
% K	-0,23	-0,54	0,09	-0,19		
% Mg	0,95	0,07	0,06	0,21		
% Na	-0,68	0,46	0,21	-0,14		
% SO4	0,61	0,28	-0,54	0,08		
Alk	-0,28	-0,25	0,06	-0,44		
Ca	-0,06	0,18	0,05	-0,21		
CI	-0,19	-0,26	0,27	-0,37		
к	-0,19	-0,33	0,19	-0,40		
Mg	0,22	0,07	0,81	-0,07		
Na	-0,23	-0,18	0,26	-0,37		
SO4	-0,24	0,26	-0,01	-0,26		
TDS	-0,22	-0,22	0,25	-0,38		
pН	-0,30	0,06	-0,56	-0,14		

 Tableau IV.f: Corrélations variables - facteurs des 4 premiers axes de l'ACC avec élimination de l'échantillon CL20.

La position de chaque taxon sur les axes factoriels donne une approximation de la moyenne pondérée de leur optimum écologique pour chaque variable de l'environnement (figure IV.9-c). Nous citerons les espèces les plus fréquemment rencontrées et abondantes dans le milieu. L'analyse met en évidence un grand nombre d'espèces caractéristiques des milieux chlorurés sodiques et salés, ce qui constitue la majorité de nos relevés, comme par exemple Nitzschia liebetruthii (NILI), Achnanthes arenaria (ACAR), Achnanthes speciosa (ASPE) ou encore Navicula salinicola (NASA). Elle permet en outre d'identifier les espèces caractéristiques d'un milieu particulier. Par exemple, les espèces Achnanthes delicatula (AD), Achnanthes brevipes (ABR), Amphora coffeaeformis (AMCO), Nitzschia communis (NCOM), Nitzschia amphibia (NIAM) sont caractéristiques des eaux comportant une sous-dominance en magnésium, alors que les espèces Rhopalodia musculus (RHMU), R. gibberula (RHGI), Mastogloia elliptica (MASE) seront plutôt caractéristiques des milieux présentant une sousdominance en calcium. Le développement de Achnanthes hungarica (AHU), Gyrosigma spencerii (GYSP), Entomoneis paludosa (ENTO) est favorisé par la présence de sulfates dans le milieu, alors que celui de Amphora ovalis (AMOV) semble être fortement favorisé par le potassium, et ceux de Stauroneis wislouchii (STAW) et Stauroneis sp. (SSP) par des eaux fortement alcalines.

En résumé, l'ACC fait apparaître une forte relation entre la flore de diatomées et la composition ionique. Bien que tous les échantillons soient caractérisés par un faciès chimique chloruré sodique dominant, l'analyse canonique des correspondances montre que les diatomées réagissent aux composants ioniques dont la concentration mesurée au sein de l'échantillon peut être faible, tels que le magnésium, le calcium, les sulfates ou le potassium.

IV.2.2. REGRESSION: FONCTIONS DE TRANSFERT SUR LES COMPOSANTS IONIQUES ET LA SALINITE

Deux méthodes de régression ont été réalisées pour modéliser les relations entre la floristique et les paramètres physiques et chimiques du milieu aquatique (cf Annexe II).

Les résultats obtenus sur la nouvelle base de données (58 échantillons) par la méthode des "Moyennes par Classe" sont moins bons que ceux qui avaient été obtenus sur 40 échantillons. Les coefficients de corrélation sont inférieurs sauf pour la salinité (tableau IV.g).

Variables	Roux et al., 1991	Ce travail
Alcalinité	0,83	0,59
Ca	0,8	0,29
CI	0,86	0,72
Mg	0,81	0,77
Na	0,8	0,78
к	0,76	0,56
SO₄	0,78	0,67
TDS	0,7	0,77

Tableau IV.g: Comparaison des coefficients de corrélation obtenus par la méthode des "Moyennes par Classe" par Roux *et al.* (1991) et dans ce travail.

Il ressort de ces calculs que l'adjonction de nouveaux échantillons n'améliore pas les résultats, par contre l'introduction de salinités non représentées dans la première base de données (comprises entre 0,9 et 10 g.L⁻¹) améliore faiblement la relation entre la floristique et le paramètre salinité. Nous pouvons expliquer ces résultats par le fait que les données physico-chimiques ne présentent pas un continuum homogène entre les basses valeurs et les hautes valeurs mesurées surtout en ce qui concerne les composés ioniques. Pour cette raison, nous avons choisi d'appliquer la méthode des "Moyennes Pondérées", qui utilise les optima des taxons en fonction de la valeur mesurée des différents paramètres pour chaque échantillon (les valeurs des paramètres ont été logtransformées, ce qui a l'avantage de gommer les grandes disparités entre les valeurs). Cette méthode permet également de calculer l'optimum et la tolérance de chaque taxon aux paramètres du milieu (cf § IV.2.3.).

Variables	Equations de régression	r²	écart-type	marge d'erreur	marge d'erreur
	_ (a)	(b)	(c)	(d)	(e)
Alcalinité	y= 1,50x-0,72	0,88	0,35	0,68	20,09
CI	<i>y</i> =1,85 <i>x</i> -4,58	0,88	0,69	1,34	119,2
SO₄	<i>y</i> =1,80 <i>x</i> -2,41	0,82	0,61	1,19	22,11
Na	y=1,74x-4,01	0,88	0,68	1,33	150,07
к	y=1,72x-1,90	0,87	0,60	1,17	13,71
Ca	<i>y</i> =1,81 <i>x</i> -2,03	0,81	0,55	1,08	5,5
Mg	<i>y</i> =1,76 <i>x</i> -2,08	0,81	0,64	1,26	1,68
TDS	<i>y</i> =1,71 <i>x</i> -2,05	0,87	0,56	1,10	7,57

Tableau IV.h: Résultats des fonctions de transfert par la Méthode des "Moyennes Pondérées": équations de régression (a), coefficient de détermination (b), écart-type (c) et marges d'erreur (d, e).

Le tableau IV.h présente pour chacune des variables de l'environnement la formule de régression de type y=a x+b (a), après "étirement inverse" (*inverse deshrinkage*), les coefficients de détermination (b), les écart-types (c) et les marges d'erreur (d, e).

La qualité du modèle est jugée par trois paramètres.

- Le coefficient de détermination (r^2) (tableau IV.h, colonne b) indique l'intensité et la linéarité du lien entre les deux variables x (valeurs mesurées) et y (valeurs estimées). Une amélioration nette des corrélations entre les paramètres de l'environnement et les diatomées, est observée pour chacun des paramètres. L'amélioration significative de la relation avec la salinité s'explique pour une part, par l'introduction de relevés couvrant une gamme de salinité, qui était faiblement représentée auparavant (salinités mesurées entre 0,9 et 10 g.L⁻¹). Les résultats obtenus par la fonction de transfert sur la salinité totale ($r^2 = 0,87$) montrent une forte similarité avec les modèles déjà établis dans les plaines de l'Amérique du Nord ($r^2 = 0,83$; Fritz *et al.*, 1991), et au Canada dans les lacs de la province de la Colombie Britanique ($r^2 = 0,89$; Cumming et Smol, 1993).

- L'écart-type des résidus, (tableau IV.h, colonne c) correspond à la somme des carrés des écarts à la moyenne. L'écart-type obtenu pour chaque variable est satisfaisant. Par comparaison avec les études effectuées dans d'autres milieux salés (Fritz *et al.*, 1991; Cumming et Smol, 1993; Wilson *et al.*, 1994; Gasse *et al.*, 1995), ils sont plus élevés. Ceci s'explique par le fait que notre échantillonnage actuel présente une grande hétérogéneité au niveau des mesures physiques et chimiques des paramètres étudiés (tableau IV.a). Cet effet a tendance à réduire la capacité de prédiction du modèle et à introduire des "nuisances" dans la régression par les moyennes pondérées (Ter Braak et Juggins, 1993).

- Les résidus : différences entre les valeurs observées et les valeurs réestimées par le modèle. L'équation de régression est une représentation schématique de la liaison entre les variables étudiées et la flore de diatomées. Elle résume l'information contenue dans la distribution statistique, mais elle ne prend pas en compte la totalité de l'information de la situation observée: elle en diffère par la perte d'information que la schématisation du modèle entraîne nécessairement. La part résiduelle non prise en compte par l'équation de régression correspond à l'écart entre les valeurs mesurées et les valeurs réestimées par le modèle (figure IV.10). L'analyse de cette part résiduelle ou des "résidus" de la régression est nécessaire pour juger de la précision du modèle. Elle revient à voir si la régression effectuée offre ou non une bonne adéquation au modèle. Nous avons appliqué le test de Lilliefors, qui compare la distribution des résidus à la distribution théorique de la loi normale (Lilliefors, 1967). Ce test est appliqué à chaque variable étudiée. 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 trop faible (<5%), on doit rejeter l'hypothèse de normalité des résidus; dans le cas contraire, on admet que cette hypothèse est plausible. La distribution des résidus pour chaque variable n'est pas rejetée par la normalité. Pour potassium, le



Figure IV.10: Valeurs mesurées (log) vs valeurs réestimées (log) par fonctions de transfert pour chaque composant ionique et la salinité.

le calcium et le magnésium, il faudrait accepter un risque inférieur ou égal à 10% pour rejeter la normalité; pour la salinité et l'alcalinité, le risque est compris entre 10 et 15%; pour le chlore, il est compris entre 15 et 20%; pour les sulfates, il faudrait accepter un risque supérieur ou égal à 20%.

- L'erreur sur les estimations. Etant donné la faiblesse de l'effectif des relevés actuels (n=58), il n'est pas possible d'envisager des procédures de rééchantillonnage (bootstrap, jacknife) pour obtenir une évaluation de la marge d'erreur. Du fait que la distribution des résidus s'avère relativement normale, 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 (tableau IV.h, colonnes d et e) (Servant-Vildary et Roux, 1990a). La colonne d du tableau h donne les marges d'erreur calculées à partir des valeurs logarithmiques des résidus. La colonne e indique les marges d'erreur obtenues à partir de la différence entre les valeurs mesurées et les valeurs réestimées non logarithmiques.

IV.2.3. OPTIMA ET TOLERANCES DES TAXONS ACTUELS A LA COMPOSITION IONIQUE ET A LA SALINITE.

Basée sur la relation entre la flore de diatomées, la composition ionique et la salinité, la méthode des "Moyennes Pondérées" permet de calculer pour chaque taxon leur optimum et leur tolérance à l'ensemble des variables (tableau IV.k). La qualité des estimations est dépendante du nombre de fois où les espèces sont présentes dans les sites (fréquence) et du pourcentage qu'elles représentent dans les échantillons.

Nous avons extrait de ce tableau l'écologie des espèces caractéristiques des 13 groupes floristiques déterminés par la classification ascendante hiérarchique (cf tableau IV.d). Cela nous a permis d'identifier le paramètre chimique déterminant le regroupement des échantillons.

classe	espèces	composition ionique	TDS (g.L ⁻¹)
	Nitzschia liebetruthii (NILI)	. Na Cl	26,31
BA67			
RAM6	Achnanthes speciosa (ASPE)	Na Cl	18,17
VER5	Brachysira aponina (BRAC)	Na (Ca) Cl	20,09
	Surirella sella (SUSE)	Na Cl	13,74
	Denticula valida (DEV)	Na Cl	18,36
	Achnanthes arenaria (ACAR)	Na Cl	11,25

Tableau IV.i: Optimum estimé à la composition ionique et à la salinité pour les espècescaractéristiques de la classe hiérarchique I.

Les espèces caractéristiques de la classe I sont préférentielles d'un milieu chloruré sodique et de salinité comprise entre 11 et 27 g.L⁻¹.

Tableau IV.k: Optima et tolérances des diatomées actuelles.

		Alcalinité		CI		SO4		Na		К		Ca		Mg		TDS	
Codes espèces	fréquence	optimum	tolérance	optimum	tolérance	optimum	tolérance	optimum	tolérance	optimum	tolérance	optimum	tolérance	optimum	tolérance	optimum	tolérance
ABEL	10	4,66	1,90	111,05	3,78	7,32	3,97	97,51	3,29	12,30	4,81	9,03	4,62	6,82	3,25	7,10	3,74
ABOL	10	4,18	2,77	156,02	9,21	19,30	4,14	132,95	6,89	15,49	5,53	14,73	3,35	12,18	3,94	13,87	5,31
ABR	13	2,51	1,38	242,26	4,48	31,19	3,25	239,85	4,53	14,73	2,48	15,64	2,39	85,63	4,39	14,88	2,44
ACAR	13	3,29	2,16	137,00	7,69	24,53	6,42	134,29	7,69	10,91	3,60	12,06	4,39	8,33	3,29	11,25	3,67
ACHI	2	7,39	1,00	106,70	1,60	27,94	1,60	148,41	1,00	14,44	2,56	7,39	1,00	5,31	1,60	14,44	1,60
AD	23	2,59	1,34	244,69	3,13	32,14	2,44	242,26	3,13	13,07	2,59	17,64	1,67	79,04	3,35	15,03	2,20
AHI	2	2,72	1,00	391,51	1,20	52,98	1,20	391,51	1,20	7,17	1,20	19,49	1,20	52,98	1,20	52,98	1,20
AHU	2	1,11	1,34	9,87	2,41	7,39	1,00	8,94	1,80	1,21	1,80	8,94	1,80	8,17	1,34	1,21	1,80
ALA	4	1,06	1,27	8,85	2,03	8,00	1,46	8,76	1,95	1,13	1,60	8,58	1,88	7,85	1,27	1,16	1,88
	1	1,00	1,00	2,72	1,00	1,00	1,00	2,72	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
AMAT	5	2,29	1,45	112,17	5,64	12,18	3,97	80,64	5,70	7,85	2,80	31,19	3,06	18,92	4,18	7,85	2,80
AMCJ	28	4,57	2,12	290,03	5,58	28,50	4,76	259,82	5,81	20,70	3,60	12,94	3,13	13,20	3,29	18,36	3,39
AMCO	21	2,64	1,19	336,97	1,93	40,45	1,73	343,78	2,18	15,49	1,90	20,70	1,27	103,54	2,23	18,73	1,95
AMCU	1	2,72	1,00	20,09	1,00	20,09	1,00	20,09	1,00	1,00	1,00	20,09	1,00	7,39	1,00	1,00	1,00
AMD	4	2,75	1,21	131,63	1,70	20,91	1,34	131,63	1,70	6,55	1,70	50,40	1,31	18,92	1,28	6,55	1,70
AMLI	8	3,39	1,51	186,79	1,62	15,33	2,89	172,43	1,80	11,59	2,36	21,54	3,22	17,46	1,82	11,82	2,29
AMOV	1	7,39	1,00	54,60	1,00	54,60	1,00	148,41	1,00	54,60	1,00	7,39	1,00	2,72	1,00	7,39	1,00
	22	5,99	2,05	880,07	5,10	15,96	3,49	796,32	4,31	52,46	4,01	15,80	3,63	23,34	3,67	58,56	3,67
	8	3,74	1,60	221,41	2,20	38,09	2,97	188,67	2,56	14,59	2,18	42,10	1,84	23,81	2,29	13,07	1,70
		6,23	2,27	1032,77	3,86	9,03	2,94	943,88	3,42	52,46	3,82	17,29	3,42	24,53	3,06	74,44	3,60
	4	2,72	1,00	403,43	1,00	51,94	1,26	403,43	1,00	20,09	1,00	20,09	1,00	148,41	1,00	20,09	1,00
		2,12	1,54	130,32	5,87	30,88	2,56	129,02	5,87	4,18	2,46	15,96	1,70	29,37	2,64	16,95	6,05
ANSA	9	7,24	2,80	206,44	9,03	28,50	6,42	242,26	8,25	34,47	5,16	4,06	2,48	8,08	3,82	19,11	4,85
ASP		2,92	1,28	23,10	1,65	1,0/	1,28	23,10	1,65	1,15	1,65	2,92	1,28	2,92	1,28	1,15	1,65
AV		3,29	1,49	212,72	1,02	23,34	3,13	212,72	1,62	16,12	2,56	25,79	3,71	15,49	1,75	18,17	2,44
BRAC	4	2.10	1,35	11,02	3,90	4,06	3,60	11,02	3,90	1,35	2,46	4,95	3,03	4,06	3,60	1,35	2,46
CAMPY		3,10	1,40	50.01	1,49	39,00	1,60	181,27	1,49	9,12	1,55	80,64	2,77	17,81	1,40	20,09	1,16
CAW	21	2.02	1,55	50,91	1,97	21,54	1,28	50,91	1,97	2,53	1,97	20,09	1,00	21,54	1,77	2,92	1,77
CD	21	3,03	2,01	402.42	3,42	4,10	3,00	402.42	3,42	4,20	3,49	4,95	4,76	6,49	3,90	3,97	3,06
CHAF	5	2,72	1,00	403,43	1,00	54,00	1,00	403,43	1,00	7,39	1,00	20,09	1,00	54,60	1,00	54,60	1,00
CP	16	2,72	1,00	357.81	1,21	32,40	1,21	1 204,00	1,75	7,10	1,21	19,30	1,21	35,16	1,65	52,46	1,21
CPF	10	1 36	1,20	34.81	4 53	13 20	1,43	21.90	1,99	2,24	1,39	14.50	1,40	31,19	1,90	47,94	1,51
CPL		1.00	1,50	7 30	1 00	7 39	1,93	7 30	4,20	2,09	2,94	7 20	1,95	17,64	2,77	2,80	3,00
CPS	1	1 00	1,00	7,00	1,00	7,39	1,00	7,35	1,00	1,00	1,00	7,39	1,00	7,39	1,00	1,00	1,00
CYCS	5	1 65	2 03	13.87	8 33	3,53	6 30	12 18	7 30	2 41	1,00	9.76	1,00	7,39	1,00	1,00	1,00
CYGA	8	2 72	1.00	399.41	1 11	54.05	1 11	609.24	1 68	7 32	3,22	10.90	4,57	3,10	4,20	2,51	3,39
CYL	23	4.35	1 77	184 93	3.86	10 70	4 81	183.09	3.86	11 47	3.86	7.24	3 79	47,94	1,39	54,05	2,00
CYMG	6	2 56	1 27	242 26	2 83	42.95	1.62	415 72	3 94	5.64	1 77	10.40	1 17	25.02	2,51	21.50	3,60
CYML	1	2,72	1 00	20.09	1 00	20.09	1,02	20.09	1 00	1 00	1,77	20.09	1,17	25,03	1,00	31,50	3,03
CYMP	8	2.32	1 73	50 91	2 77	24 05	1,00	50.91	2 77	2 66	2 50	20,03	1,00	17.00	1,00	1,00	1,00
CYMT	7	2,29	1 46	29.08	2 46	16 95	1,50	28 22	2,36	1 72	1 99	17 00	1,45	14 30	1,02	4,10	2,00
CYN	1	1.00	1.00	2.72	1.00	1.00	1.00	2 72	1 00	1 00	1 00	1.00	1,50	1.00	1,70	3,03	2,59
CYST	1	7,39	1.00	403,43	1.00	148,41	1.00	403.43	1.00	20.09	1 00	54.60	1,00	20.09	1,00	20.00	1,00
DE	13	2.64	1.19	67.36	3.42	24.53	1.82	62 80	3 39	3.82	3,90	35.87	2 34	12 81	1,00	20,09	4,60
DEV	3	7,10	1.22	154,47	1.22	16,61	1.79	154.47	1.22	8 41	1.40	7 32	1 67	7.03	1,73	18 36	4,53
DS	1	2.72	1.00	20.09	1.00	20.09	1.00	20.09	1.00	1.00	1.00	20.09	1 00	20.09	1,45	2 72	1,34
DSB	5	2,59	1,25	94,63	3.46	36,60	1.63	94,63	3.46	4,71	3,46	44,70	2 39	21 12	2.64	636	4 14
ENTO	6	3,16	1,54	403,43	1,52	63,43	1,54	403,43	1,52	9,58	1,84	22,65	1,38	46,99	1 63	42,10	1.84

111

Tableau IV.k:	Optima	et	tolérances	des	diatomées	actuelles.

		Alcalinité		CI		SO4		Na		ĸ		Ca		Mg		TDS	
Codes espèces	fréquence	optimum	tolérance	optimum	tolérance	optimum	tolérance	optimum	tolérance	optimum	tolérance	optimum	tolérance	optimum	tolérance	optimum	tolérance
EZ	3	1,86	1,63	13,87	1,65	13,87	1,62	13,87	1,65	1,01	1,09	13,87	1,62	7,46	1,09	1,01	1,09
FARC	1	2,72	1,00	403,43	1,00	54,60	1,00	403,43	1,00	54,60	1,00	20,09	1,00	20,09	1,00	54,60	1,00
FAT	4	1,04	1,22	23,81	2,61	13,60	1,63	23,81	2,61	1,77	1,65	13,60	1,63	13,07	1,65	1,77	1,65
FB	30	2,41	2,29	94,63	4,85	6,89	3,74	76,71	4,48	5,87	5,05	11,13	5,10	9,68	4,62	5,64	4,85
FE	10	5,47	2,29	507,76	6,82	10,38	2,48	428,38	5,47	40,45	7,32	12,94	2,83	8,94	4,14	52,98	5,75
FP	23	2,41	2,59	54,60	13,60	11,47	3,74	54,05	13,20	5,81	6,49	10,80	3,56	14,30	5,70	7,03	7,77
IFPS		1,00	1,00	7,39	1,00	/,39	1,00	7,39	1,00	1,00	1,00	7,39	1,00	7,39	1,00	1,00	1,00
FRAS		2,29	1,46	21,54	1,79	18,36	1,39	21,54	1,79	1,20	1,58	18,17	1,36	18,54	1,45	2,69	1,60
	5	3,71	1,58	289,93	3,82	5,10	3,22	589,93	3,82	32,79	4,48	11,70	3,16	14,15	3,35	32,79	4,48
FRPU		1,00	1,00	20,09	1,00	12.91	1,00	20,09	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
FR3		1,35	1,00	20,29	3,50	1.01	1,79	20,29	3,30	1,07	2,53	12,18	1,65	13,20	2,53	1,79	2,53
GOMA		2 72	1,22	174 16	3,71	11 47	2 12	2,01	3,71	1,02	1,23	54.60	1,11	1,05	1,31	1,03	1,30
GOM		2,72	1,00	350 72	1,45	75 10	2,12	307.07	1 00	17.46	1,45	34,60	1,00	23,57	1,40	17.46	1,45
GP		4,50	1,05	13.87	3 94	867	£,77	22 20	630	2.56	2 72	43,00	1,40	134	2,10	2.56	2 72
GVS		2 72	1,00	403.43	1 00	54.60	1.00	1043 15	1 25	2,30	2,72	20.00	2,01	27 20	2,01	2,30	2,72
GYSP	2	2,72	1,00	169 02	1,00	22.87	1 40	169 02	1 40	3 10	1,00	8 / 1	1,00	27,53	1,00	22.87	1,00
HA	4	1.86	2 51	23.34	27.11	2,51	3.97	23.34	27 11	6.36	15.96	3 42	6.36	4 66	10.07	636	15 96
HN	6	1.80	1.80	3.94	4.22	1.22	2.32	3.94	4.22	1.27	2,86	1 11	1 68	1 23	2 32	1 27	2 86
MASE	9	1.99	1.58	29.37	2.51	16.28	1.54	26.84	2.25	1.67	2.18	20.29	1,70	13.07	1 73	2 10	2 14
MASL	1	2,72	1,00	403,43	1,00	54,60	1.00	403.43	1.00	54.60	1.00	20.09	1.00	20.09	1.00	54.60	1.00
MATA	12	4,10	1,80	76,71	4,10	2,16	2,32	76,71	4,10	5,16	4.53	2.64	2.80	4,85	2.14	5.00	4.57
NAEG	1	2,72	1,00	148,41	1,00	7,39	1,00	54,60	1,00	7,39	1,00	54,60	1,00	20,09	1.00	7.39	1.00
NAGN	4	1,97	1,60	82,27	10,28	15,33	6,42	82,27	10,28	7,77	4,06	10,59	2,53	30,27	10,28	7,77	4,06
NAHA	1	1,00	1,00	7,39	1,00	7,39	1,00	7,39	1,00	1,00	1,00	7,39	1,00	7,39	1,00	1,00	1,00
NAPE	5	1,38	1,58	16,12	2,23	12,81	1,65	16,12	2,23	1,26	1,52	12,81	1,65	11,02	1,63	1,49	1,63
NAPH	43	3,71	2,77	160,77	16,78	8,76	5,05	154,47	15,33	17,29	8,50	8,41	5,21	9,39	5,99	19,30	8,76
NAPR	6	2,29	1,75	121,51	3,13	34,47	1,92	121,51	3,13	6,05	3,13	21,98	1,32	42,10	2,64	8,08	2,48
NARE	2	2,72	1,00	290,03	1,60	27,94	2,56	206,44	2,56	14,44	1,60	54,60	1,00	39,25	1,60	14,44	1,60
NASA	29	6,89	2,16	1164,45	4,57	20,09	2,75	982,40	4,06	75,19	4,62	22,87	2,83	36,97	3,90	90,92	4,10
NATA	4	1,26	1,52	29,37	3,32	10,91	3,13	27,11	3,10	2,08	1,79	15,03	2,32	11,70	3,16	2,44	1,63
NATC	1	2,72	1,00	148,41	1,00	20,09	1,00	148,41	1,00	7,39	1,00	54,60	1,00	20,09	1,00	7,39	1,00
NAU	2	2,72	1,00	403,43	1,00	54,60	1,00	1096,63	1,00	7,39	1,00	20,09	1,00	31,82	1,65	54,60	1,00
NBOL		7,39	1,00	403,43	1,00	148,41	1,00	403,43	1,00	20,09	1,00	54,60	1,00	20,09	1,00	20,09	1,00
	11	0,75	1,40	1956,63	2,11	30,27	2,10	1958,63	2,48	148,41	3,53	36,97	2,39	65,37	2,97	157,59	3,16
	19	2.16	2,40	101.40	4,00	10,34	3,39	12,41	3,80	38,85	5,10	17,46	3,00	33,12	3,19	82,27	3,49
	35	2,10	2 10	26.59	4,40	21,70	2,06	20.06	12.69	2,94	2,08	10,07	1,58	21,76	2,08	13,74	4,48
NCOM	33	3,32	2,10	20,50	1 20	34,05	1 70	29,90	1 25	4,01	0,02	2,40	3,40	3,42	4,06	4,20	5,99
		2,72	1,00	159 17	3.63	29.96	3 32	265.07	2 48	15,49	2 20	20,70	1,20	130,30	1,43	19,49	1,20
NE	31	2,00	1,57	145 47	4 57	19,90	4 22	160 77	5 21	0.97	2,39	2,27	2,04	3,70	4,20	16,12	2,39
NGRU		5 10	1,55	298.87	1 82	46.06	2 10	295.89	1 72	16.61	2 05	19 30	4,71	19,73	1 92	22 42	3,32
NHN	5	1,20	1.72	3.46	3.56	1.14	1 82	3 46	3,56	1 20	2,00	1 13	1 00	1 1 4	1,02	1 22,42	2 75
NI	10	1,25	1.73	8.67	5.87	3.10	5 10	8 67	5 87	1.68	2,00	2 94	4 18	3 16	5.58	1,22	2,75
NIAL	4	8.58	1.46	1339.43	1.73	51.42	1.34	1141.39	1.34	66.69	1.73	3 49	2 01	24 53	1 72	PA AA	1 73
NIAM	10	2.66	1.16	275.89	2,18	43.38	1.86	270.43	2.25	14.15	1.82	33.78	2,53	76 71	2 86	18 54	1.58
NIAR	4	1,95	1,60	34,12	3,90	16,44	1,49	34,12	3,90	2.08	3.25	16.44	1,49	15.33	3,25	2.08	3.25
NIBU	1	2,72	1,00	54,60	1,00	20,09	1,00	54,60	1,00	2,72	1,00	20.09	1.00	20.09	1,00	7,39	1.00
NICC	32	2,83	1,25	383,75	1,46	46,99	1,90	607,89	1,97	7,85	1,42	18,92	1,51	38,09	1,92	48,42	1,63

Tableau IV.k: Optima et tolérances	des diatomées actuelles.
------------------------------------	--------------------------

		Alcalinité	1	CI		SO₄		Na		К		Ca		Mg		TDS	
Codes espèces	fréquence	optimum	tolérance	optimum	tolérance	optimum	tolérance	optimum	tolérance	optimum	tolérance	optimum	tolérance	optimum	tolérance	optimum	tolérance
NIEP	21	6,05	2,23	915,98	4,76	17,29	3,10	837,15	4,10	50,91	5,26	18,17	3,46	24,29	4,31	90,02	3,71
NIH	10	4,14	2,08	25,79	11,36	4,44	6,75	25,79	11,36	4,81	6,42	2,51	3,19	3,00	3,35	3,94	4,85
NIHU	36	3,56	2,05	167,34	4,53	33,45	3,49	265,07	4,66	11,36	3,67	9,78	3,06	11,25	4,26	22,42	3,60
NILA	6	1,80	1,63	55,70	3,63	15,03	3,32	46,06	3,35	3,53	2,23	33,12	3,39	14,01	2,66	5,05	2,72
NILI	9	3,78	1,60	287,15	1,67	26,58	1,68	287,15	1,67	19,30	2,23	20,49	2,36	14,30	1,62	26,31	1,67
NIPC	2	2,72	1,00	109,95	2,03	46,99	1,43	109,95	2,03	5,47	2,03	109,95	2,03	17,29	1,43	12,81	2,92
NIPE	3	3,49	1,54	148,41	3,39	33,12	1,65	148,41	3,39	7,39	3,39	15,64	1,54	42,52	3,67	12,18	2,39
NIPS	23	7,69	2,77	1012,32	4,95	30,57	2,12	972,63	3,60	74,44	4,14	25,53	2,69	49,40	4,35	85,63	4,62
NIRE	4	2,72	1,00	403,43	1,00	50,91	1,28	403,43	1,00	20,09	1,00	20,09	1,00	148,41	1,00	20,09	1,00
NISL	1	2,72	1,00	20,09	1,00	20,09	1,00	20,09	1,00	1,00	1,00	20,09	1,00	7,39	1,00	1,00	1,00
NIVA	13	3,39	1,70	87,36	4,22	24,05	4,39	125,21	4,06	9,03	2,89	4,48	6,69	3,60	3,71	8,76	2,64
NLA	20	12,06	3,60	290,03	4,14	77,48	5,21	391,51	3,10	51,94	6,23	6,62	3,60	11,70	4,90	29,96	4,26
NLI	5	3,60	1,57	403,43	3,32	9,21	3,56	403,43	3,32	39,25	2,27	16,12	2,34	16,12	2,34	39,25	2,27
NLIB	4	2,59	1,42	23,57	2,64	19,69	1,35	23,57	2,64	1,23	2,53	19,69	1,35	8,25	1,51	1,23	2,53
NLOG	4	3,67	2,29	102,51	7,77	36,60	7,69	102,51	7,77	8,17	3,42	32,46	4,18	10,28	3,67	9,87	3,56
NLSA	1	2,72	1,00	148,41	1,00	20,09	1,00	148,41	1,00	2,72	1,00	7,39	1,00	20,09	1,00	20,09	1,00
NPA	4	6,75	2,86	1408,10	5,42	33,45	3,63	1465,57	5,21	75,94	5,10	29,08	4,31	28,79	4,31	75,94	5,10
NPB	8	2,59	2,01	6,05	7,10	1,88	4,06	6,69	8,00	2,16	5,53	1,60	3,10	1,51	3,06	1,84	4,62
NPP	2	7,39	1,00	2980,96	1,00	33,12	1,65	2980,96	1,00	148,41	1,00	54,60	1,00	54,60	1,00	148,41	1,00
NPYG	12	2,05	1,92	70,11	5,00	3,90	4,14	64,72	4,90	4,62	3,97	4,35	4,57	6,11	5,93	5,16	4,14
NR	23	4,95	2,03	507,76	5,31	11,02	3,71	544,57	5,21	35,16	4,71	12,68	3,35	13,33	3,71	45,60	4,48
NRUM	1	2,72	1,00	20,09	1,00	20,09	1,00	20,09	1,00	1,00	1,00	20,09	1,00	20,09	1,00	2,72	1,00
NS	6	4,95	2,03	464,05	4,81	16,61	5,16	445,86	4,53	23,10	4,81	2,69	2,05	12,06	2,94	26,58	4,48
NSIN	9	2,72	1,00	298,87	1,88	36,60	1,97	267,74	2,25	14,88	1,88	22,65	1,39	97,51	2,25	16,44	1,49
NSL	2	2,05	1,57	15,18	1,57	15,18	1,57	15,18	1,57	1,00	1,00	15,18	1,57	7,39	1,00	1,00	1,00
NSUB	1	2,72	1,00	148,41	1,00	54,60	1,00	148,41	1,00	7,39	1,00	148,41	1,00	20,09	1,00	20,09	1,00
NTEP	1	2,72	1,00	403,43	1,00	54,60	1,00	403,43	1,00	7,39	1,00	20,09	1,00	54,60	1,00	54,60	1,00
NTVA	6	2,64	1,20	132,95	1,80	11,13	1,63	75,94	1,99	6,82	1,57	49,40	1,48	20,09	1,36	6,96	1,48
OM	7	3,94	2,69	301,87	10,80	12,55	6,17	301,87	10,80	19,89	8,76	4,26	4,62	8,41	5,37	20,70	9,12
00	1	2,72	1,00	54,60	1,00	20,09	1,00	54,60	1,00	2,72	1,00	20,09	1,00	20,09	1,00	7,39	1,00
PB	6	4,53	3,49	43,38	9,49	3,67	8,50	43,38	9,49	4,81	9,12	2,34	3,46	4,95	3,86	4,18	6,82
PIB	1	2,72	1,00	403,43	1,00	54,60	1,00	403,43	1,00	7,39	1,00	20,09	1,00	54,60	1,00	54,60	1,00
RG	6	2,10	1,55	53,52	8,50	11,36	3,71	49,90	8,33	3,86	2,39	14,44	4,57	12,18	3,71	6,75	3,78
RHBR	4	2,16	1,52	42,10	1,55	20,09	1,00	42,10	1,55	2,10	1,55	20,09	1,00	15,96	1,52	3,63	2,25
RHGI	11	1,62	1,65	36,23	3,03	17,46	1,62	35,87	3,00	2,16	2,46	17,12	1,51	16,78	2,39	2,53	2,56
RHMU	7	2,56	1,26	23,34	1,95	20,49	1,30	23,34	1,95	1,19	1,90	19,69	1,16	9,21	1,93	1,25	1,93
RHWE	27	3,63	1,80	281,46	4,35	13,87	3,49	273,14	4,26	20,09	4,31	13,60	2,59	17,81	4,62	26,31	3,71
SA	14	4,35	2,23	323,76	7,46	5,00	3,06	301,87	6,82	24,78	5,64	8,85	3,97	9,87	4,18	23,81	5,70
SB	6	4,01	1,63	157,59	3,06	38,86	2,46	239,85	2,18	13,87	2,61	2,61	2,66	3,32	3,00	11,94	2,18
SCHI	9	2,89	1,48	87,36	3,86	5,47	5,16	83,10	3,82	4,39	3,74	5,93	5,75	14,73	5,87	4,85	4,01
SCPE	19	4,85	1,77	340,36	4,10	15,03	4,57	330,30	4,22	24,29	3,06	11,36	3,16	11,25	2,83	24,29	3,03
SO	5	3,35	1,70	43,82	3,78	1,48	1,93	42,52	3,32	2,46	4,35	1,72	2,56	4,06	2,32	2,46	4,35
SSP	3	357,81	2,14	145,47	1,22	50,40	1,72	387,61	1,38	50,91	1,58	1,01	1,13	1,03	1,27	50,91	1,58
STAW	21	68,72	6,89	391,51	4,57	50,40	1,75	533,79	2,25	60,34	2,48	2,41	3,29	4,57	6,69	60,95	2,48
SUSE	35	3,86	1,77	174,16	4,14	11,25	5,26	198,34	4,66	9,87	3,78	6,55	3,53	8,76	3,03	13,74	4,48
SUIA	3	5,93	3,71	295,89	2,36	51,94	3,56	295,89	2,36	11,82	8,33	11,36	1,65	30,88	1,65	40,04	2,36
SUVVE	34	10,28	3,35	357,81	4,06	59,74	6,23	395,44	3,63	46,99	6,55	11,59	2,86	16,28	3,90	32,46	4,35
SYR	1	1,00	1,00	/,39	1,00	/,39	1,00 ⊿ 20	16,95	1,00	1,00 4,20	1,00	/,39	1,00	/,39	1,00	1,00	1,00
SYTF	18	2,36	1.42	134,29	3,53	26,31	1,93	146,94	3,94	3,97	2.34	12.43	1.65	27.39	2.27	15.80	3.39

• • • •

ç

espèces	composition ionique	TDS (g.L ⁻¹)
Navicula pseudolanceolata (NLA)	Na CI (S04)	29,96
Nitzschia hungarica (NIHU)	Na CI (S04)	22,42
Gomphonema parvulum (GP)	Na CI (S04)	2,56
Nitzschia valdecostata (NIVA)	Na CI (S04)	11,94
Surirella bathurstensis (SB)	Na CI (S04)	8,76
	espèces Navicula pseudolanceolata (NLA) Nitzschia hungarica (NIHU) Gomphonema parvulum (GP) Nitzschia valdecostata (NIVA) Sunirella bathurstensis (SB)	espècescomposition ioniqueNavicula pseudolanceolata (NLA)Na Cl (S04)Nitzschia hungarica (NIHU)Na Cl (S04)Gomphonema parvulum (GP)Na Cl (S04)Nitzschia valdecostata (NIVA)Na Cl (S04)Surirella bathurstensis (SB)Na Cl (S04)

Tableau IV.k: Optimum estimé à la composition ionique et à la salinité pour les espèces caractéristiques de la classe hiérarchique II

Ces deux échantillons sont individualisés par la présence dans le milieu de sulfates favorisant le développement des espèces qui les caractérisent.

classe III	espèces	espèces composition ionique	
	Mastoglia atacamae (MATA)	Na Cl	5
CHU4	Cymbella gracilis (CYL)	Na Cl	11
CHU9			
PG73	Amphora boliviana elongata (ABOL)	Na Cl	7,1
PG74	Surirella oregonica (SO)	Na Cl	2,46
	Surirella wetzelli (SUWE)	Na (K) CI (S04)	32,46

Tableau IV.I: Optimum estimé à la composition ionique et à la salinité pour les espèces caractéristiques de la classe hiérarchique III

La classe III regroupe des relevés dont les espèces caractéristiques indiquent qu'elles sont préférentielles d'un milieu chloruré sodique, en faible concentration, avec des salinités comprises entre 2 et 11 g.L^{-1} .

classe IV	espèces	composition ionique	TDS (g.L ⁻¹)
	Navicula salinicola (NASA)	Na (K) Cl	90,92
P114			
P116	Amphora atacamana (AMPA)	Na (K) Cl	58,56
PG41	Amphora atacamana minor (AMPM)	Na (K) Cl	74,44
PG43	Brachysira aponina (BRAC)		20,09
PG45	Fragilaria elliptica (FE)	Na (K) Cl	52,98
PG47	Navicula rhyncocephala NRT)	Na (K) Cl	45,6
PG76	Nitzschia accedens chilensis (NCHI)	Na (K) Cl	82,27
PG78	Nitzschia frustulum (NF)	Na (Ca) Cl	16,95
PG84	Nitzschia epithemoides epithemoides (NIEP)	Na (K) Cl	90,02
RAM1	Nitzschia pusilla (NIPS)	Na (K) CI	85,63
	Rhopalodia wetzelii (RHWE)	Na (K) CI	26,31
	Stauroneis anceps (SA)	Na (K) Cl	23,81

Tableau IV.m: Optimum estimé à la composition ionique et à la salinité pour les espèces caractéristiques de la classe hiérarchique IV.

Le dévelopement des espèces de ce groupe est favorisé par des teneurs plus importantes en potassium et des salinités plus élevées.

classe V	espèces	composition ionique	TDS (g.L ⁻¹)
	Fragilaria brevistriata (FB)	Na Cl	5,64
CHI1			
CHI2	Amphora carvajaliana (AMCJ)	Na (Ca) Cl SO4	18,36
PG23	Amphora delicatissima (AMD)	Na (Ca) Cl	6,55
PG70	Caloneis westii (CAW)	Na Cl	3,97
SU07	Nitzschia valdestriata (NTVA)	Na (Ca) Cl	6,96

 Tableau IV.n: Optimum estimé à la composition ionique et à la salinité pour les espèces caractéristiques de la classe hiérarchique V.

L'espèce dominante *Fragilaria brevistriata* indique un milieu chloruré sodique. Cependant, les espèces sous-dominantes indiquent que leur développement est favorisé par la présence de calcium.

classe VI	espèces	composition ionique	TDS (g.L ⁻¹)
	Navicula cincta (NCI)	Na Ĉl	4,26
	Fragilaria zeilleri (FZ)	Na Cl	1,03
PG72	Navicula phyllepta (NAPH)	Na Cl	19,3
PG82			
PG97	Anomoeoneis sphaerophora angusta (ANSA)	Na Cl	19,11
	Fragilaria pinnata (FP)	Na Cl	7,03
	Nitzschia frustulum (NF)	Na (Ca) Cl	16,95
	Nitzschia inconspicua (NI)	Na Cl	1,7

Tableau IV.o: Optimum estimé à la composition ionique et à la salinité pour les espèces caractéristiques de la classe hiérarchique VI.

Les espèces sont caractéristiques d'un milieu chloruré sodique dans des salinités comprises entre 1 et 19 g.L⁻¹. Par rapport à la classe I, ces relevés s'indidualisent car ils présentent des valeurs d'alcalinité moins élevées (tableau IV.a).

classe VII	espèces	composition ionique	TDS (g.L ⁻¹)
CHI3			
CHI4			
CHI5	Amphora carvajaliana (AMCJ)	Na (Ca) Cl (SO4)	18,36
HED4			
HON1	Amphora arenaria (ACAR)	Na (Ca) CI (SO4)	11,25
HON2	Amphora platensis (AMPL)	Na (Ca) Cl (SO4)	13,07
HON4	·		
PJ30			
PUR2			

Tableau IV.p: Optimum estimé à la composition ionique et à la salinité pour les espèces caractéristiques de la classe hiérarchique VII.

Les relevés de la classe VII sont essentiellement caractérisés par la présence de *Amphora carvajaliana* qui traduit préférentiellement un milieu chloruré sulfaté calcisodique.

classe VIII	espèces	composition ionique	TDS (g.L ^{-†})
	Fragilaria species (FRS)	Na (Ca-Mg) Cl (SO₄)	1,79
	Fragilaria brevistriata (FB)	Na Cl	5,64
	Achnanthes hungarica (AHU)	Na (Ca-Mg) Cl (SO₄)	1,21
	Achnanthes lanceolata (ALA)	Na (Ca-Mg) Cl (SO₄)	1,16
SU02	Amphora veneta (AMVN)	Na (Ca-Mg) Cl (SO₄)	16,95
SU03	Cocconeis placentula euglypta (CPE)	Na (Ca-Mg) Cl (SO₄)	2,8
SU04	Cocconeis placentula lineata (CPL)		
SU05	Denticula elegans (DE)	Na (Ca) Cl (SO₄)	4,62
	Epithemia adnata (EZ)	Na (Ca) Cl (SO₄)	1,01
	Mastogloia elliptica (MASE)	Na (Ca) Cl (SO₄)	2,1
	Rhopalodia gibberula (RHGI)	Na (Ca) Cl (SO₄)	2,53
	Rhopalodia musculus (RHMU)	Na (Ca) Cl (SO ₄)	1,25

Tableau IV.q: Optimum estimé à la composition ionique et à la salinité pour les espèces caractéristiques de la classe hiérarchique VIII.

La classe VIII regroupe des relevés dont la salinité est relativement faible par rapport à l'ensemble des échantillons étudiés. Ceci explique que ce groupe soit caractérisé par un plus grand nombre d'espèces. Ces dernières traduisent d'ailleurs un milieu dont la diversité ionique est relativement importante. Elles vivent dans des eaux chlorurées sulfatées calci-sodiques magnésiennes.

classe IX	espèces	composition ionique	TDS (g.L ⁻¹)
PJ1	Chaetoceros sp.(CHAE)	Na Cl (SO4)	52,46
PJ7	Nitzschia compressa compressa (NICC)	Na Cl (SO4)	48,42
PJ8	Nitzschia hungarica (NIHU)	Na CI (SO4)	22,42
PJ9			
PN1	Achnanthes hirta (AHI)	Na (Mg) CI (SO4)	52,98
PN3	Cocconeis placentula (CP)	Mg Ca Cl (SO4)	47,94
PN4	Cyclotella gamma (CYGA)	Na CI (SO4)	54,05
PN5	Gyrosigma spencerii (GYSP)	Na (Mg) CI (SO4)	22,87
PN6	Fragilaria fasciculata (SYTF)	Na (Mg) CI (SO4)	15,8
PN7			

Tableau IV.r: Optimum estimé à la composition ionique et à la salinité pour les espèces caractéristiques de la classe hiérarchique IX.

Les espèces de la classe IX caractérisent un milieu chloruré sulfaté sodique, avec pour certaines, une légère concentration en magnésium.

cla sse X	espèces	composition ionique	TDS (g.L ⁻¹)
SU08	Achnanthes delicatula (AD)	Na (Mg) Cl	15,03
SU09	Amphora coffeaeformis (AMCO)	Na (Mg) Cl	18,73
SU10			
SU11	Achnanthes brevipes (ABR)	Na (Mg) Cl	14,88
SU12	Nitzschia communis (NCOM)	Na (Mg) Cl	19,49
	Nitzschia amphibia (NIAM)	Na (Mg-Ca) Cl (SO4)	18,54

Tableau IV.s: Optimum estimé à la composition ionique et à la salinité pour les espèces caractéristiques de la classe hiérarchique X.

Le développement des diatomées dans ce groupe est favorisé par une proportion de magnésium présent dans les eaux.

classe XI	espèces	composition ionique	TDS (g.L ⁻¹)
	Stauroneis wislouchii (STAW)	Na CI (HCO ₃)	60,95
CD16	Navicula salinicola (NASA)	Na Ci	90,92
	Amphora boliviana (ABOL)	Na Cl	13,87
	Amphora carvajaliana (AMCJ)	Na Cl	18,36

Tableau IV.t: Optimum estimé à la composition ionique et à la salinité pour les espèces caractéristiques de la classe hiérarchique XI.

Cette classe individualise un relevé où les taxons de diatomées présentes dans ce milieu, sont favorisées par l'alcalinité.

classe XII	espèces	composition ionique	TDS (g.L ⁻¹)
	Fragilaria construens subsalina (FRAS)	Na (Ca-Mg) Cl (SO ₄)	2,69
SU06	Fragilaria species (FRS)	Na (Ca-Mg) Cl (SO₄)	⁻ 1,79
	Mastogloia elliptica (MASE)	Na (Ca-Mg) Cl (SO₄)	2,1
	Navicula peregrina (NAPE)	Na (Ca-Mg) Cl (SO₄)	1,49
	Navicula incertata (NATA)	Na (Ca-Mg) Cl (SO ₄)	2,44
	Nitzschia lacuum (NILA)	Na (Ca-Mg) Cl (SO₄)	5,05

Tableau IV.u: Optimum estimé à la composition ionique et à la salinité pour les espèces caractéristiques de la classe hiérarchique XII.

Les diatomées indiquent un milieu chloruré sulfaté calci-magnésien sodique. L'individualisation de ce relevé par rapport aux autres prélèvements effectués sur la bordure du salar de Uyuni, fait probablement intervenir un autre paramètre. Il semblerait dans ce cas que la profondeur joue un rôle, car c'est l'échantillon qui présente la plus forte profondeur.

classe XIII	espèces	composition ionique	TDS (g.L ⁻¹)
XIII			
CL20	Stauroneis ssp. (SSP)	Na HCO ₃ (CI)	50,91
	Stauroneis wislouchii (STAW)	Na CI (HCO ₃)	60,95

Tableau IV.v: Optimum estimé à la composition ionique et à la salinité pour les espèces caractéristiques de la classe hiérarchique XIII.

Cet assemblage de diatomées met en évidence un milieu très particulier, dominé par de très fortes valeurs d'alcalinité.

En résumé:

Les résultats obtenus par les deux méthodes de régression sont similaires en ce qui concerne (1) la caractérisation des différents types géochimiques par les associations de diatomées, (2) les deux méthodes différencient dans ces associations les mêmes espèces dominantes. La méthode des "Moyennes par Classe" présente cependant l'avantage dans certains cas, d'identifier plus clairement la relation entre les espèces de diatomées et les composants ioniques en teneur sous-dominante.

- Dans le type III, [faciès neutre, Na (Mg, Ca) Cl], l'espèce dominante de la classe I (*Nitzschia liebetruthii*, NILI, déterminée *Nitzschia nov. sp.* dans le travail de Servant-Vildary et Roux, 1990b) caractérise les lacs Ballivián, Ramaditas et Laguna Verde. Cette espèce vit préférentiellement dans des eaux chlorurées sodiques, mais la méthode des "Moyennes par Classe" met en évidence une forte relation avec le calcium et le magnésium; de même pour l'espèce *Denticula valida* (DEV, déterminée *Denticula elegans valida* dans le travail de Servant-Vildary et Roux, 1990b) qui apparaît liée au calcium et à l'alcalinité. Dans les échantillons à forte salinité du lac Pastos Grandes, l'espèce dominante de la classe IV (*Navicula salinicola*, NASA, déterminée *Navicula nov. sp.* dans le travail de Servant-Vildary et Roux, 1990b) est en relation à la fois avec les deux ions dominants Na et Cl mais aussi à l'ion Ca. Dans les échantillons à basse salinité de ce même lac, les espèces dominantes de la classe VI, dont *Fragilaria zeillerei* (FZ) est liée également au calcium et à l'alcalinité.

- Dans le type II [faciès neutre, Na (Mg) SO₄ Cl], l'espèce dominante de la classe II (*Navicula pseudolanceolata*, NLA) qui caractérise le lac Cañapa apparaît liée aux sulfates. L'espèce dominante de la classe VII qui caractérise les lacs Chiar Kkota, Hedionda, Honda, Pujio et Puripica, *Amphora carvajaliana* (AMCJ), est liée au sodium (ion dominant) mais aussi aux sulfates.

Les nouveaux échantillons qui proviennent de la bordure du salar de Uyuni appartiennent au type II et ils sont caractérisés par *Fragilaria brevistriata* (classe VIII) quand leur salinité est faible. Cette espèce caractérise les échantillons de faible salinité de Pastos Grandes (type III) et est liée à l'alcalinité.

- Dans le type I, [faciès alcalin, Na (Cl) CO₃ (SO₄)], l'espèce dominante *Stauroneis* wislouchii STAW (déterminée SSP dans le travail de Servant-Vildary et Roux, 1990b) apparaît liée à l'alcalinité.

La comparaison de nos résultats avec d'autres études effectuées dans des milieux salés est beaucoup plus difficile (Wilson *et al.*, 1994; Fritz *et al.*, 1993; Gasse *et al.*, 1995). Les milieux salés étudiés par ces auteurs se trouvent dans des conditions

climatiques, géologiques et topographiques différentes des conditions qui se trouvent rassemblées dans les milieux salés de l'Altiplano bolivien. Par conséquent, l'intervention de facteurs (souvent non mesurables) qui se surajoutent à la salinité et à la composition ionique modifient les affinités aux paramètres qui nous intéressent ici.

Nous pensons par conséquent, qu'il est préférable d'établir une calibration dans des milieux les plus homogènes possibles en ce qui concerne les paramètres qui sont susceptibles d'apporter un "bruit de fond" et qui modifient les liaisons entre les espèces ou les associations d'espèces avec les paramètres que l'on veut estimer dans les séries fossiles. Cette estimation des séries fossiles sera de plus grande qualité si la calibration a actuelle été effectuée dans le même contexte.

Les deux méthodes peuvent s'appliquer dans ce cas d'étude, mais elles présentent des avantages et des inconvénients : la méthode des Moyennes par Classe semblent très appropriée si les mesures des paramètres de l'environnement sont continues. Si les mesures présentent un hiatus dans une gamme donnée de salinité par exemple, il est préférable d'utiliser la méthode des Moyennes Pondérées; de plus cette méthode permet d'estimer l'optimum des espèces, alors que la méthode des Moyennes par Classe permet de déterminer, sans les quantifier, les affinités aux différents ions.

V. PALEOENVIRONNEMENTS AU DERNIER MAXIMUM GLACIAIRE DANS LE BASSIN DE COIPASA

Le seul enregistrement lacustre connu aux hautes latitudes tropicales sud du Dernier Maximum Glaciaire global (18^{14} C ka B.P.) a été obtenu par la carotte CO2 prélevée dans le Sud du salar de Coipasa (cf chapitre II, figure II.2). La carotte est datée à la base (476,5 - 478,5 cm) de 20 940±90 ans B.P., et à 40 - 42 cm de 17 750±90 ans B.P.

V.1. LA FLORE DE DIATOMEES FOSSILES

Entre 0 et 38 cm, aucun frustule de diatomées n'a été observé; de 38 cm à 77 cm, les tests sont fortement dissous chimiquement ce qui n'autorise pas une identification taxonomique. L'étude quantitative et taxonomique des diatomées a débuté à partir de 77 cm. Les diatomées n'ont pas fait l'objet d'un comptage dans le niveau situé entre 389 cm et 397,5 cm, car les sédiments sont affectés par des mouvements de turbidité, la flore étant composée d'un mélange d'espèces identifiées dans les niveaux supérieurs et inférieurs.

V.1.1. DESCRIPTION DE LA FLORE

207 taxons répartis en 33 genres ont été déterminés dans 79 échantillons (numérotés P + profondeur en cm). L'abondance relative des espèces par rapport à la flore totale pour chaque échantillon est présentée dans le tableau quadrangulaire en annexe V.

Les dépôts présentent des lamines régulières entre 62 et 222 cm, puis irrégulières entre 222 et 297,5 cm. De 297,5 cm à la base de la carotte, les sédiments ne sont plus laminés. La carotte a été échantillonnée en continu avec des cubes de 2 cm de côté. Le prélèvement des échantillons pour l'analyse des diatomées a été effectué sur la totalité de la tranche du cube dans le sens de la profondeur, afin d'obtenir une représentation moyenne de la flore sur 2 cm d'épaisseur. L'étude des diatomées ne tient pas compte des lamines, car celles-ci, d'épaisseur inframillimétrique, ne pouvaient être échantillonnées que par des techniques particulières de prélèvement. Il sera néanmoins intéressant, dans une phase ultérieure de recherche, d'analyser la variation de la flore de diatomées à l'échelle laminaire. La résolution obtenue est en moyenne d'un échantillon tous les 6 cm. La diversité spécifique ne connaît pas de fortes variations (figure V.1): elle est en moyenne de 53 espèces par échantillon de la base de la carotte jusqu'à 254 cm; de 42 espèces entre 248 cm et 192 cm; de 49 espèces entre 188 cm et 141 cm. Par contre, entre 135 cm et 77 cm, le nombre d'espèces diminue nettement avec une moyenne de 35 espèces par échantillon.

La teneur moyenne en valves de diatomées est de $5,10*10^6$ valves par gramme de sédiment sec (figure V.1). L'analyse par diffractométrie des rayons X (cf chapitre II, § II.1.2.1.) a montré que les éléments détritiques (quartz et feldspaths) varient de 20 à 72,5 % du sédiment total. Onze échantillons (P471, P455, P415, P280, P264, P258, P160, P135, P131, P129, P125) sont caractérisés par une teneur plus élevée en diatomées ($21*10^6$ valves par gramme de sédiment sec) (figure V.1). Ces pics de forte teneur en diatomées ne sont associés ni à des changements lithologiques majeurs, ni à des modifications de la composition des assemblages floristiques, ni à de faibles teneurs en éléments détritiques. Le nombre élevé de frustules pourrait donc correspondre à une augmentation de la productivité en diatomées.

La flore de diatomées est représentée par des formes périphytiques, tychoplanctoniques et planctoniques. Les formes périphytiques sont abondantes (figure V.1) et présentent une grande diversité spécifique: 190 espèces ont été déterminées sur la totalité de la carotte. Les espèces les plus communément rencontrées sont *Achnanthes delicatula*, *Navicula salinicola* et *Nitzschia hungarica* (figure V.2). Quelques espèces caractérisent certains relevés: *Navicula subinflatoïdes* constitue 30% des assemblages de P087 et P483, *Nitzschia liebetruthii*, environ 60% des échantillons P097, P135, P145 et P202, *Navicula phyllepta* représente 25% et 17% respectivement des relevés P087 et P234, et *Nitzschia compressa compressa*, 40% des échantillons P089 et P093.

Les formes tychoplanctoniques sont faiblement représentées sur la totalité de la carotte. Elles sont très peu diversifiées: 12 espèces ont été déterminées, les plus fréquentes étant Fragilaria pinnata, F. construent subsalina et F. sp.

Les formes planctoniques, bien qu'elles soient faiblement représentées sur l'ensemble de la coupe (22% en moyenne) et très peu diversifiées (5 espèces), marquent nettement 8 phases où elles constituent entre 30 et 80 % des assemblages (figure V.1). En dehors de ces phases, les espèces planctoniques peuvent disparaître pratiquement totalement. Les deux formes les plus fréquentes sont *Chaetoceros sp.* et *Cyclotella stelligera*. L'espèce *Chaetoceros sp.* caractérise les niveaux compris entre P103 et P125, entre P206 et P230, P242, P248, P284, P288, P341 et entre P441 et P449. Les échantillons caractérisés par *Cyclotella stelligera* sont moins nombreux. Ils sont situés entre P158 et P160, à P292 et entre P433 et P439 (figure V.2).



Figure V. 1: Carotte CO2 (Coipasa, altitude: 3657 m): Variations en fonction de la profondeur (cm) du nombre de valves (10⁶g/sed.sec), du nombre d'espèces, et du pourcentage par échantillon des diatomées périphytiques, tychoplanctoniques et planctoniques.



Figure V. 2: Carotte CO2 (Coipasa, altitude: 3657 m): Variations en fonction de la profondeur (cm) du pourcentage par échantillon des espèces de diatomées dominantes.

122

V.1.2. DEFINITION DES ASSEMBLAGES DE DIATOMEES PAR LES ANALYSES STATISTIQUES MULTIVARIEES

V.1.2.1. ANALYSE FACTORIELLE DES CORRESPONDANCES (AFC)

L'analyse considère un ensemble *i* de 207 espèces de diatomées définies par leur abondance dans un ensemble *j* de 79 échantillons. Les 10 premiers facteurs représentent 71,06 % de la variance totale. Les 6 premiers axes concentrent 57,05% de l'inertie du nuage, c'est-à-dire la moitié de l'information.

Axes	Valeurs propres	% Inertie	% Inertie cumulé
1	0,4154	16,18	16,18
2	0,3353	13,06	29,24
3	0,2305	8,98	38,22
4	0,181	7,05	45,27
5	0,1667	6,49	51,76
6	0,1359	5,29	57,05
7	0,1067	4,16	61,21
8	0,1022	3,98	65,19
9	0,0812	3,17	68,36
10	0,0693	2,7	71,06

Tableau V.a: Carotte CO2 (Coipasa): Valeurs propres, inertie et inertie cumulée des 10 premiers facteurs de l'AFC.

Le plan 1-2 met en évidence 3 groupes d'échantillons (figure V.3). Deux groupes sont définis sur l'axe 1, opposés l'un par rapport à l'autre, le troisième étant défini par l'axe 2, situé du côté négatif.

Le groupe 1a, situé du côté positif de l'axe 1, comporte 11 échantillons contribuant à la définition de l'axe: ils possèdent des contributions absolues significatives supérieures à 25 (CTR>2*1000/80), et 6 échantillons dont leurs fortes contributions relatives (QLT) indiquent qu'ils sont expliqués par ce facteur. Ce groupe est caractérisé principalement par Navicula salinicola (NASA). Elle est accompagnée par trois espèces du genre Amphora, A. atacamana (AMPA), A. coffeaeformis (AMCO), A. carvajaliana (AMCJ), et par Navicula carvajaliana (NCAJ) (tableau V.b).



Figure V. 3: Carotte CO2 (Coipasa): Plan factoriel 1-2 sur les échantillons. -79 échantillons ; 207 espèces -

(les axes 1 et 2 représentent 29,24% de l'inertie totale du nuage de points)

échantillons / espèces	QLT		
échantillons expliquant et expliqués par le facteur 1			
P085	32	44,03	
P164	30	59,45	
P234	39	75,99	
P262	28	81,55	
P264	21	93,83	
P299	26	84,99	
P305	28	88,11	
P314	28	91,34	
P455	75	53,84	
P463	82	55,3	
P471	102	26,13	
échantillons expliqués par le facteur 1			
P083		56,04	
P172		72,43	
P186		56,05	
P268		71,46	
P272		76,36	
P479		73,58	
espèces associées définissant le facte	ur 1		
Navicula salinicola (NASA)	274	63,08	
Amphora atacamana (AMPA)	12	69,46	
Navicula carvajaliana (NCAJ)	23	83,21	
espèces associées expliquées par le fa	cteur 1		
Amphora coffeaeformis (AMCO)		73,55	
Amphora carvajaliana (AMCJ)		52,29	

Tableau V.b: Echantillons et espèces définissant le groupe 1a de l'AFC dans la carotte CO2.

Le groupe 2, situé sur le côté négatif de l'axe 1, est composé par 4 échantillons définissant l'axe, et par un plus grand nombre d'échantillons (12) expliqués par ce facteur (tableau V.c). Ce groupe est caractérisé principalement par *Chaetoceros sp. (CHAE)*, et dans une moindre mesure par *Achnanthes delicatula (AD)*.

échantillons / espèces	CTR	QLT	
échantillons expliquant et expliqués	par le facteur 1		
P226	27	39,7	
P341	78	55,72	
P415	17	61,45	
P449	29	52,1	
échantillons expliqués par le facteu	r 1		
P103		67,25	
P109	68,11		
P113	65,36		
P206	42,16		
P212	55,29		
P230	50,34		
P242	56,58		
P248		71,73	
P284		68,01	
P288		62,63	
P402	61,47		
P445		57,51	
espèces associées définissant le facteur 1			
Chaetoceros sp. (CHAE)	327	58,75	
Achnanthes delicatula (AD)	29	40,28	

Tableau V.c: Echantillons et espèces définissant le groupe 2 de l'AFC dans la carotte CO2.

L'axe 2 définit un troisième groupe, situé du côté négatif de l'axe, opposé aux deux précédents dans le plan factoriel 1-2. Le groupe 3 comporte 4 échantillons (figure V.3; tableau V.d). Ce groupe est essentiellement expliqué par l'espèce *Nitzschia liebetruthii (NILI)* qui présente une très forte contribution absolue égale à 792 et une contribution relative de 92,85%.

échantillons / espèces	CTR	QLT		
échantillons expliquant et expliqués par le facteur 2				
P097	99	94,62		
P135	201	96,07		
P145	100	91,65		
P202	334	90		
espèces associées définissant le facteur 2				
Nitzschia liebetruthii (NILI)	792	92,85		

Tableau V.d: Echantillons et espèces définissant le groupe 3 de l'AFC dans la carotte CO2.

Le plan 2-3 permet de mettre en évidence sur l'axe 3, du côté négatif, le groupe 4 (figure V.4). Ce groupe est composé par 15 échantillons, dont 8 échantillons contribuent fortement à la définition de l'axe (tableau V.e). Ces relevés sont caractérisés par un plus grand nombre d'espèces que les groupes précédents. L'espèce principale est Cyclotella stelligera (CYCS), à laquelle vient à nouveau s'ajouter Achnanthes delicatula (AD), déjà mise en évidence dans le groupe 2.

échantillons / espèces	CTR	QLT			
échantilions expliquant et expliqués par le facteur 3					
P081	64	53,21			
P160	31	50			
P331	49	64,54			
P345	24	53,7			
P351	37	75,09			
P361	48	48,36			
P367 28		66,58			
P374	33	58,81			
échantillons expliqués par le facteur 3					
P077		61			
P176		81,55			
P182		84,21			
P292		70,21			
P322		50,24			
P433		70,55			
P439		68,88			
espèces associées définissant le fac	teur 3				
Cyclotella stelligera (CYCS)	109	63,93			
Achnanthes delicatula(AD)	46	36,06			
Fragilaria pinnata (FP)	18	70,98			
F. species (FRS)	28	65,77			
Stauroneis anceps (SA) 58		57,6			
Surirrella hoefleri (SUHO)	42	55,31			
S.utahensis (SUTA)	41,5				

Tableau V.e: Echantillons et espèces définissant le groupe 4 de l'AFC dans la carotte CO2.



.



L'axe 4 sur le plan factoriel 3-4, extrait deux sous-groupes du groupe 1a (figure V.5). Le groupe 1b du côté positif est composé par les échantillons P085 et P471. Ils sont individualisés parce qu'ils possèdent un très fort pourcentage de l'espèce Navicula cryptotenella (NRT), Amphora atacamana minor (AMPM) et dans une moindre mesure Denticula subtilis (DSB). Le groupe 1c du côté négatif de l'axe, est composé de 3 échantillons P164, P455 et P463, caractérisés par les espèces Amphora acutiuscula (AMCU) et Navicula longirostris (NLOG).

L'axe 5 dans le plan factoriel 4-5 individualise *le groupe 5*. Ce groupe est composé par 3 échantillons, principalement caractérisés par *Nitzschia compressa compressa (NICC)* (figure V.6; tableau V.f).

échantillons / espèces	CTR	QLT		
échantillons expliquant et expliqués par le facteur 5				
P089	188	67,19		
P093	208	63,61		
P129	89	54,23		
espèces associées définissant le facteur 5				
Nitzschia compressa compressa (NICC)	792	92,85		

Tableau V.f: Echantillons et espèces définissant le groupe 5 de l'AFC dans la carotte CO2.

L'axe 6, dans le plan factoriel 5 - 6, met en évidence *le groupe 6* comportant 2 échantillons individualisés par la forte abondance de *Navicula subinflatoïdes (NSIN)* (figure V.7, tableau V.g).

échantillons / espèces	CTR	QLT			
échantillons expliquant et expliqués par le facteur 6					
P087	354	73,42			
P483	240	70,37			
espèces associées définissant le facteur 6					
Navicula subinflatoides (NSIN)	467	70,42			

Tableau V.g: Echantillons et espèces définissant le groupe 6 de l'AFC dans la carotte CO2.

V.1.2.2. CLASSIFICATION ASCENDANTE HIERARCHIQUE (CAH)

Une classification ascendante hiérarchique est nécessaire à la suite de l'analyse factorielle des correspondances car elle permet d'établir un regroupement des échantillons en tenant compte des 10 axes factoriels simultanément. Nous avons coupé la hiérarchie au noeud 149, faisant apparaître 10 classes de relevés (figure V.8).

La classe I (noeud 144) regroupe tous les échantillons du groupe 4, à l'exception de l'échantillon P081, individualisé dans la classe V (noeud 153).

La classe II (noeud 143) regroupe tous les échantillons du groupe 2.



Figure V. 5: Carotte CO2 (Coipasa): Plan factoriel 3-4 sur les échantillons. -79 échantillons ; 207 espèces -(les axes 3 et 4 représentent 16,03% de l'inertie totale du nuage de points)



Figure V. 6: Carotte CO2 (Coipasa): Plan factoriel 4-5 sur les échantillons. -79 échantillons ; 207 espèces -(les axes 4 et 5 représentent 13,54% de l'inertie totale du nuage de points)



Figure V. 7: Carotte CO2 (Coipasa): Plan factoriel 5-6 sur les échantillons. -79 échantillons ; 207 espèces -(les axes 5 et 6 représentent 11,78% de l'inertie totale du nuage de points)



Figure V.8: Carotte CO2 (Coipasa): Dendogramme de la CAH sur les 79 échantillons.

132

La classe III (noeud 148) regroupe les échantillons du groupe 1a, à l'exception de l'échantillon P085, individualisé dans la classe VIII (noeud 151). L'échantillon du groupe 1b caractérise la classe IX (noeud 151) et les échantillons du groupe 1c, la classe IV (noeud 142).

La classe VII regroupe les échantillons du groupe 5 (noeud 147).

La classe X regroupe les échantillons du groupe 6 (noeud 146).

La CAH permet également de classer les relevés (P119, P123, P125, P127, P131, P141, P147, P151, P158, P192, P216, P251, P258, P276, P280, P316, P329, P384, P409, P421 et P427) qui n'étaient pas clairement positionnés dans les 6 premiers plans factoriels de l'AFC.

La détermination des espèces caractéristiques pour chaque classe a été réalisée à l'aide du programme VARCAR (tableau V.h). La figure V.9 présente la distribution des 10 classes hiérarchiques en fonction de la profondeur le long de la carotte CO2.

CAH	AFC	Echantillons	Assemblages de diatomées	
			dominantes	sous-dominantes
1	4	P077 P151 P158 P160 P176 P182 P192 P292 P322 P331 P345 P351 P361 P367 P374 P384 P433 P439	Achnanthes delicatula	Fragilaria pinnata Fragilaria species Gyrosigma spencerii
11	2	P103 P109 P113 P119 P123 P125 P188 P206 P212 P216 P226 P230 P242 P248 P284 P288 P316 P329 P341 P402 P409 P415 P421 P427 P445 P449	Chaetoceros sp.	Nitzschia frustulum
111	1a	P083 P127 P131 P141 P147 P172 P186 P234 P254 P258 P262 P264 P268 P272 P276 P280 P299 P305 P314 P479	Amphora coffeaeformis Navicula cincta	Cocconeis placentula Entomoneis p a ludosa
īV	1c	P164 P455 P463	Navicula salinicola	Nitzschia pusilla
v	4	P081	Cyclotella stelligera	Fragilaria construens subsalina
VI	3	P097 P135 P145 P202	Nitzschia liebetruthii	
VII	5	P089 P093 P129	Nitzschia compressa compressa	Amphora atacamae Surirella wetzellii
VIII	1a	P085	Nitzschia hungarica	Amphora veneta Nitzschia communis
IX	1b	P471	Navicula cryptotenella	Amphora atacamana minor Amphora atacamana Navicula carvajaliana Denticula subtilis
X	6	P087 P483	Navicula subinflatoides Navicula phyllepta	Navicula pseudolanceolata

 Tableau V.h: Composition des assemblages de diatomées caractéristiques des classes

 d'échantillons dans la carotte CO2.



Figure V. 9: Carotte CO2 (Coipasa): Répartition des classes hiérarchiques (I à X) le long de la colonne sédimentaire.

V.2. SIGNIFICATION PALEOECOLOGIQUE DES ASSEMBLAGES DE DIATOMEES

S. Ant Alat

Les remarques auto-écologiques sont effectuées pour les espèces caractérisant les assemblages de diatomées mis en évidence par les analyses statistiques multivariées (cf tableau V.h). Ces remarques sont basées sur la calibration actuelle réalisée dans les sites sur l'Altiplano bolivien (cf chapitre IV) et sont comparées aux données de la littérature.

Assemblage I

L'assemblage I est caractérisé principalement par Achnanthes delicatula. Fragilaria pinnata, F. species et Gyrosigma spencerii sont également significatives de cette association.

Achnanthes delicatula est considérée comme une espèce marine et continentale des milieux salés (Germain, 1981). D'après les données de la littérature, elle peut vivre également dans les eaux douces (Hustedt, 1930-1959). On attribue plutôt A. hauckiana, très proche taxonomiquement de A. delicatula, au milieu franchement salé. Dans les bassins de l'Altiplano bolivien, elle vit dans des lagunes de 1 m de profondeur, chlorurées sodiques, son optimum de salinité étant estimé à 15 g.L⁻¹.

Fragilaria pinnata est une espèce tychoplanctonique, généralement considérée comme une forme d'eau douce à oligosaline (0 à 5 g.L⁻¹) (Hustedt, 1957; Witkowski, 1994), pouvant tolérer des variations de la pression osmotique (Cholnoky, 1968). Elle vit actuellement dans des lagunes pelliculaires, chlorurées sodiques, son optimum de salinité est estimé à 7 g.L⁻¹.

Gyrosigma spencerii est observée aussi bien dans les milieux lacustres que dans les milieux fluviatiles. Elle semble avoir une affinité bien définie pour les eaux mésosalines à polysalines. Dans les lacs des plaines du continent nord américain, ses limites de tolérance sont très faibles, comprises entre 12,05 et 12,44 g.L⁻¹ avec un optimum estimé à 12,24 g.L⁻¹ (Fritz *et al.*, 1993). Dans les milieux évaporitiques de l'Altiplano bolivien, elle a été identifiée particulièrement dans le lac Poopò, où elle tolère des profondeurs comprises entre 0,5 et 2 m, dans des eaux chlorurées sodiques. Son optimum de salinité est estimé à 22 g.L⁻¹.

Cet assemblage indique un milieu meso à polysalin dont les eaux sont diluées par des apports en eau douce.
Assemblage II

Cet assemblage est essentiellement caractérisé par Chaetoceros sp.

Chaetoceros sp. La détermination au niveau spécifique de ce genre n'a pas été possible. De manière générale, ce genre se présente sous la forme d'une structure arrondie de moins de 10 μ m de diamètre, possédant une proéminence centrale en forme de "S". L'appartenance au genre *Chaetoceros* de ces structures circulaires a été rendue possible grâce à la présence dans les mêmes lames de frustules du genre *Chaetoceros* ayant conservé leurs flagelles. Ce genre vit actuellement dans les zones d'eau libre les plus profondes (~2 m) du lac Poopò (Servant-Vildary, 1978). Les estimations ont montré que ce genre se développe préférentiellement dans des eaux chlorurées sodiques avec un optimum de salinité à 52 g.L⁻¹.

Nitzschia frustulum est une espèce périphytique ou planctonique (Descourtieux, 1979; Ehrlich, 1995). Dans les bassins du Lipez, elle a été rencontrée dans des lagunes de 1 à 2 m de profondeur (Servant-Vildary et Roux, 1990b). Elle est considérée par Cholnoky (1968) comme une véritable espèce des eaux intérieures salées, par Ehrlich (1995) comme oligosaline à mésosaline, et par Noël (1984) comme euryhaline (entre 0 et 100‰). Dans les lacs de la Colombie Britannique (Canada), son optimum de salinité a été estimé à 9,8 g.L⁻¹ (Cumming et Smol, 1993). Dans les milieux étudiés, elle est préférentielle des eaux chlorurées sodiques avec un optimum de salinité à 17 g.L⁻¹.

Cet assemblage indique un milieu à surface d'eau libre étendue, caractérisé par une teneur en éléments dissous compris entre 17 et 52 g.L⁻¹.

Assemblage III

Cet assemblage comprend de nombreuses espèces, dont les dominantes sont Amphora coffeaeformis et Navicula cincta.

Amphora coffeaeformis est une espèce épiphyte (fixée sur les macrophytes) ou les substrats pierreux (épilithique). Elle est fréquemment signalée en eau saumâtre et sursalée, avec un grande tolérance à la salinité, 10 et 112‰ (Noël, 1984). Dans le Sud tunisien (Ben Khelifa, 1989) et dans les lacs de l'Afrique de l'Est (Gasse, 1986), elle vit dans des eaux méso-polysalines chlorurées sodiques. Dans les lacs des plaines de l'Amérique du Nord, Fritz *et al.* (1993) estime un optimum de salinité à 8,46 g.L⁻¹. Dans le lac Poopò et sur les bordures du salar de Uyuni, elle semble préférentielle des milieux de faible profondeur chlorurés sodiques, légèrement magnésiens, avec une salinité de 19 g.L⁻¹.

Navicula cincta est une espèce périphytique des eaux salées. Dans les milieux actuels de l'Altiplano, elle vit dans des lagunes pelliculaires. Krammer et Lange-Bertalot (1986) la définissent comme une espèce pouvant supporter les eaux douces comme les eaux salées, et Noël (1984) comme une espèce marine, euryhaline. Dans les lacs des plateaux intérieurs de la province de la Colombie Britannique (Canada), ses limites de tolérance ont été estimées entre 1,04 et 369,31 g.L⁻¹ (Wilson *et al.*, 1994). Dans les bassins évaporitiques de l'Altiplano bolivien, elle serait plutôt caractéristique de milieux oligosalins, chlorurés sodiques, avec un optimum de salinité estimé à 4 g.L⁻¹.

.

The set of

Cocconeis placentula est une espèce épiphyte. Elle caractérise plutôt des milieux fortement oligosalins (2 à 5 g.L⁻¹), chlorurés sulfatés calci-sodiques (Ben Khelifa, 1989). Elle peut également supporter une forte charge ionique puisqu'elle a été observée dans des salinités pouvant atteindre 86 g.L⁻¹ (Noël, 1984). Dans les bassins étudiés, elle caractérise un milieu métasalin (47 g.L⁻¹) chloruré sulfaté calci-magnésien. Sa variété *euglypta* vit également dans des mares chlorurées sulfatées calci-magnésiennes mais semble préférentielle des faibles salinités 3 g.L⁻¹.

Entomoneis paludosa est fréquemment observée sur le littoral marin; elle est notamment présente dans l'ensemble de la mer Baltique (Witkowski, 1994). Elle a également été rencontrée dans les eaux intérieures salées (Ehrlich, 1995). D'une manière générale, elle est considérée dans la littérature comme une forme d'eau peu profonde des eaux mésosalines. Dans les lacs du plateau intérieur de la Colombie Britannique (Canada), ses limites de tolérance ont été estimées entre 0,57 et 39,45 gL⁻¹, avec un optimum de salinité à 4,74 g.L⁻¹ (Wilson *et al.*, 1994). Sur l'Altiplano bolivien, elle est observée essentiellement dans le lac Poopò où elle vit dans des eaux chlorurées sodiques, son optimum de salinité est estimé à 42 g.L⁻¹.

Navicula mutica est une forme ubiquiste, périphytique ou tychoplanctonique (Ehrlich, 1995), vivant aussi bien dans des eaux douces que dans des eaux à haute teneur en composants ioniques (Bourrelly et Manguin, 1952); dans les bassins de l'Altiplano bolivien, elle est caractéristique des eaux fortement sodiques et se développe préférentiellement à une salinité estimée à 54 g.L⁻¹.

Les espèces caractéristiques de cet assemblage traduisent un milieu de faible profondeur. Les deux espèces dominantes seraient plutôt caractéristiques d'eaux oligosalines à mésosalines; alors que les espèces accompagnatrices indiquent des eaux métasalines. Cet assemblage semble donc traduire une certaine euryhalinité du milieu.

Assemblage IV

L'espèce dominante de cet assemblage est Navicula salinicola.

Navicula salinicola est une espèce peu connue dans la littérature. Dans les bassins de l'Altiplano bolivien, elle est particulièrement abondante près du centre du salar de Pastos Grandes (région du Lipez). Elle caractérise des milieux hypersalins chlorurés sodiques, son optimum de salinité est estimé à 91 g.L⁻¹.

Nitzschia pusilla est une espèce périphytique ou planctonique, probablement euryhaline, préférentielle des eaux douces en Europe (Krammer et Lange-Bertalot, 1988), elle pourrait néanmoins tolérer une large gamme de biotopes et de conditions chimiques. En Afrique de l'Est, elle est représentative exclusivement des eaux très alcalines ou/et très salées (Gasse, 1986). Ehrlich et Dor (1985) la signalent jusqu'à 100‰ dans la lagune de Gavish Sabkra en Israël. Dans les bassins de l'Altiplano bolivien, elle est préférentielle des eaux chlorurées sodiques avec un optimum de salinité à 85 g.L⁻¹.

Navicula salinicola caractérise des milieux peu profonds, hypersalins, ceci étant confirmé par *Nitzschia pusilla*. Cet assemblage serait indicateur de lagunes pelliculaires, avec de fortes teneurs en éléments dissous.

<u>Assemblage V</u>

Cet assemblage est caractérisé essentiellement par Cyclotella stelligera.

Cyclotella stelligera est considérée comme une espèce littorale ou planctonique (Leclercq et Fabri, 1984), oligosaline (Hustedt, 1957), mais pouvant supporter une légère salinité (Germain, 1981). Dans les bassins de l'Altiplano bolivien, elle trouve son optimum également dans des eaux oligosalines $(2,51 \text{ g.L}^{-1})$ chlorurées calcisodiques.

Fragilaria construens subsalina est une espèce tychoplanctonique (Ehrlich, 1995), halophile (Hustedt, 1937-39), mésohalobe (Bourrelly et Manguin, 1952), alcaliphile (Ehrlich, 1995). Actuellement, elle est identifiée sur les bordures du salar de Uyuni dans des eaux chlorurées sulfatées calci-sodiques et magnésiennes avec un optimum de salinité estimé à 2,69 g L⁻¹.

Cet assemblage est indicateur d'un milieu relativement profond oligosalin.

Assemblage VI

Nitzschia liebetruthii est l'espèce dominante de cet assemblage.

Nitzschia liebetruthii n'a pas une écologie très bien définie compte tenu des incertitudes de détermination taxonomique. Elle a été rencontrée dans des milieux marins et continentaux salés. Elle a été récemment observée dans des lacs salés de la province de la Colombie Britannique (Canada), dont la composition ionique des eaux est dominée par le magnésium et les sulfates avec un optimum de salinité estimé à 27,6 g.L⁻¹ (Cumming et Smol, 1993); dans les lacs des plateaux intérieurs de la même province canadienne, ses limites de tolérance sont beaucoup plus larges, comprises entre 0,96 et 369,31 g.L⁻¹ (Wilson *et al.*, 1994). Dans les bassins de la région du Lipez, elle se développe dans des lagunes de 1 m de profondeur, son optimum de salinité est de 26,31 g.L⁻¹, dans des eaux dominées par le chlore et le sodium.

Cette espèce caractérise un milieu peu profond et des eaux polysalines.

Assemblage VII

Nitzschia compressa compressa accompagnée par Amphora atacamae et Surirrella wetzelii sont les espèces dominantes de cet assemblage.

Nitzschia compressa compressa est une espèce observée communément dans les zones côtières marines. Dans les salins de Giraud (France), elle a été identifiée jusqu'à 52‰ (Noël, 1984). Dans le bassin de Bardawil (Israël), Ehrlich (1975) l'a observée à proximité de zones alimentées par des eaux marines. Dans les milieux actuels boliviens, elle caractérise des eaux chlorurées sodiques, avec un optimum de salinité estimé à $48,42 \text{ g.L}^{-1}$.

Amphora atacamae est une espèce endémique au milieu andin, identifiée par Frenguelli (1929) dans les salars de l'Atacama. Bien qu'elle ait été observée seulement dans 5 échantillons, les estimations obtenues indiquent qu'elle se développerait préférentiellement dans des eaux chlorurées calci-sodiques, à une salinité égale à 7,85 g.L⁻¹.

Surirella wetzelii a été identifiée par Hustedt (1927) dans les salars de l'Atacama. Cette espèce, également endémique des milieux étudiés, a été observée dans les bassins du Lipez et sur les bordures du salar de Uyuni. Les estimations montrent qu'elle caractérise des eaux chlorurées sodiques, son optimum de salinité est de 32,46 g.L⁻¹.

Cet assemblage traduit un milieu de très faible profondeur, dans une gamme de salinité eu- à métasaline.

Assemblage VIII

Cet assemblage est principalement défini par Nitzschia hungarica, accompagnée par Amphora veneta et Nitzschia communis.

Nitzschia hungarica. Espèce périphytique, elle est généralement signalée dans la littérature comme une espèce des eaux franchement douces (Bourrelly-Manguin, 1952; Patrick, 1961; Iltis, 1972; Germain, 1981; Leclercq et Fabri, 1984; Ehrlich, 1995). Dans les milieux actuels boliviens, elle est abondante dans les eaux salées (22,42 g.L⁻¹) dans des lagunes chlorurées sulfatées sodiques, peu profondes.

Amphora veneta est une espèce épipélique ou épiphytique (Ehrlich, 1995). Elle est considérée par lltis (1972) comme une espèce cosmopolite littorale des eaux douces et saumâtres. Dans le Sud tunisien, cette espèce s'observe dans différents environnements écologiques, et se développe abondamment dans des eaux oligosalines chlorurées sulfatées calci-sodiques (Ben Khelifa, 1989). Krammer et Lange-Bertalot (1986) la considèrent strictement comme une forme d'eau douce, alors que dans les plaines du continent nord américain, son optimum de salinité a été estimé à 7,32 g.L⁻¹, pouvant tolérer des salinités comprises entre 3,29 et 16,25 g L⁻¹ (Fritz *et al.*, 1993). Dans les bassins du Lipez, elle a été observée dans des lagunes de 1 à 2 m de profondeur, dans des eaux chlorurées sodiques avec un développement optimal vers 17 g.L⁻¹.

Nitzschia communis est une espèce des milieux oligosalins à mésosalins. En Afrique de l'Est, elle est présente dans des sources chaudes, et peut apparaître en forme planctonique (Gasse, 1986). Sur l'Altiplano bolivien, elle est préférentielle des eaux chlorurées sodiques, légèrement magnésiennes, à 19 gL^{-1} .

Cet assemblage caractérise un milieu pelliculaire avec des salinités comprises entre 17 et 23 g.L⁻¹.

Assemblage IX

Cet assemblage est principalement caractérisé par Navicula cryptotenella.

Navicula cryptotenella est une espèce oligosaline d'après Ehrlich (1995). Dans les lacs du plateau intérieur de la province de la Colombie Britannique (Canada), elle vit dans des milieux franchement d'eau douce où ses limites de tolérance sont très faibles, comprises entre 0,07 et $0,24 \text{ g.L}^{-1}$ avec un optimum à $0,13 \text{ g.L}^{-1}$

(Wilson *et al.*, 1994). Sur l'Altiplano bolivien, elle est préférentielle des eaux mésosalines (16,44 g.L⁻¹) chlorurées sodiques et magnésiennes.

Amphora atacamana a été définie par Patrick (1961), dans les salars de l'Atacama. Elles est aussi présente dans les salars de l'Altiplano bolivien où elle se développe dans des eaux chlorurées sodiques avec un optimum de salinité à 58,56 g.L⁻¹.

Remarque: nous avons défini la variété *Amphora atacamana minor* qui présentait dans la flore une taille plus réduite que l'espèce.

Denticula subtilis est considérée comme une espèce benthique caractéristique des eaux mésosalines à métasalines $(13-45 \text{ g.L}^{-1})$. Elle est fréquemment observée dans des eaux salées (Krammer et Lange-Bertalot, 1988) et dans les estuaires marins (Poulin *et al.*, 1987). Elle est rare dans les milieux actuels de l'Altiplano bolivien.

Navicula carvajaliana a été identifiée également par Patrick (1961). Elle n'a pas été observée dans les milieux actuels.

D'après les estimations obtenues sur l'espèce Navicula cryptotenella, cet assemblage indiquerait un milieu peu profond, avec des teneurs en éléments dissous de l'ordre de 17 g.L⁻¹. Néanmoins, l'espèce Amphora atacamana semble indiquer une tolérance à des salinités plus élevées.

Assemblage X

Navicula subinflatoïdes et Navicula phyllepta sont caractéristiques de cet assemblage.

Navicula subinflatoïdes est très peu connue dans la littérature. Elle est signalée dans le Nord-Ouest des Etats-Unis dans des eaux chlorurées sodiques à une salinité de 125 g.L⁻¹ (Blinn, 1993). Dans les bassins de l'Altiplano bolivien, elle est préférentielle des eaux chlorurées sodiques magnésiennes à un optimum de salinité de 16,44 g.L⁻¹.

Navicula phyllepta peut être rencontrée dans des milieux marins, mais jamais en eau strictement douce (Germain, 1981). Krammer et Lange-Bertalot (1986) la signale en Europe comme pouvant vivre dans des eaux douces. Noël (1984) donne des limites de tolérance comprises entre 14-64 ‰. Cette espèce est très commune dans les bassins de l'Altiplano bolivien. Elle se développe préférentiellement dans des eaux chlorurées sodiques à un optimum de salinité estimé à 19,30 g.L⁻¹.

Navicula pseudolanceolata vit actuellement dans les bassins du Lipez, dans des lagunes pelliculaires, chlorurées sodiques, son optimum de salinité estimé est de 30 g L^{-1} .

Cet assemblage indique un milieu peu profond et des salinités comprises entre 16 et 30 g.L⁻¹.

V.3. RECONSTITUTION DES VARIATIONS DES NIVEAUX LACUSTRES, DE LA COMPOSITION IONIQUE ET DE LA SALINITE

Les variations relatives des niveaux lacustres sont déterminées en considérant les variations d'abondance (exprimées en pourcentage) des espèces planctoniques. (figure V.12).

Les variations de la composition ionique et de la salinité sont estimées à partir des fonctions de transfert établies d'après la calibration floristique/salinité/composants ioniques sur les milieux actuels (cf chapitre IV). Les résultats des estimations sur la composition ionique sont présentés sous forme de diagrammes triangulaires, exprimant la proportion relative de chaque composant ionique (figure V.11.a). Les valeurs exprimées en mMol.L⁻¹ pour les composants ioniques sont disponibles en annexe III. Les variations de la salinité sont représentées sur la figure V.12, exprimée en g.L⁻¹. Le calcul de la balance ionique sur l'ensemble des échantillons montre que l'équilibre chimique est respecté, la corrélation entre la somme des charges des cations et des anions étant égale à 0,92 (figure V.10).



Figure V.10: Carotte CO2 (Coipasa): Balance ionique des cations et des anions estimés par fonction de transfert.

Les estimations obtenues par les fonctions de transfert montrent que les faciès ioniques sont restés essentiellement de type chloruré-sodique entre ca 21 000 et ca 17 800 ans B.P. (figure V.11.a). Seuls quelques échantillons présentent de plus

fortes teneurs en calcium (P160, P172, P176, P182, P186, P268, P341, P361, P374, P439), l'échantillon P471 se différencie par une forte valeur d'alcalinité et par une plus forte teneur en magnésium, en calcium et en potassium.

Chaque assemblage de diatomées défini à partir des classes hiérarchiques présente une gamme de salinité bien définie. Cela suggère que ce paramètre a joué un rôle déterminant dans la modification des assemblages de diatomées (figure V.11.b). Seule la classe III, dominée par les espèces *Amphora coffeaeformis* et *Navicula cincta*, ne donne pas une indication précise de la salinité.

Entre ca 21 000 et ca 20700 ans B.P., la composition des assemblages de diatomées se modifient à chaque niveau étudié, à l'exception des relevés situés à 463 et 455 cm qui contiennent le même assemblage.

- 483 cm. Assemblage X, dominé par *Navicula subinflatoïdes*, les eaux seraient de type chloruré sodique magnésien; salinité estimée : 19 g.L^{-1}

- 479 cm. Assemblage III, dominé par *Amphora coffeaeformis*, les eaux seraient du même type que dans l'échantillon précédent; salinité estimée : 25 g.L⁻¹

- 471 cm. Assemblage IX, dominé par *Navicula cryptotenella*, la composition ionique ne se serait pas modifiée; salinité estimée : 4 g.L^{-1}

- entre 463 et 455 cm. Assemblage IV, dominé par *Navicula salinicola*, le caractère magnésien des eaux s'affaiblit, le lac devient typiquement chloruré sodique; salinité comprise entre 52 et 76 g.L⁻¹.

Les assemblages de diatomées dans lesquels les espèces planctoniques sont absentes suggèrent un plan d'eau très peu profond, un faciès chimique d'abord chloruré sodique magnésien qui devient au moment où la salinité augmente, typiquement chloruré sodique. A 471 cm, la salinité diminue sans que cela soit accompagné d'une élévation du plan d'eau.

De ca 20 700 ans B.P. à ca 19 500 ans B.P., le plan d'eau s'élève et/ou la surface d'eau libre s'agrandit (*Chaetoceros sp.*), la salinité décroît (33 et 39 g.L⁻¹) par rapport à la phase précédente. Les sédiments contiennent ensuite en alternance les assemblages I (*Achnanthes delicatula*) et II (*Chaetoceros sp.*). Cette alternance suggère des épisodes pendant lesquels il y a eu apports d'eau dans le bassin, se traduisant par une légère diminution de la salinité (assemblage I), suivie par une légère élévation du plan d'eau (assemblage II).

De ca 19 500 ans B.P. à ca 18 680 ans B.P., les sédiments contiennent en alternance les assemblages II (*Chaetoceros sp.*) et III (*Amphora coffeaeformis*). Cette alternance suggère une forte variabilité des plans d'eau, le lac passe très rapidement



Figure V. 11: Carotte CO2 (Coipasa):

a- Composition ionique estimée par fonction de transfert

b- Gamme de salinité estimée par fonction de transfert pour chaque classe hiérarchique.





d'un plan d'eau pelliculaire (assemblage III) à un lac peu profond (assemblage II). Les salinités sont comprises entre 20 et 31 g.L⁻¹.

A partir de ca 18 680 ans B.P., les sédiments sont laminés. Bien que les diatomées n'aient pas été étudiées au niveau de chaque lamine, la maille de l'échantillonnage est suffisante pour mettre en évidence une variabilité à court terme des conditions du milieu. Différents assemblages de diatomées s'intercalent (VI, I, II, IV, III et V). Les conditions hydrologiques sont très variables, de même que la salinité. Le lac passait par des phases où la nappe d'eau était pelliculaire et des phases où le plan d'eau s'élevait légèrement. Les salinités sont également très variables, comprises entre 10 et 50 g.L⁻¹.

En résumé, la carotte CO2, située dans la partie sud du bassin de Coipasa, indique qu'entre ca 21 000 ans B.P. et ca 17 800 ans B.P., ce bassin recevait suffisamment d'apports en eau pour maintenir la présence d'une nappe d'eau peu profonde sur toute sa surface. Les estimations de la salinité à partir des assemblages de diatomées indiquent que ce lac a toujours été salé. Actuellement, cette nappe d'eau a une extension plus limitée, elle est localisée dans la partie Nord du bassin et elle est alimentée par les apports du *rio* Lauca. Cette étude montre que les conditions climatiques étaient donc plus humides qu'actuellement. La grande similarité observée entre la flore actuelle du lac Poopò (Servant-Vildary, 1978 b) et la flore fossile du lac Coipasa suggère que ce lac a connu, au cours du dernier maximum glaciaire, un fonctionnement hydrologique très proche de celui des nappes d'eau actuelles du lac Poopò.

VI. PALEOENVIRONNEMENTS AU TARDIGLACIAIRE ET A L'HOLOCENE ANCIEN DANS LES BASSINS DE COIPASA ET DE UYUNI

Les paléoenvironnements aquatiques sont reconstitués à partir de l'étude des diatomées contenues dans les sédiments qui affleurent au Nord du salar de Uyuni (Churacari Bajo CB, Pakollo Jahuira PJ), au Sud du salar de Coipasa (site Tauca I, J), et dans les biohermes algaires prélevés sur la croûte carbonatée C (cf chapitre II, figure II.2). Dans le sondage UA situé au centre du salar de Uyuni, seuls les niveaux L1 et L2 correspondant respectivement à l'événement *Coipasa* et à la période *Tauca* ont fait l'objet d'une étude de diatomées. Les frustules sont présents, mais sont trop dissous chimiquement pour permettre une étude détaillée. L'identification de quelques frustules montre néanmoins que la flore n'est pas différente de celles mises en évidence dans les affleurements de bordure et de versant.

VI.1. LA FLORE DE DIATOMEES FOSSILES

VI.1.1. L'AFFLEUREMENT DE CHURACARI BAJO (CB)

Cet affleurement est situé sur le versant nord du salar de Uyuni à 3685 m d'altitude (cf chapitre II, figure II.2). Six datations radiocarbone situent la coupe à 160 cm à 12 850±50 ans B.P. (OBDY 1291), à 158 cm à 13 190±50 ans B.P. (OBDY 1289), à 156 cm à 13 530±50 ans B.P. (OBDY 879), à 92 cm à 12 380±50 ans B.P. (OBDY 919) et 12 990±40 ans B.P. (OBDY 916) et à 9 cm à 11 860±60 ans B.P. (OBDY 969). Un âge de ~14 500 ans à 240 cm a été estimé à partir des taux de sédimentation calculé entre 92 cm et 156 cm. Nous considérons d'après 3 datations uranium-thorium que ces âges radiocarbone ont une validité satisfaisante (cf chapitre II, § II.2).

VI.1.1.1. DESCRIPTION DE LA FLORE DE DIATOMEES FOSSILES

177 taxons, répartis en 29 genres ont été déterminés dans 51 échantillons (numérotés C + profondeur en cm), dont 23 ont été microprélevés dans la zone laminée (unité lithologique B). L'abondance relative des espèces par rapport à la flore totale pour chaque échantillon est présentée dans le tableau quadrangulaire en annexe V.

La diversité spécifique varie entre 9 et 51 espèces par échantillon (figure VI.1). La flore la plus diversifiée se trouve dans l'unité lithologique A. Dans la zone laminée (unité lithologique B), la diversité spécifique varie entre 9 et 40 espèces

suivant les échantillons, les plus riches étant situés à la base (C235, C233, C230). Certains échantillons (C119, C124, C125, C174, C223, C224) comprennent seulement 9 à 10 espèces. Dans les unités lithologiques C et D, les échantillons comportent en moyenne 17 espèces.

La teneur en diatomées varie entre 0,9 et 1546*10⁶ valves par gramme de sédiment sec (figure VI.1). Les teneurs les plus faibles sont observées dans les unités lithologiques C et D. Dans ces unités, la teneur varie entre 2 et 47*10⁶. Cependant, des marques de dissolution observées sur les valves des diatomées laissent penser que cette évaluation est sous-estimée. La comparaison des teneurs en valves de diatomées entre le sondage CO2 (cf chapitre V, § V.1.1.; teneur moyenne: 5,10*10⁶ valves par gramme de sédiment sec) et l'affleurement de Churacari Bajo CB (teneur moyenne: 143,78*10⁶ valves par gramme de sédiment sec) montre que les conditions étaient très favorables au développement des diatomées ou que l'apport en éléments détritiques était moindre.

Les variations de la composition spécifique des assemblages de diatomées sont illustrées par la figure VI.1, dans laquelle les variations relatives des espèces périphytiques, tychoplanctoniques et planctoniques sont considérées comme indicatrices des variations de l'altitude du plan d'eau. La figure VI.2 donne l'évolution des espèces les plus abondantes, indicatrices des variations du plan d'eau et/ou de la salinité.

Entre 275 cm et 240 cm, la flore de diatomées est dominée par des formes tychoplanctoniques, représentant plus de 75% des assemblages. Entre 240 cm et 120 cm, la sédimentation devient très finement laminée. La flore est dominée soit par des espèces épiphytes, soit par des formes tychoplanctoniques. A partir de 119 cm, la sédimentation et la flore des diatomées se modifient: la sédimentation laminaire disparaît pour être remplacée par un sédiment argilo-limoneux massif; les diatomées épiphytes et tychoplanctoniques sont remplacées par une flore dominée par des espèces planctoniques. Une transition est néanmoins visible entre 120 et 80 cm (unité lithologique C). Les sédiments sont caractérisés par un mélange de faunes (coquilles de Gastéropodes, Ostracodes) et de flores (Characées, Diatomées) planctoniques et benthiques. A partir de 80 cm, les formes planctoniques, représentées essentiellement par *Cyclotella sp.*, atteignent 60 à 90% de la flore. Les frustules de cette espèce sont fortement dissous chimiquement. Sur l'ensemble des échantillons analysés, la présence de frustules à divers stades de dissolution, a permis d'attribuer ce genre à l'espèce *Cyclotella striata*.



Figure VI. 1: Affleurement de Churacari Bajo CB (altitude: 3685 m): Variations en fonction de la profondeur (cm) du nombre d'espèces, du nombre de valves (10⁶ g/sed. sec), du pourcentage par échantillon des espèces périphytiques, tychoplanctoniques et planctoniques.



Figure VI. 2: Affleurement de Churacari Bajo CB (altitude: 3685 m): Variations en fonction de la profondeur (cm) du pourcentage par échantillon des espèces de diatomées dominantes.

150

VI.1.1.2. DEFINITION DE LA SUCCESSION DES ASSEMBLAGES DE DIATOMEES PAR LES ANALYSES STATISTIQUES MULTIVARIEES

VI.1.1.2.1. Analyse factorielle des correspondances (AFC)

L'AFC considère un ensemble i de 177 espèces de diatomées définies par leur abondance dans un ensemble j de 51 échantillons. Les dix premiers facteurs représentent 72,51% de la variance totale, les 5 premiers axes concentrant 51% de l'inertie du nuage, c'est-à-dire la moitié de l'information (tableau VI.a).

Axes	Valeur propre	% Inertie	Inertie cumulée
1	0,9	16,03	16,03
2	0,75	13,29	29,32
3	0,5	8,88	38,2
4	0,41	7,24	45,44
5	0,35	6,2	51,64
6	0,3	5,37	57,01
7	0,25	4,55	61,56
8	0,22	3,9	65,46
9	0,2	3,68	69,14
10	0,19	3,37	72,51

Tableau VI.a: Affleurement de Churacari Bajo (CB): Valeurs propres et inertiedes 10 premiers facteurs de l'AFC.

Le plan 1-2 met en évidence 3 groupes de relevés (figure VI.3). L'axe 1 définit deux groupes opposés l'un par rapport à l'autre. Du côté positif de l'axe 1, le groupe la comprend les échantillons situés à la base de la coupe (unité lithologique A); du côté négatif le groupe 2a comprend les échantillons situés au sommet de la coupe (unités lithologiques C et D).

L'ensemble des échantillons composant le groupe la présente des contributions absolues significatives (CTR>2*1000/51= 39), comme c'est le cas pour les échantillons C242 et C272 dont les CTR sont respectivement égales à 64 et 50. Ils contribuent à la définition de l'axe. Ils présentent également de très bonnes contributions relatives (QLT) de l'ordre de 64% à 90%. L'axe 1 est expliqué et explique donc le comportement de ces échantillons. Seuls les échantillons C233, C235, C250 et C274 présentent de faibles contributions. Ils restent néanmoins rattachés à ce groupe. Ce groupe est associé principalement à l'espèce *Fragilaria atomus* (FAT), présentant une très forte contribution absolue (CTR>20) égale à 215 et une contribution relative de 64%. *F. construens* var. *subsalina* contribue également à la formation de l'axe mais dans une moindre mesure puisque sa contribution absolue est égale à 25 et sa contribution relative à 45%. Ces deux espèces sont accompagnées par





d'autres espèces du genre Fragilaria (F. brevistriata, F. capucina et F. species) et par un cortège d'espèces périphytiques telles que Achnanthes lanceolata, Navicula capitata capitata, Gomphonema parvulum.

L'ensemble des échantillons composant le groupe 2a (C009 à C115) contribue à la définition de l'axe. Ils possèdent de fortes contributions absolues et des contributions relatives comprises entre 60 à 78%. Seul l'échantillon C115 (CTR=50) présente une mauvaise contribution relative (QLT=10%). Il contribue à la définition de l'axe, mais n'est pas complètement expliqué par ce facteur. Ce groupe est défini principalement par l'espèce *Cyclotella striata* avec une contribution absolue égale à 376. Elle est accompagnée par quelques espèces telles que *Mastogloia elliptica*, *Pleurosigma salinarum* et *Paralia sulcata*.

L'axe 2 définit le groupe 3a, situé du côté positif de l'axe. Il regroupe les échantillons de la zone laminée (unité lithologique B). L'ensemble des échantillons présente des contributions absolues supérieures à 39, et des contributions relatives comprises entre 55% et 95%. Ils sont associés principalement à Achnanthes brevipes, Cocconeis placentula var. euglypta, Fragilaria pinnata et dans une moindre mesure à Rhopalodia gibberula. Ces espèces sont accompagnées par Achnanthes longipes, Amphora coffeaeformis, Surirella striatula et Rhopalodia acuminata.

Le plan 2-3 individualise sur l'axe 3 du groupe 2a, l'échantillon C115 (groupe 2b) qui présente la spécificité d'être caractérisé par une très forte abondance de l'espèce *Paralia sulcata* (figure VI.4).

Le plan 3-4 permet de mettre en évidence sur l'axe 4 une séparation en 2 sousgroupes du groupe 1a (figure VI.5). Il oppose 2 sous-groupes 1b et 1c, l'essentiel des échantillons du groupe 1a étant au centre du plan factoriel. Le groupe 1b est composé de l'échantillon C274, défini par l'espèce Navicula capitata capitata. Cette espèce présente une contribution relative de l'ordre de 75%. L'échantillon C272 est proche de ce groupe par la présence en plus faible pourcentage dans son assemblage de la même espèce. Le groupe 1c, composé des échantillons C182, C230, C233, C235 et C250, est caractérisé principalement par les espèces Amphora veneta et Epithemia adnata.

Il est intéressant de poursuivre l'analyse jusqu'au plan 4 - 5 (figure VI.6), puisque l'axe 5 met en évidence au sein du groupe 3a, 2 sous-groupes opposés l'un à l'autre. Le groupe 3b est composé des échantillons C119, C124 et C125. Leurs contributions absolues sont respectivement comprises entre 149 et 278 et sont expliqués à 70% par ce facteur. Ils sont caractérisés principalement par *Rhopalodia* gibberula (CTR=437; QLT=68%) et par *Gyrosigma spencerii* (CTR=196; QLT= 71,5%). Le groupe 3c, situé du côté positif de l'axe, comporte un seul échantillon C179, participant très fortement à la définition de l'axe (CTR= 277) et expliqué à 35% par ce facteur. Il est caractérisé par *Nitzschia amphibia*, qui participe très fortement à la définition de l'axe (CTR=243).





(les axes 2 et 3 représentent 22,17% de l'inertie totale du nuage de points)



Figure VI. 5: Affleurement de Churacari Bajo (CB): Plan factoriel 3-4 sur les échantillons. -51 échantillons ; 177 espèces -(les axes 3 et 4 représentent 16,12% de l'inertie totale du nuage de points)





VI.1.1.2.2. Classification ascendante hiérarchique (CAH)

Bien que l'AFC sur les 5 premiers axes fasse apparaître des groupes d'échantillons bien individualisés, une CAH, réalisée simultanément sur les 10 premiers axes, est nécessaire afin de dégager plus précisément la structure de la distribution des relevés.

Compte tenu des résultats obtenus par l'AFC, la classification a été coupée au noeud 94 (figure VI.7) faisant apparaître neuf classes d'échantillons. Le groupe 2a de l'AFC est éclaté en deux classes par la CAH, la classe I (noeud 90) et la classe II (noeud 89). Le groupe 2b est maintenu séparé de l'ensemble des échantillons de ce groupe: il est rattaché au dendogramme à son niveau supérieur au noeud 101, définissant la classe IX. Les groupes 1a et 1b, séparés par l'axe 4 dans l'AFC, sont rapprochés par la CAH dans la classe IV. Seul l'échantillon C274 est rattaché à un niveau très haut du dendogramme (noeud 93). Le groupe 1c constitue la classe III (noeud 92). La CAH conserve les deux groupes 3b (classe VII, noeud 87) et 3c (classe VIII, noeud 100); elle éclate le groupe 3a en deux classes (classe V, noeud 88; classe VI, noeud 86). La détermination des espèces caractéristiques de chaque classe a été réalisée par le programme VARCAR. Les résultats sont présentés dans le tableau VI.b et dans le diagramme synthétique de la figure VI.8.

CAH	AFC	Echantillons	Diatomées dominantes	Unités Lithologiques
I	2-a	C009 C014 C022 C034 C040 C053 C054 C056 C060 C063 C066 C106 C112		
11		C098 C100	Cyclotella striata Paralia sulcata	C-D
IX	2-b	C115	Paralia sulcata	
VII	3-b	C119 C124 C125	Rhopalodia gibberula Gyrosigma spencerii	
v	-	C135 C137 C187 C190	Fragilaria pinnata	
VI	3-a	C149 C151 C154 C170 C174 C176 C204 C223 C224	Cocconeis placentula var. euglypta Achnanthes brevipes	В
VIII	3-с	C179	Nitzschia amphibia Fragilaria pinnata	
111	1-c	C182 C202 C212 C230 C233 C235 C250	Fragilaria construens var. subsalina Epithemia adnata Amphora veneta Achnanthes delicatula	A
IV	1-a	C242 C243 C248 C252 C253 C255 C262 C273 C275	Fragilaria atomus	
	1-b	C274 C272	Navicula capitata capitata	

 Tableau VI.b: Définition des assemblages de diatomées caractéristiques des classes

 définies par la CAH dans l'affleurement de Churacari Bajo (CB).



Figure VI. 7: Affleurement de Churacari Bajo (CB): Dendogramme de la CAH sur les 51 échantillons.

158



Figure VI. 8: Affleurement Churacari Bajo (CB): Répartition des classes hiérarchiques le long de la colonne sédimentaire et caractérisation des espèces dominantes des trois épisodes lacustres (Ià III).

VI.1.2. L'AFFLEUREMENT PAKOLLO JAHUIRA (PJ)

Cet affleurement est situé sur la bordure nord du salar de Uyuni à 3657 m d'altitude (cf chapitre II, figure II.2). La base de la coupe est datée de $15 430 \pm 80^{14} \text{C}$ ans B.P. et le sommet *ca* 8 760 ans B.P. (âge corrigé de l'effet réservoir).

Sur les 12 échantillons prélevés (numérotés J0 + profondeur en cm), seuls 8 échantillons ont conservé des frustules de diatomées identifiables. A 42 cm, et de 18 cm au sommet, les frustules présentent une importante dissolution chimique. Sur les 8 échantillons étudiés, 43 taxons de diatomées ont été déterminés. L'abondance relative des espèces par rapport à la flore totale pour chaque échantillon est présentée dans le tableau quadrangulaire en annexe V.

A la base (57 cm), l'assemblage des diatomées est caractérisé par une dominance de *Denticula subtilis* (69%) (figure VI.9). Elle est accompagnée par *Achnanthes brevipes* et *A. delicatula*. A 50 cm et 47 cm, *Achnanthes brevipes* (54%) devient dominante aux dépens de *Denticula subtilis* qui ne représente plus que 13% de l'assemblage. A partir de 38 cm, l'assemblage est dominé par l'espèce *Cyclotella striata* qui augmente jusqu'à 80% à 19 cm du sommet de la coupe.

VI.1.3. LES AFFLEUREMENTS DU SITE TAUCA (I, J)

Ces deux affleurements sont situés sur la bordure sud du salar de Coipasa à 3657 m d'altitude (cf chapitre II, figure II.2). Sur les neuf échantillons (notés BT) prélevés sur les deux affleurements, seuls cinq présentent des frustules suffisamment bien conservés pour permettre une détermination spécifique. Ils contiennent essentiellement l'espèce *Denticula subtilis* (80 à 90%) accompagnée de 5 autres espèces très mal conservées (figure VI.10).

VI.1.4. LES DIATOMEES DANS LES BIOHERMES ALGAIRES

L'observation des échantillons de diatomées dans les biohermes algaires a été effectuée à trois niveaux altitudinaux sur la bordure des bassins de Coipasa et de Uyuni. Des 13 échantillons étudiés (notés S), seulement 6 contiennent des diatomées, la plupart étant très érodées chimiquement. Dans un échantillon, des "fantômes de diatomées" sont reconnaissables. La diversité spécifique est extrêmement faible et nous considérons que l'espèce dominante est révélatrice du milieu.

Sur la basse terrasse à 3657 m d'altitude (cf chapitre II, figure II.2), sept échantillons ont été prélevés. Un échantillon provenant de la croûte carbonatée C, ne comporte pas de diatomées, et six échantillons proviennent des biohermes reposant sur



Figure VI. 9: Affleurement Pakollo Jahuira PJ (altitude: 3657 m): Variations en fonction de la profondeur (cm) du pourcentage par échantillon des espèces de diatomées dominantes.

161



Figure VI. 10 : Affleurements I et J (altitude: 3660 m): Variations du pourcentage par échantillon des deux genres dominants.

la croûte carbonatée C. Parmi ceux-ci, un (S48) est azoïque, quatre (S19, S22, S23, S47) sont composés à plus de 90% par *Denticula subtilis*, et le dernier (S20) est composé par *Navicula salinicola* (58%).

Des cinq échantillons prélevés dans les biohermes algaires à 3670-3680 m d'altitude, tous sont azoïques, sauf l'un d'entre eux qui contient des "fantômes de frustules".

Sur les deux échantillons prélevés dans les biohermes situés à la plus haute altitude (3760 m), seul l'un d'entre eux (S37) présente des diatomées (85% Cyclotella striata).

VI.2. SIGNIFICATION PALEOECOLOGIQUE DES DIATOMEES CARACTERISTIQUES DES MILIEUX LACUSTRES

Les remarques auto-écologiques sur chaque espèce sont basées sur les estimations des *optima* de développement de chaque espèce, obtenues à partir des fonctions de transfert (relations flore / salinité / composition chimique) établies sur les milieux actuels du sud de l'Altiplano bolivien (cf chapitre IV), et sont comparés aux données de la littérature. Nous ne reviendrons pas sur l'écologie des espèces identifiées lors de l'étude de la carotte CO2 (cf chapitre V, § V.2).

VI.2.1. LES DIATOMEES INDICATRICES DE MILIEUX DE FAIBLE PROFONDEUR OLIGOSALINS

Les espèces caractéristiques de ce milieu sont *Epithemia adnata* et *Navicula* capitata capitata.

Epithemia adnata est considérée comme une espèce épiphytique (Patrick et Reimer, 1975; Germain, 1981; Ehrlich, 1995), oligohalobe à mésohalobe (Pierre, 1969), alcaliphile (Ehrlich, 1995). Dans les plaines du Nord des Etats-Unis, son optimum de salinité a été estimé à $2,17 \text{ g.L}^{-1}$ (Fritz *et al.*, 1993). Sur la bordure du salar de Uyuni, cette espèce est observée principalement dans deux relevés (SU03, SU04) où elle représente 5 et 8 % des assemblages. Les estimations montrent qu'elle est préférentielle des eaux chlorurées sulfatées calci-sodiques avec un optimum de salinité de 1 g.L⁻¹.

Navicula capitata capitata est une espèce périphytique. Considérée généralement comme une forme oligosaline (Foged, 1980), elle possède néanmoins une large tolérance aux variations de la salinité, du pH et de la composition ionique (Patrick et Reimer, 1975; Gasse, 1986). Cette espèce n'a pas été observée dans les eaux actuelles des bassins de l'Altiplano bolivien.

VI.2.2. LES DIATOMEES INDICATRICES DE MILIEUX DE FAIBLE PROFONDEUR OLIGOSALINS A MESOSALINS

Les espèces Achnanthes delicatula, Amphora veneta, Denticula subtilis et Gyrosigma spencerii, caractéristiques de ce milieu ont été également identifiées dans la carotte CO2 (cf chapitre V, § V.2.).

Achnanthes brevipes est une espèce littorale, périphytique ou épiphytique, cosmopolite (Gardette, 1979), généralement observée dans les milieux côtiers marins, dans les estuaires et dans les eaux salines continentales (Krammer et Lange-Bertalot, 1991; Hendey, 1964). Considérée par Hustedt (1938) comme mésohalobe, pouvant tolérer une salinité comprise entre 3 et 16 g.L⁻¹ (Servant-Vildary, 1978a), Ben Khelifa (1989) l'a observée en forte abondance dans des lacs salés chlorurés sodiques dans le Sud de la Tunisie. Dans les salars de l'Altiplano bolivien, elle vit actuellement préférentiellement dans des eaux chlorurées sodiques magnésiennes, et se développe à un optimum de salinité estimé à 14,88 g.L⁻¹.

Cocconeis placentula var. *euglypta* est considérée comme épiphytique (Gasse, 1980), alcaliphile (Cholnoky 1968), euryhaline (Bourrelly et Manguin, 1952), très euryhaline (Iltis, 1972; Ben Khelifa, 1989). Elle est également observée dans des milieux hypersalins avec des salinités pouvant atteindre 84 g.L⁻¹ (Noël, 1984). Dans le Sud tunisien, elle est observée abondamment dans des eaux chlorurées sulfatées calci-sodiques (Ben Khelifa, 1989). Elle a été observée essentiellement sur les bordures du salar de Uyuni et dans la *laguna* Chiar Kkota, où elle représente respectivement moins de 3 % et moins de 1 % des assemblages. D'après les estimations obtenues, elle semble préférentielle des eaux chlorurées sulfatées calci-sodiques et magnésiennes, son optimum de salinité étant estimé à 2,80 g.L⁻¹.

Nitzschia amphibia est une espèce épiphyte, commune sur les macrophytes (Germain, 1981). Son habitat de plus grand développement est le littoral des lacs et étangs (Bourrelly et Manguin, 1952). Elle est considérée comme une forme oligosaline à faiblement saumâtre (Foged, 1980; Cleve-Euler, 1952; Hustedt, 1957; Schoeman, 1973). Actuellement, dans les bassins de l'Altiplano bolivien, elle semble préférentielle des milieux chlorurés sodiques et magnésiens, à un optimum de salinité estimé à 18,54 g.L⁻¹.

Rhopalodia gibberula est une espèce épiphyte, oligosaline à mésosaline (Ehrlich, 1995). Gasse (1986) considère cette espèce comme eurysaline, préférant les eaux mésosalines à hypersalines. Actuellement, elle est présente sur la bordure du salar de Uyuni et dans la *laguna* Chiar Kkota (moins de 6% des assemblages). Les

estimations obtenues montrent qu'elle est préférentielle des eaux chlorurées sulfatées calci-sodiques et magnésiennes à un optimum de salinité de 2,53 g.L⁻¹.

VI.2.3. LES DIATOMEES INDICATRICES D'APPORTS EN EAU DOUCE

Fragilaria construens var. *subsalina* et *Fragilaria pinnata* ont déjà été identifiées dans la carotte de CO2 (cf chapitre V, § V.2), on les considère comme indicatrices d'apports en eau dans les bassins de Coipasa et de Uyuni. Nous avons identifié pour la même période, à la base de l'affleurement CB, une forte dominance de l'espèce *Fragilaria atomus*.

Fragilaria atomus est considérée comme une espèce tychoplanctonique des milieux d'eau douce et salés (Witkowski, 1994). Hustedt (1931-1966) considère cette espèce comme une forme d'eau douce qui peut apparaître dans des zones côtières dans des faibles salinités. Elle est très abondante actuellement en Mer Baltique (Lange-Bertalot, communication personnelle) où les salinités sont inférieures à 10 g.L⁻¹ (Kullenberg, 1981). Sur les bordures du salar de Uyuni, quelques individus ont été identifiés où ils représentent seulement 0,01 % des assemblages. Les relevés dans lesquels elle a été observée, ont des salinités comprises entre 0,5 et 4,9 g.L⁻¹.

VI.2.4. LES DIATOMEES INDICATRICES DE MILIEUX PROFONDS MESOSALINS

Cyclotella striata est une espèce commune des milieux marins et des milieux salés continentaux, souvent observée dans le plancton des estuaires (Hendey, 1964). Elle vit dans des salinités comprises entre 3 et 16 g.L⁻¹ (Servant-Vildary, 1978a). Dans la baie de Choctawhatchee (Floride), le développement optimal de cette espèce est observé au printemps à des salinités supérieures à 20 g.L⁻¹; son abondance décroissant durant l'hiver lorsque la salinité et la température sont plus basses (Prasad *et al.*, 1990). Actuellement, elle a été observée dans quelques relevés (*laguna* Chiar Kkota, Honda, Ramaditas) où elle représente toujours moins de 5% des assemblages. Les estimations obtenues montrent qu'elle est préférentielle de milieux chlorurés sulfatés sodiques, avec un développement optimal à 20,09 g.L⁻¹.

Paralia sulcata est une espèce commune des milieux marins côtiers peu profonds (Hendey, 1964; John, 1983); parfois observée dans le plancton (Hendey, 1964). Cette espèce n'a pas été observée dans les milieux actuels de l'Altiplano bolivien.

VI.3. RECONSTITUTION DES VARIATIONS DES NIVEAUX LACUSTRES, DE LA COMPOSITION IONIQUE ET DE LA SALINITE

Les variations du plan d'eau, suggérées par l'altitude des dépôts (cf chapitre II), seront vérifiées et précisées dans ce paragraphe par l'étude des diatomées. Les corrélations entre la flore de diatomées observées dans les affleurements de bordure et celles des affleurements de versants ont permis de proposer une estimation des variations du plan d'eau (Sylvestre *et al.*, 1996). La révision de la chronologie radiocarbone pour la période postérieure à *ca* 12 000 ans B.P. (cf chapitre II, § II.2), nous oblige également à une révision du scénario paléohydrologique.

Le chapitre IV a été consacré à la calibration entre les diatomées, la salinité et la composition ionique dans les milieux actuels. Nous avons abouti à l'établissement de fonctions de transfert, que nous allons maintenant appliquer aux échantillons fossiles prélevés dans les bassins de Coipasa et de Uyuni. Le calcul de la balance ionique pour chaque échantillon montre que l'équilibre chimique est respecté, la corrélation entre les anions et les cations étant de 0,96 (figure VI.11).



Figure VI.11: Balance ionique des cations et des anions sur les échantillons fossiles des bassins de Coipasa et de Uyuni.

VI.3.1. SCENARIO PALEOHYDROLOGIQUE

L'élévation des niveaux lacustres dans les bassins de Coipasa et de Uyuni a débuté à *ca* 15 500 ans B.P. (*Tauca Ia*). Le premier témoin est identifié à la base de l'affleurement de Pakollo Jahuira (PJ), daté 15 430±80 ans B.P. (18,45 ¹⁴C cal. ka B.P.; U/Th 18,86 ka B.P.) sur une croûte d'aragonite. Les sédiments argilo-limoneux sont composés par une flore de diatomées dominée par *Denticula subtilis* (figure VI.12). Elle indique un lac peu profond, chloro-sulfaté sodique calcique

et magnésien et une salinité de 12 g.L⁻¹. Le niveau du lac était à 4 m environ au dessus du fond du salar actuel.

Après 15 430±80 ans B.P., le niveau du lac continue de s'élever (*Tauca Ib*). A 3657 m d'altitude, dans l'affleurement de Pakollo Jahuira (PJ), les diatomées sont dominées dans un premier temps par *Achnanthes brevipes*, qui indique un milieu polysalin (24-26 g.L⁻¹) chloruré sodique magnésien. Rapidement la composition des assemblages se modifie pour être dominée par l'espèce planctonique *Cyclotella striata*. Cette espèce traduit un lac profond chloruré sulfaté sodique avec une salinité de 21 g.L⁻¹ (figure VI.12).

A la même période, les dépôts localisés sur les versants (CB: 3685 m d'altitude) sont caractérisés par une très forte dominance d'espèces tychoplanctoniques *Fragilaria atomus* et *F. construens* var. *subsalina*, indiquant des eaux chlorurées sulfatées calci-sodiques magnésiennes, et une salinité comprise entre 1,5 et 6 g.L⁻¹. Le lac atteignait ~27 m de profondeur (figure VI.12).

A ca 14 500 ans B.P., le niveau lacustre connaît une phase de stabilisation jusqu'à ca 13 000 ans B.P. (*Tauca II*). A 3657 m (PJ), les dépôts lacustres sont toujours caractérisés par Cyclotella striata. A 3685 m (CB), des sédiments finement laminés contiennent successivement des associations composées principalement par des espèces épiphytiques et tychoplanctoniques caractérisés par une forte abondance de l'espèce Achnanthes brevipes, traduisent des eaux essentiellement chlorurées sodiques magnésiennes (C224, C223). La salinité varie entre 4 et 26 g.L⁻¹. Le niveau du lac se situait à ~+32 m au dessus du fond du salar actuel (figure VI.12).

A partir de *ca* 13 000 ans B.P. (*Tauca III*), la sédimentation laminaire disparaît et la composition des assemblages de diatomées change radicalement. Une phase de forte élévation du plan d'eau est indiquée par l'apparition des espèces planctoniques dans tous les dépôts étudiés. A 3657 m d'altitude (PJ), *Cyclotella striata* est toujours dominante (figure VI.13). A 3685 m d'altitude (CB), cette phase débute par une forte dominance d'une espèce marine *Paralia sulcata*. Cette espèce n'a pas été intégrée dans le calcul des estimations puisqu'elle n'a aucun analogue actuel. La sédimentation, caractérisée dans un premier temps par un mélange d'organismes benthiques (characées, gastéropodes, diatomées épiphytes, ostracodes) et planctoniques (diatomées) cassés mécaniquement, témoigne de la transgression des niveaux lacustres. Rapidement, les dépôts deviennent homogènes, et sont dominés par *Cyclotella striata*. Cette espèce caractérise des eaux chlorurées sulfatées sodiques, et des salinités qui varient entre 12 et 39 g.L⁻¹. On la retrouve également dominante dans les biohermes algaires marquant la plus haute ligne de rivage à 3760 m d'altitude indiquant un lac de ~100 m de profondeur au moment de son optimum hydrologique.

Mise en eau du lac



Elévation du plan d'eau



Stabilisation du plan d'eau



Figure VI. 12: Bassins de Coipasa et de Uyuni (15.5 -13 ka B.P.): Reconstitution par la stratigraphie et la flore de diatomées de l'altitude des plans d'eau, de la composition ionique et de la salinité des phases lacustres *Tauca Ia, Ib* et *II*, dans A) affleurement Pakollo Jahuira (PJ, 3657m), B) affleurement Churacari Bajo (CB, 3685m).

Optimum hydrologique



Evénement régressif



Remontée lacustre



Figure VI. 13: Bassins de Coipasa et de Uyuni (13 -8.5 ka B.P.): Reconstitution par la stratigraphie et la flore de diatomées de l'altitude des plans d'eau, de la composition ionique et de la salinité de la phase lacustre *Tauca III*, de l'événement *Ticana IV* et de l'événement *Coipasa V* dans A) affleurement Pakollo Jahuira (PJ, 3657m), B) affleurement Churacari Bajo (CB, 3685m), C) affleurements I et J (3657m), D) biohermes algaires (3660m).

Après ca 12 000 ans B.P., le lac *Tauca* connaît un assèchement (événement *Ticaña*, IV). Cet assèchement est enregistré dans le centre du bassin de Uyuni par une croûte de halite. Des sédiments détritiques sableux d'origine fluviatile, contenant des lentilles argilo-limoneuses sont observés sur les bordures des salars à \sim 3657 m d'altitude. Ces lentilles contiennent une forte dominance de l'espèce benthique *Denticula subtilis* (figure VI.13). Cette espèce traduit, à nouveau un bas niveau lacustre, un milieu chloruré sulfaté calci-sodique et magnésien, avec des salinités comprises entre 9 et 19 g.L⁻¹. Ces lentilles argilo-limoneuses dans les sables fluviatiles témoignent de mares résiduelles alimentées par des sources autour du bassin principal complètement asséché.

A partir de ca 9 400 ans B.P. (âge corrigé de l'effet réservoir, cf chapitre II, § niveaux lacustres faible II.3.3), remontée des de amplitude (événement Coipasa, V) est enregistrée dans le centre du bassin de Uyuni par des sédiments lacustres très peu développés (50 cm d'épaisseur). Sur la bordure des salars, une croûte calcaire forme une basse terrasse lacustre à ~3660 m d'altitude (figure VI.13). Les biohermes algaires, développés sur la croûte, contiennent un assemblage de diatomées dominé par la même espèce que l'épisode précédent à l'exception d'un échantillon caractérisé par une dominance de l'espèce Navicula salinicola traduisant des conditions de salinité plus élevées (44 g.L⁻¹) et un milieu fortement chloruré sodique. Le niveau lacustre devait se situer à ~+7 m au dessus du fond du salar actuel.

VI.3.2. DISCUSSION SUR L'EVOLUTION DES FACIES IONIQUES ET DE LA SALINITE

VI.3.2.1. LES FACIES IONIQUES

Les résultats des estimations de la composition ionique sont représentés dans la figure VI.14, sous forme de diagrammes triangulaires; dans l'annexe III, les estimations sont exprimées en mMol.L⁻¹.

L'estimation quantitative des teneurs ioniques dans les eaux du paléolac *Tauca* montre que les différentes phases hydrologiques (I à V) ont connu des modifications de la salinité totale associée à des variations en pourcentage des cations et des anions. Le chlore et le sodium sont prédominants (environ 60%), mais les sulfates augmentent pendant les phases Ia, Ib, III, IV et V. Cette augmentation est associée à des pourcentages élevés en calcium (Ia, Ib, IV et V) accompagnée d'une augmentation en



Figure VI. 14: Composition ionique estimée par fonction de transfert du paléolac Tauca.

A- biohermes algaires (S) (altitude: 3660 m)
B- affleurements I et J (BT) (altitude: 3657 m)
C- Churacari Bajo CB (altitude: 3685 m)
D- Pakollo Jahuira PJ (altitude: 3657 m)
magnésium. La phase III est chlorurée sulfatée sodique. Seule la phase II est chlorurée calci-magnésienne sodique.

Les résultats obtenus fonctions par les de transfert (composés ioniques/diatomées) ne sont pas en désaccord avec ceux obtenus à partir de modèles géochimiques (Risacher, 1992a-b). Cet auteur a proposé une reconstitution de la composition ionique du paléolac Tauca pour une altitude de plan d'eau à 3720 m. Cette reconstitution repose sur deux approches: la première a consisté à dissoudre les croûtes actuelles des salars de Coipasa et de Uyuni, la seconde a consisté à évaporer les principales eaux actuelles diluées de l'Altiplano (lac Titicaca, Rio Lauca et Rio Grande). Les résultats obtenus sont divergents en ce qui concerne l'estimation quantitative des composants tels que le lithium, le potassium, le magnésium et le bore; mais ces deux approches ont montré que le paléolac Tauca était essentiellement chloruré sodique.

Pendant les phases d'apport en eau dans le bassin (*Tauca Ia, Ib*), les diatomées enregistrent des apports essentiellement chlorurés sodiques, mais également un apport en calcium, en magnésium et en sulfate.

Nous remarquons que pendant la phase *Tauca Ib*, les diatomées contenues dans les affleurements à 3657 m (PJ) et à 3685 m (CB) n'indiquent pas le même faciès chimique des eaux. L'affleurement PJ, à cette période, devait se situer sous la tranche d'eau, et a enregistré des conditions hydrologiques de centre de bassin. Les diatomées indiquent, après la mise en eau du bassin, une nappe d'eau profonde chlorurée sulfatée sodique et une salinité de 21 g.L⁻¹. Les diatomées de l'affleurement CB enregistrent des apports d'eau douce chlorurée sulfatée calci-sodique et magnésienne avec des salinités comprises entre 1,5 et 6 g.L⁻¹.

De même, pendant la phase *Tauca II*, alors que les diatomées enregistrent toujours des conditions de lac profond chloruré sulfaté sodique à 3657 m d'altitude (PJ), les diatomées à 3685 m (CB) sur le versant du bassin indiquent des eaux chlorurées calci-magnésiennes sodiques, avec une variation de la salinité comprise entre 4 et 26 g.L⁻¹.

A partir de la phase *Tauca III*, au moment de l'optimum hydrologique, tous les dépôts lacustres sont caractérisés par un assemblage floristique dominé par la même espèce *Cyclotella striata*. Cela laisse supposer qu'au cours de cette phase, le lac est devenu homogène.

Lors de la phase de régression lacustre (*Ticaña*, IV), et de remontée des niveaux lacustres (*Coipasa*, V) les conditions hydrologiques ne se sont pas modifiées. Les eaux sont dominées par le chlore et le sodium, mais elles montrent également une charge en calcium, magnésium et sulfate. Pendant la phase régressive *Ticaña*, les diatomées observées dans les lentilles limono-argileuses intercalées dans les sables

fluviatiles témoignent de la nature des eaux de ruissellement de surface, probablement issues pour une part de la décharge des nappes d'eau souterraine alimentées par les eaux de la phase lacustre antérieure (*Tauca III*). Du fait que la composition floristique des assemblages de diatomées ne se soit pas modifiée pendant la phase de remontée des niveaux lacustres (*Coipasa*, V), cela montre que les eaux de surface avaient la même origine, et restaient pour une part, alimentées par une décharge de nappes d'eau souterraines.

Nous avons tenté de rechercher l'origine des apports en eaux dans les bassins en calculant les rapports Na/Cl, Ca/SO₄, Mg/Cl, Mg/SO₄ et Ca/HCO₃ pour chaque phase lacustre dans les bassins et sur les eaux des principaux tributaires (*Rios* Mauri, Lauca). Aucune corrélation n'a été observée. Il semblerait donc que les eaux subissent dans ce système des transformations ioniques très importantes au cours de leur trajet.

La géochimie du brome de la halite a permis de déterminer que la croûte de sel du salar de Uyuni n'a pas pu précipiter à partir de la simple évaporation des eaux diluées de l'Altiplano (Risacher, 1992a-b). Il a donc été fortement envisagé que la composition anormalement enrichie en chlore et en sodium du lac provienne du lessivage successif d'une partie des croûtes de halite déposées par les lacs antérieurs dans les bassins. Le sondage UA du salar de Uyuni (121 m de profondeur) a traversé 13 croûtes de halite. A chaque remise en eau des bassins, les croûtes de halite antérieures étaient redissoutes et provoquaient un excès de chlore et de sodium dans le lac. L'origine de la halite a été recherchée dans les diapirs de gypse situés dans le Nord et le Centre-Est de l'Altiplano. Elle proviendrait du lessivage des diapirs de gypse d'âge Tertiaire (Risacher, 1992a-b).

VI.3.2.2. LA SALINITE

Les variations estimées de la salinité sont représentées sur le graphique C de la figure VI.15. La marge d'erreur calculée de nos estimations est de $\pm 7,57$ g.L⁻¹. Les estimations obtenues sont en accord avec les données de la littérature (Sylvestre *et al.*, 1996). Il faut néanmoins prendre avec précaution les estimations obtenues sur les assemblages dominés par l'espèce *Cyclotella striata*, correspondant aux plus hauts niveaux lacustres. Cette espèce, très abondante dans les dépôts fossiles, représente toujours moins de 5% dans les assemblages actuels. Une meilleure estimation de la salinité pour la phase de haut niveau lacustre sera obtenue lorsque nous pourrons introduire dans la calibration actuelle un analogue de cette espèce.

Sur la figure VI.15, les courbes 1, 3 et 4 correspondent aux séquences sédimentaires prélevées sur les bordures des salars de Coipasa et de Uyuni vers 3657-3660 m d'altitude; la courbe 2 correspond à la séquence de Churacari Bajo, prélevée à



Figure VI. 15: Bassins de Coipasa et de Uyuni (15.5-8.5 ka B.P.)

A- Variations de l'altitude du plan d'eau d'après la stratigraphie des dépôts.
B- Variations du pourcentage des diatomées planctoniques considérées comme indicatrices de haut niveau lacustre dans 1) Pakollo Jahuira PJ (3657 m); 2) Churacari Bajo (3685 m).
C- Variations de la salinité estimée par fonction de transfert dans 1) Pakollo Jahuira PJ (3657 m); 2) Churacari Bajo CB (3685 m); 3) Affleurements I, J (3660 m); 4) Biohermes algaires de la basse terrasse (3660 m).

3685 m d'altitude. Ces variations sont comparées aux grandes tendances du niveau lacustre représentées par la courbe sur le graphique A, et aux variations du pourcentage des diatomées planctoniques représentées par la courbe du graphique B.

La courbe 1 (graphiques B et C) correspond aux échantillons de la période lacustre *Tauca*, prélevés dans la coupe PJ (cf figure VI.9; chapitre II, figure II.12). Cette période est datée de 15 430±80 ans B.P. à la base de la séquence sédimentaire. Nous ne disposons pas de datations sur la partie supérieure des dépôts de cette période. Par comparaison avec la séquence de Churacari Bajo (CB), nous avons admis que le sommet de la séquence date d'environ 12 000 ans B.P. En nous basant sur cette approximation, nous avons calculé une vitesse moyenne de sédimentation pour l'ensemble de la séquence. Ce calcul a permis d'évaluer l'âge des différents points de la courbe 1.

Dans la courbe 2 (graphiques B et C), l'âge des points a été calculé d'après une estimation d'une vitesse moyenne de sédimentation supposée constante, en prenant en compte les âges disponibles dans la séquence de Churacari Bajo (cf chapitre II, figure II.12).

Pour les courbes 3 et 4 (graphiques B et C), nous nous sommes limités à reporter les échantillons dans les tranches de temps correspondantes, sans faire une évaluation précise de chacun des points de la courbe.

Malgré l'imprécision que comportent les évaluations chronologiques point par point, nous estimons que les courbes 1, 2, 3 et 4 sur les graphiques B et C représentent les grandes tendances de la salinité pour chacune des différentes étapes de l'évolution du bassin.

Dès le début de la transgression lacustre (*Tauca la*), la salinité est très élevée (12 g.L^{-1}) dans la partie centrale du bassin (graphique C, courbe 1). Cette salinité éleve peut s'expliquer par une redissolution de la croûte de halite de la période lacustre antérieure. La salinité augmente ensuite progressivement et atteint ses valeurs maximales lorsque le plan d'eau atteint son altitude la plus élevée.

Une tendance comparable est observée sur la bordure de l'ancien lac (graphique C, courbe 2), mais l'évolution de la salinité se révèle plus complexe. Nous pouvons y distinguer trois principales étapes. La première (*Tauca 1b*), située avant *ca* 14 500 ans B.P., est caractérisée par des salinités comprises entre 1,5 et 6 g.L⁻¹. La seconde, correspondant à la phase de stabilisation du plan d'eau (*Tauca 11*), est caractérisée par de fortes fluctuations à court terme de la salinité, entre une valeur minimale de 4 g.L⁻¹ et une valeur maximale de 26 g.L⁻¹. Ces fluctuations à court terme reflètent l'aspect laminé des sédiments. Elles traduisent probablement des modifications dans les apports en eau par les précipitations locales et par le ruissellement sur les pentes des bordures du lac. La troisième étape (*Tauca 11*) débute

par une augmentation de la salinité. Celle-ci fluctue ensuite fortement entre 12 et 39 g.L^{-1} . Les phases de diminution de la salinité enregistrent vraisemblablement une intensification des apports en eau douce sur les bordures du lac.

Les salinités ont été estimées pour la période de bas niveau lacustre (graphique C, courbes 3 et 4) sur des échantillons prélevés en bordure des salars actuels. A l'exception d'un seul échantillon où elles atteignent 44 g.L⁻¹, les salinités sont du même ordre de grandeur dans tous les échantillons (9 et 19 g.L⁻¹), et nettement plus basses par rapport à la période antérieure de très haut niveau lacustre (*Tauca III*). Ces valeurs relativement peu élevées s'expliquent probablement par la position des échantillons sur les bordures des anciennes nappes d'eau (dilution par les eaux de ruissellement et par les eaux de sources).

La mise en évidence d'une corrélation entre une tendance croissante de la salinité et une augmentation du niveau lacustre (figure VI.15) constitue le résultat le plus important. Une telle corrélation est inattendue car on admet généralement que la salinité diminue lorsque le niveau lacustre s'élève. Cela suggère qu'il n'y pas forcément de relation directe entre la salinité et l'évolution du facteur P-E (Précipitation-Evaporation). D'autres facteurs doivent être pris en compte: nature du bassin versant, intensité du lessivage par les eaux de surface, longueurs des saisons sèches favorables à l'évaporation, augmentation de la surface évaporante au fur et à mesure que le lac s'agrandit. Une modélisation des bilans hydrochimiques sera nécessaire pour proposer une interprétation à ce phénomène.

En résumé, l'étude des diatomées dans des affleurements prélevés à différentes altitudes sur la bordure des bassins de Coipasa et de Uyuni a permis d'une part de vérifier et de préciser les variations des niveaux lacustres, d'autre part de reconstituer la composition ionique et la salinité pour chaque phase lacustre de la période *Tauca*. Cette étude met en évidence un lac au maximum de son extension, profond de 100 m chloruré sulfaté sodique avec une salinité comprise entre 12 et 39 g.L⁻¹.

-

VII. PALEOENVIRONNEMENTS AU TARDIGLACIAIRE ET A L'HOLOCENE ANCIEN DANS LA REGION DU LIPEZ

VII.1. LA FLORE DE DIATOMEES FOSSILES

VII.1.1. LE BASSIN DE CHIAR KKOTA

VII.1.1.1. L'AFFLEUREMENT CHKA

La composition floristique des diatomées a été étudiée sur 27 échantillons (numérotés T + profondeur en cm). Nous avons procédé à une observation semiquantitative de 15 échantillons supplémentaires afin de déterminer précisément les niveaux où la composition des assemblages (spécialement les espèces dominantes) se modifie, indiquant des changements des conditions paléoenvironnementales. 70 taxons répartis en 23 genres ont été déterminés. L'abondance relative des espèces par rapport à la flore totale pour chaque échantillon est présentée dans le tableau quadrangulaire en annexe V. Les espèces périphytiques sont représentées par un nombre important de genres (*Achnanthes, Amphora, Brachysira, Caloneis*, etc...), les formes planctoniques ne sont représentées que par trois espèces du genre *Cyclotella (C. stelligera, C. meneghiniana, C. striata*) et les formes tychoplanctoniques par quatre espèces du genre *Fragilaria (F. brevistriata, F. capucina, F. pinnata, F. construens* var. *subsalina*).

De la base à 221 cm, les assemblages sont dominés par Navicula atacamana (plus de 60%) (figure VII.1). Seul l'échantillon T229 est dominé par Navicula cincta (44%). Les échantillons T205 et T196 sont dominés par Cyclotella striata (85%). A 190 cm, les assemblages sont dominés par Nitzschia liebetruthii (48%), à 178 cm par Achnanthes brevipes (46%), à 175 cm par Cymbella pusilla (62%). Entre 170 et 160 cm, c'est à nouveau Cyclotella striata (87%) qui caractérise la flore. Entre 160 et 150 cm (T159, T152, T150), les assemblages sont composés par un mélange de Achnanthes brevipes (30%), Cocconeis placentula var. euglypta (20%), Amphora coffeaeformis (15%), et Fragilaria pinnata (30%). A 147 cm, Cyclotella striata représente 70% de la flore.

Entre 147 cm et 127 cm, la couche de sables gris ne contient pas de diatomées. Celles-ci réapparaissent à partir de 121 cm dans des sédiments fortement sableux. A 121 cm, les dépôts contiennent un mélange de *Nitzschia frustulum* (26 %), *Cocconeis placentula* var. *euglypta* (15 %), *Achnanthes brevipes* (19%) et *Cymbella pusilla* (6%). Dans l'échantillon T119, *Cocconeis placentula* var. *euglypta* augmente (66%).



Figure VII. 1: Affleurement CHKA (Lipez): Variations en fonction de la profondeur (cm) du pourcentage des espèces de diatomées dominantes par échantillon (1 à 5: séquences lacustres).

A 118 cm, les espèces périphytiques sont remplacées par l'espèce planctonique *Cyclotella striata* qui caractérise les assemblages à plus de 92%. L'échantillon T090 reste encore dominé par cette espèce à 64%. A partir de 85 cm, les diatomées épiphytes réapparaissent et les assemblages sont à nouveau caractérisés par *Achnanthes brevipes* qui pour l'échantillon T075 représentent 66% des comptages, par *Cymbella pusilla* (20 à 40%), *Nitzschia valdecostata* (20 à 30%); *Navicula salinicola* représente 17% de l'échantillon T065 et *Nitzschia frustulum* 13% de l'échantillon T075.

L'analyse de la succession des assemblages de diatomées met en évidence cinq phases lacustres qui sont de la base vers le sommet: (1) de 242 cm à 196 cm, (2) de 190 cm à 170 cm, (3) de 159 cm à 147 cm. Une phase sableuse azoïque en diatomées interrompt les phases lacustres. Elles réapparaissent à 121 cm : (4) 121 à 90 cm. La coupe se termine par un enregistrement de diatomées périphytiques (5). La diatomite est recoupée par une surface d'érosion, sur laquelle se sont déposés des sables fins lités, sans diatomées. Chacune de ces phases lacustres se termine par l'espèce planctonique *Cyclotella striata*.

VII.1.1.2. L'AFFLEUREMENT CHKB

Les diatomées ont été étudiées entre 10 cm et 50 cm, dans 14 échantillons (numérotés K + profondeur en cm). 72 taxons répartis en 22 genres ont été déterminés. L'abondance relative des espèces par rapport à la flore totale pour chaque échantillon est présentée dans le tableau quadrangulaire en annexe V. La flore est principalement dominée par les formes planctoniques représentées par trois espèces principales: *Cyclotella stelligera, C. meneghiniana et C. striata* (figure VII.2).

- De 48 cm à 46 cm: 70% Cyclotella striata.

- A 44 cm: 30% Fragilaria pinnata et Cocconeis placentula var. euglypta.
- A 40 cm: 90% Cyclotella meneghiniana.
- A 36 cm: 85% Cyclotella stelligera.
- A 33 cm: 75% Cyclotella meneghiniana.
- De 30 cm à 12 cm: 85% Cyclotella striata.

La composition des assemblages de diatomées sur ces 40 cm est dominée par le genre *Cyclotella*. Seul l'échantillon K044 comporte des espèces tychoplanctoniques et périphytiques.



Figure VII. 2: Affleurement CHKB (Lipez): Variations en fonction de la profondeur (cm) du pourcentage d'espèces de diatomées dominantes par échantillon.

VII.1.1.3. LES LIGNES DE RIVAGE

Un échantillon, prélevé dans les biohermes de la ligne de rivage L1 située à ~4 m au dessus du plan d'eau actuel, est caractérisé par 46 % de Cyclotella striata, 18 % de Cocconeis placentula var. euglypta et 10 % de Nitzschia inconspicua.

Dans les biohermes marquant la ligne de rivage L2 située à ~+10 m, trois échantillons ont été prélevés: un dans la partie inférieure, un dans la partie moyenne et un troisième dans la partie supérieure, ce dernier correspondant aux pseudomorphoses d'ikaïte (cf chapitre III, § III.3.3.). L'échantillon prélevé dans la partie inférieure est dominé à 96% par l'espèce Cyclotella striata. L'échantillon de la partie moyenne est composée par 30% de Cyclotella striata, 22% de Cyclotella meneghiniana et 25% de Amphora carvajaliana. L'échantillon de la partie supérieure est caractérisé par Anomoeoneis sphaerophora costata (35%) et par Cocconeis placentula var. euglypta (12%).

VII.1.2. LE BASSIN DE HONDA

51 taxons répartis en 16 genres dans 14 échantillons (numérotés H + profondeur en cm) ont été identifiés. L'abondance relative des espèces par rapport à la flore totale pour chaque échantillon est présentée dans le tableau quadrangulaire en annexe V.

De 236 cm à 222 cm (unité lithologique 1), les assemblages sont composés par des espèces périphytiques, principalement *Cocconeis placentula* var. *euglypta* (70%) et *Amphora veneta* (30%) (figure VII.3). Entre 222 cm et 96 cm (unité lithologique 2), *Cyclotella stelligera* est l'espèce dominante à plus de 80%. L'observation semiquantitative des 18 échantillons supplémentaires montre que cette espèce reste dominante dans les mêmes proportions sur la totalité de cette couche. Dans l'unité lithologique 3, un échantillon est observé à 85 cm, et 4 entre 40 et 46 cm. A 85 cm, les espèces périphytiques dominent et sont représentées par *Nitzschia inconspicua* (45%), *Navicula cincta* (23%) et *Amphora veneta* (11%). Entre 40 et 46 cm, les assemblages sont caractérisés par *Navicula halophila* (~40%) et *Cocconeis placentula var. euglypta* (~40%). L'unité lithologique 1 est à nouveau caractérisé par une forte dominance de *Cyclotella stelligera* (80%), accompagnée à 16 cm de quelques *C. meneghiniana*.

L'étude des diatomées montre deux séquences lacustres, de la base vers le sommet de la coupe: de 236 cm à 96 cm (1), de 96 cm à 10 cm (2). Ces deux séquences se terminent par la même espèce planctonique Cyclotella stelligera.



Figure VII. 3: Affleurement Honda (Lipez): Variations en fonction de la profondeur (cm) du pourcentage d'espèces de diatomées dominantes par échantillon (1 et 2: séquences lacustres).

182

VII.2. SIGNIFICATION PALEOECOLOGIQUE DES DIATOMEES CARACTERISTIQUES DES MILIEUX LACUSTRES

Nous ne reviendrons pas sur l'écologie des espèces identifiées dans l'étude des sections sédimentaires précédentes (cf chapitres V et VI). Huit espèces caractéristiques sont communes aux deux milieux. Les espèces planctoniques *Cyclotella striata* et *C. stelligera* sont considérées comme les formes caractéristiques de haut niveau lacustre. Pour les espèces tychoplanctoniques, *Fragilaria pinnata* est indicatrice d'une élévation des plans d'eau. Les espèces périphytiques, *Amphora coffeaeformis, A. veneta, Achnanthes brevipes, Cocconeis placentula* var. *euglypta, Navicula cincta, Navicula salinicola, Nitzschia frustulum* et *Nitzschia liebetruthii* sont indicatrices de nappes d'eau peu profondes.

VII.2.1. LES DIATOMEES INDICATRICES DE MILIEUX DE FAIBLE PROFONDEUR OLIGOSALINS

Cymbella pusilla est une espèce périphytique, caractéristique des milieux de très faible profondeur (Descourtieux, 1979). Elle se rencontre souvent dans des eaux à conductivité relativement élevée (Patrick et Reimer, 1975; Krammer et Lange-Bertalot, 1986), le plus couramment dans des salinités comprises entre 5 et 20 gL^{-1} , mais pouvant tolérer jusqu'à 74 g.L⁻¹ (Ben Khelifa, 1989). Dans les milieux actuels de l'Altiplano bolivien, c'est une espèce rare. Elle est présente dans 8 relevés où elle constitue moins de 2 % des assemblages. Les estimations indiquent qu'elle se développe à un optimum de salinité de 4,18 g. L⁻¹.

Navicula halophila est une espèce périphytique, mésosaline (Hustedt, 1957; Foged, 1980), apparaissant dans des eaux fortement minéralisées, alcaliphile (Ehrlich, 1995). Cette espèce a été identifiée dans un seul relevé (SU02) sur la bordure du salar de Uyuni, où elle représente 0,24% de l'assemblage floristique. Ce relevé est caractérisé par des eaux calci-magnésiennes chlorurées sulfatées à 0,9 g. L⁻¹.

Nitzschia inconspicua est une espèce peu signalée dans la littérature. Dans les milieux actuels, elle a été observée dans un relevé du salar de Pastos Grandes (PG97; cf chapitre IV, figure IV.3). Les estimations montrent qu'elle vit dans des eaux chlorurées sulfatées calci-sodiques et magnésiennes. Son optimum de salinité est de 1,70 g. L⁻¹.

Cocconeis placentula var. euglypta et Navicula cincta font également partie de ce groupe.

VII.2.2. LES DIATOMEES INDICATRICES DE MILIEUX DE FAIBLE PROFONDEUR MESOSALINS A POLYSALINS

Anomoeoneis sphaerophora costata est très peu signalée dans la littérature. Elle est considérée comme une espèce mésohalobe par Patrick et Reimer (1966) et caractéristique des milieux carbonatés sodiques en Afrique Occidentale (Iltis, 1972; Servant-Vildary, 1978c). Dans les bassins de l'Altiplano bolivien, elle est préférentielle des eaux chlorurées sodiques avec un optimum de salinité estimé à 19,11 g. L-1.

Nitzschia valdecostata est très peu signalée dans la littérature. Cette espèce a été observée dans 18 relevés situés dans les bassins du Lipez. Elle représente entre 1 et 8% de la composition des assemblages. Les estimations montrent qu'elle est préférentielle des eaux chlorurées sulfatées sodiques à 8,76 g. L-1.

Achnanthes brevipes, Nitzschia frustulum et Nitzschia liebetruthii sont également abondantes dans ce milieu. Seule Navicula salinicola, également indicatrice d'un milieu peu profond, caractérise des eaux hypersalines.

VII.2.3. LES DIATOMEES INDICATRICES D'APPORTS EN EAU DOUCE

Cyclotella meneghiniana est une espèce périphytique ou planctonique facultative (Hustedt, 1930; Germain, 1981; Bourrelly et Manguin, 1952), alcaliphile (Hustedt, 1957), se développant préférentiellement à des pH supérieurs à 8 (Cholnoky, 1968). Elle est généralement considérée comme euryhaline (Germain, 1981), rarement oligohalobe (Bourrelly et Manguin, 1952), pouvant tolérer une salinité de 10 g.L-1 (Germain, 1981). Dans le Sud tunisien, son développement optimal se situe dans des salinités comprises entre 0,5 et 5 g.L-1, dans un faciès chimique sulfaté chloruré calci-sodique (Ben Khelifa, 1989). Dans les bassins de l'Altiplano bolivien, elle se développe dans des eaux chlorurées sodiques à un optimum de salinité estimé à 31,50 g. L-1.

VII.2.4. REMARQUES SUR LES ESPECES ENDEMIQUES DU GENRE AMPHORA

Nous voudrions attirer l'attention sur quelques espèces du genre Amphora identifiées lors de notre analyse. D'une manière générale, la composition des assemblages est toujours caractérisée par un pourcentage plus ou moins important d'espèces du genre Amphora. Sur les quatre affleurements étudiés, nous avons dénombré 15 espèces différentes (tableau VII.a). Outre 9 espèces reconnues communément dans de nombreux milieux salés (Ben Khelifa, 1989; Fan, 1994; Ehrlich, 1995), 6 espèces sont endémiques des milieux salés andins. Ces espèces ont été reconnues essentiellement dans les dépôts lacustres des bassins intravolcaniques du Sud de la Bolivie et du Nord du Chili (Atacama) (Hustedt, 1927; Frenguelli, 1929, 1936; Patrick, 1961).

Endémique	Commune		
Amphora atacamae	Amphora acutiuscula		
Amphora atacamae minor	Amphora coffeaeformis		
Amphora atacamana	Amphora delicatissima		
Amphora boliviana	Amphora holsatica		
Amphora carvajaliana	Amphora libyca		
Amphora platensis	Amphora lineolata		
	Amphora ovalis		
	Amphora pediculus		
	Amphora veneta		

 Tableau VII.a: Espèces du genre Amphora identifiées dans les dépôts lacustres tardiglaciaires de la région du Lipez (Bolivie).

VII.3. RECONSTITUTION DES VARIATIONS DES NIVEAUX LACUSTRES, DE LA COMPOSITION IONIQUE ET DE LA SALINITE

Les variations des altitudes des plan d'eau, proposées à partir de l'étude des diatomées, sont vérifiées et estimées par l'altitude des dépôts lacustres.

La composition ionique et la salinité ont été estimées par fonction de transfert sur l'ensemble des échantillons fossiles étudiés. Le calcul de la balance ionique montre que l'équilibre chimique est parfaitement respecté, puisque le coefficient de corrélation entre les anions et les cations est de 0,98 (figure VII.4).



Figure VII.4: Balance ionique des cations et des anions sur les échantillons fossiles des bassins de Chiar Kkota et de Honda.

VII.3.1. SCENARIO PALEOHYDROLOGIQUE

Avant ca 12 000 ¹⁴C ans B.P., les diatomées des dépôts laminés argilo-sablodiatomitiques à la base de l'affleurement CHKA (H1) montrent trois séquences lacustres (tableau VII.b). La première débute par des sédiments caractérisés par Navicula atacamana et Navicula cincta, indiquant un bas niveau lacustre et des eaux mésosalines (8 et 14 g.L⁻¹) chlorurées calci-sodiques magnésiennes. Cette séquence se termine par une élévation des niveaux lacustres (dominance de Cyclotella striata) qui caractérise des eaux eusalines (35 g.L⁻¹) chlorurées sulfatées sodiques. La seconde séquence lacustre débute à 190 cm par un assemblage dominé par Nitzschia liebetruthii, indiquant des eaux chlorurées sodiques polysalines (22 g.L⁻¹). Cette séquence se poursuit à 178 cm par l'enregistrement d'une dominance de Achnanthes brevipes, traduisant un milieu chloruré sodique magnésien à 28 g.L⁻¹. A 175 cm, la dominance de l'espèce Cymbella pusilla traduit une diminution de la salinité (11 g.L⁻¹) et des eaux chlorurées calci-sodiques magnésiennes. Cette séquence se termine à nouveau par l'espèce planctonique Cyclotella striata. La troisième séquence lacustre débute à 159 cm par des assemblages de diatomées composées par Achnanthes brevipes, Amphora coffeaeformis, Cocconeis placentula var. euglypta et Fragilaria pinnata. Ces assemblages indiquent des eaux mésosalines (14-19 g.L-1) chlorurées calci-sodiques et magnésiennes. Cyclotella striata termine la séquence à 147 cm. D'après l'altitude des dépôts, la nappe d'eau variait entre 1 m et au moins 8 m de profondeur. Trois niveaux argilo-diatomitiques, observés dans l'affleurement CHKB, pourraient correspondre à l'altitude maximale que le plan d'eau aurait atteint lors des phases de plus hauts niveaux lacustres.

A la base de l'affleurement de Honda, la séquence lacustre débute par des dépôts diatomitiques contenant une flore dominée par *Cocconeis placentula* var. *euglypta* indiquant une nappe d'eau peu profonde, chloro-sulfatée-calci-sodique et magnésienne, très peu minéralisée (1 à 3 g.L⁻¹). Cette séquence (unité lithologique 2) se poursuit par la dominance de l'espèce planctonique *Cyclotella stelligera*. Elle n'indique pas une modification des faciès chimiques et de la salinité.

Cette phase lacustre H1 se termine par un abaissement, voire un assèchement des bassins, indiqué par les sables azoïques en diatomées. Dans l'affleurement de Honda, les dépôts sableux (unité lithologique 3) peuvent contenir des diatomées dominées par des espèces périphytiques. Ces assemblages indiquent des nappes d'eau pelliculaires chlorurées sulfatées calci-sodiques et magnésiennes faiblement minéralisées (1-4 g.L⁻¹).

A ca 9 500 ¹⁴C ans B.P. (âges ¹⁴C corrigés d'après les datations U/Th), les conditions lacustres réapparaissent (H2) dans l'affleurement CHKA: les espèces périphytiques indiquent des eaux mésosalines (9-19 g.L⁻¹) chlorurées sulfatées calci-

sodiques magnésiennes. Elles sont relayées par l'espèce planctonique *Cyclotella* striata qui indique une élévation du plan d'eau, des eaux chlorurées sulfatées sodiques et une salinité de 30 à 41 g.L⁻¹. La flore de diatomées dans les sédiments de l'affleurement CHKB, indique des apports en eau dans le bassin. L'enregistrement débute par une flore dominée par *Cyclotella striata*, relayée par des espèces tychoplanctoniques et épiphytes (qui indiquent des eaux chlorurées calci-sodiques magnésiennes et une salinité de 9 g.L⁻¹), elles mêmes relayées par *Cyclotella meneghiniana* (qui indique une légère élévation du plan d'eau avec une salinité de 31 g.L⁻¹). *Cyclotella stelligera* apparaît ensuite, elle enregistre un apport en eau douce (3 g.L⁻¹) dans le lac, puis un assemblage dominé par *Cyclotella meneghiniana* suggère une désalinisation des eaux (23 g.L⁻¹) par rapport à l'épisode antérieur à *Cyclotella meneghiniana* grâce à une flore associée d'eau douce. L'enregistrement se termine par *Cyclotella striata* qui indique un retour aux conditions de départ.

Cette phase lacustre est matérialisée par les lignes de rivage situées sur les versants du bassin de Chiar Kkota. Les biohermes algaires prélevés sur la ligne de rivage L1 et dans les parties inférieures et moyennes de la ligne de rivage L2 contiennent une dominance de *Cyclotella striata*, qui matérialise les phases d'optimum hydrologique, les eaux étaient chlorurées sulfatées sodiques, avec des salinités de 18 à 46 g.L-1.

La partie supérieure du bioherme de la ligne de rivage L2 contient un assemblage de diatomées dominé par l'espèce Anomoeoneis sphaerophora var. costata, considérée d'après la littérature comme caractéristique de milieux carbonatés sodiques (Servant-Vildary, 1978; Iltis, 1972). Les estimations par la fonction de transfert établie au chapitre IV, indique que cet assemblage caractérise des eaux très faiblement minéralisées (2 g.L⁻¹) chlorurées sulfatées calci-sodiques magnésiennes. L'ikaïte, dont nous observons les pseudomorphoses dans l'échantillon indique des eaux froides (cf chapitre III, § III.3.3).

D'après l'altitude de la plus haute ligne de rivage L2, dans le bassin de Chiar Kkota, le lac a atteint au moins 10 m de profondeur. Cette phase lacustre est enregistrée au sommet de l'affleurement de Honda par une diatomite (unité lithologique 4) contenant essentiellement l'espèce planctonique *Cyclotella stelligera*, caractérisant un haut niveau lacustre et des eaux douces à oligosalines. Au dessus, une datation U-Th effectuée sur la partie sommitale de la croûte supérieure carbonatée indique que le lac se serait asséché vers *ca* 8 100 ans B.P.

Au sommet de la coupe CHKA, une flore dominée par des espèces périphytiques indique une nappe d'eau peu profonde chlorurée sulfatée sodique et magnésienne. Les sédiments qui contiennent cette flore sont tronqués par une surface d'érosion.

BASSIN DE CHIAR KKOTA							BASSIN DE HONDA				
	СНКА			СНКВ		Lignes de rivage L1-L2					
ca 8200					CYST	~8 m	Na (SO ₄) Cl	28-44 g.L ⁻¹			
					CYMG	~8 m	Na Cl	23 g.L.1			- 1
	1	ABR CYMP									
		NASA NF ~ 2 m NIVA	Na (Mg) Cl (SO ₄)	13-29 g.L ^{.1}	CYCS	~8 m	Na Cl	3 g.L ⁻¹	ANSA ~ 20 m 2 g.L ⁻¹ Na (Ca, Mg) Cl (SO ₄)		
	H2	CYST -8 m	Na (SO4) Cl	30-41 g.L ^{.1}	CYMG	~8 m	Na Ci	31 g.L.'		CYCS ~3 m Na (Ca, Mg) Cl (SO4) 2	2-3 g.L ⁻¹
		ABR CPE CYMP NF ~ 2 m	Na (Ca, Mg) Cl (SO ₄)	9-19 g.L ⁻¹	FP, CPE	~8 m	Na (Ca, Mg) Cl	9 g.L ⁻¹	CYST ~ 20 m 18-46 g.L ⁻¹ Na (SO4) CI		
<i>ca</i> 9500					CYST	~8 m	Na (SO4) CI	22-33 g.L ^{.1}			
	S 2					sables azoīques				NI NCI AMVN ~1 m Na (Ca, Mg) CI (SO4) 1 NAHA CPE	-4 g.L*1
ca 12 000			CYST	~8 m	22 g.L ^{.1}	Na (SO4) Cl					
			ABR AMCO CPE FP	,	14- 9 g.L ⁻¹	Na (Ca, Mg) Cl					
			CYST	~8 m	36 g.L ⁻¹	Na (SO4) CI	•••			CYCS ~3 m Na (Ca, Mg) Cl (SO4) 2	-3 g.L ⁻¹
	H1		ABR NILI CYMP		11-28 g.L ^{.1}	Na (Ca, Mg) Cl				CPE AMVN ∼1 m Na (Ca, Mg) Cl (SO₄) 1	-3 g.L ⁻¹
			CYST	~8 m	35 g.L ⁻¹	Na (SO ₄) Cl					
			NATA NCI	~1 m	8-14 g.L ⁻¹	Na (Ca, Mg) Cl					

Tableau VII. b: Bassins de Chiar Kkota et Honda (Lipez): Espèces caractéristiques, variations estimées de l'altitude des plans d'eau, variations estimées par fonction de transfert de la salinité et des composés ioniques des phases lacustres H1 (avant *ca* 12 ka B.P.) et H2 (9.5-8.5 ka B.P.).

VII.3.2. DISCUSSION SUR L'EVOLUTION DES FACIES IONIQUES ET DE LA SALINITE

VII.3.2.1. LES FACIES IONIQUES

Les résultats des estimations de la composition ionique sont représentés dans la figure VII.5, sous forme de diagrammes triangulaires. Dans l'annexe III, ils sont exprimés en mMol.L⁻¹.

L'estimation de la composition ionique dans le bassin de Chiar Kkota montre qu'en période de bas niveaux lacustres, les eaux sont chlorurées sulfatées calcisodiques et magnésiennes, et qu'en période de hauts niveaux lacustres, les eaux sont chlorurées sulfatées sodiques (tableau VII.b). Dans le bassin de Honda, il apparaît que les eaux sont également toujours dominées par le chlore et le sodium, mais qu'elles présentent quelque soit la période considérée, une certaine proportion de calcium, de magnésium et de sulfates. Les niveaux situés entre 41 et 45 cm et entre 224 et 232 cm présentent une teneur en sulfates plus importante. Globalement, la composition ionique des paléolacs ne différe pas fortement de la composition des milieux actuels.

La composition ionique des milieux actuels ne s'explique pas par la simple évaporation des eaux de surface. D'après la composition des eaux diluées arrivant dans les bassins, la majorité des eaux des lacs devrait avoir une composition chimique de type Na-CO₃-Cl. Or, on observe une majorité de lacs Na-Cl et Na-Cl-SO₄. Cette anomalie géochimique est expliquée par la présence de dépôts de soufre natif dans les bassins versants, érodés par le vent depuis le sommet des volcans (Risacher, 1992a). L'oxydation de ce soufre au contact des eaux diluées bicarbonatées sodiques produit de l'acide sulfurique qui neutralise une grande partie des espèces carbonatées. Il en résulte que la composition de la saumure finale et donc des sels qui précipitent, est complètement modifiée par rapport aux apports d'eaux diluées dans les bassins. D'après Risacher (1992a-b), les lacs sont de type carbonaté sodique lorsque les eaux qui alimentent les lacs sont situées au niveau du plan d'eau, et qu'elles n'ont pas été en contact avec le soufre.

La composition ionique des paléolacs étant chloro-sulfatée sodique, l'hypothèse de Risacher (1992a-b) suggère que les eaux de surface ont fortement contribué à leur alimentation.



Figure VII. 5: Composition ionique estimée par fonction de transfert dans les affleurements (A) CHKA, (B) CHKB, (C) Honda.

VII.3.2.2. LA SALINITE

Dans le bassin de Chiar Kkota, les résultats obtenus sur l'estimation de la salinité mettent en évidence, une corrélation entre l'élévation des niveaux lacustres et l'augmentation de la salinité. Ce fait a déjà été mis en évidence dans les grands bassins de Coipasa et de Uyuni (cf chapitre VI; § VI.3.2.2). Les mécanismes évoqués peuvent également s'appliquer dans le cas de ce bassin.

Il est important de signaler qu'il existait une différence dans la salinité des eaux entre les bassins de Honda et de Chiar Kkota, pendant les phases de haut niveau lacustre. A Chiar Kkota, la salinité est de 22 à 44 g.L⁻¹; alors qu'à Honda, elle est de 2 à 4 g.L⁻¹. On pourrait évoquer une différence dans l'alimentation de ces deux lacs. Actuellement, la *laguna* Honda est alimentée de manière temporaire par deux rivières (*rios*) qui pourraient avoir fonctionné de manière plus continue dans le passé.

En conclusion, nous observons dans les bassins de Chiar Kkota et de Honda deux épisodes lacustres majeurs. Le premier de ces deux épisodes n'est pas daté, mais il pourrait être correlé à la phase *Tauca* des bassins de Coipasa et de Uyuni. Le deuxième date de l'Holocène ancien d'après les datations U/Th et nous pouvons le corréler avec l'événement lacustre *Coipasa*. L'étude des diatomées montre que les deux phases lacustres ont eu à peu près la même amplitude au Lipez. Cette situation est différente de celle qui a été observée dans les bassins de Coipasa et de Uyuni où la phase *Tauca* a eu une très grande amplitude et la phase *Coipasa* une faible amplitude. Les paléosalinités élevées à Chiar Kkota s'opposent aux très faibles paléosalinités de Honda. Cela suggère que des milieux aquatiques différents ont coexisté dans la même région durant le Tardiglaciaire et l'Holocène ancien.

.

VIII. COMPARAISON ENTRE LES CHANGEMENTS HYDROLOGIQUES DE L'ALTIPLANO BOLIVIEN ET DU NORD DE L'ALTIPLANO CHILIEN

VIII.1. COMPARAISON AVEC LE NORD DE L'ALTIPLANO BOLIVIEN

VIII.1.1. LES DONNEES DISPONIBLES SUR LES VARIATIONS DU LAC TITICACA

Les variations du niveau du lac Titicaca ont été reconstituées par l'étude de carottes prélevées à différentes profondeurs (Wirrmann, 1987). Nous utiliserons ici les carottes TD et TD1 parce qu'elles recouvrent les 25 000 dernières années. Ces carottes, longues respectivement de 4,83 m et 5,38 m, ont été prélevées sous 19 m d'eau dans la partie sud-est du lac (Lac Huiñaymarca) (figure VIII.1). Elles ont fait l'objet d'une description lithologique et d'analyses minéralogiques détaillées disponibles dans les travaux de Oliveira Almeida (1986), Wirrmann (1987) et Wirrmann *et al.* (1988). Sur la carotte TD1, les âges radiocarbone ont été réalisés sur matière organique totale, à l'exception d'un échantillon carbonaté qui affiche un âge de 7 700±230 ans B.P. Un seul âge radiocarbone (9 620±90 ans B.P.) est disponible sur la carotte TD.

Une étude palynologique a été réalisée sur les carottes TD et TD1 (Ybert, 1992). L'interprétation des assemblages fossiles identifiées dans ces deux carottes s'appuie sur l'analyse des assemblages palynologiques contenus dans les sédiments superficiels actuels qui ont été prélevés à différentes profondeurs dans le lac Titicaca, dans le lac Poopò et dans des lacs glaciaires de haute altitude. Dans ces transects, la végétation aquatique (Collot, 1980), de même que les assemblages palynologiques des sédiments actuels présentent une distribution liée à la profondeur.

La figure VIII.2 donne une illustration de la distribution de ces assemblages dans le lac Titicaca (transect à l'Ouest d'Achacachi-Isla del Sol). Nous ne retiendrons ici que les pourcentages des taxons algaires *Botryococcus* et *Pediastrum*. Les pourcentages de *Botryococcus* (calculés par rapport au total des taxons polliniques et algaires déterminés par échantillon) sont faibles (moins de 10%) jusqu'à 2 m de profondeur. Ils augmentent jusqu'à 50% entre 2 et 4 m, ils régressent à 25% (valeur minimale) entre 4 et 10 m et atteignent plus de 90% à des profondeurs supérieures ou égales à 10 m. *Pediastrum* apparaît vers 60 cm de profondeur, se maintient (2-10%) jusqu'à 4 m de profondeur et devient dominant (50-70%) entre 4 et 10 m. Il diminue (<5%) au delà.



Figure VIII. 1 : Prélèvements des sédiments superficiels et des carottes TD et TD1 dans le lac Titicaca (d'après Servant-Vildary, 1992; Ybert, 1992)



Figure VIII. 2 : Distribution des assemblages palynologiques en fonction de la profondeur dans le lac Titicaca (transect Achacachi-Isla del Sol). (Ybert, 1992)

Les transects des lacs glaciaires et du lac Poopò révèlent que *Botryococcus* se distribue dans des tranches de profondeur légèrement différentes. *Pediastrum* est très rare dans les lacs des vallées glaciaires, de même que dans le lac Poopò, qui est caractérisé par des salinités élevées.

D'après sa répartition dans les sédiments actuels du lac Titicaca, le taxon *Botryococcus* peut être utilisé comme un indicateur de profondeur. Sa distribution actuelle dans ce lac ne peut pas être transposée à d'autres milieux ou des régions très différentes car on sait que sa distribution varie en fonction des conditions locales (Round, 1981; Prescott, 1951; Crisman, 1978). *Pediastrum* donne aussi des indications de profondeur, mais sa distribution est à l'évidence influencée par d'autres facteurs, notamment par la salinité.

Dans le lac Titicaca, les variations relatives des niveaux lacustres à partir des données fossiles ne reposent pas seulement sur les pourcentages des taxons algaires. Elles ont été déterminées en tenant compte de l'ensemble des taxons palynologiques (Ybert, 1992), et elles ont été recoupées pour la carotte TD1 par une étude semiquantitative des diatomées (Servant-Vildary, communication personnelle). Les diatomées peuvent être considérées comme des indicateurs bathymétriques, car on sait que le rapport Centrale/Pennale (C/P) des associations actuelles est corrélé à la profondeur (Miskane, 1992; Servant-Vildary, 1992).

VIII.1.2. COMPARAISON ENTRE L'EVOLUTION DU LAC TITICACA ET LE BASSIN DE UYUNI-COIPASA

La figure VIII.3 présente les principaux éléments de cette comparaison :

- sur le graphique A: les variations du niveau lacustre dans les bassins de Uyuni et de Coipasa. Ces variations ont été déterminées d'après l'altitude des dépôts lacustres.

- sur le graphique **B**: les variations du pourcentage des diatomées planctoniques déterminées dans le sondage CO2 (salar de Coipasa), dans l'affleurement de Churacari Bajo CB (+32 m au-dessus du fond du salar de Uyuni), et dans l'affleurement Pakollo Jahuira PJ (+7 m au-dessus du fond du salar de Uyuni). Nous considérons que ces variations sont indicatrices des fluctuations relatives du niveau lacustre (des évaluations plus précises sont fournies aux chapitres V et VI en prenant en compte les autres groupes de diatomées).

Les courbes A et B sont représentées en fonction d'une échelle de temps exprimée en années radiocarbone. Les âges de la période comprise entre ca 10 000 et ca 8 000 ans B.P. ont été corrigés d'après les datations U/Th (cf chapitre II, § II.2). Les âges antérieurs à ca 12 000 ans B.P. n'ont subi aucune correction, car les âges



D- Variations relatives du pourcentage des taxons algaires *Botryococcus* (B) et *Pediastrum* (P) dans la carotte TDI du lac Titicaca.

(En C et D, les variations sont représentées en fonction de la profondeur des prélèvements dans les carottes TD et TD1).

radiocarbone calibrés sont en accord avec les âges U/Th pour les échantillons ayant été datés par les deux méthodes. L'échelle de temps n'a pas été reportée entre *ca* 12 000 et *ca* 10 000 ans B.P. car nous ne disposons pas d'âges U/Th pour cette période.

- sur le graphique C: les variations du pourcentage des taxons algaires (*Botryococcus* et *Pediastrum*) dans la carotte TD du lac Titicaca (Ybert, 1992).

- sur le graphique **D**: les variations du pourcentage des taxons algaires (*Botryococcus* et *Pediastrum*) dans la carotte TD1 du lac Titicaca (Ybert, 1992).

Les âges radiocarbone des carottes TD et TD1 sont reportés sur la figure VIII.4. Les variations des taxons algaires sont exprimées en fonction de la profondeur des échantillons dans les carottes (la conversion des échelles de profondeur en échelle de temps n'est pas réalisable, en raison du nombre trop restreint de datations).

25 000 - 15 500 ans B.P. (?-18 400 cal. ans B.P.)

A la base de la carotte TD1, les faibles pourcentages de *Botryococcus* suggèrent un lac peu profond. Cela est confirmé par les assemblages de spores et de pollens (présence du taxon *Isoëtes*). La quasi-disparition des taxons algaires (*Botryococcus* et *Pediastrum*) à *ca* 21 000 ans B.P. marque clairement un abaissement du niveau lacustre à la fin de la période lacustre *Minchin*. Nous ne disposons pas de données précises avant *ca* 21 000 ans B.P. dans les bassins de Coipasa et de Uyuni, mais le sondage TA montre que les conditions lacustres se sont prolongées après *ca* 25 000 ans B.P.

Entre ca 20 000 ans B.P. et 18-17 000 ans B.P., le niveau du lac Titicaca était plus bas qu'actuellement, mais il a connu des fluctuations significatives. Dans la carotte TD1, *Botryococcus* réapparaît à ca 20 000 ans B.P. et atteint 40% des assemblages. Cela suggère une nappe d'eau pouvant atteindre 2 m de profondeur. Le niveau du lac se situait à environ 17 m en dessous de son exutoire (3804 m), les eaux de ce lac ne pouvaient pas contribuer à l'alimentation des bassins du centre de l'Altiplano. Une nappe d'eau permanente très peu profonde, beaucoup plus étendue que le lac Coipasa actuel, se maintenait néanmoins sur toute la superficie du bassin de Coipasa. Les pourcentages des diatomées planctoniques indiquent une forte variabilité à court terme du plan d'eau et la composition floristique montre que le milieu, caractérisé par des salinités élevées, était alors comparable au lac Poopò actuel.

Entre ca 18 000-17 000 ans B.P. et ca 15 500 ans B.P., nous ne disposons pas de bons enregistrements dans les bassins de l'Altiplano. Mais de fortes présomptions suggèrent de très bas niveaux lacustres, voire des assèchements complets. Dans le



Figure VIII. 4 : Variations relatives du pourcentage des taxons algaires Botryococcus (B) et Pediastrum (P) dans les carottes TD et TD1 du lac Titicaca (d'après Ybert, 1992)

sondage CO2, les sédiments de la période antérieure sont tronqués par une surface d'érosion dont l'âge n'est pas précisément déterminé. Dans le salar de Uyuni, une croûte de sel, traversée par le sondage UA du salar de Uyuni, indique un assèchement postérieur à *ca* 28 840 ans B.P. et antérieur à *ca* 12 370 ans B.P. Dans la carotte TD1 du lac Titicaca, la période comprise entre 18 185±180 ans B.P. et 13 180±130 ans B.P. est représentée par seulement 30 cm de dépôt. Cela pourrait s'expliquer par une interruption de la sédimentation à une époque d'âges indéterminés, comprise entre les deux dates précédentes (Wirrmann *et al.*, 1992; Servant *et al.*, 1995; Wirrmann et Mourguiart, 1995). Ce hiatus, bien qu'il ne soit pas apparent dans la lithologie, pourrait être lié à de bas niveaux lacustres. Actuellement, des hiatus de sédimentation très difficilement détectables dans la lithologie ont été mis en évidence dans des zones peu profondes du lac (Pourchet *et al.*, 1994).

15 500 - 13 000 ans B.P. (18 400 - 15 400 cal. ans B.P.)

Cette période est caractérisée par une forte élévation du niveau lacustre dans les bassins de Coipasa et de Uyuni. Les dépôts transgressifs les plus anciens connus (Tauca Ia), caractérisés par des diatomées périphytiques, sont datés de ca 15 500 ans à 7 m au-dessus du fond du salar de Uyuni. Ces dépôts impliquent que la nappe d'eau atteignait 17 m de profondeur maximale dès ca 15 500 ans B.P. (les 10 m de la croûte de halite qui occupent le fond du salar de Uyuni n'étaient pas en place à cette période). On peut donc admettre que la mise en eau des dépressions a eu lieu un peu avant 15 500 ans B.P. L'estimation de la salinité obtenue par les diatomées indique une teneur en sels dissous de l'ordre de 12 g.L⁻¹. Cette salinité élevée peut s'expliquer par une dissolution d'une partie de la croûte de halite antérieurement déposée dans le fond du bassin de Uyuni. Après ca 15 500 ans B.P. (Tauca Ib), un milieu profond caractérisé par de fortes salinités est enregistré dans les dépôts à 7 m au-dessus du fond du salar actuel. A +32 m, sur les bordures de l'ancien lac, les diatomées enregistrent une salinité plus faible (1,5-6 g.L⁻¹) et une composition ionique Na (Ca, Mg) Cl (SO₄) probablement liée au lessivage par le ruissellement sur des bassins versants exclusivement constitués de roches volcaniques. Entre ca 14 500 et ca 13 000 ans B.P., le niveau lacustre moyen s'est stabilisé à + 35 m au-dessus des salars actuels (Tauca II). Les variations de salinité (4 à 26 g.L⁻¹) observées sur les bordures de l'ancien lac peuvent s'expliquer par des apports épisodiques en eau douce. Ces apports ne se sont pas réalisés à la faveur de crues très intenses car la sédimentation lacustre n'a pas été perturbée. Les dépôts sont laminés.

Cette remontée du niveau lacustre dans les bassins de Coipasa et de Uyuni ne semble pas s'expliquer par des apports en eau provenant du lac Titicaca. En effet, les dépôts peu épais qui pourraient être attribués à la période 15 000-13 000 ans B.P. dans les carottes TD (~420-370 cm) et TD1 (~200-180 cm) présentent des assemblages d'algues et de pollens indiquant une faible profondeur du lac (le taxon *Isoëtes* est bien représenté). Le plan d'eau se situait donc à une altitude inférieure à l'altitude de l'exutoire.

13 000 - 12 000 ans B.P. (15 400- 13 900 cal. ans B.P.)

A ca 13 000 ans B.P., le niveau du lac Tauca s'est abruptement et intensément élevé dans les bassins de Coipasa et de Uyuni (Tauca III). Il a atteint alors une altitude de l'ordre de 100 m par rapport au fond actuel du bassin. L'espèce planctonique Cyclotella striata est dominante dans tous les échantillons étudiés quelques soient les lieux et les altitudes de prélèvement. Néanmoins, des fluctuations significatives du plan d'eau à court terme, sont enregistrées par les pourcentages des diatomées planctoniques dans les sédiments qui se sont déposés sous une tranche d'eau d'environ 65 m d'épaisseur sur la bordure de l'ancien lac (affleurement de Churacari Bajo: altitude: 3685 m). Contrairement à la période antérieure, le faciès hydrochimique était chloro-sulfaté sodique dans les différents points étudiés. La salinité était comprise entre 12 et 39 g.L⁻¹. L'élévation abrupte du plan d'eau et la modification du faciès hydrochimique impliquent un changement drastique dans le bilan en eau du lac. Deux explications peuvent être proposées (1) une forte élévation du facteur P-E (Précipitation-Evaporation) ou (2) des apports massifs en eau en provenance du Nord de l'Altiplano. La deuxième explication suppose que le lac Titicaca ait atteint son exutoire vers 13 000 ans B.P. Les données des carottes TD et TD1 montrent que le niveau du lac Titicaca était relativement haut un peu après 13 180 ans B.P., mais les assemblages algaires et polliniques ne permettent pas de savoir s'il a atteint l'altitude de l'exutoire. Les diatomées (Cyclotella andina) confirment que le lac dans la zone de prélèvement des carottes TD et TD1, avait une profondeur supérieure à 4 m. La basse terrasse située à +5 m au-dessus du niveau actuel pourrait indiquer que le niveau lacustre avait atteint l'exutoire, mais cela nécessite confirmation puisque cette terrasse n'est pas datée (Servant et Fontes, 1978). Finalement, les données disponibles ne permettent pas pour le moment de savoir si les eaux du lac Titicaca ont participé à la forte élévation des niveaux lacustres dans les bassins du centre de l'Altiplano.

La comparaison entre les données du lac Titicaca et celle des bassins de Coipasa et Uyuni, montre une différence très nette de salinité entre les eaux du Nord et les eaux du Sud. Les assemblages de diatomées dominés par *Cyclotella andina*, de même que les assemblages de pollens (Ybert, 1992) montrent que le lac Titicaca était un lac d'eau douce. La dominance de *Cyclotella striata* dans les bassins de Coipasa et de Uyuni montre que les eaux étaient assez fortement salées (12-39 g.L⁻¹). Cette différence de salinité suggère comme c'est le cas actuellement un gradient climatique méridien, caractérisé par des valeurs de P-E (Précipitation-Evaporation) plus élevées au Nord qu'au Sud de l'Altiplano.

12 000 - 9 500 ans B.P. (13 900- 10 500 cal. ans B.P.)

Les datations radiocarbone disponibles entre ca 12 000 et ca 11 500 ans B.P. ne sont pas cohérentes entre elles dans les bassins de Coipasa et de Uyuni. L'âge de ca 11 900 ans B.P. obtenu sur les dépôts de l'événement régressif Ticaña est en désaccord avec les âges compris entre ca 12 000 et ca 11 500 ans B.P. sur de hauts niveaux lacustres de la période Tauca. Cette apparente contradiction peut faire l'objet de deux explications différentes (1) les âges des hauts niveaux lacustres pourraient avoir été rajeunis par recristallisation, ou (2) les carbonates de l'événement Ticaña ont été vieillis par du carbone inorganique issu des nappes souterraines. Les âges U/Th disponibles pour la période suivante montrent un effet réservoir sur les âges radiocarbone de l'ordre de 2 000 ans en période de bas niveaux lacustres. Il nous paraît probable que le même phénomène a affecté les carbonates de l'événement Ticaña. Mais en l'absence de datations U/Th, nous ne pouvons pas évaluer précisément le vieillissement apparent de ces carbonates. En définitive, nous ne pouvons pas exclure que de hauts niveaux lacustres aient pu se maintenir un peu après ca 12 000 ans B.P. Un abaissement très intense du niveau lacustre a eu lieu durant cette époque, mais il n'est pas encore précisément daté.

L'événement *Ticaña* a été marqué par un assèchement du salar de Uyuni (présence d'une croûte de sel antérieure à 10 940 ¹⁴C ans B.P. et postérieure à 12 370 ¹⁴C ans B.P.). Les diatomées contenues dans les lentilles limono-argileuses interstratifiées dans des sables fluviatiles, indiquent le maintien de zones humides sur la bordure des bassins de Coipasa et de Uyuni. Ces zones humides ont pu être alimentées par la décharge de nappes d'eau souterraine qui avaient été alimentées lors de la phase lacustre antérieure *Tauca*.

Dans la carotte TD du lac Titicaca, une diminution très forte puis la disparition des taxons algaires avant *ca* 9 600 ans B.P. enregistre un intense abaissement des plans d'eau. Les taxons de plantes terrestres (*Gramineae*, *Compositae*) et de milieux humides (spores de champignons, *Incertae sedis*), indicateurs de plans d'eau inférieurs à 40 cm représentent plus de 70% des assemblages. Une évolution comparable est observée dans la carotte TD1. Dans les deux carottes, l'abaissement du plan d'eau a été enregistré par une augmentation de la fraction grossière, une augmentation de la fraction carbonatée (60 % de CaCO₃), une diminution du carbone organique (1-5%) et

l'apparition de lentilles de gypse dans les sédiments (Wirrmann et Mourguiart, 1995). Les sédiments sont azoïques en diatomées. Dans la carotte TD1, la faible épaisseur (20 cm) des dépôts entre la phase de haut niveau lacustre (ca 13 000-12 000 ans B.P.) et la phase de bas niveau lacustre (7700 ± 230 ans B.P.) suggère que des hiatus de sédimentation, probablement liés à des épisodes d'assèchement ont eu lieu durant cet intervalle de temps. Ces hiatus pourraient correspondre aux assèchements qui ont été mis en évidence dans les bassins de Coipasa et de Uyuni (événement *Ticaña*).

9 500 - 8 500 ans B.P. (10 500- 9 400 cal. ans B.P.)

A partir de *ca* 9 500 ans B.P. (âge corrigé d'après les datations U/Th), une phase lacustre de faible amplitude apparaît dans les bassins de Coipasa et de Uyuni. Cette phase, nommée *événement Coipasa*, est enregistrée autour des salars par une croûte carbonatée largement développée, située à ~7 m au-dessus du fond des salars actuels. Nous lui attribuons également une couche lacustre peu épaisse qui est intercalée entre deux couches de sel dans le salar de Uyuni, de même qu'une croûte calcaire rencontrée dans le sondage CO2 de Coipasa. Cet événement lacustre n'a pas été signalé dans le Nord de l'Altiplano par les travaux antérieurs. Néanmoins, la réapparition puis les pourcentages relativement élevés de *Botryococcus* (24%) et de *Pediastrum* (15%) après 9 620±90 ans B.P. dans la carotte TD du lac Titicaca, suggère qu'une oscillation lacustre positive, de faible amplitude pourrait avoir eu lieu à l'Holocène ancien. Nous verrons plus loin que cette oscillation, si elle venait à être confirmée, serait en accord avec une phase humide identifiée dans le bassin versant.

Dans les petits bassins du Lipez, au Sud de l'Altiplano, notre étude, étayée par des datations U/Th, a montré qu'une élévation des niveaux lacustres a eu lieu à l'Holocène ancien. Cette élévation a été du même ordre de grandeur que dans les bassins de Coipasa et de Uyuni malgré une extension beaucoup plus limitée des bassins versants.

VIII.1.3. COMPARAISON AVEC LES FLUCTUATIONS DES GLACIERS ET LES CHANGEMENTS DES MILIEUX FLUVIATILES.

La mise en eau des bassins de Coipasa et de Uyuni un peu avant 15 500 ans B.P., est chronologiquement proche d'une avancée glaciaire matérialisée par les moraines M1b de la Cordillère Orientale de Bolivie (Servant *et al.*, 1995). Cela montre que l'élévation des niveaux lacustres ne s'explique pas par des apports en eau antérieurement stockées dans les glaciers. Une réavancée glaciaire ayant culminé un peu après 13 900 ans B.P., s'inscrit dans la phase transgressive du lac *Tauca*. Néanmoins, la relative stabilisation du plan d'eau qui se superpose entre 14 500 et 13 000 ans B.P. marque une modification du bilan en eau. Il est possible qu'un stockage des eaux de précipitations sous forme de glace durant cette avancée glaciaire ait entraîné une diminution des apports en eau. Ces corrélations suggèrent que les avancées glaciaires et les remontées lacustres sont synchrones, aux erreurs d'observation près.

Une situation très différente est observée vers 11 000 ans B.P. A cette date, une réavancée glaciaire a été mise en évidence dans le Sud du Pérou (Mercer et Palacios, 1977; Francou *et al.*, 1995). La chronologie radiocarbone suggère qu'elle pourrait être synchrone d'une oscillation lacustre positive (*événement Coipasa*) dans les bassins de Coipasa et de Uyuni (Servant *et al.*, 1995). Aujourd'hui, les datations U/Th montrent que les âges radiocarbone des dépôts lacustres ont subi un vieillissement apparent par effet réservoir et que l'*événement Coipasa* date en réalité de l'Holocène ancien. L'avancée glaciaire qui a culminé un peu après 11 000 ans semble devoir être corrélée avec l'épisode sec *Ticaña*. Cette avancée glaciaire ne peut donc s'expliquer que par une forte diminution de la température.

Les changements dans la sédimentation des milieux fluviatiles ont été reconstitués dans le Nord de l'Altiplano, au pied des Cordillères Orientale et Occidentale (Servant et Fontes, 1984). Cette reconstitution s'appuie sur une étude des dépôts de fond de vallées et sur les relations entre la lithologie de ces dépôts et la morphologie des versants. Les observations ont été faites pour la plupart dans de petites vallées qui n'ont pas été occupées par des glaciers en amont. On peut donc considérer que les écoulements de ces petites vallées ont été alimentés uniquement par les précipitations.

Un intense ravinement des versants ayant alimenté des cônes de déjection constitués d'un matériel grossier est chronologiquement proche de la forte remontée du niveau lacustre dans les bassins de Coipasa et de Uyuni à partir de 15 000 ans B.P. Cette phase de ravinement n'est pas datée très précisément mais on sait qu'elle est postérieure à l'avancée glaciaire M1b, qui a culminé vers 15 000 ans B.P., et qu'elle est antérieure à 12 350 ans B.P. (Servant *et al.*, 1981). Ces auteurs ont montré que ce ravinement s'explique par des précipitations liquides et orageuses, comparables à celles qui ont lieu actuellement en été.

Des dépôts fins et organiques de fonds de vallées ont été datés de *ca* 13 260 et *ca* 11 465 ans B.P. Ces dépôts ont été observés seulement dans quelques sites. Ils suggèrent des conditions en permanence humides dans les fonds de vallées. La sécheresse dont témoigne les bas niveaux lacustres de l'événement Ticaña n'a pas encore été identifiée dans les fonds des vallées andines. Néanmoins, des observations récentes (Servant, communication orale) montrent que la limite Pléistocène-Holocène est caractérisée par des dépôts grossiers et/ou par un creusement des rivières avec disparition des tourbières.

Entre ca 10 000 ans B.P. et ca 8 000 ans B.P., la présence de tourbières et de sédiments organiques très développés marque un retour à des conditions en permanence humide dans les fonds de vallées. Cette phase humide se corrèle avec l'élévation modérée (événement Coipasa) des niveaux lacustres dans les bassins du Centre et du Sud de l'Altiplano bolivien.

VIII.2. COMPARAISON AVEC LE NORD DU CHILI (ATACAMA)

Dans le Nord du Chili, le climat est caractérisé en haute altitude, par de faibles précipitations (50-100 mm/an). Ces précipitations sont alimentées par de la vapeur d'eau d'origine amazonienne (Messerli *et al.*, 1993). Des advections d'air polaire sur la bordure est du Pacifique contribuent à un renforcement des précipitations neigeuses (Messerli, sous presse). De nombreuses dépressions lacustres ont enregistré les variations du climat au Quaternaire récent (Grosjean, 1994; Grosjean et *al.*, 1995). Les variations des niveaux lacustres ont été estimées d'après l'altitude des terrasses et des anciennes lignes de rivage. Un enregistrement continu a été fourni par une carotte prélevée dans la *laguna* Lejía (23°30'S, 67°42'W, 4325 m). Les résultats disponibles révèlent trois phases majeures dans l'évolution des paléoenvironnements lacustres (Grosjean *et al.*, 1995), et un modèle de bilan en eau a permis d'estimer les hauteurs de précipitation.

1) Une première phase lacustre est caractérisée par des sédiments à faciès littoraux à sub-littoraux. Des conditions paléoenvironnementales fluctuantes sont suggérées par des variations importantes du contenu en calcite dans les sédiments, par des variations lithologiques et un fort rapport en Mg/Ca. L'altitude du plan d'eau est estimée à 5 m au-dessus du fond du bassin actuel, impliquant une hauteur de précipitation comprise entre 250 et <400 mm/an.

2) Une deuxième phase est marquée par de hauts niveaux lacustres (+25 m audessus du niveau actuel). Les sédiments, carbonatés et finement laminés, sont caractérisés par un rapport Mg/Ca plus faible que précédemment. Les interprétations suggèrent que le lac évoluait vers des eaux douces, en accord avec une élévation du plan d'eau. Les précipitations ont été estimées à 600 mm/an. 3) Une troisième phase caractérisée par des sédiments où alternent des lits carbonatés et des lits sableux correspond à un abaissement progressif du plan d'eau. Des salinités plus fortes que dans les étapes antérieures sont suggérées par un rapport Mg/Ca très élevé. Les précipitations ont diminué de 300-450 mm/an à moins de 200 mm/an. L'évolution s'achève par un assèchement complet de la dépression.

Les âges radiocarbone suggèrent que ces trois phases lacustres se situent respectivement entre 15 400 et 13 500 ans B.P., entre 13 500 et 10 400 ans B.P. et entre 10 400 et 8 500 ans B.P. Ces âges sont en cours de vérification par la méthode U/Th (Grosjean, communication orale). En effet, un vieillissement apparent (*effet réservoir*) doit être envisagé car on sait que les carbonates actuels affichent un âge de 8 000 ans B.P. et la matière organique actuelle un âge de 2 000 ans B.P.

Une étude des sols, des paléosols et des sédiments fluviatiles réalisée dans les Andes du Nord Chili (Norte Chico, 27-30°S) donne des indications sur l'évolution du climat à l'Holocène. En haute altitude, les dépôts fluviatiles suggèrent des conditions relativement humides durant l'Holocène ancien avant 7 300 ans B.P. (Veit, 1996).

Ces données montrent que la période tardiglaciaire de haut niveau lacustre des bassins de Coipasa et de Uyuni (phase *Tauca*) est probablement représentée dans le Nord du Chili; mais cela demande à être confirmé par une chronologie indépendante de la méthode radiocarbone. La phase relativement humide (événement Coipasa) que nous avons mis en évidence à l'Holocène ancien dans les bassins de Coipasa et de Uyuni, de même que dans la région du Lipez, a eu lieu dans le Nord du Chili.

VIII.3. CONCLUSIONS

Les comparaisons précédentes montrent que des changements majeurs de l'environnement ont eu lieu dans les Andes tropicales entre 15 et 30° de latitude sud entre le dernier maximum glaciaire global et le début de l'Holocène.

De bas niveaux lacustres sont observés dans tous les bassins de l'Altiplano bolivien vers ca 20 000 ans B.P. Le niveau du lac Titicaca était en dessous de son altitude actuelle entre ca 20 000 ans B.P. et ca 18 000 ans B.P. Mais une oscillation positive modérée semble avoir eu lieu autour de ca 19 000 ans B.P. Dans le centre de l'Altiplano, une nappe d'eau pelliculaire s'est maintenue dans le bassin de Coipasa jusqu'à ca 17 500 ans B.P., et elle occupait la totalité du salar actuel (aujourd'hui, un lac très peu profond existe au débouché du *rio* Lauca, au Nord du salar). Une sécheresse maximale est fortement probable un peu après 17 500 ans B.P. Dans les bassins de Coipasa et de Uyuni, une tendance générale d'élévation du niveau lacustre a eu lieu entre *ca* 15 500 ans B.P. (18 400 cal. ¹⁴C B.P.), et *ca* 13 000 ans B.P. (15 400 cal. ¹⁴C B.P.). Cette grande tendance semble également présente dans le Nord de l'Altiplano, de même que dans le Nord du Chili. Mais les évaluations chronologiques sont encore insuffisantes pour en retracer et en dater les différentes étapes. Dans le centre de l'Altiplano, une phase de relative stabilisation du plan d'eau est superposée à cette grande tendance entre *ca* 14 500 ans B.P. et *ca* 13 000 ans B.P.

Entre 13 000 ans et 12 000 ans B.P., un maximum d'élévation des niveaux lacustres est enregistré dans l'ensemble des bassins aux latitudes tropicales sud des Andes. Ce maximum a été très intense dans les bassins de Coipasa et de Uyuni. Dans le lac Titicaca, il est encore difficile de préciser si le plan d'eau a atteint ou dépassé son altitude actuelle.

La fin du Pléistocène est marquée par une intense sécheresse, ayant entraîné un assèchement des bassins du Sud de l'Altiplano et un abaissement très marqué du plan d'eau du lac Titicaca. Cet événement n'est pas identifié pour le moment dans le Nord du Chili.

Un retour à des conditions climatiques plus humides est clairement apparent durant l'Holocène ancien dans le centre et le Sud de l'Altiplano, de même que dans le Nord du Chili. Cette tendance est également observée dans le bassin de drainage du lac Titicaca où elle est marquée par un large développement des tourbières dans les fonds de vallées.
CONCLUSION: PRINCIPAUX RESULTATS, COMPARAISONS AVEC D'AUTRES REGIONS TROPICALES D'AMERIQUE DU SUD ET IMPLICATIONS PALEOCLIMATIQUES

Notre étude a été ciblée sur la dernière transition glaciaire-interglaciaire dans les Andes de Bolivie. Elle a débouché sur trois principaux résultats: 1) les variations des niveaux lacustres ont été estimées dans le grand bassin de Uyuni-Coipasa d'une part, et dans un petit bassin intravolcanique du Sud-Ouest de la Bolivie (Lipez) d'autre part; 2) la composition ionique des anciens milieux lacustres a été estimée en appliquant le principe des «fonctions de transfert»; 3) la salinité a été estimée sur les mêmes bases méthodologiques.

Les évaluations chronologiques reposent sur deux méthodes indépendantes: le radiocarbone et l'uranium-thorium. Il a été montré que: (1) les âges radiocarbone du Sud-Ouest de la Bolivie (Lipez) ont subi un vieillissement apparent. Cela s'explique par un contexte volcanique favorable à une remontée des eaux profondes; (2) les âges radiocarbone du bassin de Uyuni-Coipasa sont en accord avec les âges U/Th durant les périodes d'élévation des niveaux lacustres (*ca* 15 500 - 12 000 ans B.P.); (3) ils présentent par contre un vieillissement apparent pour l'Holocène ancien, durant lequel les niveaux lacustres étaient plus bas qu'au cours du Tardiglaciaire. Cela s'explique par une décharge des nappes phréatiques ayant été alimentées durant l'époque humide antérieure.

I. RESULTATS

I.1. Les variations du niveau lacustre

L'estimation des grandes tendances des niveaux lacustres est basée sur des observations de terrain (altitude des dépôts par rapport au fond des dépressions actuelles) et sur les modifications des assemblages de diatomées. Les variations relatives à court terme qui se superposent à ces grandes tendances ont été mises en évidence par les pourcentages des diatomées planctoniques.

Le bassin de Uyuni-Coipasa a évolué entre 20 000 et 8 000 ¹⁴C ans B.P. en six grandes étapes. Certaines de ces grandes étapes peuvent être corrélées avec l'évolution

du niveau du lac Titicaca au Nord, et avec les niveaux lacustres du petit bassin intravolcanique au Sud-Ouest (Lipez):

-1: ca 20 000 - 17 500 ¹⁴C ans B.P. Une nappe d'eau de faible profondeur, affectée de fluctuations à court terme, occupait le bassin de Coipasa actuellement en grande partie asséché. Le niveau du lac Titicaca oscillait autour d'une position inférieure à l'altitude actuelle de son exutoire.

- 2: ca 18/17 000 - 16 000 ¹⁴C ans B.P. Les bassins de l'Altiplano ont été probablement caractérisés par de très bas niveaux lacustres.

- 3: ca 16 000 - 12 000 14 C ans B.P. (13 900 - 18 400 cal. ans B.P.). Un niveau lacustre relativement élevé est enregistré dès 15 500 14 C ans B.P. (*Tauca I*). Un palier (*Tauca II*) est identifié dans la remontée lacustre entre 14 500 14 C ans B.P. et 13 000 14 C ans B.P. (17 360 - 14 600 cal. ans B.P.).

- 4: L'élévation du plan d'eau a été maximale entre 12 000 ¹⁴C ans B.P. et 13 000 ¹⁴C ans B.P. (13 900 - 14 600 cal. ans B.P.) (*Tauca III*). Cette élévation des plans d'eau est également connue dans le bassin du lac Titicaca, mais on ne sait pas pour le moment si le niveau lacustre a atteint l'altitude de son exutoire. Nous devons donc envisager deux hypothèses (1) la forte élévation du niveau lacustre dans le bassin de Uyuni-Coipasa à 13 000 ¹⁴C ans B.P. a pu être amplifiée par des apports en eau en provenance du déversement du lac Titicaca, (2) elle a été provoquée uniquement par des apports en eau issus du centre et du Sud de l'Altiplano.

- 5: ca 12 000 - 9 500 ¹⁴C ans B.P. (13 900 - 10 500 cal. ans B.P.). Une phase d'abaissement intense du plan d'eau (événement *Ticaña*) a eu lieu dans le bassin de Uyuni-Coipasa, à une date encore non déterminée avec précision à l'intérieur de cette tranche de temps. Le niveau du lac Titicaca s'est fortement abaissé avant ca 9 600 ¹⁴C ans B.P., mais il est encore difficile d'en préciser l'altitude exacte.

- 6: ca 9 500 - 8 500 ¹⁴C ans B.P. (10 500 - 9 400 cal. ans B.P.). Une transgression lacustre est observée dans le bassin de Uyuni-Coipasa (événement *Coipasa*). L'altitude des dépôts indique que le plan d'eau se situait à +7m <u>au minimum</u> au-dessus du fond actuel du bassin. Cette transgression lacustre est également connue dans les bassins intravolcaniques (Chiar Kkota et Honda) du Sud-Ouest de la Bolivie (Lipez) où le plan d'eau a atteint + 10 m <u>au minimum</u> par rapport au fond actuel de ce bassin. Le niveau du lac Titicaca se situait en-dessous de son altitude actuelle. Mais une oscillation lacustre positive, qui devra être confirmée, pourrait avoir eu lieu, un peu après ca 9 600 ¹⁴C ans B.P. Les tourbières des milieux fluviatiles, largement développées à cette époque en Bolivie et dans le Nord du Chili, indiquent que les fonds de vallées étaient en permanence humides.

Les variations des niveaux lacustres dans les bassins endoréiques sont considérées comme de bons indicateurs des changements du facteur P-E (Précipitation-Evaporation). Nous considérons que cela a été le cas pour le bassin de Uyuni-Coipasa. Le lac Titicaca n'a pas participé à l'alimentation du bassin de Uyuni-Coipasa, sauf peut-être vers 13 000 - 12 000 ¹⁴C ans B.P. Cela implique que les eaux de fonte des grands glaciers de la chaîne montagneuse au Nord de l'Altiplano n'ont pas atteint le bassin de Uyuni-Coipasa. Dans le Sud de l'Altiplano, les glaciers ont été beaucoup moins étendus qu'au Nord. Les volumes d'eau stockés lors du dernier maximum glaciaire ne sont pas suffisants pour expliquer la forte remontée des lacs au Tardiglaciaire (Hastenrach et Kutzbach, 1985). Les corrélations entre la chronologie lacustre et la chronologie glaciaire, basée sur les datations radiocarbone en donnent la confirmation pour la période comprise entre 16 000 et 12 000 ¹⁴C ans B.P. Le paléolac Tauca a donc été alimenté principalement par les précipitations sur le lac et par les eaux de ruissellement sur le bassin versant. Il recevait les eaux drainées sur le versant est de la Cordillère Occidentale (18-19°S) par le rio Lauca, sur le versant ouest de la Cordillère Orientale (19-20°S) par diverses rivières dont la principale est le rio Marquez, et sur la partie sud de l'Altiplano (21 - 23°S) par le rio Grande de Lipez.

I.2. La composition ionique

L'estimation de la composition ionique a été obtenue à partir d'une calibration sur les milieux actuels. Cette estimation s'appuie sur une banque de données déjà disponible dans les bassins du Centre et du Sud de l'Altiplano, que nous avons élargie par de nouveaux prélèvements. Une fonction de transfert pour chaque composant ionique a été développée par la méthode des moyennes pondérées. Le choix de cette méthode est justifié par l'acquisition de meilleures estimations, la méthode de moyennes par classe ayant été utilisée auparavant. La balance ionique des paléocompositions est respectée. Cela montre que nos estimations sont réalistes, malgré l'abondance dans les assemblages fossiles de l'espèce *Cyclotella striata*, indicatrice de milieux profonds, actuellement très faiblement représentée.

Les compositions ioniques des épisodes transgressifs sont de type Na (Ca, Mg) Cl (SO₄); celles des périodes de hauts niveaux lacustres sont de type Na (SO₄) Cl. Les faciès hydrochimiques sont comparables à ceux que l'on observe communément dans les lacs actuels. Les apports en eaux issus du bassin versant ont donc évolué par évaporation selon les processus envisagés par Risacher (1992 a-b).

I.3. La salinité

On sait que les diatomées, très sensibles à la composition ionique, peuvent pour certaines espèces, supporter des gammes assez larges de salinité. La marge d'erreur calculée de nos estimations est de $\pm 7,57$ g.L⁻¹. Les estimations obtenues sont en accord avec les données de la littérature.

Nos estimations ont montré une salinité élevée (12 g.L^{-1}) dès le début de la transgression du lac *Tauca*. Ceci pourrait s'expliquer par la redissolution d'évaporites anciennes déposées lors d'une période sèche antérieure ou par la reprise de saumures résiduelles. La salinité augmente de manière significative (21 g.L^{-1}) dans la partie centrale du bassin alors que le niveau du lac s'élève. Sur les bordures du bassin, la salinité est relativement faible $(1,5 - 6 \text{ g.L}^{-1})$ au début de la transgression, elle oscille assez fortement entre 4 et 26 g.L⁻¹ lors de la phase de stabilisation du plan d'eau entre 14 500 et 13 000 ans B.P. Elle fluctue entre 12 et 39 g.L⁻¹ durant la période d'extension maximale du lac. Ces données montrent que le paléolac *Tauca* du bassin de Uyuni-Coipasa était un lac salé, et que la tendance générale semble avoir été caractérisée par une augmentation de la salinité au cours de l'élévation du plan d'eau.

Les fortes salinités qui se maintiennent alors que le volume de l'ancien lac augmente (*Tauca II* et *III*), sont inattendues car les apports en eau douce ou faiblement salée par le ruissellement sur les bassins versants devraient se traduire par une diminution des teneurs en éléments dissous. En raison de la complexité des bilans en eau et des bilans chimiques, la compréhension de ce phénomène passe par les techniques de la modélisation. Au stade actuel des recherches, on peut supposer qu'un climat à saisons très contrastées pourrait en donner une explication. Une saison sèche prolongée et très intense a pu favoriser les efflorescences salines dans les sols des bassins versants et une concentration des éléments chimiques dans les anciens lacs qui offraient une très grande surface évaporante. Une saison humide caractérisée par d'intenses précipitations, concentrées sur une courte période, a pu favoriser le lessivage des sels dans le bassin versant et une élévation de plan d'eau.

Le lac Titicaca est resté en permanence un lac d'eau douce entre 20 000 et 8 000 ¹⁴C ans B.P. Le lac endoréique du bassin de Uyuni-Coipasa a toujours été salé, sauf sur ses bordures où l'on observe des épisodes de diminution de salinité. Les petits lacs fermés intravolcaniques du Sud-Ouest de la Bolivie (Lipez) avaient des salinités différentes selon les bassins pris en considération. Globalement, nous retrouvons durant toute la période étudiée le gradient général de salinité, que nous observons actuellement du Nord au Sud de l'Altiplano. Cela suggère une évaporation croissante du Nord vers le Sud.

II. COMPARAISON AVEC D'AUTRES REGIONS DU CONTINENT AMERICAIN AUX LATITUDES SUB-EQUATORIALES ET TROPICALES SUD

Les données concernant la dernière transition glaciaire-interglaciaire sont encore peu nombreuses aux latitudes équatoriales et tropicales sud. Nous prendrons ici deux exemples, le site de Carajas en Amazonie Orientale, et le site de Salitre au Brésil Central.

II.1. Le Sud-Est de l'Amazonie

Le site de Carajas (6°20'S, 50°25'W) est situé dans le «couloir sec» amazonien, d'orientation NW-SE, où les précipitations de l'ordre de 1500 à 2000 mm/an sont relativement faibles. Ce couloir sépare les parties occidentale et orientale, correspondant aux zones les plus humides de l'Amazonie. Le climat est contrôlé par le déplacement saisonnier de l'équateur météorologique. Le site étudié est localisé sur un plateau cuirassé, qui s'élève à 700-800 m d'altitude au-dessus de la forêt dense humide. Ce plateau comprend des dépressions lacustres ou marécageuses. Deux carottes prélevées dans deux de ces dépressions ont été étudiées en sédimentologie (Sifeddine et al., 1994) et l'une d'elle en palynologie (Absy et al., 1991). La pluie pollinique actuelle sur le plateau reflète le paysage forestier environnant, et les auteurs considèrent que les spectres polliniques des sédiments anciens ont enregistré les changements de la forêt. Les variations détectées par les modifications sédimentologiques concernent l'environnement hydrologique local du plateau. Les âges radiocarbone, effectués sur la fraction organique des sédiments, présentent une bonne cohérence interne. Ils comportent néanmoins pour la plupart une importante marge d'erreur, car ils ont été réalisés par la méthode classique sur de faibles quantités de matériel.

L'évolution des 30 000 dernières années comprend les principales étapes suivantes:

- une période humide caractérisée par un pourcentage élevé des taxons arborés et par des sédiments organiques datés à *ca* 30 000 ¹⁴C ans B.P. Une régression de la végétation arborée a été enregistrée entre *ca* 28 000 ¹⁴C ans B.P. et 22 000 ¹⁴C ans B.P.;

- la période comprise entre *ca* 20 000 et *ca* 13 000 ¹⁴C ans B.P. correspond à un hiatus de sédimentation, interprété comme une période d'assèchement complet du lac;

- à ca 13 000 ¹⁴C ans B.P., une remise en eau de la dépression est attestée par une reprise de la sédimentation lacustre, les apports en éléments détritiques issus du plateau, sont alors très importants. Entre ca 13 000 et ca 10 000 ¹⁴C ans B.P., les

diagrammes palynologiques indiquent un développement progressif de la végétation arborée et la présence de taxons typiques de la savane;

- entre ca 10 000 et 8 000 ¹⁴C ans B.P., les assemblages polliniques indiquent la présence d'une forêt dense humide.

- à ca 8000/7000 ans 14 C B.P., une augmentation des taxons herbacés révèle une ouverture de la forêt.

Cette évolution montre (1) une amélioration du climat vers 13 000 ¹⁴C ans B.P. en Amazonie Orientale, alors qu'elle a débuté dès 16 000 ¹⁴C ans B.P. dans les Andes de Bolivie (2) l'optimum de développement de la forêt dense humide coïncide avec la phase lacustre *Coipasa* du bassin de Uyuni-Coipasa (3) l'ouverture de la forêt dans la région de Carajas à 8 000/7 000 ¹⁴C ans B.P. est chronologiquement proche d'une période sèche dans l'Altiplano bolivien.

II.2. Le Brésil central

Le site de Salitre (19°S, 46°46'W, 1050 m d'altitude) est localisé dans une zone de savane boisée (*cerrado*). Le climat est caractérisé par une saison sèche de 3 à 4 mois, des températures hivernales relativement basses (comprises entre 10°C et 15°C) et des précipitations moyennes annuelles de 1500 mm/an. Les advections d'air polaire atteignent fréquemment cette région.

Les données palynologiques (Ledru, 1991, 1993) indiquent la présence d'une forêt à *ca* 28 000 ¹⁴C ans B.P. et elles suggèrent que les paysages végétaux ont été dominés par des taxons de plantes herbacées au cours des 17 000 dernières années, exception faite de l'Holocène ancien. Les pourcentages des taxons arborés avoisinent ou dépassent 50% dans le diagramme palynologique.

A ca 28 000 ¹⁴C ans B.P., la présence d'une forêt temporairement inondée est détectée par une forte proportion de pollens d'arbres avec des taxons aujourd'hui caractéristiques de zones inondables de l'Amazonie. Cela indique des conditions climatiques plus humides qu'actuellement. Cette phase forestière est chronologiquement proche d'une période de hauts niveaux lacustres (lacustre *Minchin*) identifiée sur l'Altiplano bolivien.

La période comprise entre *ca* 28 000 ¹⁴C ans B.P. et *ca* 17 000 ¹⁴C ans B.P. correspond à un hiatus de sédimentation dans la carotte étudiée. Sur l'Altiplano bolivien, les conditions lacustres se sont prolongées jusqu'à 20 000 ¹⁴C ans B.P. (fin de la période lacustre *Minchin*), le niveau du lac Titicaca s'est abaissé à *ca* 21 000 ¹⁴C ans B.P. et une nappe d'eau de faible profondeur s'est maintenue dans le bassin de Coipasa entre *ca* 21 000 ¹⁴C ans B.P. et *ca* 17 500 ¹⁴C ans B.P.

A ca 17 000 ¹⁴C ans B.P., une tourbière à *Sphagnum* s'est installée au lieu du sondage dans la dépression de Salitre. Nous ne disposons pas d'enregistrements dans l'Altiplano bolivien entre ca 17 000 ¹⁴C ans et ca 15 500 ¹⁴C ans B.P. Mais plusieurs arguments (hiatus de sédimentation, érosion des dépôts *Minchin*, croûte de sel dans le salar de Uyuni) laissent penser que les niveaux lacustres ont été très bas.

.

Entre *ca* 17 000 et 13 000 ¹⁴C ans B.P., les données palynologiques de Salitre indiquent une végétation arborée ouverte, et des sols humides mais non inondables. Elles suggèrent un climat à courte saison sèche, et des températures moyennes d'hiver inférieures à 15°C. Les taxons arborés diminuent au cours de cette période, et atteignent leur fréquence minimale à *ca* 13 000 ¹⁴C ans B.P. Sur l'Altiplano bolivien, une élévation des niveaux lacustres est enregistrée entre *ca* 15 500 et *ca* 13 000 ¹⁴C ans B.P.

Entre ca 13 000 ¹⁴C ans B.P. et ca 11 000 ¹⁴C ans B.P., la fréquence des taxons arborés augmente par rapport à la période précédente dans le diagramme palynologique de Salitre, et la présence d'une faible proportion de pollens d'Araucaria suggère des conditions climatiques froides sans saison sèche bien marquée. Dans les Andes de Bolivie, la période comprise entre ca 13 000 et ca 12 000 ¹⁴C ans B.P. est caractérisée par de très hauts niveaux lacustres.

A Salitre, une forte et brève diminution de tous les taxons arborés et la disparition de *Araucaria* suggèrent une augmentation de la durée de la saison sèche et des températures probablement basses vers 10 500 ¹⁴C ans B.P. Cet événement s'inscrit dans la phase de très bas niveaux lacustres (événement *Ticaña*) des Andes de Bolivie.

Entre ca 9 200 ¹⁴C ans B.P. et ca 8 000 ¹⁴C ans B.P., une fréquence élevée des taxons arborés et la présence de *Araucaria* dans le diagramme palynologique de Salitre, indiquent des conditions climatiques sans saison sèche bien marquée, à gelées hivernales fréquentes. Néanmoins, des études effectuées sur d'autres sites, à des latitudes proches, suggèrent que cette période englobe des fluctuations climatiques complexes et que des conditions sèches ont été dominantes dans certains secteurs (Ybert, 1992). Dans les Andes tropicales sud, cette période est caractérisée par des conditions plus humides qu'actuellement (événement *Coipasa*) dans le Centre et le Sud de l'Altiplano, de même que dans le Nord du Chili.

A 8 000/7 000 ¹⁴C ans B.P., la forêt à *Araucaria* a disparu dans le site de Salitre et a été remplacée par une forêt de type mésophile semi-décidue, impliquant une saison sèche bien marquée. Cette date correspond à un assèchement du climat dans les Andes de Bolivie.

En résumé, les comparaisons précédentes dégagent les principaux points suivants:

1) une phase plus humide qu'actuellement est observée dans tous les sites vers $30\ 000\ ^{14}$ C ans B.P.;

2) l'enregistrement des conditions climatiques est très incomplet dans tous les sites entre 20 000 et 15 000 ¹⁴C ans B.P. Les hiatus de sédimentation suggèrent des conditions plus sèches qu'actuellement. Il faut néanmoins signaler qu'un lac peu profond s'est maintenu dans le bassin de Coipasa et que le lac Titicaca était plus bas que de nos jours entre 20 000 et 18/17 000 ¹⁴C ans B.P.;

3) une élévation des plans d'eau est décelée dès ca 17 000 ¹⁴C ans B.P. à Salitre, à ca 16 000 ¹⁴C ans B.P. dans les Andes de Bolivie et à ca 13 000 ¹⁴C ans B.P. à Carajas;

4) une phase sèche est identifiée au Brésil Central et en Bolivie autour de 10 500 14 C ans B.P.;

5) une phase humide datée de l'Holocène ancien (9 500 - 8 500 ¹⁴C ans B.P.) est marquée à Carajas par un développement de la forêt dense humide, par des niveaux lacustres plus hauts qu'actuellement dans le Centre et le Sud de l'Altiplano bolivien. Au Brésil Central, les données palynologiques suggèrent une forte variabilité spatio-temporelle des paysages végétaux.

III. COMPARAISON AVEC L'INSOLATION

Les variations des paramètres de l'orbite terrestre ont entraîné des changements significatifs de l'insolation durant le Quaternaire. Ces changements sont considérés comme l'une des causes principales de l'évolution à long terme du climat global au cours du Quaternaire.

La figure C1 présente les variations de l'insolation à 20°Nord et 20°Sud (différence par rapport aux valeurs actuelles) durant les 20 derniers millénaires. L'échelle de temps est exprimée en années calendaires. Sur le graphique A, nous avons reporté les phases majeures de l'évolution des niveaux lacustres en Afrique tropicale nord. Sur le graphique B sont reportées les phases lacustres des Andes boliviennes.

L'insolation du mois de Juillet (été boréal) aux latitudes tropicales était proche de ses valeurs actuelles à 18 000 ans ¹⁴C ans B.P. (20 000 cal. ans B.P.) et elle a augmenté jusqu'à atteindre un maximum à 9 000 ¹⁴C ans B.P. (9 970 cal. ans B.P.). Cette augmentation a été plus marquée aux latitudes tropicales nord qu'aux latitudes tropicales sud. Les données géologiques et les modèles climatiques sont en accord pour suggérer que ces variations de l'insolation ont entraîné un renforcement de la mousson



Figure C1 : Comparaison entre les variations de l'insolation par rapport à la valeur actuelle notée(0)de Juillet et Janvier à 20°Nord et 20°Sud avec les phases lacustres majeures.

A- en Afrique tropicale nord

B- dans les Andes boliviennes

de l'été boréal sur les grandes masses continentales, comme l'Afrique nordéquatoriale. Une élévation des niveaux lacustres a eu lieu durant le Tardiglaciaire et a culminé à 6 000 ¹⁴C ans B.P. (6 800 cal. ans B.P.) dans la majorité des sites. Cette grande tendance est interrompue vers 10 500 ¹⁴C ans B.P. (12 400 cal. ans B.P.) par une phase d'abaissement des plans d'eau qui a été identifiée dans diverses régions (Servant et Servant-Vildary, 1970, .Street-Perrot et Harrison, 1985).

L'insolation du mois de Janvier (été austral) a eu une évolution inverse. Proches de ses valeurs actuelles vers 18 000 ¹⁴C ans B.P. (20 000 cal. ans B.P.), elle a atteint des valeurs minimales à 9 000 ¹⁴C ans B.P. (9 970 cal. ans B.P.). Cette diminution de l'insolation a été plus marquée au Sud qu'au Nord de l'équateur. Les modèles climatiques suggèrent que les valeurs du facteur P-E (Précipitation-Evaporation) aux latitudes tropicales sud, étaient inférieures à leurs valeurs actuelles durant le Tardiglaciaire et l'Holocène ancien (Kutzbach et Guetter, 1986). Cela n'est pas vérifié par la chronologie lacustre des Andes tropicale sud de Bolivie (bassin de Uyuni-Coipasa). Un scénario paléoclimatique proposé par Martin *et al.*, (sous presse), suggère, en accord avec les modèles, que l'équateur météorologique et les pluies qui lui sont associées, n'auraient pas atteint les latitudes tropicales sud de la Bolivie lors du minimum de l'insolation de l'été austral. Ce scénario n'explique pas la phase lacustre *Coipasa* chronologiquement proche du minimum d'insolation.

Ces comparaisons font apparaître les principales étapes suivantes :

- Le début de la période caractérisée par une augmentation de l'insolation de Juillet (hiver austral) (après 20 000 cal. ans B.P.) est marqué aux hautes altitudes des Andes de Bolivie par une élévation des niveaux lacustres indiquant des conditions climatiques plus humides qu'actuellement. Cette phase humide n'est pas connue pour le moment dans les sites tropicaux de basse altitude au Nord et au Sud de l'équateur.

- Les très hauts niveaux lacustres *Tauca III* sont chronologiquement proches d'une phase lacustre mise en évidence en différents points des latitudes tropicales nord en Afrique. Cette phase lacustre est également connue dans le Sud-Est de l'Amazonie (remise en eau de la dépression de Carajas).

- La phase sèche *Ticaña* de Bolivie connue au Brésil Central (Salitre) a été mentionnée dans quelques sites de la zone tropicale nord en Afrique.

- La phase lacustre *Coipasa* est chronologiquement proche d'un minimum de l'insolation de Janvier (été austral). Elle coïncide avec une phase humide aux latitudes équatoriales (développement de la forêt humide à Carajas). Une phase humide est également connue à la même époque aux latitudes tropicales nord en Afrique de même qu'au Nord de l'équateur sur le continent américain (Lac Valencia, Bradbury *et al.*, 1981).

Ces corrélations montrent que les modifications de l'insolation n'expliquent pas à elles-seules les changements climatiques des Andes.

IV. COMPARAISON AVEC LES GRANDES ETAPES DE LA DEGLACIATION GLOBALE

Le niveau marin constitue l'un des indicateurs les plus significatifs des changements globaux depuis le dernier maximum glaciaire, car il a varié en fonction du volume des glaces continentales. La figure C2 présente une comparaison entre les variations de la vitesse de déglaciation qui a été calculée à partir de la courbe du niveau marin reconstituée dans les îles des Barbades (Fairbanks, 1989) et les variations du niveau lacustre du bassin de Uyuni-Coipasa dans les Andes de Bolivie.

Sur le graphique A, la vitesse de déglaciation est exprimée en volume d'eau de fonte des glaces continentales par année (km³ an⁻¹). Cette courbe fait apparaître une première phase (melt-water pulse mwp-IA) d'intenses apports en eau de fonte des glaces à l'océan. Cette phase est centrée sur 12 000 ¹⁴C ans B.P. (13 900 cal. ans B.P.). A 11 000 ¹⁴C ans B.P. (12 900 cal. ans B.P.), le taux d'élévation du niveau marin était minimum. Il marque le début de la chronozone du Dryas récent. Une deuxième phase (mwp-IB) d'intenses apports en eaux de fonte des glaces a commencé vers 10 500/10 000 ¹⁴C ans B.P. (12 400/11 200 cal. ans B.P.) et a culminé à 9 500 ¹⁴C ans B.P. (10 500 cal. ans B.P.). Une étude récente (Bard et al., 1996) effectuée sur deux carottes prélevées à Tahiti montre une évolution similaire du niveau marin. Ces variations ne peuvent pas être expliquées par les seuls changements de l'insolation. Les océanographes admettent que les apports massifs en eau douce issue de la fonte des glaces dans le Nord de l'Atlantique ont considérablement perturbé la circulation thermohaline des océans. Street-Perrot et Perrot (1990) ont suggéré que les modifications de la circulation thermohaline pourraient avoir fortement influencé l'évolution du climat tropical.

Sur le graphique B, les variations du niveau lacustre dans le bassin de Uyuni-Coipasa enregistrent les changements du facteur P-E dans les Andes tropicales sud.

Les phases de remontée du niveau lacustre *Tauca I* et *Tauca II* coïncident avec une première phase de déglaciation (le niveau de la mer a remonté de 20 m). La phase de très hauts niveaux lacustres *Tauca III* est chronologiquement proche de la phase mwp-IA de la déglaciation (le niveau de la mer a remonté de 24 m en moins de 1 000 ans et cela implique une forte vitesse de la fonte des glaces continentales). La phase d'intense abaissement des plans d'eau (*Ticaña*) qui a eu lieu après 12 000 et avant 9 500 ¹⁴C ans B.P.; coïncide avec un ralentissement de la déglaciation. La phase *Coipasa* de remontée du niveau lacustre est plus faible que la précédente dans le bassin de Uyuni-Coipasa. Elle est chronologiquement proche de la phase mwp-IB.

Ces corrélations suggèrent que le climat des Andes tropicales sud a évolué en relation avec les apports en eau de fonte des glaces continentales dans l'océan. Ces apports ont entraîné des modifications de la circulation océanique, provoquant des



Figure C2 : Comparaison entre : les grandes étapes de la déglaciation globale (A) et les variations des niveaux lacustres des Andes boliviennes (B).
A- Volume des eaux de fonte des glaces continentales (km3 an⁻¹), 1) courbe exprimée en âge ¹⁴C ans B.P., 2) courbe exprimée en âge calendaire. Variation de l'insolation à 70°S et 60°N (Fairbanks, 1989).
B- Variations des niveaux lacustres, 1) du bassin de Uyuni-Coipasa entre 16 et 8,5 ¹⁴C ka B.P., 2) du lac Titicaca entre 7,7 et 1 ¹⁴C ka B.P. (Mourguiart *et al.*, 1992)

changements dans la circulation atmosphérique. Elles appuient l'hypothèse formulée par Street-Perrot et Perrot (1990) qui prévoie une relation entre l'évolution du climat continental tropical, les apports en eau de fonte des glaces continentales à l'océan et les modifications de la circulation océanique, elles-mêmes provoquées par la fonte des glaces.

Les recherches futures devront s'attacher à l'étude des mécanismes atmosphériques qui relient l'évolution de l'océan aux changement climatiques des Andes de Bolivie. En l'état actuel des connaissances, on peut présumer que les alizés de l'hémisphère nord ont joué un rôle déterminant. Actuellement, ces alizés franchissent l'équateur durant l'été austral et atteignent les Andes de Bolivie. La vapeur d'eau qu'ils transportent provient de l'Atlantique, mais a été soumise à de nombreux cycles précipitation/évaporation sur la forêt amazonienne avant d'atteindre les Andes, où elle alimente les précipitations de l'été austral. Les fluctuations du Quaternaire récent en Bolivie ont probablement enregistré le renforcement ou l'affaiblissement selon les époques, de ce transport de vapeur d'eau par les alizés. Ces mécanismes ont été envisagés par Thompson *et al.* (1995) pour interpréter les variations de la composition isotopique d'une carotte de glace prélevée sur le glacier Huascarán (9° S) au Nord de la Bolivie.

Un autre aspect que devront aborder les recherches futures, concerne les mécanismes atmosphériques régionaux qui ont généré les précipitations à partir de la vapeur d'eau d'origine atlantique. Les advections polaires qui ont lieu de part et d'autre de la Cordillère des Andes, devront être considérées car ces advections provoquent une déstabilisation de l'atmosphère tropicale. Une meilleure connaissance de ce phénomène sera nécessaire pour mieux comprendre les variations du climat aux latitudes tropicales sud du continent américain.

BIBLIOGRAPHIE

Absy, M.L., Cleef, A., Fournier, M., Martin, M., Servant, M., Sifeddine A., Ferreira da Silva, M., Soubies, F., Suguio K., Turcq, B. et Van der Hammen, T., 1991. Mise en évidence de quatre phases d'ouverture de la forêt dense dans le sud-est de l'Amazonie au cours des 60 000 dernières années. Première comparaison avec d'autres régions tropicales. *C.R. Acad. Sci. Paris*, **312**, **II**, 673-678.

Amossé, M., 1941. Diatomées du Sahara septentrional et central. Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord, 32 (4), 126-152.

Anonymous, 1975. Proposals for a standardization of diatom terminology and diagnoses. *Nova Hedwigia Suppl.*, **53**, 223-254.

Argollo, J., 1982. Evolution du piémont Ouest de la Cordillère Royale (Bolivie) au Quaternaire. *Thèse*, Université Aix-Marseille. 110 pp.

Argollo, J. y Mourguiart, P., 1995. Los climas cuaternarios de Bolivia. *In*: Cambios cuaternarios en América del Sur, Argollo, J. y Mourguiart, P. (Eds). ORSTOM éditions, La Paz, Bolivia, 135-155.

Badaut, D., 1981. Néoformation de smectites à partir des frustules de diatomées. Le cas des lacs salés de l'Altiplano de Bolivie. Mise en évidence par des techniques de microscopie électronique. *Thèse*, Institut de Géologie, Strasbourg, 73 pp.

Badaut, D. and Risacher, F., 1982. Authigenic smectite on diatom frustules in Bolivian saline lakes. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **47**, 363-375.

Badou, A., 1992. L'Holocène d'Alianza, Bolivie: Reconstitution des paléoenvironnements à partir de l'étude des diatomées. *Mémoire de DEA*, Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, 64 pp.

Ballivián, O. y Risacher, F., 1981. Los salares del Altiplano boliviano. Métodos de estudio y estimación económica. ORSTOM éditions, Paris, 246 pp.

Bard, E., Hamelin, B., Fairbanks, R.G. and Zindler, A., 1990. Calibration of the ¹⁴C timescale over the past 30,000 years using mass spectrometric U-Th ages from Barbados corals. *Nature*, **345**, 405-410.

Bard, E., Arnold, M., Fairbanks, R.G. and Hamelin, B., 1993. ²³⁰Th- ²³⁴U and ¹⁴C ages obtained by mass spectrometry on corals. *Radiocarbon*, **35**, 191-199.

Bard, E., Hamelin, B., Arnold, M., Montaggioni, L., Cabioch, G., Faure, G. and Rougerie, F., 1996. Deglacial sea-level record from Tahiti corals and the timing of global meltwater discharge. *Nature*, **382**, 241-244.

Ben Khelifa, L., 1989. Diatomées continentales et paléomilieux du sud-tunisien (PALHYDAF site 1) au Quaternaire supérieur. Approche statistique basée sur les diatomées et les milieux actuels. *Thèse Doctorat*, Université Paris-Sud, 339 pp.

Benson, L., 1994. Carbonate deposition, Pyramid Lake Subbasin, Nevada: 1. Sequence of formation and elevation distribution of carbonate deposits (Tufas). *Palaeogeogr.*, *Palaeoclimatol.*, *Palaeocol.*, **109**, 55-87.

Benzecri, J.P., 1973. L'analyse des données. Dunod, Paris, 619 pp.

Bernat, M. and Church, T.M., 1989. The marine environment. *In:* Handbook of Environmental Isotope Geochemistry. Fritz P. and Fontes J.C. (Eds), Elsevier, Amsterdam, **3**, 357-383.

Bills, B.G., de Silva, S.L., Currey, D.R., Emenger, R.S., Lillquist, K.D., Donnellan, A. and Worden, B., 1994. Hydro-isostatic deflection and tectonic tilting in the central Andes: Initial results of a GPS survey of Lake Minchin shorelines. *Geophys. Res. Letters*, **21** (**4**), 293-296.

Birkeland, P.W., Rodbell, D.T. and Short, S.K., 1989. Radiocarbon dates on deglaciation, Cordillera Central, northern Peruvian Andes. *Quat. Res.*, **32**, 111-113.

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.*, **B 327**, 263-278.

Bischoff, J.L., Fitzpatrick, J.A. and Rosenbauer, R.J., 1993. The solubility and stabilization of ikaïte (CaCO₃.6H₂O) from 0° to 25°C: environmental and paleoclimatic implications for thinolite tufa. *J. Geol.*, **101**, 21-33.

Blinn, D.W., 1993. Diatom community structure along physicochemical gradients in saline lakes. *Ecology*, **74** (4), 1246-1263.

Boulangé, B., Rodrigo, L. A. et Vargas, C., 1978. Morphologie, formation et aspects sédimentologiques du lac Poopò (Bolivie). *Cah. ORSTOM, sér. Géol.*, **10** (1), 69-78.

Boulangé, B. et Aquize Jaen, E., 1981. Morphologie, hydrographie et climatologie du lac Titicaca et de son bassin versant. *Rev. Hydrobiol. trop.*, **14** (4), 269-287.

Bourrelly, P. et Manguin, E., 1952. Algues d'eau douce de la Guadeloupe. Edition Sedes, France. 276 pp.

Bowman, I., 1909. Physiography of Central Andes. Am. J. Sci., 428, 197-217 and 373-402.

Bradbury, J.P., Leyden, B., Salgado-Labouriau, M.L., Lewis, W.M., Schubert, C., Binford, M.W., Frey, D.G., Whitehead, D.R. and Weibezahn, F.H., 1981. Late Quaternary environmental history of Lake Valencia, Venezuela. *Science*, **214**, 1299-1305.

Broecker, W.S. and Denton, G.H., 1989. The role of ocean - atmosphere reorganizations in glacial cycles. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **53**, 2465-2501.

Carmouze, J.P., Arze, C. et Quintanilla, J., 1977. La régulation hydrique des lacs Titicaca et Poopò. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrobiol.*, **11** (**4**), 269-283.

Carmouze, J.P., Arze, C. y Quintanilla, J., 1978. Circulación de materia (agua - sales disueltas) a través del sistema fluvio-lacustre del Altiplano: la regulación hídrica e hydroquímica de los lagos Titicaca y Poopò. *Cah. ORSTOM, sér. Géol.*, **10** (1), 49-68.

Carmouze, J.P., Arze, C. et Quintanilla, J., 1981. Régulation hydrochimique du lac Titicaca et l'hydrochimie de ses tributaires. *Rev. Hydrobiol. trop.* (14) 4, 329-349.

Carney, H.J., Richerson, P.J. and Eloranta, P., 1987. Lake Titicaca (Peru/Bolivia) phytoplancton: species composition and structural comparison with other tropical and temperate lakes. *Arch. Hydrobiol.*, **110** (**3**), 365-385.

Causse, C., 1992. Méthodes isochrones pour la datation U/Th des carbonates «impurs»: l'exemple de Taoudenni. Ateliers sur les déséquilibres Uranium-Thorium: Application à l'étude des cycles biogéochimiques continentaux et marins et voies de recherche ouvertes par l'analyse en spectrométrie de masse, Mai 1992, Montréal, Canada.

Causse, C., Ghaleb, B., Hillaire-Marcel, C., Casanova, J., Fournier, M., Rouchy, J.M. and Servant, M., 1995. New U-Th dates (TIMS) from algal bioherms of the "Minchin" (Middle Wurm) and from stromatolites of the early "Tauca" (Late Glacial) lacustrine phases of Bolivian Altiplano. *European Union of Geosciences*, Strasbourg, France, résumé.

Causse, C., Ghaleb, B., Hillaire-Marcel, C., Servant, M. and Rouchy, J.M. Chronological data of humid episodes in Coipasa-Uyuni and Poopò basins (Bolivian Altiplano) from the Last Interglacial, en préparation.

Charles, D.F., 1985. Relationship between surface sediment diatom assemblages and lakewater characteristics in Adirondack Lakes. *Ecology*, **66**, 934-1011.

Cholnoky, B.J., 1968. Die Ökologie der Diatomeen in Binnengewässer. J.Cramer, 699 pp.

Cleve-Euler, A., 1968. Die diatomeen von Schweden und Finnland. Bibl. Phycol. J., J. Cramer, 5, 523 pp.

CLIMAP Project members, 1981. Seasonal reconstructions of Earth's surface at last glacial maximum. Geol. Soc. Am. Map and Chart Series MC-36, 18 pp..

COHMAP members, 1988. Climatic changes of last 18,000 years: observations and model simulations. *Science*, **241**, 1043-1052.

Collot, D., 1980. Les macrophytes de quelques lacs andins (lac Titicaca, lac Poopó, lacs de la vallée d'Hichu Kkota et d'Ovejhuyo). ORSTOM, La Paz, 115 pp.

Craig, H., 1954. Carbon-13 in plants and the relationships between carbon-13 and carbon-14 variations in nature. *J.Geol*, **62**, 115-149.

Crisman, T.L., 1978. Algal remains in Minnesota lakes types: a comparison of modern and Late Glacial distributions. *Verh. Intern. Verein. Theoret. Ang. Limnol.*, **20**, 445-451.

Cumming, B.F. and Smol, J.P., 1993. Development of diatom-based salinity models for plaeoclimatic research from lakes in British Colombia (Canada). *Hydrobiologia*, **269/270**, 179-196.

Dejoux, C. and Iltis, A. (Eds.) 1992. Lake Titicaca, a synthesis of limnological knowledge. *Monogr. Biol., Kluwer Acad. Pub.*, London, 573 pp.

Delibrias, G., 1985. Le carbone 14. *In:* Méthodes de datation par les phénomènes nucléaires naturels; applications. Roth E. and Poty E. (Eds.). Masson, Paris, 423-455.

Descourtieux-Coqueugniot, C., 1979. Les diatomées du sondage du lac Abiyata (Ethiopie): systématique et paléoécologie. *Thèse Doctorat*, Université Paris VI, 76 pp.

Drobrovolny, E., 1962. Geología del Valle de La Paz. Bol. Depart. Nac. Geol., La Paz, 3, 153 pp.

Duplessy, J.C., Delibrias, G., Turon, J.L., Pujol, C. and Duprat, J., 1981. Deglacial warming of the northeastern Atlantic ocean: correlation with the paleoclimatic evolution of the European continent. *Palaeogeogr.*, *Palaeoclim.*, *Palaeoecol*, **35**, 121-144.

Dussart, B., 1966. Limnologie. L'étude des eaux continentales. Gauthier-Villard, Paris. 677 pp.

Ehrlich, A., 1975. Les diatomées benthiques et épiphytes de la lagune de Bardawil (Sinaï septentrional). Rapp. Comm. int. Mer. Médit., 23 (3), 121-123.

Ehrlich, A., 1995. Atlas of inland-water diatom flora of Israël. The Geological Survey of Israël (Ed.), 166 pp.

Ehrlich, A. and Dor, I., 1985. Photosynthetic microorganisms of the Gavish Sabkha. *Ecoll Stud.*, **53**, 295-321.

Eugster, H.P. and Hardie, L.A., 1978. Saline lakes. In: Lakes: Chemistry, Geology, Physics, A. Lerman (Ed.), Springer - Verlag, 237-293.

Fairbanks, R.G., 1989. A 17,000-year glacio-eustatic sea level record: influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-ocean circulation. *Nature*, **342**, 637-642.

Fan, H. 1994. Paléoenvironnements, Paléoclimats du Tibet Occidental (Bassin de Bangong Co) au Quaternaire Supérieur. Approche par l'étude des diatomées. *Thèse Doctorat*, Université, Paris XI Orsay, 209 pp.

Felix, E.A. and Rushforth, S.R., 1979. The algal flora of the Great Lake Utah, USA. Nova Hedwigia. **31**, 163-195.

Fenelon, J.P., 1981. Qu'est-ce-que l'analyse des données? Lefonen, Paris, 309 pp.

Fernandez, A., Hormann, P.K., Kussmaul, S., Meave, J., Pichler, R H. and Subieta, T., 1973. First petrologic data on young volcanic rocks of SW-Bolivia. *Tschermarks Min.Petr.Mitt.*, **19**, 149-172.

Fernandez, G., 1980. Evolución cuaternaria de las cuencas lacustres del sud oeste boliviano en la region de Mina Corina (Sud Lipez). *Thesis de Doctorado*, UMSA, La Paz. 102 pp.

Foged, N., 1980. Diatoms in Egypt. Nova Hedwigia, 33, 629-707.

Fontes, J.C., Gasse, F. and Gibert, E., 1996. Holocene environmental changes in Lake Bangong basin (Western Tibet). Part 1: Chronology and stable isotopes of carbonates of a Holocene lacustrine core. *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.*, **120**, 25-47.

Francou, B., Mourguiart, P. et Fournier, M., 1995. Phase d'avancée des glaciers au Dryas récent dans les Andes du Pérou. C.R. Acad. Sci. Paris, **320**, 593-599.

Frenguelli, J., 1929. Diatomee fossili delle conche saline del deserto cileno-boliviano. *Boll. Soc. Geol. Ital.*, **47**, 185-236.

Frenguelli, J., 1936. Diatomeas de la caliza de la Cuenca de Calama. Rev. Mus. La Plata, secc. Paleontol., 1, 3-120.

Frenguelli, J., 1939. Diatoméas del Lago Titicaca. Notas Mus. La Plata, 4, 175-196.

Frenguelli, J., 1945. Las diatomeas del Platense. Rev. Mus. La Plata, secc. Paleontologia, 3, 77-221.

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.

Fröhlich, F. and Servant-Vildary, S., 1989. Evaluation of diatom content by counting and infrared analysis in Quaternary fluvio-lacustrine deposits from Bolivia. *Diatom Res.*, **4**, 241-248.

Gardette, D., 1979. Apport de l'étude des diatomées et des silicoflagellés à la biostratigraphie et à la reconstitution du Messinien de Méditerranée: Analyse de quelques tripolis du passage Mio-Pliocène à Chypre, en Crète et au Maroc. *Thèse Doctorat*, Université Paris-Sud, 274 pp.

Gasse, F., 1980. Les diatomées lacustres plio-pléistocène du Gadeb (Ethiopie). Systématique, paléoécologie, biostratigraphie. *Rev. Algol.*, 249 pp.

Gasse, F., 1986. Diatom assemblages in East Africa : classification, distribution and ecology. *Rev. Hydrobiol. trop.*, **16** (1), 3-34.

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., 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.

Geyh, M.A., Krumbein, W.E. and Kudrass, H.R., 1974. Unreliable ¹⁴C dating of a long-stored deepsea sediments due to bacterial activity. *Mar. Geol.*, **17**, 45-50.

Gouze, P., Argollo, J., Saliège, J.F. et Servant, M., 1986. Interprétation paléoclimatique des oscillations des glaciers au cours des 20 derniers millénaires dans les régions tropicales; exemple des Andes boliviennes. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **303**, **II**, 219-224.

Grosjean, J., 1994. Paleohydrology of Laguna Lejía (north Chilean Altiplano) and climatic implications for late-glacial times. *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.*, **109**, **89**-100.

Grosjean, J. and Nùñez, A.L., 1994. Lateglacial, Early and Middle Holocene environments, human occupation, and ressource use in the Atacama (Northern Chile). *Geoarchaeology*, 9, 271-286.

Grosjean, J., Schotterrer, U., Geyh, M.A. and Messerli, B., 1995. Late-Glacial and early Holocene lake sediments, ground-water formation and climate in the Atacama Altiplano. *J. Paleolimnol.*, 14, 1-12.

Guilderson, T.P., Fairbanks, R.G. and Rubenstone, J.L., 1994. Tropical temperature variations since 20,000 years ago: modulating interhemispheric climate change. *Science*, **263**, 663-665.

Guiot, J. et Roux, M., 1993. Reconstitution statistique des environnements passés à partir de données paléoécologiques. *In*: Biométrie et Environnement, J.D. Lebreton et B. Asselain (Eds.), Masson, Paris, 123-149.

Guyot, J.L., Roche, M.A., Noriega, L., Calle, H. and Quintanilla, J., 1990. Salinities and sediment transport in the Bolivian Highlands. *J. Hydrol.*, **113**, 147-162.

Hammer, C.U., Clausen, H.B., Dansgaard, W., Neftel, A., Kristinsdottir, P. and Johnson, E. 1985. Continuous impurity analysis along the Dye 3 core. *In*: Greenland Ice core: Geophysics, Geochemistry, and the environment, C.C. Langway, H. Oeschger, W. Dansgaard (Eds.), *Amer. Geophys. Union Mon.*, **33**, 90-94.

Hammer, U.T., 1986. Saline ecosystems of the world. *Monog. Biol.*, **59**, Kluwer Academic pub., 614 pp.

Hardie, L.A. and Eugster, H.P., 1970. The evolution of closed basin brines. *Minerals Soc. Am. Spec. Paper*, **3**, 273-290.

Hastenrath, S. and Kutzbach, J., 1985. Late Pleistocene Climate and water budget of the South American Altiplano. *Quat. Res.*, **24**, 249-256.

Hendey, N.I., 1964. Bacillariophyceae (Diatoms). *In*: An introductory account of the smaller algae of British coastal waters, Fishery Investigations, HMSO, London, **4**, 317 pp.

Hérail, G., Fornari, M., Viscara, G., Ruiz, J.A., Pozzo, L. et Dumont, J.F., 1991. Les placers d'or de Bolivie: milieux de formation et structure géologique. *Actes du Symp. Intern. sur les gisements alluviaux d'or*, La Paz, 3-5 Juin 1991, *Colloques et Séminaires*, ORSTOM, 115-143.

Hodell, D.A., Jason, H.C., Jones, G.A., Higuera-Gundi, A., Brenner, M., Binford, M.W. and Dorsey, K.T., 1991. Reconstruction of Caribbean climate change over the past 10,500 years. *Nature*, **352**, 790-793.

Hurlbert, S.H. and Keith, J.O., 1979. Distribution and spatial patterning of flamingos in the Andean Altiplano. *Auk*, **96**, 328-342.

Hurlbert, S.H. and Chang, C.C.Y., 1983. Ornithology: effects of grazing by the Andean flamingo (*Phoenicoparrus andinus*). Proc. Nat. Acad. Sci. USA, Ecology, **80**, 4766-4769.

Hustedt, F., 1914. Bacillariales aus den Sudeten und cinigen benachbarten Gebieten des Odertales. *Arch. Hydrobiol.*, **10**, 29-192.

Hustedt, F., 1924. Die Bacillariaceen-Vegetation des Sarekgebirges Schwedisch-Lappland 3. *Botanica.*, **6**, 525-626.

Hustedt, F., 1927. Fossile Bacillariaceen aus dem Loa-Becken in der Atacama-Waste, Chile. Archiv. Hydrobiol., 18, 224-251.

Hustedt, F., 1930. Die Süsswasser-Flora Mitteleuropas. Bacillariophyta (Diatomeae). Verlag Von Gustav Fischer, Jena. 466 pp.

Hustedt, F., 1935. Die Fossile Diatomeenflora in den Ablagerungen des Tobasees auf Sumatra. Arch. Hydrobiol., Suppl. 14, 143-192.

Hustedt, F., 1937-39. Systematische und Ökologische Untersuchungen über die Diatomeen-Flora von Java, Bali und Sumatra. *Archi. Hydrobiol.*, Suppl., **15**, 393-506.

Hustedt, F., 1927-1966. Die Kieselalgen. *In*: L.Rabenhorst's Kryptogamen. Flora von Deutschland, Osterreich und der Schweiz. *Leipzig, Akad. Verlagsges*, **1** (1927-30), 920 pp.; **2** (1931-59), 845 pp.; **3** (1961-66), 816 pp.

Hustedt, F., 1957. Die Diatomeenflora des fluss-systems der Wesser im Gebiet der Hansestadt Bremen. Abh. Nat. Ver. Bremen, 34, 18-140.

Hustedt, F., 1959. Die Kiesselagen. Dr. L. Rabenhorsts Kryptogamen-flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz. Akad. Verlaggesellshaft. Geest & Portig K.G. Leipzig, 1, 737-843. Iltis, A., 1972. Algues des eaux natronées du Kanem (Tchad). I^{ère} partie. Cah. ORSTOM, sér. Hydrobiol., 6, (3/4), 173-246.

Iltis, A., 1974. Le phytoplancton des eaux natronées du Kanem (Tchad). *Thèse de Doctorat d'Etat.* ORSTOM, Paris, 246 pp.

Iltis, A., Risacher, F. et Servant-Vildary, S., 1984. Contribution à l'étude hydrobiologique des lacs salés du sud de l'Altiplano bolivien. *Rev. Hydrobiol. trop.*, **17** (**4**), 277-362.

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.

Jimenez, O., Sylvestre, F., Badou, A., Servant-Vildary, S., Fournier, M. y Servant, M., 1993. Variaciones paleohidrológicas a partir de diatoméas y fechamientos radiométricos del Cuaternario reciente al Sur del Altiplano boliviano. *First International Conference on Climatic Change*, Mexico, 5-9 July, p. 22.

Johanssen, J.R., Lacognata, S. and Kociolek, J.P., 1990. Examination of type material of *Denticula* rainierensis Sovereign. *Proc. 11th Intern. Diatom Symp.*, 211-219.

John, J., 1983. The diatom flora of the Swan River estuary Western Australia. *Bibl. Phycol.*, **64**, 358 pp.

Johnson, A.M., 1976. The climate of Peru, Bolivia and Ecuador. *In*: Climates of Central and South America, W. Schwerdtfeger (Ed.), World Survey of Climatogy, Elsevier Scientific pub., **12**, 147-218.

Jouzel, J., Lorius, C., Petit, J.R., Genthon, C., Barkov, N.I., Kotlyakov, V.M. and Petrov, V.M., 1987. Vostok ice core: a continuous isotope temperature record over the last climatic cycle (160,000 years). *Nature*, **329**, 403-408.

Juggins, S., Battarbee, R.W. and Fritz, S.C., 1994. Diatom/salinity transfer functions and climate change: an assessment of methods and application to two Holocene sequences from the northern Great Plains, North America. *In*: Paleoclimate of the Glacial/ Interglacial Cycle, Furnell B.M. and Kay R.L.F. (Eds.), NERC Earth Sci. Dir. Sp. Publ., **94** (2), 37-39.

Kolbe, R.W., 1927. Zur Ökologie, Morphologie und Systematik der Brackwässerdiatomeen. Die Kieselalgen des Sperenberger Salzgebietes. *Pflanzenforschung*, **7**, 1-146.

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., 1989. *Achnanthes*. Eine Monographie der Gattung. J.Cramer (Ed.), Berlin-Stuttgart, 393 pp.

Krammer, K. und Lange-Bertalot, H., 1991. Süsswasserflora von Mitteleuropa. Bacillariophyceae. Teil 3: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena. 576 pp.

Ku, T.L. and Liang, Z.C., 1984. The dating of impure carbonates with decay-series isotopes. *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res.*, **223**, 563-571.

Kullenberg, H., 1981. Physical oceanography. In: The Baltic Sea, Voipio A. (Ed.) Elsevier Scinetific. pub., N.Y., 135-181.

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.

Kutzbach, J.E. and Guetter, P.J., 1986. The influence of changing orbital parameters and surface boundary conditions on climate similations for the past 18,000 years. J. Atm. Sc., 43, 1726-1759.

Lange-Bertalot, H., 1976. Eine revision zur taxonomie der Nitzschiae Lanceolatae Grunow. Die «klassischen» bis 1930 beschriebenen SüBwassserarten Europas. *Nova Hedwigia*, **28**, 253-307.

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.

Lauer, W. und Rafiqpoor, M.D., 1986. Die jungpleistozäne Vergletscherung der Apolobamba-Kordillere (Bolivien). *Erdkunde*, **40**, 125-145.

Lavenu, A. et Marocco, R., 1984. Sédimentation continentale et tectonique d'une chaîne liée à une zone de subduction: l'exemple des Andes centrales (Pérou-Bolivie) pendant le Tertiaire. *Bull. Centre Rech. Expl.-Produc. Elf-Aquitaine*, **8** (1), 57-70.

Lavenu, A., Fornari, M. et Sebrier, M., 1984. Existence de deux nouveaux épisodes lacustres quaternaires dans l'Altiplano Péruvo-Bolivien. *Cah. ORSTOM., sér. Géol.*, **14**, 103-114.

Lebart, L., Morineau, A. et Fenelon, J.P., 1982. Traitements des données statistiques. Méthodes et programmes. 2^{ème} ed., Dunod, Paris, 510 pp.

Leclerq, L. et Fabri, R., 1984. Etude écologique des rivières du nord du massif Ardennais (Belgique): flore et végétation de diatomées et physico-chimie des eaux. *Robertville, Stat. scient.*. Hautes-Fagnes, **1**, 379 pp.; **2**, 329 pp., **3**, 201 pp.

Ledru, M.P., 1991. Etude de la pluie pollinique actuelle des forêts du Brésil central: climat, végetation, application à l'étude de l'évolution paléoclimatique des 30.000 dernières années. Thèse Doctorat, Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, 193 pp.

Ledru, M.P., 1993. Late Quaternary environmental and climatic changes in Central Brazil. *Quat. Res.*, **39**, 90-98.

Ledru, M.P., Behling, H., Fournier, M., Martin, L. et Servant, M., 1994. Localisation de la forêt d'*Araucaria* du Brésil au cours de l'Holocène. Implications paléoclimatiques. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **317**, 517-521.

Leroux, M., 1996. La dynamique du temps et du climat. Masson, 310 pp.

Liberman, M. y Miranda, C., 1987. Contribución al conocimiento del fitoplancton del Lago Titicaca. *Documento de Pesca* 003, Oldepesca, Lima, 82 pp.

Lilliefors, H.W., 1967. On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown. Amer. Statist. Ass. J., 62, 399-402.

Lorius, C., Touzel, J., Raynaud, D., Hansen, J. and De Treut, H., 1990. The ice-core record: climate sensivity and future greenhouse warning. *Nature*, **347**, 139-145.

Loseva, E.I., 1988. The valve structure of fossil *Paralia Sulcata* (Bacillariophyceae). Proc. *10th Intern. Diatom Symp.*, Simola H. (Ed.), 83-93.

Maley, J., 1989. Late Quaternary climatic changes in African rain forest: forest refugia and the major role of sea surface temperature variations. *In*: Paleoclimatology and Paleometeorology: Moderns and past Patterms of Global Atmospheric transport (NATO ASI), M. Leiner and M. Sarnthein (Eds), 585-616.

Manguin, E., 1962. Contribution à la connaissance de la flore diatomitique de la Nouvelle Calédonie. *Mém. Mus. Nat. Hist. Nat.*, Paris, NS, B, Botanique, **12**, 40 pp.

Manguin, E., 1964. Contribution à la connaissance des diatomées des Andes du Pérou. Mém. Mus. Nat. Hist. Nat., Paris, NS, B, Botanique, **12 (12)**, 98 p.

Markgraf, V., 1989. Paleoclimates in Central and South America since 18,000 B.P. based on pollen and lake-level records. *Quat. Sci. Rev.*, **8**, 1-24.

Martin, L. y Flexor, J.M., 1987. Vibro-testemunhador leve: construçao, utilização e possibilidades. 2^{ème} Congr. Ass. Brasileira Est. do Quaternario, Publ. sp., p.1-2.

Martin, L., Bertaux, J., Corrège, T., Ledru, M.P., Mourguiart, P., Sifeddine, A., Soubiès, F., Suguio, K. and Turcq, B. Astronomical forcing of contrasting rainfall changes in tropical South America between 12,400 and 8,800 cal. yr B.P. *Quat. Res.*, soumis.

Martinez, C., 1980. Structure et évolution de la chaîne hercynienne et de la chaîne andine dans le nord de la Cordillère des Andes de Bolivie. *Trav. et Doc. ORSTOM*, **19**, 352 pp.

Melice, J.L. et Roucou, P. Caractérisation temporelle et spatiale d'une oscillation climatique de période decennale à l'aide de la série isotopique de Quelcaya. Actes Symposium «Dynamique à long terme des écosystèmes forestiers intertropicaux», Mars 1996, Paris, soumis.

Mercer, J.H. and Palacios, O., 1977. Radiocarbon dating of the last glaciation in Peru. *Geology*, 5, 600-604.

Messerli, B., Grosjean, M., Bonani, G., Bürgi, A., Geyh, M.A., Graf, K., Ramseyer, K., Romero, H., Schotterer, U., Schreier, H. and Vuille, M., 1993. Climate change and natural ressource dynamics of the Atacama Altiplano during the last 18,000 years: a preliminary synthesis. *Mountain Res. Devel.*, **13** (2), 117-127.

Messerli, B., Ammann, C., Geyh, M., Grosjean, M., Bettina, J., Kammer, K. and Vuille, M. The problem of the «Andean Dry Diagonal»: Current precipitation, late Pleistocene snow line, and lake level changes in the Atacama Altiplano (18°S-28°/29°S). *Bamberge Geograph. Scloifter*, sous presse.

Minchin, J., 1882. Notes on a journey through part of the Andean tableland of Bolivia. *Proc. Royal Geogr. Soc.*, **4**, 67 pp.

Miskane, N., 1992. Distribution spatiale des diatomées dans les sédiments superficiels du lac Titicaca en Bolivie. *Mémoire de DEA*, Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, 61 pp.

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.

Moon, H.P., 1939. The geology and physiography of the Altiplano of Peru and Bolivia. *Trans. Linn. Soc.*, London, 1, 27-43.

Mourguiart, P. et Roux, M., 1990. Une approche nouvelle du problème posé par les reconstructions des paléoniveaux lacustres: utilisation d'une fonction de transfert basée sur la faune d'ostracosdes. *Géodynamique*, **5** (2), 151-165.

Mourguiart, P., Wirrmann, D., Fournier M. et Servant, M., 1992. Reconstitution quantitative des niveaux du Petit Lac Titicaca au cours de l'Holocène. C. R. Acad. Sci. Paris, **315**, II, 875-880.

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»*, Mars 1996, Paris, soumis.

Noël, D., 1984. Les diatomées des saumures et des sédiments de surface du Salin de Bras del Port (Santa Pola, Province Alicante, Espagne). *Rev. Inv. Geol.*, **38/39**, 79-107.

Oliveira Almeida, L.F. de, 1986. Estudio sedimentológico de testigos del lago Titicaca. Implicationes paleoclimaticas. *Tesis*, UMSA, La Paz, 136 pp.

Ostria, C., 1987. La végétation d'une vallée alto-andine (Hichu Kkota, Cordillère orientale, Bolivie). I- Données générales. Bull. Soc. bot. Fr., **134**, Lettres bot., **(4/5)**, 385-397.

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. 283pp.

Patrick, R., 1961. Diatoms (Bacillariophceae) from the alimentary tract of *Phoenicoparrus jamesi* (Sclater). *Postilla Yale Peabody*, Museum of Natural History, **49** (1), 43-55.

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.

Pierre, J.F., 1969. Etude hydrobiologique de la Meurthe. Contribution à l'écologie des populations algales. *Coll. Th. Fac. Sc.*, 150 pp.

Poulin, M., Berard-Therriault, L. et Cardinal, A., 1987. Les diatomées (Bacillariophyceae) benthiques de substrats durs des eaux marines et saumâtres du Québec 7. Naviculales (les genres *Plagiotropis* et *Entomoneis*), Epithemiales et Surirellales. *Natur. Can.* 114 (1), 67-80.
Pourchet, M., Mourguiart, P., Pinglot, J.F., Preiss, N., Argollo, J. et Wirrmann, D., 1994.
Sédimentation récente dans le lac Titicaca (Bolivie). *C.R. Acad. Sci. Paris*, 319, II, 535-541.
Pourriot, M. et Meybeck, M., 1995. Limnologie Générale. *Collection d'écologie*, Masson, 25, 956 pp.

Prasad, A.K.S.K., Nienow, J.A. and Livingston, R.J., 1990. The genus *Cyclotella* (Bacillariophyta) in Choctawhatchee Bay, Florida, with special reference to *C. striata* and *C. choctawhatcheeana* sp.nov. *Phycologia*: **29**, **4**, 418-436.

Prescott, G.W., 1951. Algae of the Western Great lakes Area: Exclusive of Desmids and diatoms. *Cranbrook Inst. Sc. Bull.*, **31**, 946 pp.

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 Colombia (Canada) lakes. *J. Paleolimnol.*, **14**, 49-67.

Richerson, J.L., 1969. Former lake-level fluctuations, their recognition and interpretation. *Mitt. Internat. Limnol.*, **17**, 78-93.

Richerson, P.J., Widmer, C. and Kittel, T., 1977. The limnology of Lake Titicaca (Peru-Bolivia), a large high altitude tropical lake. *Ecology*, **14**, 78 pp.

Richerson, P.J., Neale, P.J., Wurstbaugh, W.A., Alfaro Tapia, R. and Vincent, W.F., 1986. Patterns of temporal variation in Lake Titicaca. A high altitude tropical lake. I. Background, physical and chemical processes, and primary production. *Hydrobiologia*, **138**, 205-220.

Rind, D., Peteet, D., Broecker, W., McIintyre, A. and Ruddiman, W., 1986. The impact of cold North Atlantic sea surface temperatures on climate: implications for the Younger dryas cooling (11-10k). *Clim. Dyn.*, **1**, 3-33.

Risacher, F., 1978. Le cadre géochimique des bassins à évaporites des Andes Boliviennes. *Cahiers* ORSTOM, sér.Géol., **10** (1), 37-48.

Risacher, F., 1984. Origine des concentrations extrêmes en bore et en lithium dans les saumures de l'Altiplano bolivien. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **299**, **II** (11), 701-706.

Risacher, F., 1992 (a). Géochimie des bassins à évaporites de l'Altiplano bolivien. *Thèse de Doctorat,* Université Louis Pasteur, Strasbourg, 67 pp.

Risacher, F., 1992 (b). Géochimie des lacs salés et croûtes de sel de l'Altiplano bolivien. *Sci. Géol. Bull.*, **45**, **3-4**, 219 pp.

Risacher, F. and Fritz, B., 1991 (a). Geochemistry of Bolivian salars, Lipez, southern Altiplano: origin of solutes and brine evolution. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **55**, 687-705.

Risacher, F. and Fritz, B., 1991 (b). Quaternary geochemical evolution of salars of Uyuni and Coipasa, Central Altiplano, Bolivia. *Chem. Geol.*, **90**, 211-231.

Risacher, F. and Fritz, B., 1992. Mise en évidence d'une phase climatique holocène extrêmement aride dans l'Altiplano central, par la présence de la polyhalite dans le salar de Uyuni (Bolivie). *C. R. Acad. Sci. Paris*, **314**, **II**, 1371-1377.

Roche, M.A., Fernandez Jauregui, C., Aliaga Riviera, A., Pena Mendez, J., Salas Rada, E. y Montano Vargas, J.L., 1990. Balance hídrico superficial de Bolivia. *Informe PHICAB: ORSTOM, CONAPHI-Bolivia, UNESCO, SENAMHI, IHH.* 29 pp.

Roche, M.A., Bourges, J., Cortes, J. and Mattos, R., 1992. Climatology and hydrology of the Lake Titicaca basin. *In*: Lake Titicaca. A Synthesis of Limnological Knowledge. Dejoux C. and Iltis A. (Eds.), Kluwer Acad. Pub., 63-88.

Ronchail, J., 1988. Variabilidad del tiempo en Bolivia. La anomália climática del invierno 1988. Informe PHICAB, ORSTOM, SENAMHI, LMD, IHH, 15 pp.

Ronchail, J., 1989. Advections polaires en Bolivie: mise en évidence et caractérisation des effets climatiques. *Hydrol. continent.*, **4** (1), 49-56.

Ronchail, J., 1995. L'aridité sur l'Altiplano bolivien. Sécheresse, 1 (6), 45-51.

Rondeau, B., 1990. Géochimie isotopique et géochronologie des stromatolites lacustres quaternaires de l'Altiplano bolivien. *Mémoire de Maîtrise*, Université du Québec, Montréal, 100 pp.

Rouchy, J.M., Servant, M., Fournier, M. and Causse, C., 1996. Extensive carbonate algal bioherms in upper Pleistocene saline lakes of the central Altiplano of Bolivia. *Sedimentology*, **43**, 973-993.

Round, F.E., 1981. The Ecology of Algae. Cambrigde University Press, 653 pp.

Round, F.E. and Crawford, R.M., 1990. 31. Phylum Bacillariophyta. *In*: Handbook of Protoctista. Margulis L., Corliss J.O., Melkonian M., Chapman D.J (Eds) & Mc Khann H.I. (coord. Ed.), Jones & Bartlett Publ., Boston, 574-596.

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 + 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 série Géol.*, **14** (1), 3-13.

Roux, M., Servant-Vildary, S. et Mello e Sousa, S., 1987. Diatomées et milieux aquatiques de Bolivie. Application des méthodes statistiques à l'évaluation des paléotempératures et des paléosalinités. *Géodynamique*, **2**, 116-120.

Roux, M., Servant-Vildary, S. and Servant, M., 1991. Inferred ionic composition and salinity of a bolivian quaternary lake as estimed from fossil diatoms in the sédiments. *Hydrobiologia*, **210**, 3-18.

Ruddiman, W.F. and McIntyre, A., 1981. The North Atlantic ocean during the last deglaciation. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.,* **35**, 145-214.

Sanders, L., 1990. L'analyse statistique des données en Géographie. GIP Reclus, Montpellier, 268 pp.

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.

Schulczewski, R.H., 1973. La Atmósphera Boliviana. Univers. Mayor de San Andrés, Instituto de Investigaciones Físicas, 1-112.

Schuler, M., Blanc-Valleron, M.M. et Risacher, F., 1995. La matière organique des alternances selmarne du salar d'Uyuni (Altiplano, Bolivie). Etudes géochimiques et palynologiques. *Sci Géol. Bull.*, **48** (**4**), 211-247.

Schwarcz, H.P. and Skoflek, I., 1982. New dates for the Tata Hungary archaeological site. *Nature*, **295**, 590-591.

Seltzer, G.O., 1990. Recent glacial history and paleoclimate of the Peruvian-Bolivian Andes. *Quat. Sci. Rev.*, 9, 137-152.

Seltzer, G.O., 1992. Late Quaternary glaciation of the Cordillera Real, Bolivia. J. Quat. Sci., 7 (2), 87-98.

Servant, M., 1977. Le cadre stratigraphique du Plio-Quaternaire de l'Altiplano des Andes Tropicales en Bolivie. *In* : Recherches françaises sur le Quaternaire. INQUA. *Suppl. Bull. AFEQ*, **50**, 323-327.

Servant, M. et Servant-Vildary, 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 Fontes, J.C., 1978. Les lacs quaternaires des hauts plateaux des Andes Boliviennes. Premières interprétations paléoclimatiques. *Cahiers ORSTOM, sér.Géol.*, **10** (1), 9-23.

Servant, M. et Villarroel, R., 1979. Le problème paléoclimatique des Andes boliviennes et de leurs piedmonts amazoniens au Quaternaire. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **288**, 665-668.

Servant, M. et Servant-Vildary, S., 1980. L'environnement quaternaire du bassin du Tchad. *In*: The Sahara and the Nile, Williams, M.A.J. and Faure, H. (Eds), Balkema, Rotterdam, 133-162.

Servant, M., Fontes, J.C., Argollo, J. et Saliège, J.F., 1981. Variations du régime et de la nature des précipitations au cours des 15 derniers millénaires dans les Andes de Bolivie. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **292**, **II**, 1209-1212.

Servant, M. et Fontes, J.C., 1984. Les basses terrasses fluviatiles du Quaternaire récent des Andes boliviennes. Datations par le ¹⁴C. Interprétation paléoclimatique. *Cah. ORSTOM, sér.Géol.*, **14** (1), 15-28.

Servant, M., Fournier, M., Argollo, J., Servant-Vildary, S., Sylvestre, F., Wirrmann, D. et Ybert, J.P., 1995. La dernière transition glaciaire/interglaciaire des Andes tropicales sud (Bolivie) d'après l'étude des variations des niveaux lacustres et des fluctuations glaciaires. *C.R. Acad. Sci. Paris*, **320**, **IIa**, 729-736.

Servant, M., Servant-Vildary, S., Sylvestre, F. et Ybert, J.P., 1997. Les grandes tendances des marges du Sahara depuis 20 000 ans : comparaison avec d'autres régions de la zone intertropicale en Afrique et en Amérique du Sud. *International Symposium « Changements aux marges des déserts en Afrique depuis 135 000 ans : implications pour l'eau, le carbone et l'Homme »*, Nouakchott, 3-7 Janvier, résumé.

Servant-Vildary, S., 1978 (a). Les diatomées des dépôts lacustres quaternaires de l'Altiplano bolivien. *Cah. ORSTOM, sér.Géol.*, 10 (1), 25-35.

Servant-Vildary, S., 1978 (b). Les diatomées des sédiments superficiels d'un lac salé, chloruré, sulfaté sodique de l'Alltiplano bolivien, le lac Poopò. *Cah. ORSTOM, sér. Géol.*, **10** (1), 79-90.

Servant-Vildary, S., 1978 (c). Etude des diatomées et paléolimnologie du bassin Tchadien au Cénozoique supérieur. *Trav. Doc. ORSTOM*, (2 vol.), **84**, 346 pp.

Servant-Vildary, S., 1982. Altitudinal zonation of mountainous diatom flora in Bolivia: application to the study of the Quaternary. *Acta Geol. Acad. Scient. Hungaricae*, **25**, 179-210.

Servant-Vildary, S., 1984. Les diatomées des lacs sursalés boliviens. sous-classe des pennatophycidées. I- Famille des nitzschiacées. *Cah. ORSTOM, sér. Géol.*, 14 (1), 35-53.

Servant-Vildary, S., 1986. Les diatomées actuelles des Andes de Bolivie. *Cah. Micropaléontol.*, 1 (3-4), 99-124.

Servant-Vildary, S., 1992. The diatoms. *In*: Lake Titicaca, A synthesis of limnological knowledge. Dejoux, C. and Iltis, A. (Eds.). Kluwer Acad. Pub., 163-176.

Servant-Vildary, S. et Blanco, M., 1984. Les diatomées fluvio-lacustres plio-pléistocènes de la formation Charaña. (Cordillère occidentale des Andes, Bolivie). *Cah. ORSTOM, sér. Géol.*, 14 (1), 55-102.

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.

Servant-Vildary, S. and Mello e Sousa, S.H., 1993. Paleohydrology of the Quaternary saline Lake Ballivian (southern Bolivian Altiplano) based on diatom studies. *Int. J. Salt Lake Res.*, **2**, 69-85.

Servant-Vildary, S., Miskane, N., Ybert, J.P., Ostria, C., Servant, M., Saavedra-Boz, E. and Rodrigo, L.A. Late Holocene paleoenvironments in a glacial valley of the tropical Bolivian Andes. *Quat. Res.*, soumis.

Shearman, D.J., McGugan, A., Stein, C. and Smith, A.J., 1989. Ikaïte, CaCO₃ 6.H₂O, precursor of the thinolites in the Quaternary tufas and tufa mounds of the Lahontan and Mono lake Basins, western United States. *Geol. Soc. Am. Bull.*, **101**, 913-917.

Sifeddine, A., Fröhlich, F., Fournier, M., Martin, L., Servant, M., Soubiès, F., Turcq, B., Suguio K. et Volkmer-Ribeiro, C., 1994. La sédimentation lacustre indicateur de changements des paléoenvironnements au cours des 30 000 dernières années (Carajas, Amazonie, Brésil). *C. R. Acad. Sci. Paris*, **318 (II)**, 1645-1652.

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.

Snoeijs, P.J.M., Hällfors, G. and Leskinen, E., 1991. The transfer of two epipsammic diatom species to the genus *Martyana*. *Diatom Res.*, **6**, 165-173.

Stabell, B., 1981. The diatom Fragilaria virescens var. subsalina. Striae, 14, 126-129.

Stabell, B., 1985. The development and succession of taxa within the diatom genus *Fragilaria* Lyngbye as a response to basin isolation from the sea. *Boreas*, 14, 273-286.

Steinmann, G., Hok, H. und Bistram, A., 1904. Zur Geologie des Suedoestl Bolivien. Zbl. Min., 5, 1-4.

Street-Perrot, F.A. and Harrisson, S.P., 1985. Lakes levels and climate reconstruction. *In*: Paleoclimatic Analysis and Modeling. A.D. Hecht (Ed.) Wiley, New York, NY, 291-340.

Street-Perrot, F.A. and Perrot, R.A., 1990. Abrupt climate fluctuations in the tropics: the influence of Atlantic Ocean circulation. *Nature*, **343**, 607-612.

Stuiver, M. and Reimer, P., 1993. Extended ¹⁴C data base and revised CALIB 3.0 ¹⁴C age calibration program. *Radiocarbon*, **35**, 215-230.

Sylvestre, F., Servant-Vildary, S., Fournier, M. and Servant, M., 1996. Lake-levels in the southern Bolivian Altiplano (19°-21°S.) during the Late Glacial based on diatom studies. *Int. J. Salt Lake Res.*, **4**, 281-300.

Sylvestre, F., Servant, M., Servant-Vildary, S., Causse, C. and Fournier, M. Lake-level chronology in the south Bolivian Altiplano (18 - 23°S) during Late-Glacial and early Holocene times based on radiocarbon, U/Th ages and diatom studies. soumis à *Quaternary Research*.

Talbot, M.R., Livingstone, D.A., Palmer, D.G., Maley, J., Melack, J.M., Delibrias, G. and Gulliksen, J., 1984. Preliminary results from sediment core from Lake Bosumtwi, Ghana. *In*: Paleoecology of Africa, J.A. Coetzee and E.M. van Zinderen-Bakker (Eds), Balkema, Rotterdam, **16**, 173-192.

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.

Theriot, E., Carney, H.J. and Richerson, P.J., 1985. Morphology, ecology and systematics of *Cyclotella andina sp. nov.* (Bacillariophyceae) from Lake Titicaca, Peru-Bolivia. *Phycologia*, **24** (4), 381-387.

Thompson, L.G., Mosley-Thompson, E., Davis, M.E., Lin, P.-N., Henderson, K.A., Cole-Dai, J., Bolzan, J.F. and Liu, K., 1995. Late Glacial Stage and Holocene Tropical Ice Core Records from Huascarán, Peru. *Science*, **269**, 46-50.

Thorpe, R.S., Potts, P.J. and Francis, P.X., 1976. Rare earth data in petrogenesis of andesite from the north Chilean Andes. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **54**, 65-78.

Troll, C., 1927- 1928. Forschungreisen in den zentralen Anden von Bolivia und Peru. *Peterm. Mittel.*, **73**, 41-43 und 218-222; **74**, 100-103.

Troll, C., 1929. Reisen in den oestl. Anden Boliviens. Peterm. Litt., 75, 181-188.

Troll, C. und Finsterwalder, R., 1935. Die Karten der Cordillera Real und des Talkssels von La Paz. *Petterm. Mitt.*, **81**, 393-399.

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 der Hammen, T., Barelds, J., de Jong, H. and de Veer, A.A., 1981. Glacial sequence and environmental history in the Sierra Nevada del Cocuy (Columbia). *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, **32**, 247-340.

Veit, H., 1996. Southern westerlies during the Holocene deduced from geomorphological and pedological studies in the Northern Chile (27-33°S). *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, **123**, 107-119.

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.

Wilson, S.E., Cumming, B.F. and Smol, J.P., 1994. Diatom-salinity relationships in 111 lakes from the Interior Plateau of British Columbia, Canada: the development of diatom-based models for paleosalinity reconstructions. *J. Paleolimnol.*, **12**, 197-221.

Wirrmann, D., 1987. El lago Titicaca: sedimentología y paleohidrología durante el Holoceno (10 000 años B.P. actual). Informe, UMSA, ORSTOM, La Paz, 6, 61 pp.

Wirrmann, D., Mourguiart, P. and Oliveira Almeida, L.F. de, 1988. Holocene sedimentology and ostracodes repartition in Lake Titicaca. Paleohydrological interpretations. *In*: Quaternary of South America and Antartic Peninsula, J. Rabassa (Ed.), A.A. Balkema, **6**, 89-127.

Wirrmann, D., Ybert, J.P. and Mourguiart, P., 1992. A 20,000 years palaeohydrological record from Lake Titicaca. *In*: Lake Titicaca, A Synthesis of Limnological Knowledge. C. Dejoux and A. Iltis, (Eds), Kluwer Acad. Pub., 40-48.

Wirrmann, D. and Mourguiart, P., 1995. Late Quaternary spatio-temporal limnological variations in the Altiplano of Bolivia and Peru. *Quat. Res.*, **43**, 344-354.

Witkowski, A. and Lange-Bertalot, H., 1993. Established and new taxa related to *Fragilaria* schulzii Brockmann. *Limnologica*, 23 (1), 59-70.

Witkowski, A., 1994. Recent and flora diatom flora of the Gulf of Gdansk, Southern Baltic sea origin, composition and changes of diatom assemblages during the Holocene. Bibliotheca Diatomologica, Band 28, J. Cramer (éditeur), 228 pp.

Woilard, G.M. and Mook, W.G., 1982. Carbon-14 dates at Grande Pile: correlation of land and sea chronologies. *Science*, **215**, 159-161.

Ybert, J.P., 1992. Ancient lake environments as deduced from pollen analysis. *In*: Lake Titicaca, A Synthesis of Limnological Knowledge. C. Dejoux and A. Iltis (Eds), Kluwer Acad. Pub., 49-62.

LISTE DES FIGURES

Chapitre I

Figure I.1: L'Altiplano bolivien et ses principales unités morphostructurales (Servant et Fontes, 1978) 6 Figure I.2: Carte géologique simplifiée de l'Altiplano bolivien (Risacher, 1992a). Figure I.3: Circulation atmosphérique générale en Janvier (a) et en Juillet (c) sur l'Amérique du Sud et flux majeurs de transport de vapeur d'eau (b, d) (Ronchail, 1988; Servant et Ronchail, communication personnelle). 9 Figure I.4: Exemple d'advections d'air polaire aux latitudes tropicales sud du continent américain. (Carte synoptique au sol du 16 Juillet 1975). (Ronchail, 1989). 11 Figure I.5: Variabilité des précipitations sur les Andes de Bolivie en relation avec le phénomène El Niño (Ronchail, 1995). 13 Figure I.6: Répartition des températures (a) et des précipitations (b) en moyenne annuelle sur la Bolivie (Andes et plaines de l'Amazonie, et haut bassin du Rio de la Plata) (Roche et al., 1992). 14 Figure I.7: Le système hydrologique sur l'Altiplano bolivien selon un profil NE-SW. 18 Figure I.8: Localisation des bassins lacustres dans la région du Lipez (Risacher, 1992a). 20 Figure I.9: Corrélation provisoire entre les périodes lacustres majeures des bassins de l'Altiplano bolivien (Risacher, 1992a). 21 Figure I.10: Diagramme stratigraphique du Quaternaire récent de la région Huachacalla (Altiplano central) (Servant et Fontes, 1978). 24 Figure I.11: Distribution schématique des différents types de biohermes algaires sur la bordure des bassins de Coipasa et de Uvuni (d'après Rouchy et al., 1996). 30 Figure I.12: Ages uranium-thorium (ka B.P.) sur les phases successives de croissance algaire d'un bioherme composite situé à 3680 m d'altitude sur la bordure du salar de Uyuni (Rouchy et al., 1996; Causse et al., 1995). 31 Figure I.13: Estimation des variations du niveau lacustre du lac Titicaca entre ca 7 700 ans B.P. et ca 1 000 ans B.P. d'après une fonction de transfert ostracodes/bathymétrie (Mourguiart et al., 1992). 32 Figure I.14: Variations relatives du front des glaciers dans les Andes péruviennes et boliviennes entre 20 000 et 8 000 ans B.P. (d'après Gouze et al., 1986; Servant et al., 1995). 34 Chapitre II Figure II.1: Distribution schématique des formations lacustres dans les bassins de l'Altiplano central: exemple sur la bordure du salar de Coipasa. 40 Figure II.2: Sites et matériel d'étude dans les bassins de Coipasa et de Uyuni. 41 Figure II.3: Lithologie simplifiée du sondage CO2 (salar de Coipasa, altitude: 3657 m). 43

Figure II.4: Composition minéralogique d'après les analyses par diffraction des rayons X des sédiments du sondage CO2 (après dissolution de la halite). 44 Figure II.5: Lithologie simplifiée du sondage TA (salar de Coipasa, altitude: 3657 m). 45

Figure II.6: Lithologie simplifiée du sondage UA (salar de Uvuni, altitude: 3653 m) (d'après Risacher, 1992a).

47 Figure II.7: Lithologie simplifiée de l'affleurement Pakollo Jahuira PJ (bordure nord du salar de Uyuni, altitude: 3657 m). 48

Figure II.8: Coupe stratigraphique schématique de la basse terrasse (BT) et lithologie simplifiée des affleurements I et J (bordure sud du salar de Coipasa, altitude: 3660 m). 49

Figure II.9: Lithologie simplifiée de l'affleurement de Churacari Bajo CB (versant nord du bassin de Uvuni, altitude: 3685 m). 50 58

Figure II.10: Relation surface d'eau libre / nappe phréatique

Figure II.11: Schéma stratigraphique des formations lacustres Minchin et Tauca dans le centre des bassins de Coipasa et de Uyuni. Erreur! Signet non défini.

Figure II.12: Bordures et versants des bassins de Coipasa et de Uyuni: schéma stratigraphique des formations lacustres Minchin et Tauca. 62 Figure II.13: Variations du niveau lacustre dans les bassins de Coipasa et de Uyuni entre 15,5 ka B.P. et 8,5 ka B.P. 66

Chapitre III

Figure III.1: Localisation géographique de la zone étudiée et du matériel d'étude dans la région du Lipez. 70 Figure III.2: Carte géologique et colonne stratigraphique de la région nord-occidentale du Lipez (d'après Fernandez,

гідиге ш.2: Сап 1980).

Figure III.3: Coupe stratigraphique des formations lacustres du Quaternaire récent sur la bordure est de la laguna

71

73

131

Ramaditas (d'après Fernandez, 1980).

Figure III.4: Coupe schématique stratigraphique des formations lacustres sur la bordure sud de la *laguna* Chiar Kkota et âges radiocarbone (¹⁴C B.P.) et uranium-thorium (U/Th) sur les lignes de rivage L1 et L2. 75 Figure III.5: Lithologie simplifiée des affleurements CHKA et CHKB (Chiar Kkota) et âges radiocarbone (¹⁴C B.P.)77 Figure III.6: Lithologie simplifiée de l'affleurements de Honda et âges radiocarbone (¹⁴C B.P.) et uranium-thorium (U/Th). 79

Figure III.7: Corrélations stratigraphiques d'après la lithologie et les diatomées des affleurements des bassins de Chiar Kkota (CHKA, CHKB) et de Honda (Région du Lipez). 80

Chapitre IV

Figure IV.1: Localisation des prélèvements de sédiments superficiels pour l'étude des diatomées dans le lac Poopò.89 Figure IV.2: Localisation des prélèvements de sédiments superficiels pour l'étude des diatomées sur la bordure nord 90 du salar de Uyuni. Figure IV.3: Localisation des prélèvements de sédiments superficiels pour l'étude des diatomées dans la région du Lipez (d'après Servant-Vildary et Roux, 1990b). 93 95 Figure IV.4: Caractérisation chimique des relevés actuels. 97 Figure IV.5: Relevés actuels. Plan factoriel 1-2 de l'AFC sur les échantillons. 58 échantillons, 191 espèces. 98 Figure IV.6: Relevés actuels. Plan factoriel 2-3 de l'AFC sur les échantillons. 58 échantillons, 191 espèces. Figure IV.7: Relevés actuels. Plan factoriel 3-4 de l'AFC sur les échantillons. 58 échantillons, 191 espèces. 100 101 Figure IV.8: Dendogramme de la CAH sur les 58 relevés actuels. Figure IV.9: Analyse Canonique des Correspondances (ACC) sur les relevés actuels définis par la composition floristique et sur les paramètres environnementaux. (A) Représentation graphique conjointe des échantillons/paramètres environnementaux, plan 1-2, (B) Représnetation graphique conjointe espèces actuelles/paramètres environnementaux, plan 1-2, (C) Représentation graphique des paramètres 104 environnementaux Figure IV.10: Valeurs mesurées (log) vs valeurs réestimées (log) par les fonctions de transfert pour chaque

Figure IV.10: Valeurs mesurées (log) vs valeurs réestimées (log) par les fonctions de transfert pour chaque composant ionique et la salinité.

Chapitre V

Figure V.1: Carotte CO2 (Coipasa, altitude: 3657 m): Variations en fonction de la profondeur (cm) du nombre de valves (10⁶g/sed.sec), du nombre d'espèces, et du pourcentage par échantillon des diatomées 121 périphytiques, tychoplanctoniques et planctoniques. Figure V.2: Carotte CO2 (Coipasa, altitude: 3657 m): Variations en fonction de la profondeur (cm) du pourcentage par échantillon d'espèces de diatomées dominantes. 122 Figure V.3: Carotte CO2 (Coipasa): Plan factoriel 1-2 sur les échantillons. 124 79 échantillons, 207 espèces. Figure V.4: Carotte CO2 (Coipasa): Plan factoriel 2-3 sur les échantillons. 127 79 échantillons, 207 espèces. Figure V.5: Carotte CO2 (Coipasa): Plan factoriel 3-4 sur les échantillons. 79 échantillons, 207 espèces. 129

 Figure V.6: Carotte CO2 (Coipasa): Plan factoriel 4-5 sur les échantillons.

 79 échantillons, 207 espèces.

 130

 Figure V.7: Carotte CO2 (Coipasa): Plan factoriel 5-6 sur les échantillons.

79 échantillons, 207 espèces.

Figure V.8: Carotte CO2 (Coipasa): Dendogramme de la CAH sur les 79 échantillons.132Figure V.9: Carotte CO2 (Coipasa): Répartition des classes hiérarchiques (I à X) le long de la colonne
sédimentaire.134

Figure V.10: Carotte CO2 (Coipasa): Balance ionique des cations et des anions estimés par fonction de transfert.

Figure V.11: Carotte CO2 (Coipasa): a- Composition ionique estimée par fonction de transfert; b-
Gamme de salinité estimée par fonction de transfert pour chaque classe hiérarchique.144Figure V.12: Carotte CO2 (Coipasa): Variations des diatomées planctoniques (exprimées en144

pourcentage) considérées comme indicatrices de hauts niveaux lacustres, et de la salinité (estimée par fonction de transfert).

Chapitre VI

Figure VI.1: Affleurement de Churacari Bajo CB (altitude: 3685 m): Variations en fonction de la
profondeur (cm) du nombre d'espèces, du nombre de valves (10 ⁶ g/sed. sec), du pourcentage par
échantillon des espèces périphytiques, tychoplanctoniques et planctoniques. 149
Figure VI.2: Affleurement de Churacari Bajo CB (altitude: 3685 m): Variations en fonction de la
profondeur (cm) du pourcentage par échantillon des espèces de diatomées dominantes. 150
Figure VI.3: Affleurement de Churacari Bajo (CB): Plan factoriel 1-2 sur les échantillons.
51 échantillons, 177 espèces.
Figure VI.4: Affleurement de Churacari Bajo (CB): Plan factoriel 2-3 sur les échantillons.
51 échantillons, 177 espèces.
Figure VI.5: Affleurement de Churacari Bajo (CB): Plan factoriel 3-4 sur les échantillons.
51 échantillons, 177 espèces.
Figure VI.6: Affleurement de Churacari Bajo (CB): Plan factoriel 4-5 sur les échantillons.
51 échantillons, 177 espèces. 156
Figure VI.7: Affleurement de Churacari Bajo (CB): Dendogramme de la CAH sur les 51 échantillons 158
Figure VI.8: Affleurement de Churacari Bajo (CB): Répartition des classes hiérarchiques le long de la
colonne sédimentaire et caractérisation des espèces dominantes des trois épisodes lacustres (I à III). 159
Figure VI.9: Affleurement Pakollo Jahuira PJ (altitude: 3657 m): Variations en fonction de la
profondeur (cm) du nombre (exprimé en %) des espèces de diatomées dominantes. 161
Figure VI.10: Affleurements I et J (altitude: 3660 m): Variations du nombre (exprimé en %) des deux
genres dominants. 162
Figure VI.11: Balance ionique des cations et des anions sur les échantillons fossiles des bassins de
Coipasa et de Uyuni. 166
Figure VI.12: Bassins de Coipasa et de Uyuni (15.5-13 ka B.P.): Reconstitution par la stratigraphie et
la flore de diatomées de l'altitude des plans d'eau, de la composition ionique et de la salinité des phases
lacustres Ia, Ib et II dans A) affleurement Pakollo Jahuira (PJ, 3657 m), B) affleurement Churacari
Bajo (3685 m). 168
Figure VI.13: Bassins de Coipasa et de Uyuni (13-8.5 ka B.P.): Reconstitution par la stratigraphie et la
flore de diatomées de l'altitude des plans d'eau, de la composition ionique et de la salinité de la phase
lacustre III, de l'événement Ticaña IV et de l'événement Coipasa V dans A) affleurement Pakollo
Jahuira (PJ, 3657 m), B) affleurement Churacari Bajo (CB, 3685 m), C) affleurements I et J (3657 m),
D) biohermes algaires (3660 m).
Figure VI.14: Composition ionique estimée par fonction de transfert du paléolac <i>Tauca</i> . [7]
Figure VI.15: Bassins de Coipasa et de Uyuni (15:5-8.5 ka B.P.) A- Variations de l'altitude du plan
d'eau d'après la stratigraphie des dépôts; B- Variations du pourcentage des diatomées planctoniques
considérées comme indicatrices de haut niveau lacustre dans 1) Pakollo Jahuira (3657 m), 2) Churacari
Bajo (3685 m); C- Variations de la salinité estimée par fonction de transfert dans 1) Pakollo Jahuira
(3657 m), 2) Churacari Bajo (3685 m), 3) Affleurements I, J (3660 m), 4) Biohermes algaires de la
basse terrasse (3660 m).
Chapitre VII

Figure VII.1: Affleurement CHKA (Lipez): Variations en fonction de la profondeur (cm) des espèces de diatomées dominantes (1 à 5: séquences lacustres).

Figure VII.2: Affleurement CHKB (Lipez): Variations en fonction de la profondeur (cm) des espèces de diatomées dominantes.

Figure VII.3: Affleurement Honda (Lipez): Variations en fonction de la profondeur (cm) du pourcentage par échantillon des espèces de diatomées dominantes (1 et 2: séquences lacustres). 182

Figure VII.4: Balance ionique des cations et des anions sur les échantillons fossiles des bassins de Chiar Kkota et de Honda.

Figure VII.5: Composition ionique estimée par fonction de transfert dans les affleurements (A) CHKA, (B) CHKB, (C) Honda.

Chapitre VIII

Figure VIII.1: Prélèvements des sédiments superficiels et des carottes TD et TD1 dans le lac Titicaca.194 Figure VIII.2: Distribution des assemblages palynologiques en fonction de la profondeur dans le lac Titicaca (transect Achacachi-Isla del Sol) (Ybert, 1992). 195

Figure VIII.3: Comparaisons entre: A- Variations du niveau lacustre des bassins de Coipasa et de Uyuni d'après l'altitude des dépôts lacustres et l'écologie des diatomées (échelle de temps en années radiocarbone après correction pour l'Holocène ancien); B- Variations relatives du pourcentage de diatomées planctoniques dans 1) la carotte CO2 du salar de Coipasa (3653 m); 2) l'affleurement de Pakollo Jahuira 3657 m); 3) l'affleurement de Churacari Bajo (3685 m); 4) les biohermes algaires; C-Variations relatives du pourcentage algaires *Botryococccus* (B) et *Pediastrum* (P) dans la carotte TD du lac Titicaca.; D- Variations relatives du pourcentage algaires *Botryococccus* (B) et *Pediastrum* (P) dans la carotte TD1 du lac Titicaca.

Figure VIII.4: Variations relatives du pourcentage des taxons algaires *Botryococcus* (B) et *Pediastrum* (P) dans les carottes TD et TD1 du lac Titicaca (d'après Ybert, 1992). 199

Figures de la conclusion

Figure C1: Comparaison entre les variations de l'insolation par rapport à la valeur actuelle (notée 0) de Juillet et Janvier à 20°Nord et 20°Sud avec les phases lacustres majeures) A- en Afrique tropicale nord; B- dans les Andes boliviennes 217

Figure C2: Comparaison entre les grandes étapes de la déglaciation globale (A) et les variations des niveaux lacustres des Andes boliviennes (B).; A- Volume des eaux de fonte des glaces continentales (km³ an⁻¹); 1) courbe exprimée en âge ¹⁴C an B.P., 2) courbe exprimée en âge calendaire. Variation de l'insolation à 70°S et 60°N (Fairbanks, 1989).; B- Variations des niveaux lacustres, 1) du bassin de Coipasa-Uyuni entre 16 et 8,5 ¹⁴C ka B.P., 2) du lac Titicaca entre 7,7 et 1 ¹⁴C ka B.P. (Mourguiart *et al.*, 1992).

Figures des annexes

Figure: AI.1: Structure schématique d'une diatomée (Germain, 1981)250Figure AI.2: Plans et axes de symétrie de la diatomée (Hendey, 1964)250Figure AII.1: Principe de l'analyse factorielle des correspondances263Figure AII.2: Réponse d'une abondance d'une espèce (y) à une variable de l'environnement (x) selon le
modèle gaussien.268

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I

Tableau I.a: Caractéristiques géographiques, morphométriques et chimiques des bassins de l'Altiplano bolivien.16Tableau I.b: Cadre stratigraphique et chronologique des périodes lacustres du Quaternaire sur l'Altiplano bolivien.Erreur! Signet

CHAPITRE II

Tableau II.a: Datations radiocarbone et situation dans la stratigraphie des bassins de Coipasa et de Uyuni.52Tableau II.b: Datations U/Th et 14C dans les bassins de Coipasa et de Uyuni.Erreur! Signet non défini.

CHAPITRE III

Tableau III.a: Datations 14C et U/Th dans les bassins de Chiar Kkota et de Honda (Altiplano sud). 83

CHAPITRE IV

Tableau IV.a: Localisation et caractéristiques chimiques des relevés actuels dans les bassins du Cen	ntre
et du Sud de l'Altiplano bolivien.	91
Tableau IV b: Statistiques (minimum, maximum, moyenne, médiane) sur les composants ioniques e	t la
salinité mesurés dans les 58 relevés actuels.	95
Tableau IV.c: Valeurs propres et inertie des 10 facteurs de l'AFC sur les relevés actuels.	96
Tableau IV.d: Classes hiérarchiques des relevés actuels et espèces de diatomées caractéristiques.	102
Tableau IV.e: Corrélations variables-facteurs des 4 premiers axes de l'ACC.	105
Tableau IV.f: Corrélations variables - facteurs des 4 premiers axes de l'ACC avec élimination de	
l'échantillon CL20.	105
Tableau IV.g: Comparaison des coefficients de corrélation obtenus par la méthode des "Moyennes j	par
Classe" par Roux et al. (1991) et dans ce travail.	107
Tableau IV.h: Résultats des fonctions de transfert par la Méthode des "Moyennes Pondérées": équa	tions
de régression (a), coefficients de détermination (b), écart-types (c) et marges d'erreur (d, e).	107
Tableau IV.i: Optimum estimé à la composition ionique et à la salinité pour les espèces caractéristic	ques
de la classe hiérarchique I.	110
Tableau IV.j: Optima et tolérances des diatomées actuelles.	112
Tableau IV.k: Optimum estimé à la composition ionique et à la salinité pour les espèces caractéristi	ques
de la classe hiérarchique II	112
Tableau IV.1: Optimum estimé à la composition ionique et à la salinité pour les espèces caractéristic	jues
de la classe hiérarchique III	112
Tableau IV.m: Optimum estimé à la composition ionique et à la salinité pour les espèces	
caractéristiques de la classe hiérarchique IV.	112
Tableau IV.n: Optimum estimé à la composition ionique et à la salinité pour les espèces caractéristi	ques
de la classe hiérarchique V.	113
Tableau IV.o: Optimum estimé à la composition ionique et à la salinité pour les espèces caractéristi	ques
de la classe hiérarchique VI.	113
Tableau IV.p: Optimum estimé à la composition ionique et à la salinité pour les espèces caractéristi	ques
de la classe hiérarchique VII.	113
Tableau IV.q: Optimum estimé à la composition ionique et à la salinité pour les espèces caractéristie	ques
de la classe hiérarchique VIII.	114
Tableau IV.r: Optimum estimé à la composition ionique et à la salinité pour les espèces caractéristic	jues
de la classe hiérarchique IX.	114
Tableau IV.s: Optimum estimé à la composition ionique et à la salinité pour les espèces caractéristic	ques
de la classe hiérarchique X.	114

Tableau IV.t: Optimum estimé à la composition ionique et à la salinité pour les espè-	ces caractéristiques
de la classe hiérarchique XI.	115
Tableau IV.u: Optimum estimé à la composition ionique et à la salinité pour les espè	ces caractéristiques
de la classe hiérarchique XII.	115
Tableau IV.v: Optimum estimé à la composition ionique et à la salinité pour les espè	ces caractéristiques
de la classe hiérarchique XIII.	115
CHAPITRE V	

CHAPIIKE V

Tableau V.a: Carotte CO2 (Coipasa): Valeurs propres, inertie et inertie cumulée des 10 premiers facteurs de l'AFC. 123 Tableau V.b: Echantillons et espèces définissant le groupe 1a de l'AFC dans la carotte CO2. 125 Tableau V.c: Echantillons et espèces définissant le groupe 2 de l'AFC dans la carotte CO2. 125 Tableau V.d: Echantillons et espèces définissant le groupe 3 de l'AFC dans la carotte CO2. 126 Tableau V.e: Echantillons et espèces définissant le groupe 4 de l'AFC dans la carotte CO2. 126 Tableau V.f: Echantillons et espèces définissant le groupe 5 de l'AFC dans la carotte CO2. 126 Tableau V.g: Echantillons et espèces définissant le groupe 6 de l'AFC dans la carotte CO2. 128 Tableau V.h: Composition des assemblages de diatomées caractéristiques des classes d'échantillons dans la carotte CO2. 128

Chapitre VI

Tableau VI.a: Affleurement de Churacari Bajo (CB): Valeurs propres et inertie.	151
Tableau VI.b. Définition des assemblages de diatomées caractéristiques des classes défin	nies par la CAH
dans l'affleurement de Churacari Bajo (CB).	157

Chapitre VII

Tableau VII.a: Espèces du genre Amphora identifiées dans les dépôts lacustres tardiglaciaires de la région du Lipez (Bolivie). 185

Tableau VII.b: Bassins de Chiar Kkota et de Honda (Lipez): Espèces caractéristiques, variations estimées de l'altitude des plans d'eau, variations estimées par fonction de transfert de la salinité et des composés ioniques des phases lacustres H1 (avant ca 12 ka B.P.) et H2 (9.5-8.5 ka B.P.). 188

ANNEXES

ANNEXE I

GENERALITES SUR LES DIATOMEES

I. LA BIOLOGIE DES DIATOMÉES

Les Diatomées, également appelées **Diatomophycées** ou **Bacillariophycées** sont des algues unicellulaires microscopiques (5 à 300 μ m), appartenant à l'embranchement des chromophytes regroupant les algues à plastes jaunes ou bruns. Elles sont caractérisées par la présence d'une capsule protectrice siliceuse, le frustule, constituée de deux parties emboîtées l'une dans l'autre.

Les diatomées sont extrêmement répandues dans la nature puisqu'elles sont aptes à coloniser tous les milieux aquatiques, marins et continentaux. Elles vivent dans l'eau soit en colonies ou à l'état isolé, soit libres ou fixées sur des substrats variés tels que les vases, les roches, les bois ou les plantes aquatiques. Elles peuvent être terrestres mais elles nécessitent alors une humidification périodique. Elles sont présentes également dans les encroûtements calcaires algaires (*cryptogamic crusts* ou *algal cruts*) des régions arides ou semi-arides.

Actuellement, il existe environ 12 000 espèces réparties entre 150 à 200 genres. La systématique de ces algues repose sur la forme générale du frustule, sa taille et son ornementation.

I.1. LE FRUSTULE

Le frustule, de nature siliceuse, se présente comme une boîte composée de deux valves de taille légèrement inégale ce qui permet leur emboîtement. Chaque valve présente une plaque valvaire. Les deux plaques sont raccordées l'une à l'autre par des ceintures connectives latérales, la ceinture ou cingulum (figure AI.1). Selon la forme générale du frustule, les diatomées peuvent présenter trois plans de symétrie: le plan valvaire (a) parallèle à la surface de la valve, le plan apical ou pérapical (b) passant par les apex (extrémités) du frustule et le plan transapical (c) orthogonal aux deux précédents et passant par le centre de la cellule (figure AI.2).

L'organisation de la trame siliceuse des frustules dépend de la chaîne peptique donnant une très grande variété morphologique. Cette organisation se traduit sur le frustule par la présence de stries et d'aréoles dont la taille, la forme, et la disposition sont à la base de la taxonomie des diatomées.

I.2. LA CELLULE

L'intérieur du frustule est occupé par la masse protoplasmique dans laquelle on reconnaît:

- un plastidome formé d'éléments rubanés brun-foncés groupés autour du noyau, qui portent les chlorophylles a et c ainsi que des pigments caroténoïdes;



Figure AI. 1 : Structure schématique d'une diatomée (Germain, 1981)



Figure AI. 2 : Plans et axes de symétrie du frustule de la diatomée. A : axe apical; B : axe pervalvaire; C : axe transapical; a : plan valvaire; b : plan apical; c : plan transapical. (Hendey, 1964)

- un vacuome bien développé;

- un chondriome abondant, filamenteux;
- un noyau central difficilement visible sur le vivant.

La cellule produit des gouttelettes lipidiques ainsi que des substances mucilagineuses indispensables à la formation de colonies (chez les centrales), la fixation, la locomotion (chez les pennales) et la reproduction.

I.3. LA REPRODUCTION

Dans des conditions favorables, elle a lieu par multiplication végétative, chaque cellule donnant naissance à deux cellules filles par écartement des deux valves et régénération de la valve manquante par dépôt de silice hydratée. Ce type de division entraîne une diminution régulière de la taille des individus. La reproduction sexuée intervient lorsque la taille minimale des valves est atteinte et permet de restituer des individus de taille normale.

I.4. LA MORPHOLOGIE

La classe des Bacillariophycées se subdivise en deux sous-classes:

les Centrophycidées ou Centrales à symétrie radiaire (*Cyclotella*, *Stephanodiscus*);
les Pennatophycidées ou Pennales à symétrie bilatérale (*Navicula*, *Achnanthes*, *Fragilaria*).

I.4.1. LES CENTROPHYCIDÉES OU CENTRALES

Les Centrales ont une forme circulaire à symétrie axiale (figure AI.1). La répartition des ornementations sur la valve est :

- soit uniforme des marges au centre, les épines marginales étant plus ou moins visibles (ex: *Stephanodiscus*);

- soit en deux parties. L'ornementation centrale est différente de celle de la marge (ex: *Cyclotella*).

I.4.2. LES PENNATOPHYCIDÉES OU PENNALES

Les Pennales ont une forme allongée à symétrie bilatérale (figure AII.2). Une ligne médiane appelée le raphé parcourt les valves du nodule central jusqu'aux extrémités, au niveau des nodules polaires. Selon sa présence ou son absence sur l'une ou les deux valves, on distingue:

- les biraphidées: le raphé existe sur les deux valves (ex: Navicula);

- les monoraphidées: le raphé existe sur une seule valve (ex: Achnanthes, Cocconeis);

- les araphidées: le raphé n'existe pas mais l'axe longitudinal est occupé par un espace hyalin sans ornementation, appelé "pseudoraphé" (ex: *Fragilaria, Synedra*);

- les raphidioidinées: le raphé est partiellement développé (ex: Eunotia).

II. L'ECOLOGIE DES DIATOMÉES

Les diatomées sont soumises aux variations des paramètres physico-chimiques des eaux tel que la profondeur, la salinité, le pH, la température et/ou la richesse en oxygène, en matières nutritives ou organiques. Nous considérons ici la terminologie concernant le mode de vie des diatomées et la salinité. Il faut tout de même signaler que ces organismes répondent également à la température et aux caractères trophiques de l'eau. Nous renvoyons le lecteur aux études traitant particulièrement de ces paramètres, pour la température (Servant-Vildary, 1982; Servant-Vildary et Roux, 1990; Vyverman et Sabbe, 1995; Miskane, en préparation), pour les caractères trophiques de l'eau.

La terminologie écologique adoptée au cours de ce travail est résumée ci-après pour chaque paramètre du milieu étudié.

II.1. LE MODE DE VIE

En milieu lacustre, les diatomées occupent deux grands types d'habitat:

- les zones littorales: elles sont colonisées par les formes périphytiques. Elles peuvent être libres (vagiles) ou fixées (benthiques) sur des plantes aquatiques (épiphytes), du bois (épidendriques), sur des cailloux (épilithiques) ou sur de la vase (épipéliques);

- les zones pélagiques des lacs: elles sont occupées par les formes planctoniques. Elles se divisent en euplanctoniques, tychoplanctoniques et méroplanctoniques. Les espèces euplanctoniques vivent toujours dans le plancton, quelque soit la saison et son stade de développement. Elles vivent en suspension dans l'eau sous forme de chaînes et se laissent transporter par les courants. Elles sont indicatrices de plans d'eau profonds ou de larges surfaces d'eau libre. Les espèces tychoplanctoniques vivent soit en pleine eau, soit proche d'un substrat généralement végétal. Les espèces méroplanctoniques changent d'habitat pendant leur cycle de vie: d'abord fixées, elles peuvent devenir planctoniques.

II.2. LA SALINITÉ

La classification la plus couramment employée dans la littérature est celle de «l'halobiosystème» de Kolbe (1927) repris et affiné par Hustedt (1957). Gasse *et al.* (1987) considère ce système imparfait car il ne tient pas compte de la teneur en chlorure, et de la capacité des diatomées à leur adaptation diverse, notamment aux concentrations en carbonates des eaux qui peuvent parfois constituer l'élément dominant des eaux continentales (Iltis, 1974). Gasse *et al.* (1987) proposent une classification adaptée aux milieux salés continentaux en considérant la teneur totale en sels dissous dans l'eau. Sept groupes sont ainsi définis:

- 0 / 0,5 g.L⁻¹: formes d'eaux douces; - 0,5 / 5 g.L⁻¹: formes oligosalines; - 5 / 20 g.L⁻¹: formes mésosalines;

- $20 / 30 \text{ g.L}^{-1}$: formes polysalines;

- $30 / 40 \text{ g.L}^{-1}$: formes eusalines;

- 40 / 60 g.L⁻¹: formes métasalines;

- 60 / 200 g.L⁻¹: formes hypersalines.

Les *formes eurysalines* représentent les diatomées supportant de grandes variations de salinité, pouvant être rattachées à différentes classes de salinité.

II.3. LE PH

La classification utilisée est celle établie par Hustedt (1937-1939); cinq classes sont différenciées:

- Acidobionte: espèces vivant dans des eaux de pH inférieur à 7, et dont le développement optimal se situe à des pH voisins de 5,5.

- Acidophile: espèces vivant dans des eaux de pH voisin de 7 mais dont le développement optimal est inférieur à 7.

- Indifférente ou Neutre: espèces dont le développement optimal se situe à un pH voisin de 7.

- *Alcaliphile*: espèces vivant dans des eaux de pH voisin de 7 mais dont le développement optimal se situe à un pH supérieur à 7.

- Alcalibionte: espèces vivant à un pH supérieur à 7 (pH>8,5)

ANNEXE II

METHODOLOGIE POUR UNE ETUDE DE DIATOMEES

I. ECHANTILLONNAGE DU MATÉRIEL D'ÉTUDE

I.1. ECHANTILLONNAGE DE TERRAIN

L'échantillonnage sur le terrain en vue d'une étude de diatomées comporte deux étapes:

1) effectuer les prélèvements des sédiments lacustres fossiles (sondages et affleurements),

2) effectuer les prélèvements des eaux actuelles et des sédiments superficiels actuels.

I.1.1. PRÉLÈVEMENT DES SÉDIMENTS LACUSTRES FOSSILES

Le matériel d'étude a été récolté lors de trois campagnes de terrain. Lors des deux premières campagnes, M. Servant a prélevé l'essentiel du matériel fossile: les affleurements de Churacari Bajo (CB), de Pakollo Jahuira (PJ), I, J, la basse terrasse (BT), les sondages CO2 et TA; J.M. Rouchy a prélevé des échantillons sur les biohermes algaires, dont il m'en a fourni une partie pour l'étude des diatomées. J'ai participé à la troisième campagne où ont été effectués les prélèvements des affleurements dans les bassins de la région du Lipez (Chiar Kkota, Honda).

La technique de prélèvement des affleurements employée est celle des micromorphologues. Cette méthode consiste à prélever la coupe sédimentaire dans sa totalité, section après section à l'aide de boîtes. Nous avons utilisé des boîtes métalliques de 40 cm de longueur, 6 cm de largeur et 5 cm de hauteur. Cette méthode présente deux avantages majeurs, le premier de ne pas provoquer la déstructuration du sédiment; le second de disposer de la section sédimentaire dans sa totalité au laboratoire.

Les sondage CO2 et TA ont été effectués à l'aide d'un carottier à vibration (Martin et Flexor, 1987).

I.1.2. PRÉLÈVEMENT DES EAUX ET DES SÉDIMENTS ACTUELS

I.1.2.1. Mode de prélèvement et représentativité de l'échantillonnage

Pour une étude de diatomées en vue d'une interprétation des flores fossiles par rapport aux flores actuelles, il faut procéder à un échantillonnage des sédiments superficiels. Les milieux aquatiques sont caractérisés par une très grande instabilité. Les assemblages de diatomées peuvent se modifier au cours d'une journée en fonction des modifications qui peuvent affecter le plan d'eau dans lequel elles vivent (variations de la luminosité, différences de température, transparence des eaux, etc.). Pour obtenir une bonne représentation du milieu, il serait donc nécessaire d'effectuer un suivi sur plusieurs années pour pouvoir recouvrir tous les aspects des changements journaliers, saisonniers, annuels et pluriannuels au sein du milieu aquatique. Pour résoudre ce problème, il est maintenant admis qu'il est préférable de procéder à un prélèvement des sédiments superficiels où sont conservés les différentes populations de diatomées qui se sont succédés sur n années. Néanmoins, dans des milieux sursalés, il faut tenir compte des néoformations de minéraux argileux à partir des frustules de diatomées qui peuvent se produire dès les premiers centimètres des dépôts lacustres (Badaut, 1981; Badaut et Risacher, 1982). Ces auteurs ont montré à partir d'une étude réalisée dans la région du Lipez, que la transformation n'a pas lieu sur les échantillons de bordures et dans le fond des bassins de Ramaditas, Ballivian, Chiar Kkota et Pastos Grandes (cf chapitre IV, figure IV.3). En revanche, les frustules sont argilisés dans le centre des bassins de Cañapa, Pujio, Chulluncani, Honda et Hedionda. Une étude de la flore de diatomées effectuée par S. Servant-Vildary (1984) sur les échantillons identiques à ceux utilisés par D. Badaut (1981) a montré que dans le sédiment superficiel, l'argilisation des frustules de diatomées n'est pas suffisamment avancées pour détruire les détails morphologiques qui sont utilisés comme critère de détermination spécifique. De nombreuses photos au microscope électronique (MEB) ont montré que leurs microstructures sont toujours parfaitement conservées.

Sur la base de ces travaux, les échantillons de sédiments superficiels ont donc été prélevés sur le premier centimètre de vase sur les bordures et dans le centre des bassins.

De même, il a été démontré que les flamants roses, qui colonisent abondamment les salars de l'Altiplano et particulièrement ceux de la région du Lipez, ne modifient pas la représentation de la flore de diatomées en se nourrissant, entre autres de ces algues (Servant-Vildary, 1984). Ils avalent les diatomées présentes dans leur environnement, et ils les rejettent par défécation immédiatement sur place (Hurlbert et Keith, 1979; Hurlbert et Chang, 1983).

I.1.2.2. Localisation des échantillons

L'échantillonnage des eaux actuelles et des sédiments superficiels associés a été effectué sur trois sites.

Le lac Poopó: 10 échantillons seulement ont pu être utilisés en raison des données incomplètes des analyses chimiques (S. Servant-Vildary, 1978b). L'échantillonnage des sédiments

superficiels a été effectué par Boulangé, Rodrigo et Vargas (Boulangé *et al.*, 1978). Une première série notée PJ a été prélevée en Juin 1978 (fin de la saison des pluies), une seconde série (PN) en Novembre 1978 (fin de la saison sèche).

Le salar de Uyuni: 11 échantillons ont été prélevés sur la bordure nord-est du salar en Octobre 1994. Ces échantillons ont été prélevés le long d'un transect de salinité, allant d'une source d'eau douce vers les saumures de la bordure de la croûte de sel du salar où les salinités mesurées sont de l'ordre de 400 g.L⁻¹.

La région du Lipez: 37 échantillons ont été prélevés dans 13 lagunes différentes. J'ai utilisé 30 échantillons étudiés par S. Servant-Vildary (1984), Servant-Vildary et Roux (1990), Roux *et al.* (1991). Ces 30 échantillons ont été prélevés par F. Risacher en 1978. Des tests comparatifs de la composition des assemblages de diatomées ont été réalisés à partir de prélèvements d'eaux et de sédiments effectués en 1982. Le pourcentage des effectifs des différents taxons composant les peuplements de diatomées dans les eaux et les sédiments superficiels ainsi que le calcul du coefficient de corrélation de Bravais-Pearson montrent une très bonne corrélation (Iltis *et al.*, 1984; Roux *et al.*, 1991). La flore des sédiments superficiels peut donc être considérée comme représentative de celle existant dans la nappe d'eau. Sept échantillons supplémentaires ont été prélevés en Octobre 1994 pour élargir la gamme de l'échantillonnage.

I.2. ECHANTILLONNAGE DU MATÉRIEL EN LABORATOIRE

I.2.1. ECHANTILLONNAGE DES AFFLEUREMENTS ET DES SONDAGES

L'échantillonnage des sondages CO2 et TA a été effectué en continu à l'aide de cubes de 2cm³. Les échantillons étudiés sur le sondage UA ont été fournis par M.M. Blanc-Valleron.

Sur les affleurements, des prélèvements plus fins, de l'ordre de quelques millimètres, ont été effectués à l'aide d'une spatule.

I.2.2. MICROPRÉLÈVEMENT DES SÉDIMENTS LAMINÉS

Un microprélèvement des sédiments laminés, effectué principalement sur l'affleurement de Churacari Bajo (CB), a été réalisé à l'aide d'une perceuse manuelle munie de mèches de différents diamètres (0,8; 1; 1,5 et 2 mm) choisies en fonction de l'épaisseur des lamines. 23 échantillons ont été prélevé sur l'ensemble de la coupe en tenant compte des alternances de couleur et de la nature du sédiment.

Cette méthode de microprélèvement tient compte des variations latérales des lamines, facilement repérables sur la tranche de la coupe; mais elle suppose que ces variations visibles

sur la tranche se poursuivent en profondeur dans le sédiment. Pour minimiser l'éventualité d'un recoupement sur plusieurs lamines en profondeur, j'ai limité chaque microprélèvement à la partie très superficielle de la lamine, ce qui m'a obligée à effectuer dans de nombreux cas plus de 1500 prises pour obtenir un minimum de 300 mg de matériel correspondant à une lamine.

I.3. MÉTHODE D'ANALYSE DE LA COMPOSITION CHIMIQUE DES EAUX ACTUELLES

Lors du prélèvement, les eaux ont été filtrées sur le terrain à 0,45µm sous vide avec des supports de filtre NALGENE et récipient récepteur.

Les analyses chimiques ont été réalisées au Laboratoire des Formations Superficielles, Unité de Géochimie des sols et des solutions, Centre ORSTOM, Bondy (France).

SiO₂, Ca et Mg ont été dosés par spectrométrie d'émission de plasma à couplage inductif (ICP-AES) (marque Varian modèle Libery 200; K et Na par spectrométrie d'absorption atomique (AAS) (marque Varian modèle AA10), limite de détection +/- 0,1 ppm ($\mu g/g$). Cl, NO₃, SO₄ par chromatographie ionique (marque Dionex modèle 2010i). HCO₃ est mesuré par titration potentiométrique avec H₂SO₄ 0,1 N. Le pH est mesuré sur un pH-mètre de marque Orion. La conductivité n'a pas été utilisée dans ce travail car il existe une relation pratiquement parfaite entre ce paramètre et la salinité totale (TDS) (Risacher, communication personnelle).

II. L'OBSERVATION DU CONTENU FLORISTIQUE DES DIATOMEES DANS LES SEDIMENTS

II.1. PRÉPARATION DES ÉCHANTILLONS DE DIATOMÉES

Le principe du traitement consiste à éliminer par des procédés chimiques toutes les fractions autres que la silice pour ne conserver que les frustules de diatomées.

La première phase consiste à traiter un poids connu de sédiment sec (100 à 500 mg) à l'eau oxygénée (H_2O_2 à 30%) pour détruire la matière organique et défloculer les argiles. Au terme de ce premier traitement, on effectue un certain nombre de lavage par décantation et par siphonnages successifs pour éliminer les fractions organique et argileuse jusqu'à obtention d'un culot de diatomées et de matière siliceuse (quartz, phytolithes) non détruite. Si le sédiment est riche en carbonate, on procède à la même manipulation en éliminant la fraction carbonatée par attaque acide (HCl à 20%).

La seconde phase consiste à monter entre lame et lamelle une très faible quantité de ce culot préalablement bien agité pour homogénéiser la préparation. La richesse en diatomées est estimée par l'observation au microscope inversé de 10 ml de la solution obtenue après le traitement. Cette estimation rapide permet de déterminer une dilution appropriée afin d'obtenir une lame claire et représentative. Pour les échantillons pauvres, nous avons dilué le culot à 150-200 ml, pour les échantillons moyennement riches à 300- 400 ml, et pour les échantillons riches à 600- 1000 ml.

Pour l'analyse qualitative, 0,4 ml de suspension bien homogénéisée a été prélevé avec une micropipette. Après sédimentation par évaporation, la lamelle est fixée sur une lame porteobjet enduite de Naphrax préalablement chauffée.

Pour déterminer certaine espèce et mieux comprendre leur structure interne, il est parfois nécessaire de les observer en microscopie électronique (MEB). Les préparations pour la microscope électronique ne diffère de celle pour la microscopie optique qu'au niveau du montage. Une «goutte» de la suspension est déposée sur une lamelle circulaire (1,2 cm de diamètre), elle-même montée sur un plot. Après évaporation, elle est métallisée sous vide à l'or.

II.2. EVALUATION DE LA TENEUR EN DIATOMÉES DANS LES SEDIMENTS

L'évaluation de la teneur du sédiment en diatomées est réalisée en comptant le nombre de frustules dans une quantité connue de l'échantillon, tout en connaissant également le poids de l'échantillon traité et la dilution utilisés.

Après le traitement physico-chimique de l'échantillon brut, 10ml de suspension obtenue sont prélevés et sont reversés dans une cuvette de décantation de microscope inversé. On laisse décanter et on compte 6 champs pris au hasard dans trois cuvettes, 18 champs au total. On obtient un nombre total de diatomées que l'on divise par le nombre de champs pour obtenir une moyenne par champs. On multiplie ensuite cette moyenne par le nombre de champs total contenus dans une coupelle (23237 sous un grossissement de x400) et on obtient le nombre total de diatomées dans 10ml de solution prise au départ, ce qui équivaut au nombre de diatomées contenues dans le poids de sédiment sec pris au départ. On ramène ensuite ce nombre obtenu à 1 gramme de sédiment divisé par le poids sec et en multipliant par 1000.

L'avantage d'une évaluation quantitative sur microscope inversé par rapport à l'évaluation sur lame est d'utiliser un prélèvement plus important, ce qui diminue les sources d'erreur (Fröhlich et Servant-Vildary, 1989).

II.3. DETERMINATION TAXONOMIQUE DES ESPECES DE DIATOMEES

L'évaluation de la fréquence des différentes espèces dans un échantillon a été effectuée par comptage sur un microscope photonique Nachet NS 400 avec un objectif à immersion x100 et une paire d'oculaires x10.

L'unité de comptage est la valve, les vues connectives et les fragments n'étant pas comptés lorsque la détermination spécifique n'est pas possible. Le comptage s'effectue en balayant la lame selon un nombre de transects verticaux dépendant de la richesse en espèces. Un minimum de 500 valves ont été comptés pour chaque échantillon.

La systématique utilisée pour l'identification des taxons est basée sur celle définie par Krammer & Lange-Bertalot (1986, 1988, 1989, 1991). J'ai également été amenée à consulter d'autres études dont je ne citerai ici que les plus couramment utilisées: Lange-Bertalot (1993), Frenguelli (1929, 1936, 1945), Germain (1981), Hendey (1964), Hustedt (1930, 1935, 1937-1939, 1957), Manguin (1962, 1964), Patrick et Reimer (1966-1975), Simonsen (1987). J'ai laissé en nomenclature ouverte (*sp.*) les espèces dont l'identification ne m'a pas parue certaine.

III. METHODOLOGIE D'INTERPRETATION

III.1. L'ANALYSE EMPIRIQUE DES DONNÉES: PALÉOECOLOGIE QUALITATIVE

Après le comptage des espèces de diatomées, une première interprétation des résultats est effectuée en représentant en pourcentage sous forme de diagramme de fréquence, l'évolution des espèces et/ou des genres dominants. L'axe vertical du diagramme indique la profondeur des échantillons dans la coupe et leur position dans la section stratigraphique, exprimées en fonction du temps; l'axe horizontal représente le pourcentage de chaque espèce et/ou de chaque genre dominant. On représente de la même façon la variation de la teneur en valves de diatomées. Cette première représentation des résultats est réalisée dans le but de mettre en évidence l'évolution de l'assemblage de la flore de diatomées le long de la section sédimentaire. L'interprétation de ces diagrammes reposent ensuite sur l'écologie connue d'après la littérature et l'étude des milieux actuels des espèces et/ou des genres sélectionnés.

III.2. L'UTILISATION DES MÉTHODES STATISTIQUES: PALÉOÉCOLOGIE QUANTITATIVE

La complexité des données paléoécologiques et leur hétérogénéité dans l'espace et dans le temps ont poussé très rapidement, avec l'essor de la technologie informatique, les paléoécologistes et particulièrement les diatomistes, à l'emploi des techniques de statistiques multivariées, compte tenu de la quantité des données acquises au cours d'une étude.

Dans ce travail, les techniques statistiques ont été utilisées en fonction de deux objectifs.

- Le premier consiste à dégager la structure des données floristiques acquises dans les sédiments fossiles afin d'approfondir l'analyse empirique. Pour cela, il a été utilisé des techniques telles que l'analyse factorielle des correspondances (AFC) et la classification ascendante hiérarchique (CAH), qui ont pour but principal d'extraire les directions majeures de

la variation d'un ensemble complexe de données multidimensionnelles, mais qui privilégient l'étude d'un seul tableau de données.

- Le second consiste à l'établissement d'une fonction de transfert. Cette méthode, reposant sur le principe de mettre en relation la communauté écologique étudiée avec les paramètres physiques de l'environnement dans lequel elle vit, nécessite l'emploi de techniques statistiques mettant en relation directe les données de la floristique et les mesures des paramètres du milieu. Une fois la relation établie, celle-ci est transférée sur les données floristiques fossiles.

Pour la réalisation de ces deux objectifs, il a donc été employé différentes techniques statistiques. Nous allons indiquer pour chacune d'entre - elles les principes généraux, leurs buts et leurs applications. Toutes ces analyses ont été réalisées avec le logiciel BIOMECO et avec des programmes informatiques mis au point pour ce travail par Maurice Roux.

III.2.1. LES TECHNIQUES STATISTIQUES D'ANALYSES MULTIVARIÉES

III.2.1.1. Analyse Factorielle des correspondances (AFC)

Pour l'explication de cette méthode, nous avons utilisé les travaux de Benzecri (1973), Sanders (1990), Lebart *et al.* (1982).

L'analyse factorielle des correspondances consiste en la recherche d'une hiérarchisation de l'information contenue dans un tableau de données par le calcul des allongements successifs d'un nuage de points dans des espaces vectoriels de dimension élevée. Elle a pour but de dégager les relations entre les variables (échantillons), entre les individus (espèces) et, entre les variables et les individus. Elle met également en évidence les facteurs susceptibles d'expliquer la répartition des variables, signifiant des réalités géologiques, écologiques et paléoclimatiques.

Cette analyse repose sur les mêmes principes que ceux de l'analyse en composantes principales (ACP). Sur le plan mathématique, il est d'ailleurs possible de présenter l'AFC comme une ACP particulière opérée sur des données transformées d'une certaine façon et en utilisant la métrique du $\chi 2$ au lieu de la métrique euclidienne usuelle.

L'analyse factorielle des correspondances traite des tableaux construits par comptages, où les lignes (i) représentent les espèces (individus) et les colonnes (j) les échantillons (variables). Les cases désignées kij représentent l'abondance de l'espèce i dans l'échantillon j (figure AII.1). La construction du nuage de points s'effectue en deux étapes. La première étape consiste à calculer les marges du tableau de données, la seconde procède aux calculs des profils de ligne et des profils de colonne. Pour les lignes, on note fij= kij/ ki. représentant la part relative de la colonne j dans la ligne i. Les vecteurs (fi1, fi2,fip) représente le profil de la ligne i. De manière exactement symétrique, on effectue les mêmes opérations pour les colonnes que l'on note fij= kij/ k.j, où ce rapport représente la part relative de la ligne i dans la colonne j. En répétant cette opération sur l'ensemble des lignes et des colonnes du tableau, on construit les profils de lignes et les profils de colonne. Les masses relatives de ce tableau sont notées pour la masse relative de la ligne i: fi. = ki./ k.. et pour la masse relative de la colonne j: fj. = kj./ k. Ainsi chaque ligne et chaque colonne est caractérisée par son profil et sa masse relative. Cet ensemble des profils forme le nuage de points défini par la représentation des n profils lignes dans l'espace des p colonnes et réciproquement. Le centre de gravité du nuage a pour coordonnées les moyennes pondérées par les poids relatifs des différentes lignes ou colonnes. Un des premiers avantages de l'AFC est que les transformations opérées sur le tableau de données sont réalisées de façon parfaitement symétriques sur les lignes et les colonnes.

Une fois le nuage construit de la façon décrite ci-dessus, l'AFC consiste à en extraire sa structure et ses axes d'allongement. Pour cela, on détermine la droite qui se trouve la plus proche de tous les points simultanément. La distance qu'il existe entre la droite et un point est calculé par la distance dite du χ^2 . Ce choix constitue d'ailleurs, une grande différence avec l'ACP qui utilise la distance euclidienne classique. La métrique du χ^2 permet par sa pondération de donner plus de poids à des variables de masses faibles et de compenser ainsi les différences de poids entre les variables. De plus, elle a l'avantage de vérifier le principe d'équivalence distributionnelle, propriété qui a une influence stabilisatrice sur les résultats.

Les quantités obtenues à la suite du traitement sont de deux types:

- les quantités définissant la variance prise en compte par les axes factoriels: valeurs propres et pourcentages d'inertie.

- les quantités définissant les positions des points (espèces et échantillons) dans les plans factoriels et leurs parts prises dans la définition et l'explication des facteurs: coordonnées, contributions absolues et contributions relatives.

La méthode d'interprétation de l'analyse repose sur un principe empirique recommandé par Fénelon (1981). Cette méthode m'a été enseignée par S. Servant-Vildary. Elle repose essentiellement sur les contributions absolues et relatives des individus et des espèces. Les contributions absolues (CTR) permettent de savoir quelles sont les variables responsables de la construction d'un facteur, alors que les contributions relatives (QLT) mettent en évidence le facteur le plus corrélé avec une variable donnée. Ainsi, pour l'interprétation, on retient les variables ou les individus qui présentent des contributions absolues supérieures au double de la moyenne des contributions des colonnes et des lignes du tableau des données. On dégage ainsi les échantillons et les espèces qui définissent un axe. Les variables se divisent en deux groupes en fonction de leurs coordonnées positives ou négatives sur l'axe. Un individu ou une variable de masse relativement faible et proche du centre de gravité contribue toujours peu à la formation des axes même s'il peut être très bien représenté par eux. En revanche, un individu

TABLEAU DES DONNÉES

_	j=1p	L.
i=1	K11 K12 K1p	Γ
2	K21	
i	Kij	
n	Kn1 Knp	L
_		

i = individus (espèces)

j = variables (échantillons)

Kij = abondance de l'espèce i dans l'échantillon j

CONSTRUCTION DU NUAGE DE POINTS

1) Calcul des marges du tableau



Ki =≤Kij, j = 1, p :	somme de tous les individus de la ligne i
Kj =≤Kij, i = 1, n ∶	somme de tous les individus de la colonne j
K =≷≷Kij, i = 1, n	et j = 1, p: somme de tous les éléments du tableau

2) Calcul des profils de lignes et des profils de colonnes



3) Centre de gravité du nuage

Gj =≤Fi. Fij ; i = 1 , n Gí =≤Fj. Fij ; j = 1 , p

MESURE DES DISTANCES : LA MÉTRIQUE DU X_2

$$d^{2}(j, j') = \leq 1/Ki \left(\frac{Kij}{Kj} - \frac{Kij'}{Kj'}\right)^{2}$$

avec

Kij = abondance de l'espèce i dans l'échantillon j Kj = ≤ Kij = somme des abondances dans l'échantillon j Kj' = ≤Kij' = Somme des abondances dans l'échantillon j' Ki*= somme des abondances de l'espèce i

Figure AII. 1 : Principe de l'analyse factorielle des correspondances (AFC)

avec des masses relatives importantes et s'écartant également beaucoup du profil moyen, contribuera fortement à la construction d'un ou des axes.

L'examen des contributions relatives (QLT) permet de repérer l'axe qui rend le mieux compte de la spécificité d'une variable, sachant qu'un axe traduit un comportement géologique, écologique ou paléoclimatique. Pour savoir quel axe explique le mieux sa dispersion, on calcule son QLT relatif: QLT sur axe considéré/ Σ QLT sur tous les axes.

III.2.1.2. Classification Ascendante Hiérarchique (CAH)

Les méthodes de classification sont très complémentaires des analyses factorielles. Alors que ces dernières mettent en évidence des structures géométriques, la classification consiste en général à effectuer une partition de l'ensemble des individus statistiques auxquels on s'intéresse. Les résultats d'une classification peuvent se présenter soit directement sous forme d'une partition en un nombre fixé de classes, soit sous la forme d'une hiérarchie de classes emboîtées, qui permet de définir des partitions à différents niveaux d'agrégation. Il existe plusieurs types de classification et nous avons choisi la construction ascendante hiérarchique (CAH), qui permet de prendre en compte un nombre important de variables et d'utiliser des critères de divisions systématiques reposant sur des calculs de variance.

Le principe de la classification par ascendance hiérarchique consiste à regrouper deux à deux, par étapes successives, selon leur degré de ressemblance, les individus à analyser. A la fin de chaque étape regroupant deux individus proches, les distances entre ce groupe nouvellement formé et le reste des individus à classer sont recalculées. Ce processus est réitéré jusqu'à l'obtention d'une unique classe regroupant tous les individus.

Cette procédure suppose donc le choix du critère de ressemblance entre les individus et le procédé d'agrégation déterminant la distance entre les classes. Pour les individus, il a été appliqué la distance euclidienne sur les coordonnées des objets issues de l'analyse factorielle. Ce choix présente plusieurs avantages notamment que les nouvelles variables ne soient pas corrélées entre elles et que les facteurs de l'AFC soient très stables. De plus, le choix de la distance est résolu puisque la distance euclidienne s'impose dans le sens où elle est usuellement appliquée à des tableaux de mesures. Elle reste de toute façon à peu près égale à la métrique du χ^2 appliquée sur des données brutes. Le nombre d'axes factoriels à prendre en considération est guidé par les pourcentages d'inertie de chacun d'eux et ont été pris en compte les axes qui totalisent au moins 50% de la variance (Servant-Vildary et Roux, 1990).

La méthode d'agrégation utilisées entre chaque classe est celle dite des distances moyennes. A chaque étape, la distance entre le nouveau groupe et un autre objet est égale à la moyenne des distances entre cet objet et les éléments du groupe.

Cette classification produit une représentation graphique appelée «arbre ou dendogramme» dont les noeuds indiquent le degré de ressemblance entre les objets correspondants. Chaque noeud est formé de deux composants, l'aîné et le benjamin, le nombre

de composants du noeud (ou poids) et le niveau. Le niveau s'interprète comme l'accroissement de la dispersion (Roux, 1985).

Les résultats de la CAH sont visualisés sur un dendogramme qui permet d'identifier le regroupement des échantillons. Une partition des centres mobiles pourra dans certains cas être utilisée dans le but d'améliorer la partition issue de la classification ascendante hiérarchique.

III.2.1.3. Le programme VARCAR

Ce programme, mis au point par M. Roux, permet de déterminer les espèces caractéristiques d'une classe déterminée par la classification hiérarchique ascendante. Pour chaque espèce, il calcule sa moyenne dans la classe, sa valeur moyenne pour l'ensemble des observations ainsi que son rapport de corrélation, qui représente la proportion de la variance inter-classe par rapport à la variance totale.

L'observation de ces résultats permet de sélectionner les espèces les mieux corrélées aux classes définies par la CAH.

III.2.1.4 Analyse canonique des correspondances (ACC)

L'analyse canonique des correspondances est définie par Ter Braak (1986) comme la recherche d'une combinaison linéaire de variables quantitatives (mesures du milieu) maximisant la variance des moyennes conditionnelles par colonnes (espèces) d'un tableau floristique. Cette méthode d'ordination de relations espèce - milieu traite un ensemble de données comportant n relevés écologiques. Chacun d'entre eux porte une mesure de l'abondance de t espèces et des mesures quantitatives pour p variables environnementales. La technique utilisée repose sur un algorithme défini par Ter Braak (1986). Cet algorithme d'itération comporte sept étapes:

1- coder numériquement les échantillons (relevés) avec un code arbitraire non constant;

2- calculer la moyenne pondérée des espèces par relevés;

3- calculer la moyenne pondérée de ces relevés par espèces;

4- calculer les coefficients de corrélation par régression multiple pondérée des relevés sur les variables environnementales;

5- calculer les valeurs prédites par cette régression;

6- centrer et réduire les valeurs obtenues;

7- réitérer la boucle jusqu'à ce que deux itérations successives donnent un résultat voisin.

Les résultats obtenus sont représentés sur des graphiques où les espèces et les relevés sont représentés par des points et les variables de l'environnement par des flèches. L'interprétation de ces graphiques reposent sur la longueur et l'angle des flèches par rapport aux axes factoriels: plus la flèche sera longue et proche d'un axe, plus elle sera corrélée et significative. La corrélation des variables est également indiqué par les corrélations, variant entre 0 et 1/-1. Plus sa valeur est proche de 1/-1, plus la variable est corrélée au facteur et significative de l'explication de la répartition des relevés.

III.2.2. LES MÉTHODES DE LA RÉGRESSION: LA FONCTION DE TRANSFERT

Les premiers travaux effectués pour reconstituer les paléoenvironnements à partir de données biologiques sont ceux de Imbrie et Kipp (1971). Le principe de base est le suivant: «à partir de la composition faunistique ou floristique actuelle d'une communauté écologique observée dans le milieu actuel où sont mesurés les paramètres physiques de l'environnement, il s'agit d'estimer les valeurs de ces mêmes paramètres physiques pour des périodes passées, à partir de la composition faunistique ou floristique des sédiments correspondants».

En terme statistique, cela consiste dans un premier temps à établir la relation entre les assemblages faunistiques ou floristiques actuels et les paramètres physiques de l'environnement, et modéliser cette relation par une formule de régression de type linéaire. Dans un second temps, cette relation statistique est appliquée aux données fossiles: c'est le principe de la fonction de transfert.

A partir des travaux fondateurs de Imbrie et Kipp (1971), un certain nombre d'approches ont été développées en tenant compte des données à traiter et des objectifs demandés (Guiot et Roux, 1993: cette référence propose un historique détaillé des travaux). Durant la dernière décennie, la communauté des diatomistes a utilisé deux méthodes principales, la méthode de la régression des moyennes par classe développée par M. Roux (Servant-Vildary et Roux, 1990; Roux *et al.*, 1991), et la méthode par les moyennes pondérées développée principalement par Ter Braak (Ter Braak et Prentice, 1988; Ter Braak et Van Dam, 1989; Birks *et al.*, 1990).

III.2.2.1. Méthode de la régression des moyennes par classe

Cette méthodologie développée par Roux (1979) est une approche modifiée de la méthode mise au point par Imbrie et Kipp (1971). En effet, Imbrie et Kipp (1971) ont basé leur régression sur les facteurs issus d'une analyse en composantes principales (ACP) portant sur un tableau de données transformées en pourcentage d'espèces par échantillon. Roux (1979) a remplacé l'ACP sur données transformées par une AFC sur les données brutes.

La méthode employée est la régression linéaire multiple. Les variables explicatives proviennent de l'analyse factorielle des correspondances d'un tableau particulier appelé «tableau des moyennes par classe» (Servant-Vildary et Roux, 1990a; Roux *et al.*, 1991).

1- Construction du tableau des moyennes par classe: la construction de ce tableau constitue la première étape dans l'application de cette méthode. Ce tableau est constitué en lignes par les espèces de diatomées et en colonnes par le paramètre de l'environnement à expliquer réparti en classes (Servant-Vildary et Roux, 1990a). Le contenu d'une case de ce tableau est la moyenne des abondances de l'espèce pour les relevés situés dans une classe. La détermination de ces classes doit tenir compte de l'effectif total des relevés et doit répartir à peu près équitablement le nombre de relevés dans chaque classe (Roux et al., 1991). Ce tableau ainsi créé est ensuite soumis à une AFC après adjonction de deux tableaux en éléments supplémentaires traités en éléments passifs contenant pour le premier l'ensemble des relevés actuels et pour le second les relevés fossiles. Le traitement permet ainsi d'obtenir non seulement les coordonnées factorielles des classes du paramètre à expliquer mais aussi celles des échantillons actuels et fossiles dans les mêmes plans factoriels. Ce procédé permet en outre de vérifier immédiatement la position des échantillons fossiles par rapport aux échantillons actuels; en d'autres termes, il permet de vérifier qu'il existe pour chaque échantillon fossile au moins un analogue actuel, ce qui constitue la condition essentielle pour effectuer une régression.

2- Calcul de la formule de régression: dans un premier temps, on effectue une régression multiple pas à pas appliquée aux coordonnées factorielles des relevés actuels permettant d'établir la formule de régression. Le nombre d'axes à retenir dans le calcul de la formule dépend du pourcentage de variance de chacun d'eux. D'une manière générale, il est retenu essentiellement le premier axe qui totalise toujours 80 à 90% de la variance, l'introduction d'un axe supplémentaire n'apportant généralement que 1 à 5% d'information. La régression établit la formule liant la variable environnementale étudiée aux abondances des espèces. Elle fournit en outre les réestimations de la variable du milieu sur les échantillons actuels où cette dernière a été mesurée. Une comparaison entre ces réestimations calculées et les valeurs observées est donc nécessaire pour juger de la qualité de la formule de la fonction de transfert.

3- Test de la validité de la formule de régression: Une étude des résidus (écart entre les valeurs estimées et les valeurs mesurées) est effectuée permettant de rendre compte de leur dispersion. Le test de Lilliefors est également appliqué en vue de tester la normalité des valeurs obtenues par la régression (Lilliefors, 1967). En effet, il compare la distribution observée et une distribution théorique en l'occurrence ici la loi normale. Le test permet d'accepter ou de rejetter la distribution des résidus sur la loi normale et définir un intervalle de risque. L'estimation de la marge d'erreur de la formule de la régression est calculée en multipliant l'écart-type des résidus par $\pm 1,96$.



Figure AII. 2 : Réponse d'une abondance d'une espèce (y) à une variable de l'environnement (x), selon la courbe du modèle gaussien. (u= optimum ou mode; t= tolérance; e= maximum) (Ter Braak et Van Dam, 1989)

Cette estimation est approximative car elle ne tient pas compte des fluctuations possibles du, ou des, axes factoriels en relation avec l'échantillonnage des données.

III.2.2.2. La méthode par les moyennes pondérées (Weighted-Averaging)

Cette méthode répond au principe que la relation entre une espèce et une variable de l'environnement est souvent unimodale, c'est-à-dire que chaque espèce trouve son développement optimal à une valeur bien définie d'un paramètre physique de l'environnement (optimum) et qu'elle ne peut survivre si cette valeur est plus faible ou plus élevée (Ter Braak et van Dam, 1989). Cette hypothèse de départ s'appuie sur le modèle Gaussien (figure AII.2) où chaque taxon a un optimum et une tolérance en fonction d'un paramètre de l'environnement, par exemple la salinité. Cette méthode comprend trois étapes (Ter Braak et Juggins, 1993).

1- La régression par les moyennes pondérées (WA regression): cette première étape établit la relation entre la floristique et le paramètre du milieu considéré en effectuant une régression par les moyennes pondérées. On considère qu'un taxon k est caractérisé par son abondance y_{ik} dans l'échantillon *i* et connait un optimum de développement en fonction d'une valeur mesurée x_i du paramètre environnemental x étudié de l'échantillon *i*. La première étape du calcul consiste à estimer cet optimum u_k^* selon la formule: $u_k^* = \sum y_{ik} x_i / \sum y_{ik}$. La tolérance t_k^* de ce même taxon est calculée selon la formule: $t_k^* = [\sum y_{ik} (x_i - u_k^*)^2 / \sum y_{ik}]^{1/2}$.

2- La calibration par les moyennes pondérées (WA calibration): lors de la seconde étape, on utilise la valeur calculée de cet optimum pour estimer la valuer x_i^* du paramètre de l'environnement étudié à partir de l'abondance des espèces floristiques: $x_i^* = \sum y_{ik} u_k^* / \sum y_{ik}$. L'estimation de la tolérance pondérée est obtenue à partir de la formule: $x_i^* = (\sum y_{ik} u_k^* / t_k^*) / (\sum y_{ik} / t_k^*)$.

3- La régression par «étirement» (Deshrinking regression): La régression par les moyennes pondérées non-linéaire, contracte l'amplitude de variation du paramètre à expliquer parce-qu'elle procède à un double «moyennage». Pour corriger cela, on procède à un calcul d'étirement (deshrinkage) en appliquant une régression linéaire classique sur les premières valeurs estimées. Deux types de deshrinkage peuvent être effectués: le deshrinkage classique qui produit une régression de type $x_i^* = a x_i + b + \varepsilon_i$ ou le deshrinkage inverse de type $x_i = x_i^* - b / a$.

ANNEXE III: Estimations par fonction de transfert de la composition ionique en mMol.L⁻¹ et de la salinité en g.L⁻¹ dans la carotte CO2 (Coipasa). <u>Prof (cm) TDS Alcalinité Cr SO4⁻ Na⁺ Ca⁺⁺ K⁺ Mg⁺⁺</u> 77 24.01 3.94 286.38 31.88 253.44 23.79 13.59 30.98

77	24,01	3,94	286,38	31,88	253,44	23,79	13,59	30,98
81	15,42	3,25	139,04	16,71	122,38	22,49	9,43	16,25
83	24,62	4,07	239,91	24,53	214,41	30, 15	16,94	23,03
85	10,55	3,01	55,71	9,66	51,43	20,62	8,48	8,35
87	25,99	4,23	321,51	27,22	257,05	29,23	21,93	36,21
89	37,50	4,82	416,23	46,20	442,91	49,92	19,18	29,02
93	32,82	4,51	325,45	39,39	346,33	62,90	16 / 1	27,95
97	33,41	4,56	4/7,05	47,83	411,09	62,13	24,43	26,23
103	25,05	3,59	312,83	44,25	286,15	64,41	13,59	45,07
109	27,39	3,88	313,78	49,83	311,50	57,31	12,36	39,45
113	26,13	3,58	302,83	45,57	290,52	64,81	12,64	41,93
119	31,08	4,38	329,10	43,87	334,65	34,51	10,33	31,18
123	39,03	4,59	491,23	52,01	400,72	32,09	20,24	36,50
125	53.40	4,13	775 34	40,79	540,08 651.07	40,04	37.39	33,00
127	20,40	4.12	421.74	46.09	375 82	37.16	19.00	50.30
129	29,50	4,12	421,74	37 27	J73,02	33,68	25.57	33.24
135	36.44	4,55	539 55	52 12	466 72	61 49	25,67	29.18
141	31 45	471	400.95	45.81	377 72	26.54	18.98	28 74
145	33 59	4 66	461 42	50 56	414.84	35.32	21.35	27.10
147	30,98	4.63	358.70	34.25	324.34	32.04	20.97	23.62
151	15.56	3.26	182.06	30,93	155,94	58,39	9,34	26,32
158	21,94	3.97	257,64	29,98	223,97	60,04	13,68	25,37
160	14,92	3,40	180,57	19,61	137,39	97,99	11,72	23,26
164	47,48	6,00	641,67	24,83	494,77	22,36	38,64	37,54
172	23,75	4,23	246,86	21,97	212,24	64,01	17,92	24,32
176	18,03	3,62	207,34	23,71	169,37	71,40	12,66	26,98
182	12,75	2,98	148,84	23,30	123,38	52,26	9,47	25,10
186	19,44	3,55	197,61	23,22	171,45	63,88	14,00	24,56
188	25,73	3,86	314,10	38,64	281,27	64,28	15,60	33,77
192	29,85	4,15	383,88	48,13	363,15	59,49	16,69	41,18
202	37,50	4,73	559,49	54,35	479,57	66,85	26,11	25,51
206	42,14	4,81	495,71	67,68	537,32	64,74	15,55	43,95
212	36,60	4,46	436,04	57,50	444,25	53,19	15,52	42,32
216	39,61	4,58	450,37	64,66	482,97	59,98	14,75	44,23
226	42,49	4,78	525,05	65,27	552,11	25,81	16,62	46,70
230	40,28	4,/1	493,71	68,74	527,15	11,33	15,43	42,90
234	28,20	4,43	282,91	19,96	230,88	28,04	12.20	25,40
242	30,49	4,22	340,99	40,04	340,63	58.60	11 21	33,24
246	22,07	3,55	100.07	25 02	177.85	49.92	12 52	22 31
254	20,01	3,77	248.62	23,92	232.76	34 32	18.90	18 13
250	23,70	4,50	334.48	26.78	294 66	4 65	23.25	25.92
264	23.12	4.00	219.09	19 43	185.05	34,99	17.83	21.17
268	18 13	3.77	160.62	17.39	136,41	67,05	14,21	18,56
272	25.62	4.34	258,43	20,39	215,28	13,16	19,87	24,19
276	12,18	3,01	100,76	16,09	88,37	10,83	9,69	17,75
280	23,73	3,93	254,51	26,29	218,36	7,57	16,51	25,67
284	31,62	4,08	391,33	47,88	373,93	11,51	15,75	41,88
288	25,76	3,97	285,22	40,74	274,53	14,94	13,17	31,75
292	17,75	3,43	186,98	24,59	165,44	16,15	11,23	22,12
299	20,05	3,89	154,46	14,11	130,27	13,87	16,40	16,15
305	23,34	4,13	194,99	16,18	161,94	5,81	18,92	20,15
314	22,45	4,05	193,60	15,80	160,13	11,96	18,30	19,30
316	30,04	4,25	337,89	35,67	307,75	10,87	15.00	32,04
322	24,33	3,54	315,70	3/,31	210,12	10,72	11 66	-+1,10 -20,89
329	20,07	3,40	241,38	23,00	130 27	13.81	9 90	21 40
331	14,00	3,22	518.29	23,09	501 10	14.26	13.26	46.31
241	16.00	3.55	188.00	27 70	164 77	65 75	10.37	24.66
340	12 13	2,35	147 02	26.14	125 17	25.28	7.80	25.15
361	14.04	2,01	162 12	23,14	137.81	48.34	9.94	22.93
367	12.87	2,17	135.08	23,02	116 37	35.06	8 17	21.85
374	15.37	3.09	155.90	26.55	139.66	52,10	9.30	22.91
384	22.35	3.23	308.73	40.53	262.58	49.30	14,18	50,76
402	20.58	3.47	244,85	39,47	227,63	48,44	10,59	32,71
409	33,66	4,45	393,31	41,75	369,43	52,42	18,10	36,41
415	26,90	3,75	295,24	47,33	295,26	51,77	12,13	36,56
421	25,32	3,90	255,03	37,55	246,60	14,45	13,44	26,49
427	16,61	3,19	160,62	26,17	145,04	13,87	9,29	24,35
433	9,09	2,67	108,40	20,07	87,01	1,51	6,19	19,51
439	13,21	3,01	139,62	19,30	114,36	37,95	9,69	21,22
445	32,96	4,23	409,14	57,62	396,84	23,23	15,88	46,26
449	38,70	4,54	456,32	76,62	500,28	15,09	13,84	44,79
455	51,60	6,38	650,78	22,61	498,27	10,21	43,30	34,46
463	76,17	7,52	1097,75	28,34	841,09	6,46	63,97	47,14
4/1	4,46	2,04	14,61	2,86	12,86	3,65	4,3/	3,87
4/9	25,21	4,49	235,79	20,53	202,36	33,22	18,63	20,89
483	10,00	J 3,40	104,68	19,74	152,17	C8,01	14,72	20,0/

ANNEXE III: E	stimations par fonction de transfert de la composition ionique en mMol.L ⁻¹ et de la salinité
en g.L ⁻¹	dans les bassins de Coipasa et de Uyuni (en fonction de la stratigraphie régionale).

Episodes lacustres	N°Ech.	Alcalinité	CI.	s04⁻	Na⁺	K,	Ca**	Mg**	TDS
	S20	5,67	640,38	31,95	481,99	37,57	38,59	45,54	44,08
Coipasa	S22	2,60	183,56	54,01	134,61	8,14	67,47	49,05	9,49
v	S23	2,58	180,76	52,29	132,83	8,22	63,82	48,39	9,59
	547 BT08	2,00	169 97	48 79	126 20	9,93 8.07	57 67	44 46	9.60
Ticana	BT06	2,52	162,62	46,59	119,89	7,83	56,49	43,81	9,19
IV	BT07	2,55	173,85	47,78	129,07	7,97	55,62	44,55	9,71
	BT12	4,11	345,51	30,57	254,21	16,87	46,17	29,81	19,31
	BT13	2,89	188,71	37,91	138,66	8,83	46,70	36,25	10,25
bioherme à 3760 m	S37	5,86	568,59	161,09	510,45	34,01	59,12	51,99	37,93
	J019	5,93	422.02	157,85	271.67	34,01	12 15	31,40	39,94
PI	1023	4,00	423,02	101 74	411 09	27,44	42,15	55 74	32 19
10	J033	3 80	339.61	64.86	278.44	20.72	39.54	54.93	24.30
	J038	3,65	303,14	61,78	247,60	17,60	40,72	50,03	21,41
	C009	5,91	563,46	159,14	502,30	34,68	58,21	49,61	37,58
	C014	4,82	337,89	95,08	289,64	20,17	47,24	39,95	24,04
HF	C022	4,83	359,80	110,97	308,06	20,43	51,18	43,36	23,57
	C034	3,27	90,64	35,52	79,33	11,47	18,78	17,40	12,10
	C040	5,64	466,57	140,15	413,58	31,31	53,75	45,07	33,24
Churacari	C053	6.01	581 34	167.08	529,20	33.03	50,90	50,55	37.14
Churacan	C056	5.31	446 29	127.88	386.97	27 76	53,00	46.26	30.07
	C060	5.27	433.84	124.92	381,16	25.60	52.31	46,65	29.06
	C063	5,31	455,40	133,88	395,65	29,04	54,99	47,04	31,21
	C066	4,54	361,62	100,70	302,81	21,86	48,84	45,97	24,35
	C098	3,62	104,40	41,84	92,96	13,39	20,24	17,40	13,87
	C100	3,85	151,32	51,20	134,88	12,52	22,86	22,73	17,18
	C106	3,82	295,24	77,97	241,17	15,58	40,80	43,22	19,59
	C112	5,47	464,22	134,70	409,44	24,59	51,56	46,46	31,62
	C119	2 05	2,10	2,41	2,75	4 60	22.96	33.02	6.84
	C124	1.96	110.45	26.29	80.66	4.35	24,18	34,17	6.31
	C125	2,28	144,01	30,24	111,92	4,85	21,69	32,99	8,71
	C135	2,37	115,86	20,25	83,30	7,52	22,54	30,26	8,72
	C137	3,04	166,68	21,78	123,64	11,86	23,03	32,05	13,76
	C149	2,24	139,04	22,86	99,62	8,38	24,98	40,12	10,09
	C151	2,32	186,98	25,36	133,37	11,30	26,45	52,92	13,12
	C154	2,40	170,49	23,25	123,13	11,10	24,34	47,44	13,05
	C174	1,09	140 92	25 49	96.92	4,04	23,21	49.46	8.62
	C176	1.90	104.95	20.01	73.83	6.64	23,08	34.75	7.61
	C179	2,49	270,81	33,31	195,49	15,89	34,29	65,64	18,84
	C182	2,19	100,23	15,71	79,00	3,16	13,60	15,56	4,86
	C187	2,68	132,86	19,54	99,21	8,55	20,24	30,13	10,78
	C190	2,36	131,90	21,01	96,69	8,82	21,52	35,01	10,65
П	C202	2,27	133,41	21,61	94,90	5,09	22,51	32,71	6,91
	C204	1,83	87,00	18,76	61,41	3,54	21,01	25,20	4,78
	C212	1,90	90,93	12,35	69,13 205.67	3,62	12,55	16,01	4,72
	C223	2,35	385.83	35 71	203,07	20.54	33 25	106 16	24.06
PJ	J047	2.90	429.48	40.14	317.86	21.69	36.11	96.45	26,44
-	J050	3,17	347,26	41,13	283,56	19,39	29,89	63,11	24,46
	C230	1,72	45,33	12,86	35,74	2,36	11,52	11,87	2,99
	C233	2,10	88,94	27,10	65,88	3,38	21,43	24,61	5,61
	C235	1,53	32,76	15,19	24,31	1,57	14,22	12,70	1,57
	C242	1,09	43,80	18,28	30,36	1,81	18,76	20,53	2,00
Churacari	C245	1,11	46,18	18,24	32,53	1,95	18,35	20,44	2,20
	C248	1,25	25.18	0.70	37,45	2,51	10,02	0.69	1.82
	C252	1,65	67.96	16.75	50.24	2.72	16.31	17.81	3,58
	C253	1,28	56,56	19.47	39.74	2,09	20.26	22.07	2,66
lb	C255	1,18	49,32	18,76	33,92	1,91	20,06	21,78	2,28
	C262	1,25	42,19	14,30	30,22	1,92	15,51	16,03	2,11
	C272	1,42	60,54	21,90	48,61	2,84	16,93	18,69	3,89
	C273	1,38	57,61	18,64	42,07	2,54	19,24	20,30	3,09
	C274	1,10	18,83	8,65	14,61	1,77	8,64	9,12	1,79
	C275	1,89	73,07	21,44	61,60	3,74	19,28	18,94	5,35
10	100/	2,03	L ⊂ 10,0D	4/,13	1 101,77	10,31	32,/5	1 33,97	12,33

ANNEXE III: Estimations par fonction de transfert de la composition ionique en mMol.L	et de la salinité
en g.L ⁻¹ dans les bassins de Chiar Kkota et de Honda (Lipez).	

	Ech	Alcalinite	<u> </u>	<u>SO4</u>	<u>Na</u>	<u> </u>	<u> </u>	Mg''	
	T065	4,19	399,73	37,67	330,96	21,56	23,79	36,91	26,96
	T070	3,56	291,96	38,56	245,85	14,93	22,49	31,88	20,00
	T075	3,17	436,48	39,43	339,07	23,79	30,15	76,83	28,78
	T080	3.36	244 35	35 60	206 72	12 90	20 62	27 24	16 91
	T085	2.83	212.05	34 47	158 35	10.07	29.23	47 39	12.67
	T000	5.60	481 80	114.00	414.94	27.41	40.00	47,00	20.20
	1030	0,03	401,09	174,50	414,04	27,41	49,92	47,43	30,39
	1097	0,21	612,00	176,84	547,69	37,57	62,90	51,67	39,94
	1102	5,91	591,39	165,06	521,87	35,23	62,13	52,97	37,89
	T109	5, 9 5	599,19	176,66	530,88	36,50	64,41	52,86	38,62
	T112	5,12	467,52	135,53	401,27	28,23	57,31	48,74	30,39
	T116	6,15	628,24	181,75	561,07	38,52	64,81	53,14	40,66
	T119	2,27	142,24	37,39	102,96	7,74	34,51	36,83	8,79
СНКА	T121	2,91	292,55	33,06	222,84	15,18	32,69	50,29	19,01
	T147	4.26	324.13	93,15	269.85	20.07	45.64	40.41	21.94
	T150	2 99	210 54	43.55	163 77	11 68	32 55	37 18	13.81
	T152	3.46	254 25	31 03	188.65	14.00	37 16	42.50	17 49
	T150	2 72	303.45	34.51	221 49	15 16	33.69	42,50 64.76	19 64
	T170	5.72	503,43	161.00	400.91	10,10	55 <u>6</u> 6	54,70	10,04
	T170	5,75	556,37	101,09	490,81	33,80	01,49	51,13	30,10
	11/5	3,07	191,43	41,22	146,68	9,90	26,54	37,86	11,33
	11/8	3,76	434,28	45,00	330,29	23,97	35,32	65,30	27,75
	T190	3,47	361,62	46,49	279,85	17,79	32,04	35,57	22,47
	T196	5,61	541,18	148,52	474,29	32,68	58,39	50,03	35,34
	T205	5,64	537,92	156,73	472,86	32,65	60,04	50,39	35,19
	T221	4,78	226,37	23,43	147,43	8,04	97,99	31,72	11,97
	T229	4,51	101,39	15,28	82,87	7,00	22,36	13,37	8,20
	T238	4,47	171,02	19,56	120,51	8,44	64.01	26,01	11.89
	T242	4.81	232,92	24.21	164.27	10.55	71 40	30 65	14 42
	K012	5.07	478.02	118.35	407 79	29.13	52.26	51.40	31.58
	K016	613	623.83	176.66	556.01	37 77	63.88	52.54	40.03
	K018	6.26	637.80	180.64	570 17	37.72	64.28	52,04	40,00
	K021	6,20	620.07	160,04	570,17	37,73	50.40	52,52	40,53
	K021	6,12	620,07	100,27	557,69	33,27	59,49	50,76	40,55
	KUZZ	0,48	690,61	197,08	622,91	42,20	66,85	54,54	44,45
	KU24	6,39	655,38	186,41	590,00	40,44	64,74	52,92	42,58
СНКВ	K027	4,94	435,60	119,56	372,05	26,20	53,19	46,07	28,47
	K030	6,12	607,09	168,10	544,94	36,50	59,98	50,50	40,20
	K033	3,69	248,12	49,93	312,76	8,55	25,81	30,49	22,54
	K036	1,93	34,60	5,11	23,88	3,08	11,33	4,93	3,24
	K040	4,23	345,86	66,98	492,29	10,23	28,64	35,61	31,11
	K044	2,34	130,27	28,46	100,03	6,44	25,45	31,11	9,36
	K046	5,40	509,91	145,38	442,46	30,99	58,69	50,03	33,27
	K048	4,22	341,68	98,25	281,56	20,48	49,92	44,55	22,35
	L022	3,59	262,40	58,95	209,46	16,42	34,32	38,26	18,43
Biohermes	L023	1,64	10,99	4,75	9,41	2.37	4,65	4,40	2.33
Chiar Kkota	L024	5.16	411.63	68.74	386.97	21.60	34 99	33.06	30.52
	1025	6 70	706.07	205 23	645 21	43.61	67.05	54 25	45.96
	H016	213	46.08	7 92	36.01	3 37	13.16	6.21	4 49
	H026	1.80	28.18	136	10.13	2,51	10,10	2.95	7,45
	1020	1,00	20,10	4,30	19,13	2,51	10,83	3,85	2,53
	1035	1,30	25,03	7,21	17,38	1,62	7,57	7,75	1,60
	HU41	1,27	25,24	10,56	17,50	1,43	11,51	10,32	1,40
	H042	1,33	29,01	13,15	20,11	1,39	14,94	13,24	1,29
	H043	1,24	25,00	14,00	17,61	1,18	16,15	13,60	1,01
Honda	H045	1,12	19,62	11,10	13,34	0,96	13,87	10,72	0,68
	H085	2,12	35,27	7,08	28,03	3,22	5,81	6,61	3,67
	H110	1,74	26,49	6,11	17,90	1,86	11,96	5,67	2,00
	H142	1,78	27,63	4,87	18,89	2,41	10,87	4,48	2.47
	H176	1,82	28,41	4,64	19,54	2,62	10,72	4.11	2.68
	H206	1,81	28,41	4,69	19,61	2.56	10.65	4.11	264
	H224	1,61	34.06	16.88	26.57	2.10	13.81	13.04	316
	H232	1,20	21,50	14.20	15.52	1.08	14 26	12 22	1 10
				-,	,	.,	,20		.,

CODE	GENRES ET ESPECES	

l

	ACHNANTHES Bory de Saint Vincent 1822
ARE	ACHNANTHES AFF RENEI
ACAR	ACHNANTHES ARENARIA Amossé 1941
ABI	ACHNANTHES BIASOLETTIANA Grunow in Cleve & Grunow 1880
ABR	ACHNANTHES BREVIPES Agardh 1824
ACBB	ACHNANTHES BREVIPES BREVIPES
ACBI	ACHNANTHES BREVIPES INTERMEDIA Kützing 1833
ACHI	ACHNANTHES CHILENSIS Hustedt 1927
ACEI	ACHNANTHES CLEVEI CLEVEI Grunow in Cleve & Grunow 1880
ACO	ACHNANTHES COARCTATA (Brébisson) Grunow in Cleve & Grunow 1880
AD	ACHNANTHES DELICATULA (Kützing) Grunow in Cleve & Grunow 1880
ADSE	ACHNANTHES DELICATULA SEPTENTRIONALIS (Oestrup) Lange-Bertalot
AHI	ACHNANTHES HIRTA Carter 1970
AHU	ACHNANTHES HUNGARICA (Grunow) Grunow in Cleve & Grunow 1880
ACI	ACHNANTHES ISLANDICA Oestrup 1918
ALA	ACHNANTHES LANCEOLATA (Brebisson) Grunow in Cleve & Grunow 1880
ACLH	ACHNANTHES LANCEOLATA HAYNALDII (Schaarschmidt) Cleve 1894
ACLA	ACHNANTHES LATEROSTRATA Hustedt 1933
ACLM	ACHNANTHES LEMMERMANII Hustedt 1933
ALO	ACHNANTHES LONGIPES Agardh 1824
AMI	ACHNANTHES MINUTISSIMA Kützing 1833
ACOB	ACHNANTHES OBLONGELLA Oestrup 1902
ACPA	ACHNANTHES PARVULA Kützing 1844
ACPE	ACHNANTHES PERICAVA Carter 1966
ACRE	ACHNANTHES REVERSA Lange-Beertalot & Krammer nov.comb.nov.nom.
ACRO	ACHNANTHES ROSTRATRA Oestrup 1902
AHSP	ACHNANTHES SP
ASPE	ACHNANTHES SPECIOSA Hustedt 1927

AMPHORA Ehrenberg in Kützing 1844

AMCU	AMPHORA ACUTIUSCULA (Kützing) Rabenhorst 1864
AMAT	AMPHORA ATACAMAE Frenguelli 1929 (1928)
AMPA	AMPHORA ATACAMANA Patrick 1961
AMPM	AMPHORA ATACAMANA MINOR
ABOL	AMPHORA BOLIVIANA Patrick 1961
ABEL	AMPHORA BOLIVIANA ELONGATA
AMCJ	AMPHORA CARVAJALIANA Patrick 1961
AMCO	AMPHORA COFFEAEFORMIS (Agardh) Kützing 1844
AMD	AMPHORA DELICATISSIMA Krasske 1930
АМНО	AMPHORA HOLSATICA Hustedt 1930
AMLI	AMPHORA LINEOLATA Ehrenberg (1838)
AY	AMPHORA LYBICA Ehrenberg 1840
AMOV	AMPHORA OVALIS (Kützing) Kützing 1844
AMPE	AMPHORA PEDICULUS (Kützing) Grunow 1880
AMPS	AMPHORA SPECIES
AMPL	AMPHORA PLATENSIS Frenguelli 1945
AMVN	AMPHORA VENETA Kützing 1844

ANOMOEONEIS Pfitzer 1871

ANS	ANOMOEONEIS SPHAEROPHORA (Ehrenberg) Pfitzer 1871
ANSA	ANOMOEONEIS SPHAEROPHORA ANGUSTA
ANSC	ANOMOEONEIS SPHAEROPHORA COSTATA (Kützing) Schimdt 1977
ASN	ANOMOEONEIS SPHAEROPHORA NAVICULARIS
ASP	ANOMOEONEIS SPHAEROPHORA PLATENSIS

AULACOSEIRA Thwaites 1848

MDA AULACOSEIRA ALPIGENA (Grunow) Krammer 1990 AUL AULACOSEIRA LACUSTRIS (Grunow) Krammer 1990

BRACHYSIRA Kützing 1833

BRAC BRACHYSIRA APONINA Kützing 1836

CALONEIS Cleve 1894

CAB	CALONEIS BACILLUM (Grunow) Cleve 1894
CAI	CALONEIS INCOGNITA Hustedt 1910
CAOB	CALONEIS OBTUSA (W.Smith) Cleve 1894
CS	CALONEIS SILICULA (Ehrenberg) Cleve 1894
CAW	CALONEIS WESTII (W.Smith) Hendey 1964
CSP	CALONEIS SPECIES

CAMPYLODISCUS Ehrenberg 1840

CAMPY CAMPYLODISCUS CLYPEUS Ehrenberg 1840

CHAETOCEROS Ehrenberg 1844

CHAE CHAETOCEROS SP.

COCCONEIS Ehrenberg 1838

CBAR	COCCONEIS BARDAWILLENSIS Ehrlich 1975
CD	COCCONEIS DIMINUTA Pantocsek 1902
CDS	COCCONEIS DISCULUS (Schumann) Cleve 1895
СР	COCCONEIS PLACENTULA Ehrenberg 1838
CPE	COCCONEIS PLACENTULA EUGLYPTA (Ehrenberg) Grunow 1884
CPL	COCCONEIS PLACENTULA LINEATA (Ehrenberg) Van heurck 1880-1885
COS	COCCONEIS SCUTELLUM Ehrenberg 1838
COSP	COCCONEIS SP
ст	COCCONEIS THUMENSIS Mayer 1919

CYCLOTELLA (Kützing) Brébisson 1838 nom.cons.

CYATCYCLOTELLA ATOMUS Hustedt 1937CYDICYCLOTELLA DISTINGUENDACYDUCYCLOTELLA DISTINGUENDA UNIPUNCTATA Hustedt 1927CYGACYCLOTELLA GAMMA Skvortzow 1963CYHKCYCLOTELLA HAKANSSONIAE Wendker 1990

CYMG	CYCLOTELLA MENEGHINIANA Kützing 1844
CYOC	CYCLOTELLA OCELLATA Pantocsek 1901
CCP	CYCLOTELLA PSEUDOSTELLIGERA Hustedt 1939
CPS	CYCLOTELLA SPECIES
CYCS	CYCLOTELLA STELLIGERA Cleve & Grunow (in Van Heurck) 1882
CYRO	CYCLOTELLA STELLIGERA ROBUSTA Hustedt 1935
CYOI	CYCLOTELLA STELLIGEROIDES Hustedt 1945
CYST	CYCLOTELLA STRIATA (Kützing) Grunow in Cleve & Grunow 1880

CYCLOSTEPHANOS Round in Theriot et al. 1987

CYSB CYCLOSTEPHANOS DUBIUS (Fricke) Round 1982

CYMBELLA Agardh 1830

CYA	CYMBELLA AFFINIS Kützing 1844
CYMC	CYMBELLA CISTULA (Ehrenberg) Kirchner 1878
CYL	CYMBELLA GRACILIS (Ehrenberg 1843) Kützing 1844
CYME	CYMBELLA MESIANA Cholnoky 1955
CYMT	CYMBELLA MINUTA Hilse ex Rabenhorst 1862
CYN	CYMBELLA NORVEGICA Grunow in A.Schmidt et al. 1875
СҮРА	CYMBELLA PAUCISTRIATA A.Cleve-Euler 1934
CYMP	CYMBELLA PUSILLA Grunow in A.Schmidt et al. 1875
CYML	CYMBELLA SILESIACA Bleish in Rabenhorst 1864
CYS	CYMBELLA SPECIES

DENTICULA Kützing 1844

- DE DENTICULA ELEGANS Kutzing 1844
- DMES DENTICULA MESOLEPTA (Grunow in Van Heurck) Meister 1932
- DSB DENTICULA SUBTILIS Grunow 1862
- DTN **DENTICULA TENUIS Kützing 1844**
- DETH DENTICULA THERMALIS Kützing 1844
- DEV DENTICULA VALIDA (Pedicino) Grunow in Van Heurck 1881

DIPLONEIS Ehrenberg 1844

DIEL	DIPLONEIS ELLIPTICA (Kützing) Cleve 1891

- DILA **DIPLONEIS ELLIPTICA LADOGENSIS Cleve 1891** DIPS
- **DIPLONEIS PSEUDOVALIS Hustedt 1930** DISD
- DIPLONEIS SMITHII DILETATA
- DS **DIPLONEIS SUBOVALIS Cleve 1894**

ENTOMONEIS Ehrenberg 1845

ENTO ENTOMONEIS PALUDOSA (W.Smith) Reimer 1975

EPITHEMIA Brébisson ex Kützing 1844

- ΕZ EPITHEMIA ADNATA (Kützing) Brébisson 1838
- EΑ EPITHEMIA ARGUS (Ehrenberg) Kützing 1844
- EPITHEMIA TURGIDA GRANULATA (Ehrenberg) Brun 1880 EPTG
- ΕT EPITHEMIA TURGIDA (Ehrenberg) Kützing 1844

	FRAGILARIA Lyngbye 1819
FARC	FRAGILARIA ARCUS ARCUS (Ehrenberg) Cleve 1898
FAT	FRAGILARIA ATOMUS Hustedt 1931-1966
FB	FRAGILARIA BREVISTRIATA Grunow in Van Heurck 1885
FCA	FRAGILARIA CAPUCINA Desmazières 1925
SYPE	FRAGILARIA CAPUCINA PERMINUTA (Grunow) Lange-Bertalot
SYR	FRAGILARIA CAPUCINA RUMPENS (Kützing) Lange-Bertalot 1991
FCAV	FRAGILARIA CAPUCINA VAUCHERIAE (Kützing) Lange-Bertalot 1980
FRAC	FRAGILARIA CONSTRUENS (Ehrenberg) Grunow 1862
FRAS	FRAGILARIA CONSTRUENS SUBSALINA Hustedt 1925
FRCV	FRAGILARIA CONSTRUENS VENTER (Ehrenberg) Hustedt 1957
FE	FRAGILARIA ELLIPTICA Schumann 1867
SYTF	FRAGILARIA FASCICULATA (Agardh) Lange-Bertalot 1980 sensu lato
FRGO	FRAGILARIA GOULARDII
FRL	FRAGILARIA LAPPONICA (Grunow) in Van Heurck 1881
FLL	FRAGILARIA LEPTOSTAURON LEPTOSTAURON (Ehrenberg) Hustedt 1931
ом	FRAGILARIA LEPTOSTAURON MARTYI (Héribaud) Lange-Bertalot 1991
FRNI	FRAGILARIA NITZSCHIOIDES Grunow in Van Heurck 1881
FROL	FRAGILARIA OLDENBURGIANA Hustedt 1959
SYPA	FRAGILARIA PARASITICA
FP	FRAGILARIA PINNATA Ehrenberg 1843
FPS	FRAGILARIA PSEUDOCONSTRUENS Marciniak 1982
FRPU	FRAGILARIA PULCHELLA (Ralfs ex Kützing) Lange-Bertalot 1980
FRS	FRAGILARIA SPECIES
FSUB	FRAGILARIA SUBSALINA (Grunow) Lange-Bertalot 1991
SYNA	FRAGILARIA ULNA ACUS (Kützing) Lange-Bertalot1980
SYNU	FRAGILARIA ULNA (Nitzsch) Lange-Bertalot 1980
FRZE	FRAGILARIA ZEILLERI ELLIPTICA Gasse 1980
FZ	FRAGILARIA ZEILLERI Héribaud 1902

FRUSTULIA Rabenhorst 1853 nom.cons.

FRF FRUSTULIA FRENGUELLII Manguin 1964

GOMPHONEMA Ehrenberg 1832 nom.cons.

GAC	GOMPHONEMA ACUMINATUM Ehrenberg 1832
GAFF	GOMPHONEMA AFFINE Kützing 1844
GOMA	GOMPHONEMA ANGUSTATUM (Kützing) Rabenhorst 1864
GOMI	GOMPHONEMA ANGUSTUM Agardh 1831
GOME	GOMPHONEMA EXIGUUM Kützing 1844
GG	GOMPHONEMA GRACILE Ehrenberg 1838
GOMT	GOMPHONEMA MINUTUM (Agardh) Agardh 1831
GP	GOMPHONEMA PARVULUM (Kützing) Kützing 1849
GOSP	GOMPHONEMA SPECIES

GYROSIGMA Hassall 1843 nom.cons.

GYAC	GYROSIGMA ACUMINATUM (Kützing) Rabenhorst 1853
GYSP	GYROSIGMA SPENCERII (Quekett) Griffith & Henfrey 1856
GYS	GYROSIGMA SPECIES

HANTZSCHIA Grunow 1877

HA	HANTZSCHIA AMPHIOXYS (Ehrenberg) Grunow in Cleve & Grunow 1880
HADI	HANTZSCHIA DISTINCTEPUNCTATA Hustedt in A.Schmidt et al. 1921
HN	HANTZSCHIA NOV SP

MASTOGLOIA Thwaites in W. Smith 1856

MATA	MASTOGLOIA ATACAMAE Hustedt 1927
MASE	MASTOGLOIA ELLIPTICA (Agardh) Cleve 1893
MDAN	MASTOGLOIA ELLIPTICA DANSEI (Thwaites) Cleve 1895
MASL	MASTOGLOIA SMITHII LACUSTRIS Grunow 1878

MELOSIRA Agardh 1824

MELI	MELOSIRA LINEATA (Dillwyn) Agardh 1824
MESP	MELOSIRA SPECIES

NAVICULA Bory de Saint Vincent 1822

r 1966
r 1966
NAMD

NAU
NMV
NMP
NHN
NAOB
NPB
NAPE
NAPR
NAPH
NPOR
NPRE
NLA
NPDE
NLI
NPDO
NPF
NPP
NPYG
NRA
NARE
NR
NRON
NRUM
NASA
NBOL
NSM
NS
NSP1
NSP2
NSIN
NAS
NSO
NAO
NTR
NATR
NAVE

NEIDIUM Pfitzer 1871

- NEA NEIDIUM APICULATUM Reimer 1959
- NEB NEIDIUM BISULCATUM (Lagerstedt) Cleve 1894

NITZSCHIA Hassall

NIAT	NITZSCHIA AFF TROPICA
NCHI	NITZSCHIA ACCEDENS CHILENSIS Patrick 1961
NIAU	NITZSCHIA ACICULARIS (Kützing) W.Smith 1853
NIAQ	NITZSCHIA AEQUOREA Hustedt 1939
NAGN	NITZSCHIA AGNITA Hustedt 1957
NIAL	NITZSCHIA ALPINA Hustedt 1943
NIAM	NITZSCHIA AMPHIBIA Grunow 1862
ND	NITZSCHIA AMPHIBIOIDES Hustedt 1942
NIAR	NITZSCHIA ARCHIBALDII Lange-Bertalot 1980

NIBU	NITZSCHIA BACILLUM Hustedt 1922
NBER	NITZSCHIA BERGII Cleve-Euler 1952
NTCM	NITZSCHIA COMMUNATA Grunow in Cleve & Grunow 1880
NCOM	NITZSCHIA COMMUNIS Rabenhorst 1848-1860
NICC	NITZSCHIA COMPRESSA COMPRESSA (Bailey) Boyer 1916
NIDI	NITZSCHIA DISSIPATA (Kützing) Grunow 1862
NDRA	NITZSCHIA DRAVEILLENSIS Coste & Ricard 1980
NTEP	NITZSCHIA EPIPHYTICA Müller 1905
NIEP	NITZSCHIA EPITHEMOIDES EPITHEMOIDES Grunow in Cleve & Grunow 1880
NIFO	NITZSCHIA FONTICOLA Grunow in Cleve et Möller 1879
NFS	NITZSCHIA FOSSILIS Hustedt 1942
NF	NITZSCHIA FRUSTULUM (Kützing) Grunow in Cleve et Grunow 1880
NBUL	NITZSCHIA FRUSTULUM BULNHEIMIANA Rabenhorst 1861-1879
NGCF	NITZSCHIA GRACILIFORMIS Lange-Bertalot & Simonsen 1978
NTGR	NITZSCHIA GRACILIS Hantzsch 1860
NGRA	NITZSCHIA GRANULATA Grunow in Cleve & Möller 1879
NGRU	NITZSCHIA GRUNOWII (Cleve) Hasle sensu Servant-Vildary 1984
NIH	NITZSCHIA HANTZSCHIANA Rabenhorst 1860
NHEU	NITZSCHIA HEUFLERIANA Grunow 1862
NIHU	NITZSCHIA HUNGARICA Grunow 1862
NIIN	NITZSCHIA INCOGNITA Legler & Krasske 1940
NI	NITZSCHIA INCONSPICUA Grunow 1862
NTIT	NITZSCHIA INTERMEDIA Hantzsch ex Cleve & Grunow 1880
NKER	NITZSCHIA KERGUELENSIS
NILA	NITZSCHIA LACUUM Lange-Bertalot 1980
NLAN	NITZSCHIA LANCEOLATA W. Smith 1853
NLSA	NITZSCHIA LEVIDENSIS SALINARUM (W.Smith) Grunow in Van Heurck 1881
NILI	NITZSCHIA LIEBETRUTHII Rabenhorst 1864
NILN	NITZSCHIA LINEARIS (Agardh) W.Smith 1853
NLOZ	NITZSCHIA LORENZIANA Grunow in Cleve & Möller 1879
NIMI	NITZSCHIA MICROCEPHALA Grunow in Cleve & Möller 1878
NINS	NITZSCHIA NOV SP
NIOV	NITZSCHIA OVALIS Arnott in Cleve & Grunow 1880
NPA	NITZSCHIA PALEA (Kützing) W.Smith 1856
NPAD	NITZSCHIA PALEA DEBILIS (Kützing) Grunow in Cleve & Grunow 1880
NIPC	NITZSCHIA PALEACEA Grunow in Van Heurck 1881
NIPE	NITZSCHIA PERMINUTA (Grunow) Peragallo 1903
NCUA	NITZSCHIA PERSPICUA Cholnoky 1960
NIPU	NITZSCHIA PUMILA Hustedt 1954
NIPS	NITZSCHIA PUSILLA Grunow 1862
NIRE	NITZSCHIA RECTA Hantzsch in Rabenhorst 1861-1879
NIRS	NITZSCHIA ROSENSTOCKII Lange-Bertalot 1980
NSCA	NITZSCHIA SCAPELLIFORMIS
NTS	NITZSCHIA SIGMA (Kützing) W.Smith 1853
NISP	NITZSCHIA SPECIES
NISU	NITZSCHIA SUBACICULARIS Hustedt 1922 in Schmidt et al. 1874
NSUB	NITZSCHIA SUBDENTICULA Hustedt 1942
NSL	NITZSCHIA SUBLINEARIS Hustedt 1930
NISL	NITZSCHIA SUPRALITOREA Lange-Bertalot 1979
NITH	NITZSCHIA UMBONATA (Ehrenberg) Lange-Bertalot 1978
NITR	NITZSCHIA TROPICA Hustedt 1949
NIVA	NITZSCHIA VALDECOSTATA Lange-Bertalot & Simonsen 1978
NTVA	NITZSCHIA VALDESTRIATA Aleem & Hustedt 1951

OPEPHORA Petit 1888

00 OPEPHORA OLSENII Möeller 1950

PARALIA Heiberg 1863

PARA PARALIA SULCATA (Ehrenberg) Cleve 1873

PINNULARIA Ehrenberg 1843 nom.cons.

PIAL	PINNULARIA ALPINA W.Smith 1853
PB	PINNULARIA BOGOTENSIS (Grunow in Schmidt et al. 1874) Cleve 1895
PIB	PINNULARIA BOREALIS Ehrenberg 1843
PBRI	PINNULARIA BREBISSONII (Kützing) Rabenhorst 1864
PIDI	PINNULARIA DIVERGENS Smith 1853
PBDI	PINNULARIA MICROSTAURON BREBISSONII (Kützing) Mayer 1912
PIDE	PINNULARIA DIVERGENS ELLIPTICA (Grunow) Cleve 1895
PDIV	PINNULARIA DIVERGENTISSIMA (Grunow) Cleve 1895
PIGI	PINNULARIA GIBBA Ehrenberg 1841
PIIN	PINNULARIA INTERMEDIA (Lagerstedt) Cleve 1895
PBDI	PINNULARIA MICROSTAURON BREBISSONII (Kützing) Mayer 1912
PIS	PINNULARIA SIMILIS Hustedt 1934
PSIN	PINNULARIA SINISTRA
PISU	PINNULARIA SUBCAPITATA Gregory 1856
PNSP	PINNULARIA SP
PIVI	PINNULARIA VIRIDIS (Nitzsch) Ehrenberg 1843

PLEUROSIGMA W.Smith 1852 nom.cons.

PLEL PLEUROSIGMA ELONGATUM W.Smith 1852 PLSA PLEUROSIGMA SALINARUM Grunow 1880

RHOPALODIA O.Müller 1895

RHAC	RHOPALODIA ACCUMINATA Krammer in Lange-Bertalot & Krammer 1987
RHBR	RHOPALODIA BREBISSONII Krammer 1987
RG	RHOPALODIA GIBBA (Ehrenberg) O.Müller 1895
RHGI	RHOPALODIA GIBBERULA (Ehrenberg) O.Müller 1895
RHMU	RHOPALODIA MUSCULUS (Kützing) O.Müller 1899
RHWE	RHOPALODIA WETZELII Hustedt 1927

SCOLIOPLEURA Grunow 1860

SCPE SCOLIOPLEURA PEISONIS Grunow 1860

STAURONEIS Ehrenberg 1841

SGR	STAURONEIS AGRESTIS Petersen 1915
SA	STAURONEIS ANCEPS Ehrenberg 1843
SB	STAURONEIS BATHURSTENSIS
STCH	STAURONEIS CHILENSIS Frenguelli 1928
SG	STAURONEIS GREGORII Ralfs in Pritchard 1861
STNA	STAURONEIS NANA Hustedt 1957
SPH	STAURONEIS PHOENICENTERON (Nitzsch) Ehrenberg 1843

STSA STAURONEIS SALINA W.Smith 1853

- SSPD STAURONEIS SPD
- SSP STAURONEIS SPECIES
- STAW STAURONEIS WISLOUCHII Poretzky & Anisimowa 1933

STEPHANODISCUS Ehrenberg 1846

- STME STEPHANODISCUS MEDIUS Häkansson
- STRO STEPHANODISCUS ROTULA (Kützing) Hendey 1964
- STSP STEPHANODISCUS SPECIES

SURIRELLA Turpin 1828

SUB	SURIRELLA BISERIATA Brébisson in Brébisson & Godey 1835
SBRI	SURIRELLA BREBISSONII Krammer & Lange-Bertalot 1987
SUBK	SURIRELLA BREBISSONII KUETZINGII Krammer & Lange-Bertalot 1987
SCHI	SURIRELLA CHILENSIS Hustedt in Scmidt et al. 1874
SUHO	SURIRELLA HOEFLERI Hustedt 1959
SO	SURIRELLA OREGONICA Ehrenberg 1845
SUO	SURIRELLA OVALIS Brébisson 1838
SUTA	SURIRELLA OVATA UTAHENSIS Grunow in Schimdt et al. 1874
SUP	SURIRELLA PEISONIS Pantocsek 1902
SUSE	SURIRELLA SELLA Hustedt 1925 in Schmidt et al. 1874
SUR	SURIRELLA SP
SUTR	SURIRELLA STRIATULA sensu Schmidt 1875 in Schmidt et al. 1874
SSUB	SURIRELLA SUBSALSA W.Smith 1856
SUWE	SURIRELLA WETZELII Hustedt 1925 in Schmidt et al. 1874

.

Espèces	BA67	CAN4	CD16	CD24	CHI1	CHI2	CHB	CHM	CHIS	CHU4	CHU9	CL20	HED4	HON1	HON2	HON4	P114
ABEL AMPHORA BOLIVIANA ELONGATA					0.11	0.00	7,80	0,11			5,88			0.10	1.96	0.20	
	1,00	<u> </u>	2,56		3,44	0,20	0.26	0.11	0.30		0,98			0,18	0 16	0,20	
ACAR ACHNANTHES BREVIPES	2.29	<u> </u>	0.09		0.16	0.20	0.53	0.99	0,00					17,17	9,54	12,52	
ACHI ACHNANTHES CHILENSIS	2,20	<u> </u>	0,00			0,20	0,00	-,			0,98						
ACOB ACHNANTHES OBLONGELLA																	
AD ACHNANTHES DELICATULA			0,09		0,08		1,32	0,11						0,37	3,31		0,43
							0.02										
					0.08		0.93										
ALIN ACHNANTHES LINEARIS					0,00		0,10				-						
AMAT AMPHORA ATACAMAE	-				0,25		0,53	0,61							0,32		
AMCJ AMPHORA CARVAJALIANA	2,29		6,08	1,00	6,80	15,76	41,27	50,74	89,50	9,60		_	79,24	50,42	62,89	71,07	
AMCO AMPHORA COFFEAEFORMIS					0,57	1,29	4,37	0,39			_			0,18			
					24.08						<u> </u>			0.65			
	1.60		<u> </u>	<u> </u>	3.11	0.34	0.26		<u> </u>	<u> </u>				0,00			
AMOV AMPHORA OVALIS	.,				•,		-12-				13,73		•				
AMPA AMPHORA ATACAMANA		1,71	2,94										0,73	0,28		0,99	0,43
AMPL AMPHORA PLATENSIS	0,10						10,71	15,26			3,92			10,06			
AMPM AMPHORA ATACAMANA MINOR									1,30								
							0 13								0.40		
ANS ANOMOFONEIS SPHAEROPHORA							0,10								0,40		
ANSA ANOMOEONEIS SPHAEROPHORA ANGUSTA			0,09	2,00						0,70	0,98		0,18				
ANSC ANOMOEONEIS SPHAEROPHORA COSTATA	_												0,18				
ASN ANOMOEONEIS SPHAEROPHORA NAVICULARIS																	
ASP ANOMOEONEIS SPHAEROPHORA PLATENSIS	2.00				2.97												
ASPE ACHINANT HES SPECIOSA	3,99				2,07			0.11							0,16		
BRAC BRACHYSIRA APONINA	0,30				0,16			0,06									
CAMPY CAMPYLODISCUS CLYPEUS																	
CAW CALONEIS WESTII	0,10				2,87	0,41	0,13	0,11									
CD COCCONEIS DIMINUTA															0.16		
CDS COCCONEIS DISCULUS															0,10		
COS COCCONFIS SCUTELLUM															0,08		
CP COCCONEIS PLACENTULA											0,98						
CPE COCCONEIS PLACENTULA EUGLYPTA					0,16		0,53										
CPL COCCONEIS PLACENTULA LINEATA																	
		0.50															
		0,50									0.98						
CT COCCONEIS THUMENSIS											0,00				0,08		
CYA CYMBELLA AFFINIS																	
CYCS CYCLOTELLA STELLIGERA					0,25		0,26							0,28	1,46		
CYGA CYCLOTELLA GAMMA	1 30		0.00		4.01	0.00	0.00	0.22	1 20					0.65	1 13	2 49	
	4,39		0,09		4,91	0,20	0,20	0,22	1,30					0,00		2,45	
CYML CYMBELLA SILESIACA																	
CYMP CYMBELLA PUSILLA								0,17						0,46			
CYMT CYMBELLA MINUTA							0,13	0,06									
							5 16	0.11	-				-	0.18	0.65		
DE DENTICULA ELEGANS	4,69				5,49	2,99	0,26									0,20	
DETH DENTICULA THERMALIS	0.60						_				0,98					0,20	
DEV DENTICULA VALIDA																	
DS DIPLONEIS SUBOVALIS								0.44									
ENTO ENTOMONEIS PALLIDOSA								0,44					0.18	0 37			
EZ EPITHEMIA ADNATA																	
FARC FRAGILARIA ARCUS ARCUS	0,10																
FAT FRAGILARIA ATOMUS																	44.00
		4,01			26,95	68,07	1,19	23,86		1,50				0,46	0,65		11,26
FE FRAGILARIA ELLIPTICA		1 71			1.56	0.75	0.79	0.11							1 37		
FPS FRAGILARIA PSEUDOCONSTRUENS		.,, ,			1,00	0,70		•,							.,		
FRAC FRAGILARIA CONSTRUENS																	
FRAS FRAGILARIA CONSTRUENS SUBSALINA																	
FRCV FRAGILARIA CONSTRUENS VENTER																	1,95
FZ FRAGILARIA ZEILLERI													_				
GOMA GOMPHONEMA ANGUSTATUM					0,33	0,95	0,79	0,44									
GOMI GOMPHONEMA ANGUSTUM						0,27		0,17						1,29			
GOSP GOMPHONEMA SPECIES																	
		2,31															
GYSP GYROSIGMA SPECIES																	
HA HANTZSCHIA AMPHIOXYS																	0,43
HN HANTZSCHIA NOVSP				1,00								_					0,43
MASE MASTOGLOIA ELLIPTICA	1.00				1,23	1,83											
MASE MASTOGLOIA SMITHILACUSTRIS	1,99							0.11									
NAEG NAVICULA ELGINENSIS							0.13	0,11									
NAGN NITZSCHIA AGNITA							5,10								0,65		
NAHA NAVICULA HALOPHILA																	
NAO NAVICULA TENELLOIDES																	
	1.60	6 2 2	4.84	1.00	0.46	0.40	0.70	0.22	0.10				0.20	4 00	2 82	1 10	0.74
NAPR NAVICULA PERMINUTA	1,00	0,32	4,04	1,00	0,10	0,40	5,79	0,22	0,10				0,30	0.28	2,03	1,19	9,74
NARE NAVICULA RECENS						0,34		0,61						5,20			
NASA NAVICULA SALINICOLA	0,30		21,65		1,80		0,79							0,18	0,49	1,49	35,06
							0,40								0,97		
NATO NAVIGULA ATACAMANA					0,33												

Espèces	BA67	CANA	CD16	CD24	CHI1	CH12	CHI3	CHM	CHI5	CHU4	CHU9	CL20	HED4	HON1	HON2	HON4	P114
NAU NAVICULA MUTICA																	
NBOL NAVICULA SALINICOLA BOLIVIANA													<u> </u>	0,37			
		0,50	0,09						1,60	<u> </u>			<u> </u>			0.20	1,4/
			5,89						0,10				<u> </u>			0,20	1,90
	<u> </u>	9.23	0.95	23.00	0.33	0.14	0.26	<u> </u>		0.70	14.71			0.28	0.32		3.68
NCOM NITZSCHIA COMMUNIS	-	0,20	0,00		0,41	0,20	0,26										
NCPL NAVICULA COMPLANATA			_														
NCU NAVICULA CUSPIDATA																	
		0.04		4.00					0.20								
		2,31		1,00				 	0,30								
					<u> </u>			<u> </u>		<u> </u>			<u> </u>				
NF NITZSCHIA FRUSTULUM							8,07	0,17	0,50		3,92	<u> </u>		0,46	0,40		1,41
NG NAVICULA GASTRUM																	
NGOP NAVICULA GOEPPERTIANA																	
NGRA NITZSCHIA GRANULATA												ļ					
	0,60		0,09					0,11	0,10			l		0,18		0.20	
					0.16			<u> </u>		0.10				<u> </u>	0 40	0,20	
NIAL NITZSCHIA ALPINA		<u> </u>	4.56	37.00	0,.0		<u> </u>			0,.0		<u> </u>			0,10		
NIAM NITZSCHIA AMPHIBIA							0,40	0,22					_		0,32		
NIAQ NITZSCHIA AEQUOREA								0,50									
NIAR NITZSCHIA ARCHIBALDII																	
					0.40		1.50					 			0.40		
NIDI NITZSCHIA DISSIPATA					0,16	-	1,59	0,11			-	-			0,16		
NIEP NITZSCHIA EPITHEMOIDES EPITHEMOIDES		1,71	1,61					0.28									4.44
NIFO NITZSCHIA FONTICOLA										<u> </u>	<u> </u>						.,
NIH NITZSCHIA HANTZSCHIANA	1,30									1,50						0,70	
NIHU NITZSCHIA HUNGARICA		15,05	1,23		0,08	0,41	4,10	0,17		4,70	25,49		0,36	0,18	1,21		0,43
					0.40		1.00								0.70		
					0,16		1,06								0,73		
NIMI NITZSCHIA MICROCEPHALA								I —									
NINS NITZSCHIA NOV SP	65,20																
NIPC NITZSCHIA PALEACEA																	
NIPE NITZSCHIA PERMINUTA																	
NIPS NITZSCHIA PUSILLA				3,00	0,16			1,49			7,84	2,30		1,39	1,05		11,47
							<u> </u>				<u> </u>						
NISL NITZSCHIA SUPRALITOREA		<u> </u>								<u> </u>	<u> </u>	<u> </u>					
NITH NITZSCHIA UMBONATA					0,16							<u> </u>					
NIVA NITZSCHIA VALDECOSTATA		8,02		1,00	0,74	0,14	0,26	0.39						0,18			
NLA NAVICULA PSEUDOLANCEOLATA		26,08		13,00	2,54	0,75	0,26	0,17		51,40	12,75			1,39	1,05	0,10	
NLI NAVICULA PSEUDOLITORICOLA	0,30								0,10								
								0.00									
NLSS NAVICULA LONGIROSTRIS								0,33						4,80	2,10		
NMIM NAVICULA MINUSCULA MURALIS								0.11		—				0.09	0.16		
NPA NITZSCHIA PALEA					0,08							0.30		0,00	-0,10		
NPAD NITZSCHIA PALEA DEBILIS											· · · · ·						
NPB NAVICULA PARAMUTICA BINODIS											1,96					0,20	0,43
	0.40									_							
	0,10		5 22		0,08	0,27			0,10				4.000			0.70	0.10
NRA NAVICULA RADIOSA	0,00		0,22										1,99			3,78	6,49
NRUM NAVICULA SALINARUM																	
NS NAVICULA SP				7,00													
						0,14	0,93	0,11									
NTCM NITZSCHIA GOBDENTICOLA																	
NTEP NITZSCHIA EPIPHYTICA																	
NTR NAVICULA TRIPUNCTATA								-									
NTVA NITZSCHIA VALDESTRIATA					2,38	2,11	1,32										
				3,00													0,32
PB PINNULARIA BOGOTENSIS				_						0.70							
PIB PINNULARIA BOREALIS				_						0,70							
PIDI PINNULARIA DIVERGENS					0.16							_					
PLEL PLEUROSIGMA ELONGATUM					-,							_	•				
RG RHOPALODIA GIBBA					1,80	0,34											
							0,26										-
RHWE RHOPALODIA WETZELII	0.30	_		_	0.41	0.34		0.06	0.60					_			0.42
SA STAURONEIS ANCEPS	0,00				0,41	0,34		0,00	0,00								0,43
SB STAURONEIS BATHURSTENSIS		3,41							0,30			-				1.19	
SCHI SURIRELLA CHILENSIS							0,26										
SCPE SCOLIOPLEURA PEISONIS						0,20	0,53	0,11	2,60				1,72	1,11	0,73	1,29	
SSP STAURONEIS SPECIES					-							19.60					
SSPD STAURONEIS SPD									_			19,60					
STAW STAURONEIS WISLOUCHII		12,34	41,79	5,00	0,08	0,41		0,22		0,70		77,80	1,27	0,46	0,32		0.87
SUP SURIRELLA PEISONIS	0,30																
	5,98		0,09	2,00	0,49	0,14	0,26	0,17	1,00	0,10				0,37	1,86	1,89	
SUTR SURIRELLA STRIATULA										1,50							
SUWE SURIRELLA WETZELII		4.81			1.06	0.27	0.26	0.22	0.10	26.80	3 00		12 70	0.20		0.10	
SYNA FRAGILARIA ULNA ACUS		,,,,,,			1,00	5,21	0,20	5,22	0,10	20,00	3,82		13,78	0,28		0,10	0,43
SYR FRAGILARIA CAPUCINA RUMPENS																	0.43
SYTF FRAGILARIA FASCICULATA																	

and the second second

Espèces	P118	PG23	PG41	PG43	PG45	PG47	PG70	PG72	PG73	PG74	PG76	PG78	PG82	PG84	PG97	PJ1	PJ30
ABEL AMPHORA BOLIVIANA ELONGATA		0,80			0,68	1,31	2,80		3,11	3,67				0,18			
ABOL AMPHORA BOLIVIANA																	
ABR ACHNANTHES BREVIPES													0,19		1,68		
ACAR ACHNANTHES ARENARIA	0,30																
ACHI ACHNANTHES CHILENSIS								_				_					
ACOB ACHNANTHES OBLONGELLA																	
AD ACHNANTHES DELICATULA		0,89	1,48	4,50	1,37	ļ			L								1,20
AHI ACHNANTHES HIRTA					<u> </u>	<u> </u>											
AHU ACHNANTHES HUNGARICA					<u> </u>	I —			I								
					<u> </u>	<u> </u>			 						4.66		
	<u> </u>				<u> </u>	<u> </u>									4,00		
		0.80	740	6 10	2 73	3 12	13.04	0.50	1.46	1.69	5 4 1	1 3 1	1.07	1 25			54 32
		0,00	7,40	0,10	2,73	3,73	13,04	0,50	1,40	1,05	3,47	1,07	1,07	1,20		9.70	
					<u> </u>												
	<u> </u>																
					<u> </u>				1.56								
					<u> </u>	<u> </u>			1,00								
	1.79		5.43	6.70	<u> </u>	4 94	0.72				3.22	11.59	0.68	7.75			3.41
AMPL AMPHORA PLATENSIS	- ,,, 0		0,10		<u> </u>	.,• .	•,•=										
AMPM AMPHORA ATACAMANA MINOR	3.79		5.55	4.50		2.22						5.34					_
AMSP AMPHORA SPECIES				.,													
AMVN AMPHORA VENETA									<u> </u>								
ANS ANOMOEONEIS SPHAEROPHORA																	
ANSA ANOMOEONEIS SPHAEROPHORA ANGUSTA							0.72						0,19		0.56		0.20
ANSC ANOMOEONEIS SPHAEROPHORA COSTATA																	
ASN ANOMOEONEIS SPHAEROPHORA NAVICULARIS														0,89			
ASP ANOMOEONEIS SPHAEROPHORA PLATENSIS									0,29	4,14							
ASPE ACHNANTHES SPECIOSA							0,72		1,46								
AY AMPHORA LYBICA		0,20															
BRAC BRACHYSIRA APONINA																	
CAMPY CAMPYLODISCUS CLYPEUS						· · · ·											
CAW CALONEIS WESTI		2,78					2,38		3,02	3,10			0,19	0,18			
CD COCCONEIS DIMINUTA																	
CDS COCCONEIS DISCULUS																	
CHAE CHAETOCEROS SP.																	
COS COCCONEIS SCUTELLUM																	-
CP COCCONEIS PLACENTULA		0,10											0,19			24,25	0,40
CPE COCCONEIS PLACENTULA EUGLYPTA					<u> </u>												
CPL COCCONEIS PLACENTULA LINEATA																	
CPS CYCLOTELLA SPECIES																	_
CS CALONEIS SILICULA																	_
CSP CALONEIS SP							0.31	0.50									
CT COCCONEIS THUMENSIS													_				_
CYA CYMBELLA AFFINIS													0.39				-
CYCS CYCLOTELLA STELLIGERA																	
CYGA CYCLOTELLA GAMMA																3,20	-
CYL CYMBELLA GRACILIS		0,20			0,68		1,04		9,14	7,53	3,53	2,62					11,85
CYMG CYCLOTELLA MENEGHINIANA																	
CYML CYMBELLA SILESIACA																	
CYMP CYMBELLA PUSILLA																	
CYMT CYMBELLA MINUTA																	
CYN CYMBELLA NORVEGICA															2,79		
CYS CYMBELLA SPECIES		0,20															
CYST CYCLOTELLA STRIATA																	
DE DENTICULA ELEGANS																	
DETH DENTICULA THERMALIS																	
DEV DENTICULA VALIDA							1,55										
DS DIPLONEIS SUBOVALIS																	
DSB DENTICULA SUBTILIS																	
ENTO ENTOMONEIS PALUDOSA																	
EZ EPITHEMIA ADNATA																	
FARC FRAGILARIA ARCUS ARCUS																	
FAT FRAGILARIA ATOMUS																	
FB FRAGILARIA BREVISTRIATA	5,18	73,06	5,80			9,49	35,82		6,42	5,27	0.42	1,31					
FE FRAGILARIA ELLIPTICA			1,85	7,30	13,65	5,85			1,07								
FP FRAGILARIA PINNATA	8,97		1,85		2,73	1,31	0,72						11,99				
FPS FRAGILARIA PSEUDOCONSTRUENS																	
FRAD FRADILARIA CONSTRUENS SUBSALINA			10.00														
			10,23							1,32		1,/1		1,51			
		0,10															
FRA FRAGILARIA SPECIES				0.00									44.50				
		9,94		0,60		<u> </u>				1,69			41,52				
															4.00		
		0,20													1,08	6.40	_
																0,40	
		0.10											0.40		0.50		
		0,10						12.00		0.50			0,19		12.40		
								12,06		0,96			0,19		12,10		
MASE MASTOCIOLA CLEPTICA																	
MATA MASTOGLOM SMITHILAGUSTRIS	0.60	0.60			1 37		1.07		15 10	16.65	0.14	0.00	0.40	0.74			
	0,60	0,50			1,3/		1,97		15,18	10,60	8,11	0,60	0,19	0,71	1,12		
						-											
	0 17	0.80	10.07	7 20	614	9.60	1.65			1 43	4 70	12.40	700	2.45	20.00		1.00
	3,17	0,00	10,91	7,30	0,14	0,00	1,00			1,13	4,70	12,40	7,00	2,40	23,00		1,20
NARE NAMCULA RECENS																	
	23.52		14 02	21.40	21.84	25 72	207				2 22	12 70	1.05	38 65			- 6 000
	20,00		1-1,32	41,40	21,04	23,13	2,01				3,22	12,70	00	30,00			3,92
NATC NAVICULA ATACAMANA												-					

Espèces	P116	PG23	PG41	PG43	PG45	PG47	PG70	PG72	PG73	PG74	PG76	PG78	PG82	PG84	PG97	PJ1	PJ30
NAU NAVICULA MUTICA																	
NBOL NAVICULA SALINICOLA BOLIVIANA														5 70			
NCA NAVICULA CARI		0,10	0,74			0,40	0.04				0.42	2 22	0.99	5,79			
NCHI NITZSCHIA ACCEDENS CHILENSIS	8,18	0,10	7,03	8,50	1,37	7,37	0,31				0,42	2,22	0,00	0,32			
NCHU NAVICULA CAPITATA HUNGARICA	2 10	0.10		0.60		0.91	2.38	50.25	9.63	17.78	6.44	0.81	19,10	1.07	3,72		
	2,19	0,10		0,00		0,51	2,00	00,20	0,00								
				<u> </u>													
NCU NAVICULA CUSPIDATA																	
NCUA NITZSCHIA PERSPICUA																	
ND NITZSCHIA AMPHIBIOIDES						<u> </u>					0,94		0.10				
													0,19				
			1.85		341		3.62	3.02		0.38	12.06	1,31	1,56	1,25	5,59		
			1,00		0,41		0,01						0,19				
NGOP NAVICULA GOEPPERTIANA																	
NGRA NITZSCHIA GRANULATA																	
NGRU NITZSCHIA GRUNOWI									0,29				0.40		10.04		2,41
	0,30							1,01					0,19	<u> </u>	10,24		
NI NITZSCHIA INCONSPICUA	<u> </u>	0.10		<u> </u>		2 22	<u> </u>							<u> </u>	0,00		
NIAE NITZSCHIA AMPHIBIA	<u> </u>	0,10				-,											
NIAQ NITZSCHIA AEQUOREA		<u> </u>															
NIAR NITZSCHIA ARCHIBALDII																	
NIBU NITZSCHIA BACILLUM																	
NICC NITZSCHIA COMPRESSA COMPRESSA	0,60	0,10	0,37	<u> </u>			1,04		5,84	0,38	2,60	0,40	0,19	0,89		33,95	1,61
	7.00		3.45	10.10	754	5 45						171	0.68	8.01			
	1,28		5,45	10,10	7,51	0,45						1,71	0,00	0,01			
NIH NITZSCHIA HANTZSCHIANA								18,59	4,96	1,32			1,36				1,91
NIHU NITZSCHIA HUNGARICA	0,60	0,50		1,10	1,37	0,40			2,24	0,56	4,78	1,31	3,31	0,53	4,66	16,10	
NIIN NITZSCHIA INCOGNITA																	
NILA NITZSCHIA LACUUM							L										
								-	-								
NIMI NITZSCHIA MICKOCEPHALA	<u> </u>	<u> </u>			<u> </u>			<u> </u>	1 95	0.58							2 11
				<u> </u>			<u> </u>	<u> </u>	1,35	0,30							2,11
NIPE NITZSCHIA PERMINUTA		<u> </u>			-		-	<u> </u>	<u> </u>					<u> </u>			
NIPS NITZSCHIA PUSILLA	13,86		1,48	1,10	2,73	14,63	<u> </u>	<u> </u>						7,75			
NIPU NITZSCHIA PUMILA																	
NIRE NITZSCHIA RECTA																	
NISL NITZSCHIA SUPRALITOREA								_						<u> </u>			
			<u> </u>		<u> </u>	<u> </u>	2.07	<u> </u>	<u> </u>	1 3 2			1 17				0.80
						<u> </u>	2,07	<u> </u>	15.66	1,32	<u> </u>		1,17	<u> </u>			0,00
		<u> </u>				<u> </u>	<u> </u>	<u> </u>	10,00		0.94	0.40		<u> </u>			
NLIB NAVICULA LIBONENSIS														0,18			
NLOG NAVICULA LONGIROSTRIS		<u> </u>															
NLSA NITZSCHIA LEVIDENSIS SALINARUM																	
NMIM NAVICULA MINUSCULA MURALIS	_						 		ļ					6.02			
		0,89	<u> </u>		ļ		 	<u> </u>	<u> </u>					6,23			
	0.60						<u> </u>	12.56	<u> </u>				0 19	0.53	5.03		
NPP NAVICULA PUPULA	- 0,00	<u> </u>			<u> </u>	<u> </u>	<u> </u>	12,00	<u> </u>			0,40	0,10	0,36	0,00		
NPYG NAVICULA PYGMEAE		1,19		0,60			0,31						0,19				
NR NAVICULA RHYNCHOCEPHALA	10,97		12,70	12,90	20,14	2,72	7,25	1,51		5,27	26,61	33,37			5,59		3,82
NRA NAVICULA RADIOSA																	
NRUM NAVICULA SALINARUM		100	0.07	1.00	<u> </u>		<u> </u>			0.50							
NS NAVICULA SP	<u> </u>	1,09	0,37	1,60	<u> </u>	0,40	<u> </u>		<u> </u>	0,00							
NSI NITZSCHIA SUBUNFARIS						<u> </u>	<u> </u>										
NSUB NITZSCHIA SUBDENTICULA	+	<u> </u>															
NTCM NITZSCHIA COMMUTATA		1															
NTEP NITZSCHIA EPIPHYTICA													•			_	
NTR NAVICULA TRIPUNCTATA																	
	0.00	1.00			0.40									1.07	0.74		
	0,30	1,89			0,40		<u> </u>							1,07	0,74		
PB PINNULARIA BOGOTENSIS							<u> </u>		1,07	1,69			0,39	0,18	0,56		
PIB PINNULARIA BOREALIS																	
PIDI PINNULARIA DIVERGENS																	
PLEL PLEUROSIGMA ELONGATUM					L											_	
	L				<u> </u>	<u> </u>							0,88				
			<u> </u>		<u> </u>	<u> </u>											
RHMU RHOPALODIA GIBBEROLA					<u> </u>		<u> </u>										
RHWE RHOPALODIA WETZELII	0,30		0,74	2,20	4,10	0,40	1,55				3,53	0,40	0,19	0,98	0,56		
SA STAURONEIS ANCEPS		2,39	2,71	1,10	1,37	1,82	2,07		3,02		5,41	5,85	0,88	0,36			
SB STAURONEIS BATHURSTENSIS										0,38							1,61
SCHI SURIRELLA CHILENSIS	-	0,20		4.10	4.07		1.02		0,68	2,45	3.00	4.74	A 10				0.01
				1,10	1,37	<u> </u>	1,04	<u> </u>	1,75		3,22	1,71	0,19	0.74			2,01
		0.30				0 40			2.04	7 71	1.35		0,19	0,71			
SPH STAURONEIS PHOENICENTERON		0,00				0,40			2,04		1,33						
SSP STAURONEIS SPECIES		0,20							0,29								
SSPD STAURONEIS SPD													1,17	0,18			
STAW STAURONEIS WISLOUCHII	1,50		2,71											3,74	0,56		
SUP SURIRELLA PEISONIS		6.15		0.15		0.15	0.00			0.70	4.10	0.10	0.10		0.55	2.00	4.00
SUSE SURIRELLA SELLA	-	0,10		0,10	0,91	0,10	9,32		4,09	9,78	1,46	0,40	0,10		0,56	3,20	4,82
	-	-															
SUWE SURIRELLA WETZELII	<u> </u>	0.10	0.37	0,60	4,10	0.20	3,62		3,79	3,29	1,56	0,10	0,10	0,18			0.40
SYNA FRAGILARIA ULNA ACUS		1								.,							
SYR FRAGILARIA CAPUCINA RUMPENS														0,18	1,68		
SYTF FRAGILARIA FASCICULATA	1															3,20	

n setter songe ge

Fandana	017	0 10	D 10	DN4	DN2	DNA	DMS	DNR	DN7	DIIP2	DANS	DAME	\$1102	SU03	SIM	\$1105	SUGE
ABEL AMPHORA BOLIVIANA ELONGATA	P3/	F30	P.58		FNJ	F 1144	FNJ	7110		FURE	1.7.8			0000		0000	
ABOL AMPHORA BOLIVIANA	<u> </u>										0.41						
ABR ACHNANTHES BREVIPES																	
ACAR ACHNANTHES ARENARIA											0,81	0,50	_				
ACHI ACHNANTHES CHILENSIS																	
ACOB ACHNANTHES OBLONGELLA											0,14						
AD ACHNANTHES DELICATULA											0,14		5,00	0,32		2,63	0,85
AHI ACHNANTHES HIRTA					1,89	52,98											
AHU ACHNANTHES HUNGARICA											0.07		9,35			—	
											0,27		7,90			<u> </u>	
													•				<u> </u>
	<u> </u>									63.01							
						3 33		0.38	1.49	00,01	0.27		0.32	1,45	2,71	2,74	0,57
AMCU AMPHORA ACUTIUSCULA															7,71		
AMD AMPHORA DELICATISSIMA															1,76	0,44	
AMLI AMPHORA LINEOLATA																	
AMOV AMPHORA OVALIS																	
AMPA AMPHORA ATACAMANA										1,89							
AMPL AMPHORA PLATENSIS																	0,64
AMPM AMPHORA ATACAMANA MINOR										0,30							
AMSP AMPHORA SPECIES											0.07		5 00	0.16	0.05	0.22	
		<u> </u>				8,38	1,44	6,60	1,81		0,27		5,60	0,10	0,95	0,35	
						0,81											
ASH ANOMOEONEIS SPHAEROPHORA NAVICULARIS																	
ASPE ACHNANTHES SPECIOSA											2.03	0.10					
AY AMPHORA LYBICA											_,	-,		0,48			
BRAC BRACHYSIRA APONINA											14,07	3,88					
CAMPY CAMPYLODISCUS CLYPEUS															0,14	1,09	0,21
CAW CALONEIS WESTI		<u> </u>										0,10	0,08	0,32		0,22	0,28
CD COCCONEIS DIMINUTA				14,26		3,33			21,83								
CDS COCCONEIS DISCULUS													0,32				
CHAE CHAETOCEROS SP.			61,79	26,29	5,77		26,80	29,15	1,49								
COS COCCONEIS SCUTELLUM																	
CP COCCONEIS PLACENTULA	12,97		2,57	3,24	5,03	15,94	1,44	5,85	27,48		0,54	0,99				1.00	
CPE COCCONEIS PLACENTULA EUGLYPTA													2,58	0,48		1,75	
CPL COCCONEIS PLACENTULA LINEATA													14,50				
CPS CYCLOTELLA SPECIES													0,08				
CS CALONEIS SILICULA															<u> </u>		<u> </u>
CSP CALONEIS SP																	<u> </u>
CT COCCONEIS THUMENSIS																	
CYA CYMBELLA AFFINIS							<u> </u>				0.14						
	ļ	25.05	2.40	1.01	0.62		7 62	10.29	4 70		0,14						
		25,05	3,40	1,01	0,65		7,05	10,30	4,73		88.0	0.50				0.55	
	4 32			202			I				0,00	0,00	0 16			0.33	0.28
	4,52			2,02			<u> </u>								1,35		
CYMP CYMBELLA PUSILLA	<u> </u>													0,32	0,95	1,20	0,64
CYMT CYMBELLA MINUTA	i – –												0,08	0,48	0,68		0,57
CYN CYMBELLA NORVEGICA																	
CYS CYMBELLA SPECIES																	
CYST CYCLOTELLA STRIATA											0,27						
DE DENTICULA ELEGANS											9,07	2,29	0,08	1,29	20,30	0,11	
DETH DENTICULA THERMALIS											0,95	0,60					
DEV DENTICULA VALIDA												0,70					0.11
DS DIPLONEIS SUBOVALIS															0.69	0.11	0,14
DSB DENTICULA SUBTILIS	<u> </u>	ļ				4.04		<u> </u>			0,54				0,00	0,11	
	I					1,01	1,44	<u> </u>						5.01	8 25	0.11	
	<u> </u>	I —				<u> </u>	──	I —						5,01	0,25	-0,11	
FARC FRAGILARIA ARCUS ARCUS	<u> </u>						<u> </u>						0 40	0 48	0.14	1.31	
		<u> </u>					<u> </u>				041		2 90	23 42	1.89	31.18	2.61
FE FRAGILARIA ELLIPTICA		<u> </u>											1.93	0.48			1,48
FP FRAGILARIA PINNATA											0,54		1,45	18,42	3,52	0,77	
FPS FRAGILARIA PSEUDOCONSTRUENS										<u> </u>				3,55			
FRAC FRAGILARIA CONSTRUENS																0,22	
FRAS FRAGILARIA CONSTRUENS SUBSALINA							1						0,24	9,69		6,24	69,82
FRCV FRAGILARIA CONSTRUENS VENTER																	
FRPU FRAGILARIA PULCHELLA		_															
FRS FRAGILARIA SPECIES													27,32	21,97	12,99	19,58	6,93
FZ FRAGILARIA ZEILLERI																	<u> </u>
GOMA GOMPHONEMA ANGUSTATUM							<u> </u>		<u> </u>						—		
GOMI GOMPHONEMA ANGUSTUM		<u> </u>				<u>-</u>	0.70	1.51	 								
						<u> </u>	0,72	1,51					0.73				
	12.97	7 41		1.01				0.38	<u> </u>	<u> </u>			0,75				<u> </u>
GYSP GYROSIGMA SPENCERII	12,57	7.41		1,01	42.87			6.60									
HA HANTZSCHIA AMPHIOXYS								5,00									
HN HANTZSCHIA NOVSP																	
MASE MASTOGLOIA ELLIPTICA								-	<u> </u>			· · · · · ·	0,08	2,58	6,36	3,50	4,17
MASL MASTOGLOIA SMITHII LACUSTRIS							<u> </u>										
MATA MASTOGLOIA ATACAMAE						·											
NAEG NAVICULA ELGINENSIS																	
NAGN NITZSCHIA AGNITA																	
NAHA NAVICULA HALOPHILA													0.24				
		-											1.51			0,44	1.00
		1.70			1.05				-		0.00		1,21	2,10	1,08	1,64	1,20
		1,70			1,26			<u> </u>		8,87	3,52	0,50	0,08	0,16	0,54	2,64	0.40
																0,68	0,42
							-			1.60		0.50				0.22	0.78
NATA NAVICULA INCERTATA										1,00		0,00				3.28	0.92
NATC NAVICULA ATACAMANA																5,20	0,02

Espèces	PJ7	PJ8	PJ9	PN1	PN3	PN4	PN5	PN8	PN7	PUR2	RAM1	RAM6	SU02	SU03	SU04	SU05	SU06
NAU NAVICULA MUTICA		1,70	1,96				_										
NBOL NAVICULA SALINICOLA BOLIVIANA																	
NCA NAVICULA CARI							0,72			0,30					0,14		
		5,51		8,09		<u> </u>	3,61	<u> </u>	<u> </u>				0.00				
	<u> </u>	0,40			0,63	<u> </u>	1.65	<u> </u>	<u> </u>	0.60	2 30		1.05	3 30	271	1 20	1 13
NCOM NITZSCHIA COMMUNIS					0,01				 	0,00	2,00		1,00	0,00	2,71	1,20	1,10
NCPL NAVICULA COMPLANATA									<u> </u>								
NCU NAVICULA CUSPIDATA					0,63			<u>† – – – – – – – – – – – – – – – – – – –</u>	<u> </u>					<u> </u>			
NCUA NITZSCHIA PERSPICUA																	
ND NITZSCHIA AMPHIBIOIDES																	
NEA NEIDIUM APICULATUM																	
	 	 	16.60	<u> </u>	0.62	 			 	<u> </u>	40.97		0.33	0.16	0.27	0.22	1 1 2
	<u> </u>		10,58	<u> </u>	0,63	<u> </u>				0.30	40,87		0,32	0,16	0,27	0,22	1,13
NGOP NAVICULA GOEPPERTIANA	<u> </u>			· · · ·		+		+	+	- 0,50							
NGRA NITZSCHIA GRANULATA					0,63				<u> </u>								
NGRU NITZSCHIA GRUNOWII											1,35						
NHN NAVICULA NIVALIS																	
NI NITZSCHIA INCONSPICUA													0,08		0,41	1,31	0,21
											5.00						
	 								<u> </u>		5,82		0,24		<u> </u>		
NIAR NITZSCHIA ARCHIBALDII									-					0.32	0.69	0.22	
NIBU NITZSCHIA BACILLUM														0,32	0,00	0,22	
NICC NITZSCHIA COMPRESSA COMPRESSA	30,49	49,10	7,83	18,00		5,05	30,41	35,75	27,37		0,68						
NIDI NITZSCHIA DISSIPATA										1	5,00						
NIEP NITZSCHIA EPITHEMOIDES EPITHEMOIDES					1,26	1,41	2,89	3,02									
																	0,35
	00.00	0.00								6,58		1,39			-		
	20,86	0,90	0,82	20,83	9,01	1,01	12,58		1,49	2,89						0,22	
NILA NITZSCHIA LACUUM						-				<u> </u>	1.40					1.64	0.67
NILI NITZSCHIA LIEBETRUTHII											1,49		0.40			1,04	0,57
NIMI NITZSCHIA MICROCEPHALA									<u> </u>				0.16				
NINS NITZSCHIA NOV SP												83,40					
NIPC NITZSCHIA PALEACEA								-			1,62				0,27		
																	0,14
						5,05	2,16		L				0,08				
NISL NITZSCHIA SUPRALITOREA									<u> </u>						0.41		0.21
NITH NITZSCHIA UMBONATA										-					0,41		0,21
NIVA NITZSCHIA VALDECOSTATA										1,89	3,38						
NLA NAVICULA PSEUDOLANCEOLATA			1,75								0,54				0,41	0,66	0,07
NLI NAVICULA PSEUDOLITORICOLA												0,10					
														0,32	5,01	0,22	
					0.04						1,62						
					0,31												
NPA NITZSCHIA PALEA											0,27						
NPAD NITZSCHIA PALEA DEBILIS																	0.14
NPB NAVICULA PARAMUTICA BINODIS						-											0,14
NPP NAVICULA PUPULA								_									
	10.07											0,10		_			0,14
	12,97	7,41					0,72			7,88		0,30					
							0,72			_			•				
NS NAVICULA SP																	0,64
NSIN NAVICULA SUBINFLATOIDES																	
NSL NITZSCHIA SUBLINEARIS													2.01		5.14		
NSUB NITZSCHIA SUBDENTICULA											4,06						_
															0,54	0,33	
							2,58										
OM FRAGILARIA LEPTOSTAURON MARTYI													0,16				0,07
OO OPEPHORA OLSENII																	
PB PINNULARIA BOGOTENSIS										-							
PIB PINNULARIA BOREALIS						-			0,75							-	
PIDI PINNULARIA DIVERGENS																	
PLEL PLEUROSIGMA ELONGATUM																0,33	
					0,63				0,75				0,32				
															0,81	0,77	0,14
RHMU RHOPALODIA MUSCULUS				-									1,85	1,45	3,79	0,35	1,20
RHWE RHOPALODIA WETZELII				_		1.72							0.08	0,10	7,44	0,33	0.35
SA STAURONEIS ANCEPS						.,						0.10	5,50	0.32		5,44	5,20
SB STAURONEIS BATHURSTENSIS										1,30							
SCHI SURIRELLA CHILENSIS											0,54		0,08				
SOFE SCULIOPLEURA PEISONIS										0,60	0,27	0,99					
SO SURIRELLA OREGONICA																	
SPH STAURONEIS PHOENICENTERON				_										_			
SSP STAURONEIS SPECIES																	
SSPD STAURONEIS SPD		-														_	
STAW STAURONEIS WISLOUCHII																	
SUP SURIRELLA PEISONIS																	-+
SUSE SURIRELLA SELLA	4,32	0,40	1,65	1,01			2,16	0,38	1,49		0,14	2,98					
				1,01	3,25												
SUWE SURIRELLA WETZELII										1.00						0,44	
SYNA FRAGILARIA ULNA ACUS										1,99			2 24	0,16			0,21
SYR FRAGILARIA CAPUCINA RUMPENS													2,34				
SYTF FRAGILARIA FASCICULATA	1,08	0,40	1,65	3,24	25,05		0,31		9,27				7,66	0,48		1,53	0.49

· 新生产

ANNEXE V: Tableau des abondances relatives exprimées en pourcentage des espèces de diatomées actuelles.

.

•

Espèces	SU07	SU08	SU09	SU10	SU11	SU12	VER!
ABEL AMPHORA BOLIVIANA ELONGATA							
ABOL AMPHORA BOLIVIANA							0,4
ABR ACHNANTHES BREVIPES	0,30	4,98	3,22	5,83	2,51	2,74	
ACAR ACHNANTHES ARENARIA							0,5
ACHI ACHNANTHES CHILENSIS		_	F	<u> </u>			2,0
ACOB ACHNANTHES OBLONGELLA							
AD ACHNANTHES DELICATULA	19,94	36,79	25,23	25,83	29,47	23,01	
AHI ACHNANTHES HIRTA							
AHU ACHNANTHES HUNGARICA							
ALA ACHNANTHES LANCEOLATA							
ALIN ACHNANTHES LINEARIS							
AMAT AMPHORA ATACAMAE			0,13				
AMCJ AMPHORA CARVAJALIANA							
AMCO AMPHORA COFFEAEFORMIS	0,74	20,18	28,83	19,88	26,02	43,19	
AMCU AMPHORA ACUTIUSCULA							
AMD AMPHORA DELICATISSIMA							
AMLI AMPHORA LINEOLATA	0,15		0,13			0,18	
AMOV AMPHORA OVALIS							
AMPA AMPHORA ATACAMANA	0,59		0,64	0,60	0,31	0,35	
AMPL AMPHORA PLATENSIS	2,51	0.08					
AMPM AMPHORA ATACAMANA MINOR							
AMSP AMPHORA SPECIES		3,32	0,26	0,95	0,94		
AMVN AMPHORA VENETA					· · · ·		
ANS ANOMOEONEIS SPHAEROPHORA							
ANSA ANOMOEONEIS SPHAEROPHORA ANGUSTA							
ANSC ANOMOEONEIS SPHAEROPHORA COSTATA							
ASN ANOMOEONEIS SPHAEROPHORA NAVICULARIS							
ASP ANOMOEONEIS SPHAEROPHORA PLATENSIS							
ASPE ACHNANTHES SPECIOSA							
AY AMPHORA LYBICA							
BRAC BRACHYSIRA APONINA	1-						2.80
CAMPY CAMPYLODISCUS CLYPEUS						0.09	_,
CAW CALONEIS WESTII	0.74	0.17	0.39	0.48		0.09	
CD COCCONEIS DIMINUTA	1	-,	2,00	2, 10		1,30	
CDS COCCONEIS DISCULUS							
CHAE CHAETOCEROS SP.							
COS COCCONEIS SCUTELLUM							
CP COCCONEIS PLACENTULA							3,70
CPE COCCONEIS PLACENTULA EUGLYPTA	0,30	0.17	0.39		0.16	0.27	
CPL COCCONEIS PLACENTULA LINEATA	1		-,				
CPS CYCLOTELLA SPECIES						-+	
CS CALONEIS SILICULA						-+	
CSP CALONEIS SP							
CT COCCONEIS THUMENSIS	1						
CYA CYMBELLA AFFINIS							
CYCS CYCLOTELLA STELLIGERA							
CYGA CYCLOTELLA GAMMA							
CYL CYMBELLA GRACILIS			0.26		0.16		
CYMG CYCLOTELLA MENEGHINIANA	0.89		0,20		0,10		
CYML CYMBELLA SILESIACA							
CYMP CYMBELLA PUSILLA	2.07	0.17				\rightarrow	
CYMT CYMBELLA MINUTA	1.33					\rightarrow	
CYN CYMBELLA NORVEGICA						-+	
CYS CYMBELLA SPECIES	++					\rightarrow	
CYST CYCLOTELLA STRIATA		·			_		
DE DENTICULA ELEGANS					0,16	0,18	
DETH DENTICULA THERMALIS							0,10
DEV DENTICULA VALIDA							14.80
DS DIPLONEIS SUBOVALIS						-+	
DSB DENTICULA SUBTILIS		0.17					
ENTO ENTOMONEIS PALUDOSA		0,		0.24			
	+ +			U , 2 (\rightarrow	
ARC FRAGILARIA ARCUS ARCUS	1		_				
FAT FRAGILARIA ATOMUS			-	-		\rightarrow	
FB FRAGILARIA BREVISTRIATA	13.59	2 33	142	1.55	2 10	0.18	
FE FRAGILARIA EL LIPTICA	0.44	0.17	.,-12	,,,,,,,	2,13	0,10	
P FRAGILARIA PINNATA	7.52	7.31	1 20	3.21	5.06	0.07	· · ·
PS FRAGILARIA PSELIDOCONSTRUENS	1,00	1,31	1,29	ı <u>ک</u> رپ	0,50	0,97	
	┼──┥	0.17					
	7.24	0.66			0.34		
	1,24	0,00			0,31	\rightarrow	
	<u> </u>					+	
	++		5.66	4.50			
			0,00	4,02		\rightarrow	
				0.24	0.16	\rightarrow	
SOSP GOMPHONEMA SPECIES	┥ ┥			0,24	V, 10		
SP GOMPHONEMA PARVULUM	┥ ┥					-+	
BYS GYROSIGMA SPECIES	⊢ →	+				+	
SYSP GYROSIGMA SPENCERII	<u> </u>					\rightarrow	
	+						
	0.20					0.10	
	0,30					0,18	
	┝╼─┤						
	+						
	+						
		0,50		0,71	0,31		
				[
	0,89	0,17	0,90	0,71	0,63		0,20
	0,59	0,17		1,07			
	11,82	5,32	5,92	3,69	7,99	3,98	

.

.

.

Espèces	SU07	SU08	SU09	SU10	SU11	SU12	VER5
NAU NAVICULA MUTICA							
NBOL NAVICULA SALINICOLA BOLIVIANA							
					-		1 40
	<u> </u>		<u> </u>				1,40
NCI NAVICULA CINCTA	0.15				0,47		
NCOM NITZSCHIA COMMUNIS			10.42	3,45	9,72	1,77	
NCPL NAVICULA COMPLANATA					0,31		
NCU NAVICULA CUSPIDATA							
NCUA NITZSCHIA PERSPICUA	0,89						
ND NITZSCHIA AMPHIBIOIDES	<u> </u>		ļ			<u> </u>	
NEA NEIDIUM APICULATUM			<u> </u>		<u> </u>		
	0 44	3 32	1.93	2.86	1.72	2.65	
NG NAVICULA GASTRUM	- 0,11	0,01		-,			
NGOP NAVICULA GOEPPERTIANA			—	0,24	0,31		
NGRA NITZSCHIA GRANULATA							
NGRU NITZSCHIA GRUNOWII							0,20
NHN NAVICULA NIVALIS	_						
		0,08		0,71			
		1 00	270	2.62	1 10	7.08	
		1,35	2,70	2,02		1,00	
NIAR NITZSCHIA ARCHIBALDII			0.26				
NIBU NITZSCHIA BACILLUM	0,30						
NICC NITZSCHIA COMPRESSA COMPRESSA	0,30	1,16	1,29	0,71	0,31	3,19	0,20
NIDI NITZSCHIA DISSIPATA		0,33					
NIEP NITZSCHIA EPITHEMOIDES EPITHEMOIDES	0,15	0,25	0,13	0,12	0,16		
NIFO NITZSCHIA FONTICOLA							
NIH NITZSCHIA HANTZSCHIANA		<u> </u>					
	0,30			- 0.04	0.40		
				0,24	0,16		
	0.15					0.18	
NIMI NITZSCHIA MICROCEPHALA	0,13					0,10	
NINS NITZSCHIA NOV SP	+ -		+				71,10
NIPC NITZSCHIA PALEACEA	+		1				
NIPE NITZSCHIA PERMINUTA				0,24			0,10
NIPS NITZSCHIA PUSILLA		5,07	2,96	7,62	2,66	1,33	0,20
NIPU NITZSCHIA PUMILA			0,26				
NIRE NITZSCHIA RECTA			0,26	0,95	0.47	2,57	
	0,59	0,08	L	<u> </u>			
	_		ļ	<u> </u>			
	0.74			0.48	0 31		
NU NAVICULA PSEUDOLITORICOLA	- 0.74			0,40	0.01		
NLIB NAVICULA LIBONENSIS	+	l	<u> </u>				
NLOG NAVICULA LONGIROSTRIS		<u> </u>	<u> </u>	<u> </u>			
NLSA NITZSCHIA LEVIDENSIS SALINARUM	_						
NMIM NAVICULA MINUSCULA MURALIS							
NPA NITZSCHIA PALEA							
		<u> </u>					
				<u> </u>			
NPYG NAVICULA PYGMEAE		0.17	0.26	<u> </u>			
NR NAVICULA RHYNCHOCEPHALA		0,	0,20		ŀ		0.40
NRA NAVICULA RADIOSA	-						
NRUM NAVICULA SALINARUM							
NS NAVICULA SP			_				
NSIN NAVICULA SUBINFLATOIDES	0,89	1,58	0,77	1,55	2,04	1,59	
NSL NITZSCHIA SUBLINEARIS							
NTEP NITZSCHIA EPIPHYTICA		<u> </u>					
NTR NAVICULA TRIPUNCTATA	0.59						
NTVA NITZSCHIA VALDESTRIATA			0,13				
OM FRAGILARIA LEPTOSTAURON MARTYI				· · · · · ·			
OO OPEPHORA OLSENII	0,89						
PB PINNULARIA BOGOTENSIS							
PIB PINNULARIA BOREALIS							
RHBR RHOPALODIA BREBISSONII	1 77						
RHGI RHOPALODIA GIBBERULA	1.77		0.77	0.60	0,31	0,18	
RHMU RHOPALODIA MUSCULUS		0,08		0,12		0,18	
RHWE RHOPALODIA WETZELII	2,95	1,99	1,03	1,07	0,31	1,24	
SA STAURONEIS ANCEPS							
SB STAURONEIS BATHURSTENSIS							
SCHI SURIRELLA CHILENSIS			1,42		0,47	0,18	
SG STAURONEIS GREGORII							
SO SURIRELLA OREGONICA							
SPH STAURONEIS PHOENICENTERON				0.24			
SSP STAURONEIS SPECIES				-,_,			
SSPD STAURONEIS SPD					<u> </u>		
STAW STAURONEIS WISLOUCHI	0,30	0,08		0.48	0,16	0,18	
SUP SURIRELLA PEISONIS							
SUSE SURIRELLA SELLA							1,90
	0.00						
SUWE SURIRELLA WETZELI	7.69	0.83	0.30	0.49	0.47	1 77	
SYNA FRAGILARIA ULNA ACUS		5,05	5,55	0,40		.,. /	
SYR FRAGILARIA CAPUCINA RUMPENS							
SYTF FRAGILARIA FASCICULATA	6,94	0,17	0,39	5,71	1,25	0,53	

Espèces	P077	P081	P083	P085	P087	P089	P093	P097	P103	P109	P113	P119	P123	P125	P127	P129	P131	P135	P141	P145	P147	P151	P158
	0	0.31	0.18	0.18	0,28	0	0	0	0	0	0	0	0,26	0	0	0,59	0,14	0	0,13	0	0,45	Ő	0,17
ACAR ACHNANTHES ARENARIA	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Ö	0	0	0	0	0
ACEI ACHNANTHES CLEVEI CLEVEI	0	0	0	0	0	0	0	-0	0	0	0	0 19	0	0,22	0		0	0	0	0	0	-0	0
ACO ACHNANTHES COARCTATA	0		0	0	0	0	0	ŏ	0	ō	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AD ACHNANTHES DELICATULA	18,5	10	4,92	1,28	5,06	2,21	3,46	8,43	31,1	17,9	21,6	8,33	9,6	11,6	12	32,6	14,9	10,4	2,82	2,63	2,85	1,24	4,22
	0.4	0.31	1.46	0.73	0.56	0,18	1 0		1,85	0,63	0,16	0,13	0,13	0	ŏ	0,3	0,14	0,1	0	1,6	0,75	1,24	0,68
ALO ACHNANTHES LONGIPES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0			0,91	0.56							0,19	0		0	9,79		0	0	0	0	0,35	0
AMCJ AMPHORA CARVAJALIANA	0	1 õ	2,55	0,37	0,50	0,74	2,44	0,39		0.47	0,82	1,3	1,43	0,43	0,41	Ö	0,87	0,42	1,74	0,92	1,65	0,35	2,53
AMCU AMPHORA ACUTIUSCULA	0	0	0	0	0	0	0	0 20		0	0	0	0	0	054	0	072		0	034	03	0	1 01
	0.8	1.56	1.28	2.01	1.4	0,92	0,81	0,39		0	- 6	0,19	0,26	0,22	0,41	6	0,72	0	1,07	0,11	0,75	0,35	0,17
AMPE AMPHORA PEDICULUS	0	0	0	0	0	0	0	Ó	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
				°							- 0	0							0	0	0	0	0
AMPM AMPHORA ATACAMANA MINOR	ŏ		0,36	2,56	0	0,37	1,22	0		0	0,33	0,19	0	Ö	0	0,89	0	0	0,27	0,11	0,6	5,65	0
ANS ANOMOEONEIS SPHAEROPHORA	0,4	0	0	0	0	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ANSC ANOMOEONEIS SPHAEROPHORA COSTATA			0						0,26	0,32		0	1 õ	6	1-0	l õ	1 0	i õ	0	0	1 õ	0	0
ASPE ACHNANTHES SPECIOSA	0	0	0	0	0	0		0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AY AMPHORA LYBICA	0		0	0,18	0				0,53			0,56		0,11					0	0		0	0
CAB CALONEIS BACILLUM			Ö										- 0	ŏ	Ö	i o	0	ō	0	Ö	0,3	0	0
CAMPY CAMPYLODISCUS CLYPEUS	4,02	0,94	0,91	0	0	0	0,41	0,39		0 0	0	0	0	0	0,27	0	0	0	0	0,34	0,15	0	0,51
CAW CALONEIS WESTII	0,8													0	0		0,29		0	0	0,15	0	0,17
CD COCCONEIS DIMINUTA	l õ	0,94	0										ő	ŏ	ŏ	0	0	0	Ō	0	0	0	0
CDS COCCONEIS DISCULUS	0	0,31	0	0	0 0						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	17,3	18,8	9,84	1,1		2,21	1,42	2 1,96	5 31,4	45,5	42,7	31,5	34,9	34,9	7,7	2,67	2,6	2,6	10,9	14,2	9,46	21	15,2
CPE COCCONEIS PLACENTULA EUGLYPTA	ð		0,00					0,39			0	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0	0
CPL COCCONEIS PLACENTULA LINEATA	0	0	0	0							0	0 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CPS CYCLOTELLA SPECIES											2,31	0	0,13	0			0,29		0,4	0	0,45	16,8	5,24
CYAT CYCLOTELLA ATOMUS	0		0	0	0				1,06	5 0	0	0	Ö	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CYCS CYCLOTELLA STELLIGERA	6,02	12,2	0,36	0,37	0,56	0,18		0,59	4,22	2 1,42	1,98		0,52	0,54	0,27	0,3	0,43	0,21	0,27	0,23	1,35	4,24	5,74
CYMC CYMBELLA CISTULA CYMG CYCLOTELLA MENEGHINIANA									3-6					0,22			l õ	0,1	0	0	0	0	0.17
CYML CYMBELLA SILESIACA	0		0	0) () () (0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
																			0	0	0	0	0
CYOC CYCLOTELLA OCELLATA			1-0											0	0		l õ		Ŏ	- o		0	0
CYOI CYCLOTELLA STELLIGEROIDES	3,21	2,81	0,55					0.78	3 (0		0	0	0,14	0	0	0	0	0,11	0	0	0
CYPA CYMBELLA PAUCISTRIATA														0.22							0	0	
CYSB CYCLOSTEPHANOS DUBIUS			0) (0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0	0
				0.1					2,11		0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,18	0
DIPS DIPLONEIS PSEUDOVALIS	1-6								5 6					0	1		6		1 0	0	0	0,10	6
DS DIPLONEIS SUBOVALIS	0		0 0	0							0	0	0	0	0	0	0,29	0	0	0	0	0	0
DSB DENTICULA SUBTILIS				0 18									0 78	0 33	0.54		0 58	0 31	0.67	0 23	0 15	0 18	034
EZ EPITHEMIA ADNATA					0,56					0,32		0.50	0.70	0,35	0,54	l õ	0,50	0,51	0,07	0,23	0,15	0,10	0,34
FARC FRAGILARIA ARCUS ARCUS	0		0 0	0) (0 0) (0	0	0	0	0	0	Ö	Ö	0	0	0	0,35	0
FAT FRAGILARIA ATOMUS FR FRAGILARIA BRÉVISTRIATA		1.2	0 0	0.37		0.37		0,39	0,53	1,58	3,46			0.43	0.95	0	0.14	0.21	0.54	0 11	0		1 35
FCA FRAGILARIA CAPUCINA			0 0				0,41	0,0				0,37	Ō	0	0,27	0	0	0,1	0,01	0,11	Ō	Ő	0,17
FCAV FRAGILARIA CAPUCINA VAUCHERIAE			0								0	0 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FLL FRAGILARIA ELEIPTICA FLL FRAGILARIA LEPTOSTAURON LEPTOSTAURON		<u> </u>					;;		0.53		1,32	0,37		0					0	0	0		- 0
FP FRAGILARIA PINNATA	1,2	1,88	0	0,73	0,56	6 (0,41	0,39	0,79	0,79	0	0,74	2,46	0,43	1,08	1,19	2,02	1,77	0,54	2,06	1,5	0,35	2,87
FRAC FRAGILARIA CONSTRUENS					0 0.56		0.81	0.39	0,26	5 C				0 33						1 37	0 15	0 35	0 68
FRCV FRAGILARIA CONSTRUENS VENTER												0	ŏ	0,00	ŏ	0,59	- o	0	1 õ	0	0,10	0,00	0,00
FRF FRUSTULIA FRENGUELLII			0 0					0,35			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FRED FRAGILARIA POLCHELLA			0.36							0,16	0.82			0,11	0,27	2.37		0.83	1.88	1.72	0,15	4.06	3.72
FSUB FRAGILARIA SUBSALINA	0		0		0					0 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0										0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GOMA GOMPHONEMA ANGUSTATUM			0								1 0	0	0	1 0		0	1 0	0	0	0	0	0,35	0,34
	0	(0	0	0					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0	0
GOMI GOMPHONEMA ANGUSTUM									<u> </u>					0		0			0	0	0	0	0
GOSP GOMPHONEMA SPECIES	Ó		0	Ċ							0	Ō	Ő	Ō	Ō	Ő	Ō	Ő	Ő	0	ō	Ō	0
	0.24	154	0	0				0.70		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HA HANTZSCHIA AMPHIOXYS	5,24		0 0	0,37					2,11	0		0,19	0,13	0,22	1,08	3,00	0	0,83	1,40	1,03	0,0	0,53	1,35
HADI HANTZSCHIA DISTINCTEPUNCTATA	0		0							0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MATA MASTOGLOIA ATACAMAE	0,8	0,63								0.32				0		0			0		0	0	0
MDAN MASTOGLOIA ELLIPTICA DANSEI	- 0	0	0	0						0 0	Ó	Ō	ō	0	0	0	0	Ō	0	0	0	0,35	Ő
MESP MELOSIRA SPECIES	0		0	0.37							0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 26	0
NACE NAVIOUS CAPITATA CAPITATA NACL NAVICULA CAPITATA LUENEBURGENSIS				0.3/					1,06				6	0	6	0			0		- 0	0,35	0
NAE NAVICULA MEDIOCONVEXA	0		0,36	0	0,56				0,53	0,32	0,33	0	0	Ó	Ó	ō	0	Ő	Ő	0	0	0	ŏ
NAEG NAVICULA ELGINENSIS								039								0	0,29	0	0,27	0	0	0	0,34
NAHA NAVICULA HALOPHILA			o o						0,53	0,32	0,49	0,37	0	0,22	0	0	0	0	0,27	0	0	0,18	0
	0		0 0	0	0	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NAPE NAVICULA PEREGRINA		1.2	12.8	5.85	27.8	8.27	11	2.16				2.59	2.85		10 1	0.59	8.51	3 95	0	2 75	7 66	0	3.38
NAPR NAVICULA PERMINUTA			0,36	0,73	1,12	2 0	0,41			0 0	Ō	0	0,65	_ o	0,41	0	0,29	0,21	0	0	0,3	0	0
				1,28							0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NASA NAVICULA SALINICOLA	7,63	3,44	12,6	14,4	3.09	6,99	4.47	2,35		0,79	1,65	7,22	9,08	3,59	35,5	0,59	19,2	1,66	8,32	4,58	14,1	11	10.5
	0	0	0	(0			0		0	0	0,93	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0,63		0,37			0,2				0,66	0,37	0,26				0	0	0,27	0	0,6	0,18	0
NBER NITZSCHIA BERGII			ō								L o	0	ļ	ō	0	L ő	0	ō	0	0	0	0	0
	9		0	0	0 0					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NBUL NITZSCHIA FRUSTULUM BULNHEIMIANA		1 - 2		1-2	1 0	<u></u>	<u></u>	1	4 9			0.50					0		0	0	0	0	0

•

· Antipation of the second sec

Espèces	P077	P081	P083	P085	P087	P089	P093	P097	P103	P109	P113	P119	P123	P125	P127	P129	P131	P135	P141	P145	P147	P151	P158
NCAJ NAVICULA CARVAJALIANA	0	0	0,18	0,55	0	0,55	0,81	0	0	0	0	0,93	0,26	0	0	0	0,43	0	0	0,34	0,6	2,65	0
NCHI NITZSCHIA ACCEDENS CHILENSIS	0	0	0	0	0	0						0	0	0	0	0	1,3	0.21	0 27	0,34	1,05	0	2,87
NCHU NAVICULA CAPITATA HUNGARICA	0	0,65	0.91	0	0	0.37		0,78	1,58	0,63	1,81	0,93	0,26	0,76	0,27	1,19	1,01	0,1,	1,21	0,46	1,05	Ŏ	1,18
NCOM NITZSCHIA COMMUNIS	0	0	4,55	2,74	1,4	2,39	0,2	0,78	0	0	2,47	0	0,91	1,85	3,38	0	0,29	1,04	2,95	0,34	Ö	4,95	0,51
	0	0	0	0	0	0			0	0,32		0	0	0	0			0			0	0,35	0
ND NITZSCHIA AMPRIBIOIDES	0	0	0	- 0	0	Ö			i õ		ا ة	- ŏ	ŏ	- 0	ŏ	ō	ő	Ő	Ő	ŏ	0	0	0
NDRA NITZSCHIA DRAVEILLENSIS	0	0	0	0	0	0	0	Ó	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,71	0
NF NITZSCHIA FRUSTULUM	0	0	0	0	0	0	0		0,79	0,63	1,48	0	0	3.37	0	0,59		0	0	0	0	0	0
NGCF NITZSCHIA GRACILIFORMIS	0	0	0	0	0	0	0				1 8		- 0	0	0	0		0		0	0	ŏ	Ő
NHEO NITZSCHIA HEOFLERIANA	ŏ	0	0	Ő	ŏ	ŏ	1 õ		i õ	ō	1 õ	0	0,26	0.43	Ö	0	Ô	0	0	0	0,3	0,35	0
NI NITZSCHIA INCONSPICUA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0,18	0	0,56	0				0 16	0			0	0	0	0	0	0			0	0
NIAR NITZSCHIA ARCHIBALDII NIAU NITZSCHIA ACICULARIS	- 0	1.88	0,36	- 0	0	l õ	- 0	1 õ	Ŏ	0,10	- ŏ	Ő	ō	Ő	0,27	0	0	0	Ō	0	Ō	0	0
NIBU NITZSCHIA BACILLUM	0	0	0	0	0	0	0	0	1,06	1,26	0	0	0	3,8	0	0	0	0	2,95	0	0	0	0
NICC NITZSCHIA COMPRESSA COMPRESSA	2,01	0	3,28	1,1	0	35,7	38,2	1,18	0	1,26	1,48	5,19	2,08	6,85	4,46	17,5	10,2	4,89	4,/	1,83	1,5	0,53	1.01
	0	0	0,18	0,37	0	ö	1 õ			- ŏ	ŏ	0,57	0,20	Ō	0,01	ŏ	0,00	0	0	Ō	0	0	0
NIH NITZSCHIA HANTZSCHIANA	Ö	0	0	0	Ō	Ó	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NIHU NITZSCHIA HUNGARICA	6,43	4,38	10,4	16,6	5,9	16,5	13,2	10,4	7,39	6,32	2,14	15,2	2,98	9,24	5,95	8,31	15	6,44	19,7	7,67	13,5	6,01	6,59
NIIN NITZSCHIA INCOGNITA		0	0	0		0	0		0	0	0,33		0	0	0	0.59	0		1 0	0	ŏ	0	- 0
NILI NITZSCHIA LIEBETRUTHI	ō	0,63	6,19	0,37	0,56	9,93	1,63	59,6	0	2,53	1,98	2,04	21,5	8,8	9,05	0	11,3	62	23,6	49,1	24,5	3	6,93
NILN NITZSCHIA LINEARIS	0	0	0	Ó	0	0	0	0	0,26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NINC NAVICULA INCOACTA	0	0	0	0	0	0			0		0	0	0			0	0	- 0	0,27	0	0	- 0	0
NIOV NITZSCHIA OVALIS			0	0	0				0,79	0	0	- 0	l õ	ŏ	ō	ō	ŏ	Ő	0	0	Ő	0	Ō
NIPE NITZSCHIA PERMINUTA	0	0	0	0,18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NIPS NITZSCHIA PUSILLA	0	0,63	0	0,37	0	0	5,28	1,37	0,53	0,95	0	2,04	0	0,22	0	0	0	0		0	0	0 71	0
	0	0	0	0						0.32		0	0		0	- 0	0	0	- 0 0	0	0	0,71	- 0
NIRS NITZSCHIA ROSENSTOCKII NISP NITZSCHIA SPECIES	0	0	0	0		1 0	1	. 0	1 0	0,32	0,33	0,19	0	0,11	Ő	Ŏ	0	L ő	Ō	Ő	0	1,06	0
	Ó	Ó	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,27	0	0	0	0
	0	0	0,36	0,91	0	0,18	0	0		0	0,33		0,13	0		0,59	0,43		0,27	0,23	1,05		0,68
NLA NAVICULA PSEUDOLANCEOLATA		0	0	0	4,49		0	0		0	ŏ	ŏ	0	- 0	ő	0	Ő	- ŏ	ŏ	Ő	Ő	0	Ō
NLIB NAVICULA LIBONENSIS	Ō	0	0	0	Ō	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NLOG NAVICULA LONGIROSTRIS	0	0	0,18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0,23	0,3	0	0
	281	0	073	0	0	0				0		0.37	0	0.33	0	0.59	0	0	6	0	0	0.35	3,72
NMIM NAVICULA MINUSCULA MURALIS	2,01	ō	0,18	ŏ	Ő	Ŏ		0	t õ	0	0	0	Ō	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NMP NAVICULA MUTICOPSIS	0,4	0	0,36	0	0,28	0	0,2	0,39	0	0,32	0,66	0	0	0	0,27	0	0,14	0	0,4	0,34	0,6	0,71	0,34
NMV NAVICULA MUTICA VENTRICOSA	0	0	0,18	0,55	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0 27	0	0	0	0 27	0 11	0	0	0
NPA NITZSCHIA PALEA	0	-0	0	0	0	0		0		0	ŏ	- ŏ	Ő	0	0,27	Ō	0	ō	0	0,11	ŏ	0,35	Ō
NPB NAVICULA PARAMUTICA BINODIS	0	Ő	0,36	Ő	0	ŏ	0	0	0	0	0	0,19	0	0	0	0	0,29	0	0	0	0	0	0
NPDE NAVICULA PSEUDOLANCEOLATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	- 0
NPRE NAVICULA POPOLA	0	0	0	0	0	ŏ	1 õ	- 0	Ő	ő	ō	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NPYG NAVICULA PYGMEAE	0	0	0	0,18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NRA NAVICULA RADIOSA	0	0	0	0	0	0	0 41	0	0		0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
	0	0	11.7	33.8	1.12	3.49	7.32	0	0	3,16	2,14	4,63	3,24	5,33	Ő	Ő	1,88	Ő	1,21	0	2,85	0	2,7
NRUM NAVICULA SALINARUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,32	0	0	0	0	0	0	0	0	2,82	0	0	1,41	0
NS NAVICULA SP	0	0	0	0	0	0	0	0	0 62	0	0	1.67	0 78	0 43	0 41	0	0 43	0 21	0	1 03	1 35	0 35	1 18
NSIN NAVICULA SUBINFLATOIDES	0	0,63	2,91	0,37	30,9	1,4/	0,81	0,59	0,55	0	0	1,07	0,78	0,43	0,41	0	0,45	0,21	0	0	0	0,55	0
NSO NAVICULA SUBROTUNDATA	0	0	0	0	Ō	Ő	Ō	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NSP2 NAVICULA SPECIES 2	2,01	1,25	0,55	3,47	4,49	1,47	1,22	0,2	0	0,47	0,66	1,11	0,91	1,41	0,68	0	1,59	0,52	1,48	1,03	2,25	0	1,52
NTGR NITZSCHIA GRACILIS	0	0	0	0	0	0			2,11	0,63	1,32	0	0	0.22	0	0	0	0	0	0	0	0	- 0
NTS NITZSCHA INTERMEDIA	0,8	0	0,18	Ő	ō	ŏ	ō	Ő	Ŏ	Ō	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,34
NTVA NITZSCHIA VALDESTRIATA	2,01	0,31	0,73	0,37	1,12	0	0,2	0	0,26	0,16	0	0	0	0	0	0	0	0	0,94	0,34	0	1,41	0,17
	1,61	0	0	0	0	0	0	0,59	2,37	0.32		0 10	0	0	0,54	0	0	0	0	0	0	0	0
PDRI FINNULARIA BREBISSONII	0	- 0	0	0	0	0	0	0	1 0	1 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	ő	0
PIB PINNULARIA BOREALIS	ō	Ō	0	0	Ó	Ó	0	0	Ó	0	0	0	0	0,22	0	0,3	0	0	0	0	0	0,35	0
PIDE PINNULARIA DIVERGENS ELLIPTICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PLSA PLEUROSIGMA SALINARUM	0	0	0	0	0			- 0	0			- 0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
RG RHOPALODIA GIBBA	0	0	0	0	0	ō	Ō	0	Lő	- Ō	_ o	Ō	0	0	0	0	0	0	Ó	0	0	0	0
RHBR RHOPALODIA BREBISSONII	0	0,31	0	0	0,28	0	0	0	0,26	0	0	0	0	0	0	0,59	0	0	0	0	0	0	0 24
	0	0	0	0	0 56	0	0	0,39			0 33	0,56	0,39	0,11	0	0	0	0	0	0,23	0,3	0,35	0,34
	0.8	0	0,36	1,1	0,50	0,74	0,81	0.35	6		0,16	0,37	0,65	0,22	Ő	0,89	0,14	0,31	0,67	0,57	0,3	0,53	1,35
SA STAURONEIS ANCEPS	2,41	13,1	1,28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,17
SBRI SURIRELLA BREBISSONII	0	0	0	0	0	0	0	0			0	0,19	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
SCHI SURIRELLA CHILENSIS	2.01	0	1.82	0.37	0.56	0.92	0	0.78	0	1 0	0	0,56	0,26	0	0,81	1,19	1,15	0,21	0,81	0,69	0,75	1,94	2,53
SSUB SURIRELLA SUBSALSA	0	0	0	0	0	0	Ō	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0,8	0	0,55	0,91	1,12	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0,21	0	0,69	0	0	0,34
STME STEPHANODISCUS MEDIUS		0	0	0				+ ⁰			0	0	0	0	0	0	0	0	0,2/	- 0	0	0	- 0
STRO STEPHANODISCUS ROTULA	0	0	0	0	0	0		ļ	L ő	- o	0	Ŏ	0	0	0	0	0	, o	0	0	0	0	0
STSP STEPHANODISCUS SPECIES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	ō	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0					0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0
SUHO SURIRELLA HOEFLERI	1,61	10.9	0,18	0,18	0	0	0	1 0	1 0	1,11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	ő	0,84
SUO SURIRELLA OVALIS	0	0	0	0	Ó	Ó	0	0	0	0,32	0,66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,18	0
SUR SURIRELLA SP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 43	0	0	0	0	0	0	0	0 25	0
SUTA SURIRELLA OVATA UTAHENSIS	1.61	0	0.55	0.37	14	0.37	0.41	0.39	0.79	2,53	0,66	0,19	0,26	0,43	0	7.12	0.29	0.21	0,27	0	0.15	0.35	0.68
SYNA FRAGILARIA ULNA ACUS	0	0	0	0	0	0	ō	0	0	Ő	0	0	0	Ő	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SYNU FRAGILARIA ULNA	0	0,31	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0,66	0,19	0	0	0	0	0	0	0,27	0	0	0	0
SYPE FRAGILARIA CAPUCINA PERMINUTA	0	0 63	0	0 18	0	0	0				0	0	0	0	0 27	0 59	0	0		0	0	0	0 17

	P160	P164	P172	P176	P182	P186	P188	P192	P202	P206	P212	P216	P226	P230	P234	P242	P248	P254	P258	P262	P264	P268	P272
ABOL AMPHORA BOLIVIANA ABR ACHNANTHES BREVIPES	0,39		0,83	st õ	0.88	0,25	i 0.3	Ťč	itö		0,19	با خ	i i	j õ	0,14	0,14	, ~	با ب	0,68	0,12	ź	J 1,4č	5 0,57
ACAR ACHNANTHES ARENARIA	0	0	0	, 0	, 0	1 0	j O	0	1 0	0	0		<u> </u>	i o		0		i o	10		0 0	Ē	10
ACEI ACHNANTHES CLEVEI CLEVEI	0	0	ļ	L º	T º	^γ Ω ^ο	1 0	L.	0	0	0	0	10	0	0	C o	P	, o	<u>∕</u> P	1	10	<u>Г</u>	10
ACO ACHNANTHES COARCTATA	H c	0,38		0.54	÷	 	쉬운	ا د	<u>+ </u>		0.39	<u>+</u> - 2	ᄽ	<u>+ </u>	0,28	 	+ e	╬┿	<u>+</u>	0,24	뷞;	÷	1 6
AD ACHNANTHES DELICATULA	1,78	1,89	7,26	17,1	18,4	10,	16,3	22,4	1,89	4,63	11,2	6,4	7,29	2,56	2,12	7,97	17,1	6,12	2 2,54	1 3,81	3 2,75	5,47	2 6,6
AHSP ACHNANTHES SP	0	0	0	0	0	0	i o	0	0	0	0	1,18	3 0	0	0	0	0	0	0	1	0 0	0	0 1
	<u> </u>	0,75	0,21	0,54	1,32	1,99	1,2	0,43	0,27	0,51	0,19	<u> </u>	10	0,6	0,28	0,29	1,86	0,54	0,17	0,82	2 0,59	0,36	3,02
ALO ACHNANTHES LONGIPES	0.79	0.19	ι – č	1 2.98	łť	÷	; - ;	┟─╴┊	10,10	1-0	0.58	÷	1 6	i o	0.14	H	÷č	$+ \tilde{c}$	$+ \ddot{c}$	1 0.2	1 0.35	÷	1 0
AMCJ AMPHORA CARVAJALIANA	0	0	0	0,54	<u></u>	<u>ه ا</u> ر	j j		j j		0	j <u>č</u>	<u>1 0</u>	j <u>o</u>	0	0	, <u> </u>	<u>ه_</u> ار	0,17	<u> </u>	3 0	J 0,18	3_0
AMCO AMPHORA COFFEAEFORMIS	1,18	0,75	3,73	1,9	2,19	8,46	1,35	1.74	0.36	0,26	0,97	0,95	j 1,44	, 1,5	2,54	1,59	1,3	2,52	0,51	7,17	/ 6,27	2,17	4,15
AMCU AMPHORA ACUTIUSCULA	0	0		<u> </u>	0	10	1 0	L°.	<u> </u>	0	C o	Į.	10		<u></u>	<u> </u>	<u> </u>	0.36	0,17	1	0.78	107	10
AMD AMPHORA DELICATISSIMA	0.59	3.96	1.24	1.0	0.80	1.45	1 0,5 1 0,6		i c	0.13	1 6	÷	<u> </u>	1 0.0	1.27	0.14	ιtč	0.30	1.57	0,7	1 0.78	1.2	1 0.19
	0	0.38	<u> </u>	<u>ت</u> ار	<u></u>	<u></u> t	<u>s o</u>	<u>ه ا</u> ر	<u>ه_</u> ار			<u>ه ا</u> ر	<u>á _</u>	<u>ه_</u> ار	<u>ه ار</u>	0	<u>ه_</u> ار	<u>ه_</u> ار	<u>ە</u> اد	<u>ب_</u> اد	<u> </u>	ت	<u>ه_</u> از
AMPL AMPHORA PLATENSIS	C o	,⊤°	Ľ	Ψ	τ¢.	۱ أ	j j	Т°	τ¢.	E.	Ľ	Т,	τç	Τò	<u>ب</u> ل	E o	τ¢.	Ψ,	τ°,) T	<u>v</u> 0	10	ν <u>Γ</u> ο
	1 170	1 1 38	1 187	ᢤ᠆ᡷ	$\frac{1}{3}$	1 02	김 승	1	Į į	l - e	F	{ ;	치 문	1015	1 v	- v	╬┷╬	┦;	1 036	1 - -	<u>) v</u>	<u>ή</u>	<u>i</u> t
AMVN AMPHORA VENETA	0,15	0,50	0,00	÷t	10,00	10,20 1 (<u></u>	1 0 1 C	ᢤ᠆ᢅ	. - 	łĕ	ᢤ᠆ᡕ	ᆟᆕ	<u>, u, is</u>	; - ; ;	Ť	ᢤ᠆ᡷ	÷	10.5	2.4	/ 3,50 n c	1 <u>1.</u>	╬─╤
ANSC ANOMOEONEIS SPHAEROPHORA COSTATA	0			0,54	1_0	<u></u> t	5 0	<u>1 c</u>	0	0	0	<u>, c</u>	<u> 0</u>	5 0	<u>1 0</u>		<u>it c</u>	<u></u> t	<u></u>	<u>it</u>	ó c	5 0	<u>i o</u>
AREI ACHNANTHES AFF RENEI	0.39	1 o	E,	τ¢.	Ψ,	Т¢	<u>ف</u> لر	ф,	1 0.09	<u>بل</u>	0,19	0,95	st o	<u>ئ</u> لا	<u>ن</u> لر	E.	ι	10,9	J 0,34	Ē	0,98	3 0,18	10
ASPE ACHNANTHES SPECIOSA	130		<u></u> ⊢ ;	÷÷	÷	<u></u> 4	ᆂᆕ	F;	<u>+</u>		F º	Έ	1 0	<u> </u>	<u>+</u>	ΓĽ	1015	1 v	<u>∔</u> ~;	<u> </u>	1 ;	1	1 0
AY AMPHORA LYBICA RPAC RRACHYSERA APONINA	0,00	i õ	i č	$\frac{1}{c}$	╬┼╤	$\frac{1}{2}$	<u>╣</u> —ĕ	÷	10.18	łö	łč	╣╌┊	ᆟᆤ	ી રું	╣╴ӗ	÷	10,1- 1 (1 <u>0,5-</u>	; ;	10,	∄ન્	<u>/ 0,5-</u> 1 - 7	1 <u>0,10</u>
CAB CALONEIS BACILLUM	0	<u>1 o</u>	1_0	1_0	<u>i -</u>	<u>it_</u>	<u>5 0,3</u>	1 0	1 0				ó j	1 0	it o	0		0,36	5 0,34	1	ó c	0,30	5 0
CAMPY CAMPYLODISCUS CLYPEUS	E.	<u>ب</u> ل		ι Lo	μ L	ţ	<u>ب</u> لر	<u>ل</u>	0,09		t_o	<u>ا</u> ر	<u> </u>	ف_ار	ف_ار	0	يلر ا	1_0	<u>ه</u> ا	1_0	00	<u>ه ا</u> د	0_0
	F	Έ	0,41		Ŧ	Į-γ	र्ग २	T o	1 e	0,13		τ°	10	ب ار	Ψe	E e	τ°,	<u>т</u> ,	τ°	10,24	1 0	10	<u>т</u> е
	l č	0.19	0.21	1.0-	il ~	4-7	ᇷᆤ	0,01	÷ č	: 	0,38	: +	1 0.15	ᆟ승	<u> </u>	0.29	1 015	4 - 6	4 - 6	1 0.41	<u>/ - </u>	4-3	1 136
	0	1 0	0,41	1-0	1-0	á <u>c</u>	á i	i l i	1 0	1-0	l õ	il è	<u>)</u>	0,15	÷	0,20	1 ····	i l i	á c	// 0,	<u>, ,</u>	<u>, v,v.</u>	0,00
CHAE CHAETOCEROS SP.	1,97	10	1.04	1,9	1.75	<u>2,9</u> 9	20,5	18,3	7,91	67	53,3	66,8	60,1	60,9	0,42	44,2	39,7	19,1	0.51	0.3	5 1,37	1 0,54	1 2,45
CP COCCONEIS PLACENTULA		1 0	0.41	0,54	0,88	1,49	10,15	1,09	<u>т</u> е	0,39	0,58	<u>ب</u> ل	л v	0,3	0,42	0,29	0,37		10	0.35	5 0	10	1,51
CPE COCCONEIS PLACENTULA EUGLIFIA	0,35	0,15	ا ر	ᢤ᠆ᢅ	4 -	4-7	ᆁᆤ	4 - 7	<u> </u>	<u> '</u>	<u></u> - γ	/ /	친분	با ا و	<u>i</u> e	Ē	<u>i</u> f	10,54	<u>10,1/</u>	1	<u>10,59</u>	10,30	<u>i</u> v
CPS CYCLOTELLA SPECIES	13,6	0,38	d è	il è	il ē	1 0,	1 0,6	il—ž	¦ 	0.13	ł	╣─┮	ᆌ᠆᠊ᡷ	+ <u>0,</u>	÷	0.58	1 5.50	1.9	<u> </u>	: - 7	0.35	<u>, v.</u>	ᆟㅎ
CT COCCONEIS THUMENSIS	0			<u>م ار</u>	<u>ه_</u> ار	<u>ه_</u> ار	1_0	<u>ه ار</u>	<u>1 0</u>	<u> </u>		<u>ه ا</u> ر	<u>ه_</u> از	10	t o	0	<u>ه ا</u> ر	<u>ه_</u> ار	<u> </u>	<u>i -</u>	<u>á c</u>	<u></u> t	<u>5 o</u>
CYAT CYCLOTELLA ATOMUS	0	0	E,	±_0	<u>ب</u> ل	10	<u>0</u>	Щ,	<u>ب</u>	<u>⊢</u> ₀	0	<u>ب</u> ل	<u>ن</u> ل	<u>ب</u>		0	<u>ب</u> ل	<u>ب</u> ل	1 D	بالر	<u>ه</u> ا	ت_ د	<u>ب</u> ار
	14,0	0,30	ب ا ا	<u>12,71</u>	2,63	1.74	1.2	F.	0,18	0,26	2,71	0,4/		0,15	0,14	0.87	3,72	2,16	<u>1,36</u>	10,12	2 0,2	1,45	0.19 0
CYMG CYCLOTELLA MENEGHINIANA	to	10,~~	i l č	1 7	$\frac{1}{2}$	il č	심 중	, l - č	 	₁⊣ĕ	. I č	÷	╣᠆᠆ᡷ	il ö	łö	Hö	i l č	ᢤ᠆ᢅ	╬┷╤	$\frac{4}{7}$	<u>) v, e</u> 0 C	i l č	ᆟᅳᄚ
CYML CYMBELLA SILESIACA	0	0,38	1_0	네	ᅿᅳ	<u>ه ا</u> ر	<u>1 0</u>	ᆂ	<u>ه ار</u>			1 <u> </u>	<u>i o</u>	<u>0</u> l		0	<u>ه ا</u> ر	1_0	1 0	i c	á _ o	5 <u> </u>	<u>i o</u>
CYMP CYMBELLA PUSILLA	0	i o	E,	Τò	Ψ	1 o	J 0,3	<u>ب</u>	<u>ب</u> ل	to a	L.	亡	ب ا د	<u>ب</u>	<u>ب</u>	0	<u>ب</u> ل	<u>ب</u>	ii	<u>ا</u> ر	10	ور	<u>ه</u> ا
	<u></u>	- v	F	£−;	<u>i</u> Fr	<u>i</u> i i	<u>Т</u>	Ŧ,	<u>∕</u> ₽		E.	0,24	f o	<u>Т</u> е	T o	C o	1º	ب ا	1º	<u>т</u>	<u>v</u>	<u>₽</u>	10
CYOLOYCLOTELLA OUELDATA	1 č	1-7	; 	ᢤ᠆ᡷ	ᢤ᠆ᡷ	ᢤ᠆ᡷ	ᆟᆕ	╣─╴╴	(~	. 	. I ĕ	÷	쉬~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	╣╌╬	+ ;	H ö	: - ;	(~ č	: - ;	4	휘근	÷	위생
	0			<u>ه ار</u>	<u>ז−</u> רו	<u>1_</u>	<u>1 0</u>	1_0	1 0			1 0	<u>í ō</u>	it j	it j	1 0	i i	1 0	᠋ᡰ᠆ᡠ	i l è	át ö	s t c	ito
CYRO CYCLOTELLA STELLIGERA ROBUSTA	Ľ,	0,19	E,	ф,	j Lo	10	<u>م</u> ل	j Lo	ب ل		t_	بل	10	<u>ب</u> ار		0	ر _ار	ب_ ار	1_0	<u></u> t	<u></u>	<u>ه_</u> ار	<u>ه_</u> ار
CYSB CYCLOSTEPHANOS DUBIUS	Ē	- 10	E.	<u>τ</u>	<u>γ</u> γ	Ψ,	J 0,15	, Co	1 0	<u> </u>	E o	ر آ ر	1 0	1 D O	<u>ب</u> م	0	T o	́Т,	τç	Ψ.	<u>ه</u> ار	μī o	<u>ر</u> م
	1 č	10,10	1.04	╬┈┊	10.87	╬┷	ᆟᆣ	1 047	: `	╎╎	H o	∔ન્ટ	치공	+ <u>v</u>	<u> </u>	0.29	1 156	<u>1</u>	<u>4</u>	<u>i</u> F	1 6	<u>-</u>	i <mark>∏</mark> ¦
	0		1 <u></u>	1 0	1 0	i l c	il j	0,	ito		itõ	÷t	1-7	1 0	÷	0.2-	10,	: ~ ~	,1 ë	╬──テ	4- 7	1 7	ᢤ᠆ᢅ
DS DIPLONEIS SUBOVALIS	0		0,41		0,88	s <u> </u>	0,3		<u>ه_</u> ار			<u>ب ار</u>	<u>ه_</u> اد	1 0		0		<u>ه_</u> ار	<u>ه_</u> ار	<u>, c</u>	<u>3 0,2</u>	2 <u> </u>	0.19
DSB DENTICULA SUBTILIS	Ę,	0,19	E.	0,27	T o	10	Τç	<u>ب</u>	1 C O		0	<u>ر</u>	J 0,19	it o		0	t,	i o	10	i C	1 0	<u>ب</u> ار	<u>ب</u> ار
	0.2	. ~ ;	łč	1	1	<u>+</u> ;	휘문	Ļ	<u>i - 6</u>	0,20	0,78	F	با د	0,15	0,14		F.º	0,18	0,68	Ψ,	<u>ب</u> ال	Įς.	1 o
FARC FRAGILARIA ARCUS ARCUS	0	tõ	l ċ	0,54	0	it i	11 - 	itē	0.18	tõ	itö	i l č	<u> 1 0,1</u>	÷	. j	Ηŏ	: ا ر	; ~	, ~	╬┿	ᆟᄚ	÷	<u> </u>
FAT FRAGILARIA ATOMUS	0	1_0	<u> </u>	0.54	1_0	<u>1 c</u>	<u>0</u>	<u>1 0</u>	1 0			i l c	1 0	1 0	il	0	it ö	ito	itö	il è	il ē	1 č	t ö
FB FRAGILARIA BREVISTRIATA	0,39	0,38	1,66	0,54	3,51	tr	<u>ب</u>	0,43	ب ل		0	it_o	0,67		0	1.74		1,26	0,34	1_0	1,18	J <u>0,9</u>	0.57
	F e	0,36	0,41	0,21	Ę	1-7	1 o	T.º	1 o	0	E.	τę	10	T o	0	0	0	0,36	1 0	0.24	it o	0,36	0,19
	1 o	1 0.00		0,54	i l č	$\frac{1}{c}$:1 	itë	0.18	łö	0.19	il č	ᆟ诺	łĕ	, ~ ~ '	- ŏ	÷	iliö	 	$\frac{1}{2}$	<u>/ い</u>	0.18	1 8
FLL FRAGILARIA LEPTOSTAURON LEPTOSTAURON	0	0,38	0	<u>ت ار</u>	1_0	1.24	il		0,18	0.26	0	0,47	1 0			ō	ō	0,36	0,34	d č	0,39	1 0,3E	0,38
	0,79	1,13	5,19	5,15	7,46	6,22	2,25	1,96	0,09	1,93	1,16	2,84	1 0,96	3,01	0,71	2,32	3,54	3,78	0,68	0,47	1,37	5,06	4,53
FRAC FRAGILARIA CONSTRUENS	1 38	+ <u></u>	1 0 41		351	0,5	- U	174	0 18	0 26	0 19	- P	ν U			1 16	0	0	0	0,24	0	0	0,38
FRCV FRAGILARIA CONSTRUENS VENTER	0	10	0	1 <u>;</u>	0	1 	10.10	0	0,10	0,20	1 0,10	itö	÷	ł	اخ ا	1.10	0,5,	1 <u>0.10</u>	0,00	0,35	1 0,00	2.11	.
FRF FRUSTULIA FRENGUELLII	0				0	it_o	<u>ه_</u> از	0		0	0	0			0	0	0	0		0	1 0		
FRPU FRAGILARIA PULCHELLA	276		E.º	0,27		T_0	<u>†</u>	C o		0	0	0	10	0,3	0	0	0,37			0	,	0,18	0.19
FRS FRAGILARIA SPECIES	2,10	. ~	łö	÷	7,05	<u> 0,5</u>	4.13	l v	0,72	0.20	- 8	<mark>⊢ °</mark>	0,58	0,6				U 0		1,88	0	F°	0,38
GAFF GOMPHONEMA AFFINE	0		0			i l i	1 0	ō	i i	tõ	tõ	÷	ŧð	ł	ا آ	Ηð	łŏ	1-ŏ	, ~	ز ار	, 	łĕ	0.38
GG GOMPHONEMA GRACILE		0	0	L.			it o	0	0	0	0	<u></u>	<u>ه_</u> از	<u>_</u>	0	0	0	0			<u>1 0</u>		0,38
	0		141	54		0,5	0		0	0	0	E.º	<u>بل</u>		0			0			<u>ن</u> لر		
IGOMI GOMPHONEMA ANGUSTUM	- ō	ł	0,41	0,54	0.00	1 <u>0,3</u>	0.5	. ⊢ ĕ	. 		H o	l ë		0,3	0.20	0		0,16		0,24		0,36	0
	0	<u>_</u>	0		ō		i õ	- ō		1 è	1 õ	łŏ	d ð	ان ا	1-0	- ŏ	Ť	1 ŏ	; - ;'	÷	, 	ł	ł
GOSP GOMPHONEMA SPECIES		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0	0		0	0	0	
	0	01	0	0				0	0	0	0			0	0		0	0	0	0,47	0	0	
GYSP GYROSIGMA SPENCERII	- ŏ	0.30	0,02	3,19	0.88	0,5	1,05	2.61	0,45	0,64	0,9/	1,18	2,11	1,8	0,85	1,3	3,35	1,8	0,17	0,59	0.78	0,54	0,94
	Ò		0	i l ö	0.00	itö	0.12	łŏ	0,00	1 ö	1 õ	0,2-7	; ~	łö	0.1-	0.1-	0,15	- č	0,34	0,24	0,09	0,54	0.13
MATA MASTOGLOIA ATACAMAE	0,2	0	0	0,54	0	0	<u>ه</u> ار	0	0,09	0,26	0	0.24	1_0	0	0	0	0,56	t ò		ō	it ò	1-0	tò
MDA AULACOSEIRA ALPIGENA			C o	0	E o	<u> </u>		0		0	0	0	ب ا	0	0		0	0	0	0		0	
MDAN MASTOGLOIA ELLIPTICA DANGEI	0	 	1 .			ا ب	1 0	F v				<u>ب</u>		0	E o		0	0	0	E o		0	E o
	ò	0.19	Ō	1,08	ŏ	i l ŏ	itõ	tõ	; ;'	l ö	1.36	H ö	0.19	. - ;	1 1 28	- J	1	+	. − v	l ë			
NACL NAVICULA CAPITATA LUENEBURGENSIS	0	0	0	0	0			0	0	Ö	0	0		10	0	o	0	tõ	ان	tõ	l õ	to	1 õ
	0	01	0,41	0	1.32	0	0.3	0,43	0	0	0	0	0,19	0	0.28	0	0,37	0	0	0		0.72	0,19
NAEG NAVICULA ELGINENSIS	0	0,15	0,41	1,00	- v	0,5	0,15	0,43	0.09	F of	0,19	U	0,19		0.28	0,29	0	0.18	0,34	0,24		0,36	0,38
	Ō	0	0,41	ō	1 0	0,5	t õ	0,43	l-ð	ŏ		0.24	0.77	ł	0.28	- J	0.93	0.9	1 0 51	0.24		0.36	
NAN NAVICULA ANGUSTA	0	0	0	0	0	0		0	0	Ö		0		0	0	ō	0.00	0	0.5.	0,1	0	0	1 õ
NAPE NAVICULA PEREGRINA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,13		0	0	0	0	0	0	0	0,34	0	0	0	0
	0	7.74	7,05	2,44		8,71	3.29	4,57	1,62	1.8	4,26	0,47	2,59	1,8	16,5	2,46		3,96	1,86	5,76	6,67	1,99	6,42
NAPR NAVICULA PERMINUTA	ō	0.50	2,20	Ηŏ	2.15	2,90	<u></u>		0,81	0,51		− ″	누	1,05	0,14	0,87	F	0	1.02	1,76	0,2	0,72	1,13
	0	0	0	1,08	tõ	1 o	ا ا	1,96	- ř	- i	1.16	- o	0.58	H d	1.13		1	1			금광		
NASA NAVICULA SALINICOLA	23,5	47,4	19,3	6,5	2,19	10,2	6,29	1,52	2,88	5,4	3,68	4,03	6,9	2,86	27,7	1,59	3,17	12,2	14,4	28,2	26,7	21,9	28,7
	07	0,38	20		0	1.49	0	0	0,18	0	0	1,42	0	0,6	0	0	0	0	0	0,24	1,18	0,18	0
NAU NAVICULA MUTICA	0.2	0,30	2,9		0,88	1,24	1,5		0,09	0.26		0	0,19	0,3	0,28	0,43	0	1,08	0	0,24	0,39	0,18	
	0	- of	ō	Ťŏ	- ŏ	t - ŏ	1	0	H of	6	- d	6	0.96	6		0		L of					
NBOO NAVICULA BROCKMANII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Ō	0	0	0	0	Ō	0	0	1 o	1	ō	1 of	1 õ	ŏ
	0 79	0	0	0	0	0	0	0		Ō		0	0,19	0	0	0	0	0	Ō	0	0	0'	0
INCA NAVICOLA CARI	0,75	ہے۔	<u> </u>		L 0	0	0	0	0	0		<u> </u>	0,191	0.31	0	0	0	1 0'	1 0	1 0	0	1.08	0

· 计数据处理

	1	1																1					
Espèces NCAJ NAVICULA CARVAJALIANA	P160	P164	P172	P176	P182	P186	P188	P192	P202	P206	P212	P216	P226	P230	P234	P242	P248	P254	P258	P262	P264	P268	P272
NCHI NITZSCHIA ACCEDENS CHILENSIS	0,50	0,38	1,24	ŏ	0	0,5	0,0		0,18	0,39	0,55		0	0,9	0	0,74	0,13	0,72	1,69	1,06	1,37	-,10	0
NCHU NAVICULA CAPITATA HUNGARICA	0,39	0,38	0	0	0	1,24	0,6	0,43	0,09	0,26	0	0,24	0	0	0	0,29	0,56	0	0,34	0,47	0,39	1,08	0,75
NCI NAVICULA CINCTA	2 37	2,45	0.81	2,17	4,82	1,99	2.25	1,96	0,36	1,03	0,58	0,24	0,77	0,75	1,55	0,14	0,74	2,52	0,34	1,53	1,76	3,62	4,15
NCUA NITZSCHIA PERSPICUA	C	0 0	0	0	0	ō	0	0		0	0		0	0,3	0,11	Ō	ō	0	0	Ŏ	Ō	Ō	j
ND NITZSCHIA AMPHIBIOIDES	0.00	0	0	0	0	0	0	0		0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NDRA NITZSCHIA DRAVEILLENSIS	0,39			- 0	ö										0	0		0			0		
NF NITZSCHIA FRUSTULUM	0	0,38	0,21	Ō	1,32	Ō	0,3	0	0	0	0	0	2,88	0	0	0	0	0	0	0	0	0,54	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0			0		0	0	0
NHN NAVICULA NIVALIS			0	0	0	0.25	0.3							1 0	0.28	0	0.37		0.34		0.39	0.36	0.38
NI NITZSCHIA INCONSPICUA	0	0,19	0,62	0	Ó	0,5	0	0	Ó	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0		0	0	0	0	0	0		0	0		0	0	0 20	0	0			0	0 70	0,18	0
NIAR NITZSCHIA ARCHIBALDII		1	1.45			0				- 0	0			0.3	0,28	6	0	0	0		0,78	0	
NIBU NITZSCHIA BACILLUM	0	0,38	0	0,54	Ō	Ő	Ō	0	0	0	0	0	0	0	0,28	0	0	0	Ő	Ó	0	ō	Ö
	0,2	0	1,24	1,08	1,75	1,49	0,9	4,57	0,36	0	0,19	0,47	0,19	03	0,42	0,14	0,56	3,96	0,17	0.47	0 59	0.54	0,75
NIFO NITZSCHIA FONTICOLA	0,39	0,34	0,02	0,01	0	0,25	0,5	0	ō	0	0,15	0,47	0,19	0,5	0,71	0,14	0	0,10	0	0,47	0,55	0,72	1.0
NIH NITZSCHIA HANTZSCHIANA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NIHU NITZSCHIA HUNGARICA	5,33	1,51	6,85	8,67	8,33	11,9	4,79	15	1,98	2,7	4,46	1,42	2,78	4,66	4,8	9,71	3,54	9,71	29,7	20,1	10,6	11,2	5,28
NILA NITZSCHIA LACUUM	0,59	0,38	0	0	0	0	0	0,43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,18	0	0,59	0,39	0	0
NILI NITZSCHIA LIEBETRUTHII	2,17	1,32	3,11	1,63	1,32	0	16,2	3,7	75,8	2,44	3,29	0,71	0	5,86	0,56	6,23	4,47	1,26	15,6	1,18	1,57	0,54	2,83
NILN NITZSCHIA LINEARIS NINC NAVICULA INCOACTA	0.39	0.75	0	0	0	0	0	0		0		0	0	0	0			0			0		
NIOV NITZSCHIA OVALIS	0,55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Ō	0	0	0	0	0	0	0	0	0,12	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NIPE NITZSCHIA PERMINUTA	0,39	0,19	0	0	0	0.25	0	0	0,09			0.47	6	0	0,28	0.72	0	0.72	0.68	1.76	1.37	0.36	1.32
NIPU NITZSCHIA PUMILA	0	0	0	0	0	0	Ō	ō	Ō	0	Ŏ	0	Ŏ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 26	0	0	0	0	0 67
NISP NITZSCHA SPECIES NITR NITZSCHIA TROPICA		0	0,85	- 0		0,75		1 0	0	0,26	0	0	0	- 0		0,29	0,19	0,36	0,17	0	0,2	2,17	0,57
NIVA NITZSCHIA VALDECOSTATA	0	0,19	2,07	1,08	3,51	2,24	0,75	1,96	0,09	0,51	0,19	0,24	0,58	0,75	1,55	0,29	0,74	0,54	0,17	0,82	0,78	1,99	0,75
	0 20	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	<u> </u>	0	0	0,59	0,54	0
NLAN NITZSCHIA LANCEOLATA	0,39	0	0	0	0	0	6		0	0	0	0	0		0		0	0	0	0	0,39	0	
NLOG NAVICULA LONGIROSTRIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,72	0,34	0,24	0	0,36	0
	1 97	0		0	0	0	0	0 43	0 18	0	0	0	0	0	0	0.58		0 36	0	0,12	0	0	0
NMIM NAVICULA MINUSCULA MURALIS	0	0	0	0	0	0	0	0,43	0,10	ŏ	ŏ	ŏ	0,29	0	0,14	0,30	0	0,30	0	0	0	0	0
NMP NAVICULA MUTICOPSIS	0,2	0,19	2,7	0,81	0,88	0,25	0,45	0,87	0	0,77	0	0	0,48	0,3	0,28	0,29	0,56	0	0,68	0,35	0,2	0,54	0,75
NMV NAVICULA MUTICA VENTRICOSA			0	0	0	0	0	0	0,09	0	0,39	0	0	0	0,42	0	0	<u> </u>	0		0	0,36	0
NPAD NITZSCHIA PALEA DEBILIS	ŏ	0	0	0	0	0	0	ŏ	ŏ	0	ŏ	ŏ	ŏ	ŏ	ō	ō	0	0	Ö	0	0	0	- ō
NPB NAVICULA PARAMUTICA BINODIS	0	0,38	0	0	0	0	0	0	0	0,26	0,39	0	0,77	0,3	0,28	0	0	0	0,34	0,35	0,39	0,72	0,38
			0	0.54	0	0	0	0	0	0	0	0	0,19	0	0		0	0	0	0	0	0	0
NPP NAVICULA PUPULA	- 0	0	0,41	0	ō	0,5	ō	- ŏ	0	ō	ō	ŏ	0,19	0,3	0	0	0	0,36	0	0	0	0	0
NPRE NAVICULA PRAETERITA	0	- 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.24	0	0	Ö
NPYG NAVICULA PYGMEAE	0,39	0	0,41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,19	0	0	0	0		0 68	0	0		0,19
NRON NAVICULA ROTUNDA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Ö	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NRT NAVICULA CRYPTOTENELLA	0	0,38	1,04	0	0	1	2,1	0,43	0,54	0,77	0,39	0,95	0	0,15	11,6	3,91	2,05	6,65	7,46	4,35	7,84	4,88	2,83
NRUM NAVICULA SALINARUM	2,17	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0.18		0	0	0	
NSIN NAVICULA SUBINFLATOIDES	5,92	5,47	2,28	1,08	0,44	0,5	1,65	0	0,18	1,8	0,97	1,9	0,96	1,5	8,33	0,29	0	1,8	2,37	0	1,37	3,62	2,08
NSM NAVICULA SEMINULUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 34	0	0 39	0	0
NSO NAVICULA SUBROTUNDATA	0,99	2,08	4,36	5,15	3,51	4,23	1,8	0,43	0,18	0,9	0,39	0,95	0	0,6	0	1,74	0,56	2,7	3,39	1,76	2,16	3,07	2,83
NTGR NITZSCHIA GRACILIS	0,39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NTIT NITZSCHIA INTERMEDIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0	0	0	0		0	0	0
NTVA NITZSCHIA VALDESTRIATA	1,18	1,32	1,04	2,98	0,88	0,75	Ő	Ő	0,09	0,26	Ő	ō	Ő	0	0,28	0,14	0	0,36	0,17	0,35	0,39	0,36	0
OO OPEPHORA OLSENII	0	0	0	3,52	0	0	0	1,09	0	0	0,19	0	0,38	0	0	0	0	Ö	0	0	0	0	0
PORI FINNULARIA BREBISSONII PDIV PINNULARIA DIVERGENTISSIMA	0,99	0	0,41	0	0	0	0	0			0.39		0,19	0	0,14	0		0		0	0	0,18	0,38
PIB PINNULARIA BOREALIS	0,2	0	0	0,54	0,88	0,5	0	0,22	0	0,26	0	Ö	0,19	0	0,28	0	0,19	0,36	0,17	0,24	0	0,54	0,38
	0	0,94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PLSA PLEUROSIGMA SALINARUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	- 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RG RHOPALODIA GIBBA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RHBR RHOPALODIA BREBISSONII	0	0	0 71	0	0	0	0 15	0	0	0	0 30	0	0	0	0,56	0 70	0	0 18	0	0 12	0	0 18	0 19
RHGI RHOPALODIA GIBBERULA RHMU RHOPALODIA MUSCULUS	0	0	0,21	0	0,44	0	0.15		0	0	0.39		- 0	0		0,29	0	0,18	0	0,12	0,2	0,18	0,19
RHWE RHOPALODIA WETZELII	0,2	0,19	0,21	0	0,88	0	Ó	0,43	0	Ö	0	0,47	0,19	ō	0,14	3,04	0,37	0	1,69	0,24	0,2	0	0
SA STAURONEIS ANCEPS	0,39	0,38	0	2,71	88,0	0	0	0	0	0	0	0.24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SCHI SURIRELLA CHILENSIS	ō	- ŏ	ō	0	Ő	0	0	0	0	0	0	0,24	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0
SCPE SCOLIOPLEURA PEISONIS	0,39	0	0	0	1,32	1	0,3	0,65	0,09	0,26	0,19	0,24	0,38	0	0	1,16	0,19	0	0,17	0	0	0,36	0,19
SSUB SURIRELLA SUBSALSA STAW STAURONEIS WISLOUCHII	0	0	0,41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.37	0	0.51	0,35	0	0	0.38
STME STEPHANODISCUS MEDIUS	Ő	Ő	0	1,36	0,88	0	0	Ŏ	Ő	Ŏ	Ő	Ő	Ő	ŏ	ō	0	0	0	0	0	0,2	0	0
STNA STAURONEIS NANA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
STSP STEPHANODISCUS SPECIES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SUB SURIRELLA BISERIATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Ó	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBK SURIRELLA BREBISSONII KUETZINGII SUHO SURIRELLA HOFFI FRI	0.39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,74	0,54	0	0.24	0	0,54	0,38
SUO SURIRELLA OVALIS	0,79	0	0	1,08	Ő	0	0	0	ō	0	0	Ŏ	0,58	0	0,14	0	ŏ	0	0	Ō	_ 0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SUTA SURIRELLA UVATA UTAHENSIS	0.79	0	0.41	1,08	0.88	0.25	0,9	0.87	0,18	0.51	0.78	1.9	0.38	0,9	0,28	0,72	0	0,9	0,17	0,12	0	0	0,19
SYNA FRAGILARIA ULNA ACUS	0,39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Ŏ	0	0	0	0	Ő	0
	0,2	0,19	0	0,27	0	0,25	0	0	0	0	0	0,24	0	0	0	0,43	0,19	0	0	0,59	0,39	0	0,57
SYTE FRAGILARIA FASCICULATA	0	0,19	1,24	0,27	0,88	0,25	0,3	0	0	0	0	0	0	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0.54	0.38

Espèces	P276	P280	P284	P288	P292	P299	P305	P314	P316	P322	P329	P331	P341	P345	P351	P361	P367	P374	P384	P402	P409	P415	P421
	1 55	0 35		0 19		0.17	0.35	0.32	0.35	0.49	0.33	1.88	0.08	0.95	0.58	0,2	0.36		0.26	1-6	0.57	0,2	0,4
ACAR ACHNANTHES ARENARIA	0	0,00	Ö	0,10	Ō	0	0,00	0,51	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ACEI ACHNANTHES CLEVEI CLEVEI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,36	0	0	0	0	0	0
ACO ACHNANTHES COARCTATA	0		0,34				0,35	1 8	0			0		0	0,29	0	0,18	0,52	0,52	0	0		0,79
AD ACHNANTHES DELICATULA	19,6	11,4	17,9	11,5	14	5,61	6,76	5,47	14	33,2	17	16,1	1,44	13,7	12	21,6	14,5	17,9	40,8	13,1	9,61	16,2	6,75
	0 77		1 35	0.57	0	1 36		0 48	2 25	1 13	0.82	23	0.91		2.34	2.16	3.26	1,72	2.08	1.77	0.86	0.39	1.39
ALO ACHNANTHES LONGIPES	0,77	0	0	0,57	0	0	ŏ	0,10	0	0	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AMAT AMPHORA ATACAMAE	0	0	0	0,19	0	0,17	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0,43	0	0
AMCJ AMPHORA CARVAJALIANA	1.55	2.6	0.85	1.89	0.48	3.23	5.55	1.77	1.38	0.32	1.14	1.04	0.08		4.53	0.59	1.09	0.86	0,65	1,99	1,72	0,69	1,19
AMCU AMPHORA ACUTIUSCULA	0	0	0	0	0	0,10	0	0,32	0	0	0	0	0	0	0	0,39	0	0	0	0	0	C	0
AMD AMPHORA DELICATISSIMA	0	0 17	0	0	0	0	0	0	0	0,49	0,33		0,15	0	0	0	0			0 22	0,57	0,2	0
AMPA AMPHORA ATACAMANA	1,55	0.17	- o	0,13	0.24	0,00	0,87	1,25	0,52					Ö	Ö	1 õ	0,36	0,69	ō	0,22	0.23	Ŏ	0
AMPL AMPHORA PLATENSIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0			0		0.51		0 32									0		0		0,86		
ANS ANOMOEONEIS SPHAEROPHORA		0	ō	ŏ	0,24	0,51	Ť	0,52	Ťŏ	0.32		0,21		i õ	ō	ŏ	Ö		ō	0	0,29		ō
ANSC ANOMOEONEIS SPHAEROPHORA COSTATA	0	0	0	0	0 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AREI ACHNANTHES AFF RENEI	1,03	0,52		0,38	0,48		0.17	0,32	0,35		0,49				0,44	0,39	0,54	1,03	0,26		0		
AY AMPHORA LYBICA	0	0,17	0	0	0,48	0	0	0	0	0.32	2 0	0,21	0,15	0	0,15	0	0,18	0	0,26	0	0	0	0
	0 77	0.35	0	0 38			0 17		0						0		0 36				0		0
CAMPY CAMPYLODISCUS CLYPEUS	0,77	0,30	0	0,30			0,17	ا ة							0	6	0,30				0		0,4
CAW CALONEIS WESTI	0	0	0	0	0,24	0,34	0	0	0,35	0	0	0	0	1,42	0,15	0	0,18	0	0	0	0	0	0
CCP CYCLOTELLA PSEUDOSTELLIGERA	1 03		1,18	0			0 35							0 0 0 0	1 32		1 09		0 13	0 66	0.29		0 79
CDS COCCONEIS DIMINUTA	0	t õ	ŏ	ŏ		d	0,35	1 0						0,33	0		0		0,13	0.00	0,23	0,2	0.75
CHAE CHAETOCEROS SP.	1,8	9,52	36,7	33,3	16,1	1,36	1,21	0,64	25,3	10	25	8,77	81,7	13,7	8,48	6,08	11,1	13,8	16,3	32,7	31,3	46,5	33,7
CP COCCONEIS PLACENTULA CPE COCCONEIS PLACENTULA EUGLYPTA	0.26	0.35	0,51	0			0,35	0.32		0.32	2 0,16		0.08	1.42	0		1.09	0.34	0,13		0.29	0.2	0.6
CPL COCCONEIS PLACENTULA LINEATA	0,26	0	0	0	0	0	0	0	0	0 0			0	0	0,15	ō	0	0	0	0	0	0,29	0,0
CPS CYCLOTELLA SPECIES	0	0,52	0	4,54			- 0	0			2,45	3,55		2,37	0,73	0	0	2,75	0,13	1,33	0	0	0
CYAT CYCLOTELLA ATOMUS	- o	1 0	0	1 õ		1	6									0	0		6	0	0	Hö	0
CYCS CYCLOTELLA STELLIGERA	1,03	0,35	0,51	2,46	12,3	0	0,52	0,48	0,17	1,78	3,27	7,93	0,3	3,32	4,39	9,61	5,98	6,88	0,91	5,09	0,14	1,08	0,6
	0		0,34					0							0	0,39				0,44	0.14	0,1	0
CYML CYMBELLA SILESIACA	ō	ŏ	Ő	1 õ		1 õ	Ö	Ŏ	Ö				1 0	1 õ	Ö	ō	1 0	0,17	0	l õ		0,2	0
CYMP CYMBELLA PUSILLA	0	0	0	0	0	0,17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CYMT CYMBELLA MINUTA																0			0				
CYOI CYCLOTELLA STELLIGEROIDES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Ő	Ō	0	0	0	0	0	Ō	Ő	0
CYPA CYMBELLA PAUCISTRIATA	0	0	0	0	0	0	0	0,16	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CYSB CYCLOSTEPHANOS DUBIUS	0	6	6			1 8	6		0	0				0	0	0	0	0	0	1	0		0
CYST CYCLOTELLA STRIATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,21	0	0	0	0,2	0	0	0,26	0	Ö	0	0,4
DE DENTICULA ELEGANS DIPS DIPLONEIS PSEUDOVALIS	0,52	0,17		0			0,35		0				0,15	0	0,29	0	0	0,17	0.26	0,22	0,14	0,49	0,79
DS DIPLONEIS SUBOVALIS	0	0	0	0	0	Ō	0,35	ō	Ő	Ő	0,33	0	Ö	ŏ	0,29	0,2	Ő	6	Ö	0	6	- ŏ	ŏ
DSB DENTICULA SUBTILIS	0	0	0	0	0	0 17	0.17	0,32	0	0	0	0	0,08	0	0	0	0,18	0	0	0	0	0	0,2
EZ EPITHEMIA ADNATA	-0	0,05	1 õ	6	0	0.17	0	0,32	0,69					0	0	0,2	0,18		0,13	0,44	0,29	0,69	0
FARC FRAGILARIA ARCUS ARCUS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,65	0	0	0	Ō	Ő	Ő	Ō	0	0	0	Ö	0	0
FAT FRAGILARIA ATOMUS FR FRAGILARIA BREVISTRIATA	1 29	0.52		0 76	0	0.34	0	0	0 35		0 65	0.63	0 15	0	0	0	0	0,34	0 20	0 44	0,29	0	0
FCA FRAGILARIA CAPUCINA	0	0,35	0,34	0,70	0,96	0,34	0	0.32	0,35	6	0,85	0,03	0,13	0	1,02	0,2	0,54	0	0,39	0,44	0,14	0.39	0.4
FCAV FRAGILARIA CAPUCINA VAUCHERIAE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FE FRAGILARIA ELLIPTICA FLL FRAGILARIA LEPTOSTAURON LEPTOSTAURON	0	0.35	0	0.38	0	0.34		0,64			0				0 29	0,2	0 36	0 17	<u></u>	0,44	0 14	0,29	0
FP FRAGILARIA PINNATA	3,61	5,88	6,26	3,21	1,45	1,19	1,39	2,41	0,35	9,39	2,29	3,13	0,91	0,95	2,63	3,33	3,26	6,54	2,73	1,77	0,29	1,18	2,38
FRAC FRAGILARIA CONSTRUENS	0	0	0 74	0	0	0	0 25	0	0,17	0	0	0	0	Ö	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FRCV FRAGILARIA CONSTRUENS VENTER	0	0	0,34	0	0,24	6	0,35	0,0	0,35	0	0	0,21	0,15	0	0,73	0	0,36		0,26	1,55	0,29	0,2	0,2
FRF FRUSTULIA FRENGUELLII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FRPU FRAGILARIA PULCHELLA FRS FRAGILARIA SPECIES	0	0,17	1,02	0	0,48	0,17	0,17	0,48	0	0,49	0,33	0	0,15	0	1,46	0,2	0,36	0,34	0,26	0,66	0,14	0,2	0,4
FSUB FRAGILARIA SUBSALINA	0	ō	ō	0	0,48	ŏ	0	0	ŏ		0	Ö	0	4,27	0	5,29	3,07	0	0,30	7,3	2,73	1,96	- 0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GOMA GOMPHONEMA GRACILE	0	0	0.68	0		0	0	0	0	0			0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0
GOME GOMPHONEMA EXIGUUM	0	0	0	0	Ő	0	Ő	0	ō	ŏ	0	ō	ō	0	0	0	0,72	0	0	0	0	0,1	0,4
	0,26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4
GOSP GOMPHONEMA SPECIES	ō	ő	0	0	- ů	0	0	0	0	0		0	0	- 0	0	0	0	0	0	0.44	0	0	0
GP GOMPHONEMA PARVULUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HA HANTZSCHIA AMPHIOXYS	0,77	1,73	0.34	3,4	1,2	0,17	1,04	0,64	0,87	4,53	0,98	1,67	0,76	0,47	4,68	1,18	3,26	1,2	1,95	1,33	0,86	0,98	0,4
HADI HANTZSCHIA DISTINCTEPUNCTATA	0	0	0	0	0	0,11	0	0.0	0	0	0,10	0,00	0,00	0.47	0,44	0,35	0.54	0	0	0,44	-0	0,1	0
MATA MASTOGLOIA ATACAMAE	0	0,52	0	0	0,72	0	0	0	0	0	0,33	1,04	0	0	0,44	0,2	0,72	0,17	0	0	0,14	0,2	0
MDAN MASTOGLOIA ELLIPTICA DANSEI	0	- o	ő	0	0	0	0	0	0	0	- 0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0
MESP MELOSIRA SPECIES	0,26	0	0	0	0,24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Ō
NACC NAVICULA CAPITATA CAPITATA NACL NAVICULA CAPITATA LUENEBURGENSIS	0,52	0	0	0	0	0,34	0,35	0	0,35	0	0	0	0	0	0	0	0,36	0,69	0	0	0	0	0,4
NAE NAVICULA MEDIOCONVEXA	0,26	0	0	0	0	0	0,69	0	0.35	0	0	0	0	0	0.44	0,39	0	0	0	0	0	0	0
NAEG NAVICULA ELGINENSIS	0	0,69	0	0	0,24	0	0,17	0,16	0	0,16	0,33	0	0	0,95	Ō	0	0	0,69	0	0	0	0	0
NAHA NAVICULA HALOPHILA	0	1,04	0,51	0,38	0,24	0,17	0	1,29	0.35	0,32	1,14	2.09	0.08	2.37	1.46	2.35	3.44	0.69	0	0.88	0.14	0.29	0 4
	0	0,35	0	0	0	0	0,69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,17	0	0	0	0	0
	2 84	0	0	3 70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NAPR NAVICULA PERMINUTA	0,52	0,17	1,18	0,38	0,48	0,68	1,39	3,54 0	0,69	0,81	0	0	0,08	0	0.29	0,98	0,72	0,17	1,56	1,33	2,44	2,26	2,38
NARA NAVICULA CAPITATORADIATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NAKE NAVICULA RECENS NASA NAVICULA SALINICOLA	18	147	6.09	4 16	5.78	26	30 7	0	13.1	2 75	0 40	0.84	0	0	0 58	0	0	0.52	0	0	15 5	0	0
	0	1,21	0	0	2,41	0	0,35	0,32	0	0,32	0,33	0,42	0	0	0,29	0,98	0,91	0,52	0,26	1,35 C	13,5	1,18	0,99
	0,26	0,17	0,34	0,38	0	0,34	0,52	0,48	0	0,65	0,33	0	0,45	0	0,73	0,2	0	0	0	0	0,29	0	0,4
NBER NITZSCHIA BERGII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0
NBOO NAVICULA BROCKMANII	0	0	0	0	0	Ő	0	0	0,35	0	0	0	0	0	Ő	0	0	0	0	0	0	0	0
					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0

Espèces	P276	5 P280	P284	P288	B P292	P29	9 P30	5 P314	P316	6 P322	2 P329	P331	P341	P345	P351	P361	P367	P374	P384	P402	P409	P41	5 P421
NCAJ NAVICULA CARVAJALIANA	9,79	2,6	0	1,32	2 1,45	4,2	5 7,45	5 3,05	5 0,87	0,49	0,33	3 0,63	0,08	0,95	1,17	0	0,18	0,34	0,52	0,44	0,86	0,55	1,98
NCHI NITZSCHIA ACCEDENS CHILENSIS	1.03	0,87	0.51	0,19	0,48	2,5	1,21	2,41				0,42	2 0 08		0,58	0 59		0,17	0,39		0,14	+	
NCI NAVICULA CINCTA	13,4	1,9	0,34	0,19	1,2	2 1,30	5 1,56	0,48	1,38	0,32	1,47	2,51	0,23	2,37	2,63	4,31	1,45	1,72	2 0,91	1,77	1,43	0,39	0,4
NCOM NITZSCHIA COMMUNIS	0,26	6 0	0) () () (0,16	1,04	0	0,49	9 (0 0	0	0	0	0	0	0 0	0	0,14	C) (
NCUA NITZSCHIA PERSPICUA									2	2											0		
NDEP NAVICULA DECIPIENS		ō			0,48			0,32	2 0		0,33	3 0,21	0,08	0,47		0,39					Ŏ	Ť	
NDRA NITZSCHIA DRAVEILLENSIS	0	0 (() (0 0) (0 0	0 0	0 0) () (0 0	0	0	0	0	0 0	0	0	0	C	
												0,21	0	0,47	0,15	0				0,22		<u> </u>	
NHEU NITZSCHIA HEUFLERIANA						f	<u></u>		0.35			<u></u>		0	0,53	0				0,22	0	t	
NHN NAVICULA NIVALIS	Ċ	0 0) (0				0	0	0,16	6 0,42	2 0	0	0	0	0	0	0	0	0	C	0 0
		0 0						0,16				0,42	2 0	0	0	0			0	0	0,14	L.	
NIAR NITZSCHIA ARCHIBALDII			1 2		145			0 16		0 0 32	1.8	0.42	03	 	1.32	0.59	1.09		0.13	0		ا د	0.4
NIAU NITZSCHIA ACICULARIS	0	0	0	0,38	0,48	0	0	0	0	0	0,65	0,84	0	0	0	0	0,36	0	0,13	0	0,29	C	
	0	0 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 0	0 0	0,15	0	0,15	0	0	0	0	0	0	0	
NICC NITZSCHIA COMPRESSA COMPRESSA NIEP NITZSCHIA EPITHEMOIDES EPITHEMOIDES	1,03	0 1,56	0,85	0.38	2,89	204	1 04	145	0,52	1,62	0,98	0,63	0,15	0,47	1.40	0,98	0.18	3,44	2,08	1,99	0.43	0,88	0,6
NIFO NITZSCHIA FONTICOLA	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 0
NIH NITZSCHIA HANTZSCHIANA	0	0	0	0	0	C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,26	0	0	0	0
NINU NITZSCHIA HUNGARICA	9,02	6,75	4,91	7,75	8,43	6,46	3,64		0	9,71	3,1	8,35	1,21	0	7,48	- 11	8,15	9,29	7,55	6,19	4,59	6,38 C	0 0
NILA NITZSCHIA LACUUM	Ő	0	ŏ	0	Ő	ō	i õ	l õ	Ő	0	ō	0,63	ŏ	Ŏ	Ő	- 0	Ō	ō	0	0,44	0	0	0,4
NILI NITZSCHIA LIEBETRUTHII	0,52	10,9	4,23	3,97	2,89	4,25	2,6	3,22	7,96	8,41	16,2	6,05	5,07	0	2,63	2,94	4,71	6,37	2,6	2,65	7,32	2,85	12,3
	0	0	0	0	0				0					0	0	0	0				0		
NIOV NITZSCHIA OVALIS	Ő	0 0	Ő	0	0	1 õ	ŏ	i õ	Ť	1 õ	0	ō	ō	ŏ	Ő	0	0	Ō	0	ŏ	0	Ō	ō
NIPC NITZSCHIA PALEACEA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,29	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,15	0	0	0	0	0		0 22	0,29	0	0
NIPU NITZSCHIA PUSILLA		0,17	0,85	1,13	1,2	1,36	1,73			0	- 0		0	- 0	0	0		0	6	0,22	0	0	0,0
NIRS NITZSCHIA ROSENSTOCKI	Ő	0	0	0	L Ö	0	Ő	. 0	Ď	Ó	Ő	Ő	Ó	0	0	Ó	Ő	0	Ó	Ő	0	0	0
NISP NITZSCHIA SPECIES	0,52	0,17	0	0,19	0,24	0	0,69	0,96	0	0	0	1,67	0	0.47	0	0,98	0,54	0,17	0	0,44	0	0	0
NUR NITZSCHA TROPICA NIVA NITZSCHA VALDECOSTATA	2.06	0.17	1.18	0.38	2.17	0.34	1.04	0.96	0.69	0.32	0.49	0.63	0.08	0	0.73	1.57	0.54	0.86	0.52	0.22	0.29	0.49	0.4
NLA NAVICULA PSEUDOLANCEOLATA	1,03	0	0	0	0	0	0,69	0	0,35	0,16	0	0.42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0 69	0		0	0 85	0 17	0	0	0	- 0	0	0	0	0	0	0	0 17	0	0	0,29	0	0 79
NLOZ NITZSCHIA LORENZIANA	0	0,05	0	6	0	0,00	0,17	ŏ	ő	ŏ	0	- 0	ŏ	Ő	0	0	- 0	0,17	0	Ō	0,07	0	0,70
NLSA NITZSCHIA LEVIDENSIS SALINARUM	0	0,17	0	0,38	0,48	0	0	0	0	0,16	0,33	3,97	0,08	1,9	2,05	2,94	3,62	4,99	0	0,66	0	0,59	0
NMIM NAVICULA MINUSCULA MURALIS	0 26	0 35	0.34	0 38	0	0	0	0.48	0 35	0	0 33		0	047	073	02	0,18	034	0 13	0	0 14	07	0
NMV NAVICULA MUTICA VENTRICOSA	0,28	0,35	0,34	0,38	0,72	0	0	0,48	0,35	0	0,33	0	0,08	0.47	0,75	0,39	0,18	0,04	0,15	0	0	0,2	Ő
NPA NITZSCHIA PALEA	0	0	Ó	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0
	0	00	0	0	0	0	0 35	0 16	0	0	0	0	0	0	0 20	0	0 18	0	0 13	0	0 20	0	0
NPB NAVICULA PARAMUTICA BINODIS	- 0	0	0	0	0,48	0,68	0,35	0,16					0	0	0,29	0,2	0,10	0	0,13	0,44	0,29	0	0
NPOR NAVICULA PORIFERA PORIFERA	Ŏ	0	0	Ő	0	0	0	0	ō	ŏ	0	Ō	Ō	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0,52	0	0	0	0,34	0	0,32	0	0	0	0	0	0	0	0	0,18	0	0	0	0	0	0
NPRE NAVICULA PRAETERITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0.13	0	0	0	
NRA NAVICULA RADIOSA	0	0,69	0	0	0	ō	0	ŏ	0	0	0	Ő	0	0	Ő	0	Ő	0	0,10	0	Ō	0	ō
NRON NAVICULA ROTUNDA	0	0	0	0	0	0	0	Ö	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NRT NAVICULA CRYPTOTENELLA	3,09	2,94	1,02	2,27	1,2	16	12,3	13,2	5,19	1,46	0,33	0,42	0,23	0	0	0	1,27	0,86	0,52	0	4,3	3,24	5,95
NS NAVICULA SP		ŏ	ŏ	0	0	Ő	1,04	0	0	0	ō	0,42	ō	0	0	0	- 0	ŏ	0	ō	0	0	Ő
NSIN NAVICULA SUBINFLATOIDES	6,44	0	0,51	0	0,96	0,51	0,35	4,02	0,17	0	0	0	0	0	0,29	0,2	0,91	0	0	0,44	0,86	0,39	0,2
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,58	0	0	0	0	0,44	0	0	0
NSP2 NAVICULA SPECIES 2	2.84	2.77	1.02	0.19	0.24	3.74	1.39	3.05	1.21	1.29	0.49	0	0.15	1.42	1,32	0,2	0.54	0	0,39	1,77	0,43	2,94	0,79
NTGR NITZSCHIA GRACILIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Ö	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NTIT NITZSCHIA INTERMEDIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NTVA NITZSCHIA VALDESTRIATA	0.77	0,17	0	0	0.72	0.17	0	0	0	0.49	1.14	0.21	0,08	0	0,58	0,2	- 0	0	0	0	0,14	- 0	0
OO OPEPHORA OLSENII	0	0	0	1,13	0	0	0	0	0,69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,44	0	0	0
	0,26	0	0	0	0	0	0	0	0	0.32	0,65	0	0,08	0	0	0,39	0	0,69	0	0	0	0	0,2
PIB PINNULARIA BOREALIS	0.52	0	0.17	0	0.24	0	0	0	0	0.16	0	- 0	0.15	2.84	0.15	0	0.36	0	0	0	0.29	0	0.2
PIDE PINNULARIA DIVERGENS ELLIPTICA	0	Ō	0	0	0	0	0	Ő	0	0	0	0	0	0	0	Ő	0	0	0	0	0	0	0
PLSA PLEUROSIGMA SALINARUM	0	0	0	0	0	0	0	0,16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0,38	0	0	0.17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RHBR RHOPALODIA BREBISSONII	0	Ő	0	Ő	Ő	0	0	0	Ō	ō	Ő	Ő	0	0	Ő	Ō	Ő	0	0	0	0	0	0
RHGI RHOPALODIA GIBBERULA	0	0,17	0,34	0	0,24	0	0,17	0,16	0,35	0,81	0,16	0,63	0,61	2,84	2,05	1,57	0,54	2,41	1,56	0,88	0,14	1,37	0,2
	0,26	0 + 7	0,17	0 95	0 24	0,17	0	0	0 35	0,32	0 33	0,42	0 23	0,95	0,73	0	0 36	0	0,13	0	0	0,1	0,2
SA STAURONEIS ANCEPS	0	0,17	0,04	0,33	0,24	0,17	0	0	0,35	0,32	0,49	6,26	0,38	9,48	0,15	4,31	0,36	1,03	0,20	ō	-0	0	0,2
SBRI SURIRELLA BREBISSONII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,47	0	0	0	0	0,39	0	0,34	0	0	0,72	0	0
SCHI SURIRELLA CHILENSIS	0.52	0	0 51	0 19	0,48	0	0 17	0 64	0	0	0	0 42	0	0,47	0	0,39	0,18	0,17	0 13	0	0	0	0
SSUB SURIRELLA SUBSALSA	0,52	0,85	0,34	0,19	0,24	1.02	0.17	0,04	0,17	0,32	0,65	0,42	0			0	0	0	0,13	0	-0		0
	0	0	0	0,57	0	0	0,35	0	0	0	0	0,63	0	0	0	0,78	0	0	0	0	0	0	0
STME STEPHANODISCUS MEDIUS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 2	0
STRO STEPHANODISCUS ROTULA	0	ő	0	0	ō	0	0	0	0	0	- 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0
STSP STEPHANODISCUS SPECIES	0	0	0	0	0	0	0	0	Ō	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SUB SURIRELLA BISERIATA	0	0 17	0 74	0 76	0 49	0 17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0
SUHO SURIRELLA HOEFLERI	0	0,17	0,54	0,78	0,48	0,17	0	0	0	0,16	0	2,51	0,08	3,79	1,02	1,18	3,26	3,79	0	0,44	0	0,29	0,2
SUO SURIRELLA OVALIS	0	0	0	0	0,48	0	0	0	0	0	0	0,42	0	0	0	0	0,18	0	0	0	0	0	0
SUR SURIRELLA SP	0.26	0 35	0 17	0	0 73	0	0 17	0	0 87	0,49	J.33	0,63	0 15	0	0	0	0	2 24	0	0	0 20	0	0
SUWE SURIRELLA WETZELII	0,20	0,35	0,17	0,57	0,72	0,17	0,17	0	0.35	0.32	0.33	2,71	0,15	0.95	0	<u>∡,55</u> 0	0.18	2,24	0.26	1,33	0,29	0,2	0,2
SYNA FRAGILARIA ULNA ACUS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Ő	0	0	0
	0,26	0,17	0,17	0	0,48	0,34	0,17	0,16	0	0	0	0,21	0,15	0,47	0,29	0,2	1,09	0	0	0	0,14	0	0,2
SYTE FRAGILARIA CAPUCINA PERMINUTA	0 77	0	0	0 19	0.24	0 17	0	0	0	0	0	0 4 2	0 08	0	- 0	0 2		0 17	0 12	0	0	0	0

Espèces	P427	P433	P439	P445	P449	P455	P463	P471	P479	P483
ABOL AMPHORA BOLIVIANA	0	0	0	0	0	0,12	0	0	0	0
ABR ACHNANTHES BREVIPES	0	0,77	0,79	0,48	0,54	0	0,11	0,25	0,69	0
ACAR ACHNANTHES ARENARIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ACEI ACHNANTHES CLEVEI CLEVEI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ACO ACHNANTHES COARCTATA	Ó	0.39	Ó	0	0	0	0	0	0	0
ACRE ACHNANTHES REVERSA	0.88	0	0	0	Ō	0.23	0	0	0	0
AD ACHNANTHES DELICATURA	15.5	9.63	15.8	17.9	4.52	0.12	0.57	0	2.99	0.24
	6 78	0,00	2.57	1.58	0.54	0	0	Ő	0	0.24
ARSP ACHNANTHES SP	0,70	- ŏ	1.0/	0.16	0,04	0.23	0.11	- ŏ	0.46	1 43
ALA ACHNANTHES LONCEDER	0.22		- ŏ	0.10	ہ ا	0,20	0,77	ň	0,40	0
ALO ACHNANTHES LONGIPES	- ě	- ě	- ě	<u>ہ</u>	- š	- õ		Ť	- ŏ	
AMATAMPHORAATACAMAE	L v		- v	<u>د</u>			0.72	0.12	0.46	0.24
AMCJ AMPHORA CARVAJALIANA	0	0 77	0	0	0 70	1 04	0,23	0,13	0,40	0,24
AMCO AMPHORA COFFEAEFORMIS	0,88	0,77	1,19	0,40	0,72	1,04	3,00	0,5	000	0,24
AMCU AMPHORA ACUTIUSCULA	0	0,58	0,2	0	0	1,38	0,23	0,13	0,92	0
AMD AMPHORA DELICATISSIMA	0	0	0	0	0	0,46	0,23	1,66	0	0
AMPA AMPHORA ATACAMANA	0	0,39	1,19	0,79	0,18	1,04	0,57	3,01	1,15	4,76
AMPE AMPHORA PEDICULUS	0.44	0	0	0	0	0,23	0	0	0	0
AMPL AMPHORA PLATENSIS	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0,92	0
AMPM AMPHORA ATACAMANA MINOR	0	0	0,99	0	0	0	1,26	5,76	0	0
AMVN AMPHORA VENETA	0	0	0,59	0	0	0,58	0,11	0,5	1,38	0
ANS ANOMOEONEIS SPHAEROPHORA	0	0	0	0	0	0	0	Ö	0	0
ANSC ANOMOEONEIS SPHAEROPHORA COSTATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AREI ACHNANTHES AFF RENEI	1,31	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0,24
ASPE ACHNANTHES SPECIOSA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,24
AY AMPHORA LYBICA	0.22	1.16	0.4	0.32	0,72	0.12	0	0	0.23	0.24
BRAC BRACHYSERA APONINA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CAB CALONEIS BACILLUM	0.44	Ō	0.4	0	0	0	0.23	0	0	0.48
CAMPY CAMPYLODISCUS CLYPEUS	0	0	1 0	Ō		0	0	0	0	0
CAW CALONEIS WESTIL	0.22		t - č	t õ		1 ň	ň	ŏ	0.46	0.24
	0,11	ň	t ő	Ť	t ă	†ň	ň		0,40	
	1 75	0.20	<u>ö</u>	l õ	ا				0.02	
	1,/5	0,39	+	1	<u>ب</u>	÷ ا		- °	0,92	÷_
CUS COLCONEIS DISCOLUS	0	0,39	6 40	1 45 0	1	1000	0	0	0	
CHAE CHAE TOCEROS SP.	27,4	8,86	0,15	45,3	/1.8	0,12	0,34	0,13	6,44	1,67
CP COCCONEIS PLACENTULA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CPE COCCONEIS PLACENTULA EUGLYPTA	0,66	0	1,58	0,32	0,18	0	0,23	0	0,46	0,48
CPL COCCONEIS PLACENTULA LINEATA	0	0,39	0	0	0	0	0	0	0,46	0
CPS CYCLOTELLA SPECIES	1,31	1,73	1,39	1,27	1,08	0	0,46	0,13	0	0,48
CT COCCONEIS THUMENSIS	0,44	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CYAT CYCLOTELLA ATOMUS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CYCS CYCLOTELLA STELLIGERA	10,1	19,3	17	3,17	2,53	0,69	0,11	0	2,07	0,95
CYMC CYMBELLA CISTULA	0	0	0	0	0	0	0,11	0	0	0,24
CYMG CYCLOTELLA MENEGHINIANA	0	0	0	0	0	0	0	Ó	Ö	C
CYML CYMBELLA SILESIACA	0	0	Ó	0	0	0	0	0	0	0
CYMP CYMBELLA PUSILLA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0.39	0	i o	Ō	0	0	t ö	1 	
CYOC CYCLOTELLA OCELLATA	0.22	0,00	0	0	Ő	Ő	Ő	0	- ŏ	
	0,22	1 ő		ň	- ŏ	ň		1 ň	tő	t –
	 ă	ا	— ڏ					0.13	ا م	<u> </u>
			<u>ا</u>					0,13		
CTRO CTCLOTELLA STELLIGERA ROBUSTA	1 °	0.20				0	0			
CYSB CYCLOSTEPHANOS DUBIUS	- <u>v</u>	0,39	0 70	1 7 00	0	0		0	0	
CYSI CYCLOTELLA STRIATA	0,44	2,31	0,79	1,29	6,87	0,23	0	0,5	1,38	0,24
DE DENTICULA ELEGANS	0	0	0	0	0	0,58	0	0,38	0	0
DIPS DIPLONEIS PSEUDOVALIS	0	0	0,4	0	0	0	0,23	0	0	0
DS DIPLONEIS SUBOVALIS	0	0,19	0.4	0	0	0	0	0	0	0
DSB DENTICULA SUBTILIS	0	0	0	0,32	0	0,23	0,11	1,25	0,69	0
ENTO ENTOMONEIS PALUDOSA	0	0	Ö	0,16	0	0	0	0	0	0
EZ EPITHEMIA ADNATA	0	0	0	0	0	0	0,23	0	0,23	0
FARC FRAGILARIA ARCUS ARCUS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FAT FRAGILARIA ATOMUS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,48
FB FRAGILARIA BREVISTRIATA	0,66	2,31	0	0	0	0,46	0,11	0	0,69	0
FCA FRAGILARIA CAPUCINA	0.44	1,16	0	0	0	0,23	0	0	0	1.43
FCAV FRAGILARIA CAPUCINA VAUCHERIAE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FE FRAGILARIA ELLIPTICA	1,31	0	0	0	0	0,23	0,46	0	0	0,71
FLL FRAGILARIA LEPTOSTAURON LEPTOSTAURON	0	0,39	0	0	0,36	0	0,46	0	0	
FP FRAGILARIA PINNATA	4.6	5.01	13.9	0.95	1.08	0.23	0.23	0.5	1.38	1.19
FRAC FRAGILARIA CONSTRUENS	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0	
FRAS FRAGILARIA CONSTRUENS SUBSALINA	0.88	5 39	1 õ	0.63	Ť	0.23	011	- ň	t ő	0.24
FRCV FRAGILARIA CONSTRUENS VENTER	10,00	0,00	Ť	0,00	1 õ	0,10	0,11	Ť	ا	0,24
ERE ERUSTINIA ERENGUELLI		Ť	ň	- ŏ	t ő	Ť			L ő	
	t å	<u>ہ</u>		1 õ	0 18		- Ň	L õ	1000	
	 ĕ	104	0,2		0,10	207			0,23	0.40
	ا «	10,4				2,07	L v			0,40
		<u> </u>		<u> </u>						+
	+ °		t š							<u> </u>
	+ ∽°				1 0	1 0		+ °	+ <u>°</u>	<u> </u>
COME COMPHONEMA ANGUSTATUM	<u>+</u>	1 0				1 0			÷ ا	
COMI COMPHONEMA EXIGUUM	1 0	<u>+</u>			1 0			- l	1 0	<u> </u>
COMT COMPHONEMA ANGUSTUM	<u>∔</u> ≜	1 0				0		+ <u>°</u>		<u> </u>
COSP COMPHONEMA MINUTUM	1 _	<u>و</u>	<u> </u>	<u> </u>			<u>و</u>	1 °	0,69	1-9
GOOP COMPHONEMA SPECIES	<u>∔</u> ≜	<u>ج</u>				+ <u>°</u>	ļ	<u> </u>	<u>م</u>	<u> </u>
GP GOMPHONEMA PARVULUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<u> </u>
	0,44	0,96	0,59	0,32	0,36	0,23	0	0	1,15	0,24
HA HANTZSCHIA AMPHIOXYS	0,22	0	0,2	0,16	0,18	0,58	0,23	0,13	0	0,95
HADI HANTZSCHIA DISTINCTEPUNCTATA	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0
MATA MASTOGLOIA ATACAMAE	0,22	1,73	0,2	0,48	0	0	0	0	0	0
MDA AULACOSEIRA ALPIGENA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MDAN MASTOGLOIA ELLIPTICA DANSEI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MESP MELOSIRA SPECIES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NACC NAVICULA CAPITATA CAPITATA	0	0	0	0,32	0,54	0	0	0,13	0,46	0
NACL NAVICULA CAPITATA LUENEBURGENSIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NAE NAVICULA MEDIOCONVEXA	0,22	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NAEG NAVICULA ELGINENSIS	0	0,39	0	0	0	0,23	0,23	0	0,46	0,71
NAGN NITZSCHIA AGNITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
NAHA NAVICULA HALOPHILA	0,44	1,16	0,99	0,32	0,72	0,12	0,46	0,13	0,46	0.46
NAN NAVICULA ANGUSTA	0	0	0	0.16	0	0	1 0	0	0	1 0
NAPE NAVICULA PEREGRINA	1 0	1 0		0	0	0	1 7	i n	T n	1-0
NAPH NAVICULA PHYLLEPTA	1 0	1 - 6		0.16	0.36	2.47	0 22		2.76	1 67
NAPR NAVICULA PERMINUTA	0.22	Ť	1	1	0,00	0 46	0.46	1 30	1 30	0.04
NARA NAVICULA CAPITATORADIATA	1 0	†				1 0	- ⁰		~	0,30
NARE NAVICULA RECENS	Ťň	Ť			Ť		1			
NASA NAVICULA SALINICOLA	241	1 35	4 55	3 01	0 18	647	68.7	127	207	1
	1	1 24	7,00	1 27	0.54	2 70	0 22	1 1 17	0.60	214
	104	0 20	1	1.21	0,54	0.00	0,23	1,13	0,09	4.14
	0,44	0,39			0,30	0,23	t –	1	1 -	<u> </u>
NBER NITZSCHIA BERGII	1 ~	t	t Å		1	1	t Å		1	<u>+</u> ;
	1 ~	1	1				t –	1	÷ +	†;
	1 0	1 °	1 0	H			1		<u>ہ</u>	÷
NBUL NITZSCHIA FRUSTULUM RUUNHEIMIANA	0	0								

	B 105		B ior			B 101				
	P427	P433	P439	P445	P449	P455	P463	P471	P479	P483
	0,56	0,39	0,59	0,63	0,18	4,72	1,03	4,64	/,36	
	0 22	0,39	0 00	0.16	0.36	0,23	0,57	1,38		0.40
NCI NAVICULA CINCTA	1.09	0.96	0.99	0.79	0.36	0.46	0.57		3.68	5.71
NCOM NITZSCHIA COMMUNIS	0	0	0	0	0	0,69	0	0,13	0	0
NCUA NITZSCHIA PERSPICUA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ND NITZSCHIA AMPHIBIOIDES	0	0	0	0	0	0	0	0	0,46	0
	0	0	0		0,18	0				0,24
NF NITZSCHIA FRUSTULUM	1 0	0	0	0	0		0.11		0	6
NGCF NITZSCHIA GRACILIFORMIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0,46	0
NHEU NITZSCHIA HEUFLERIANA	0	0	0	0	Ö	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0,44	0	0	0	0	0				0,24
NIAR NITZSCHIA ARCHIBALDII	- ŏ	0	ő	ŏ	- 0	ŏ	0,11	ŏ	ŏ	0,24
NIAU NITZSCHIA ACICULARIS	0	0	0	0.32	0,18	0	0,23	0	0	0
NIBU NITZSCHIA BACILLUM	0	0	0	0	0	0	0,23	0	0	0
NICC NITZSCHIA COMPRESSA COMPRESSA	1,97	3,28	2,77	0,95	0,18	0	0	0	2,53	0,95
	0,22	0	0	0,16	0	0,81	0,68	0,88	0,69	0,24
NIH NITZSCHIA HANTZSCHIANA	t õ	0	0	0	0	0	ŏ	- ů	ō	- ŏ
NIHU NITZSCHIA HUNGARICA	3,28	4,05	7,72	2,06	0,54	0,35	0,23	0,5	5,52	4,52
NIIN NITZSCHIA INCOGNITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NILA NITZSCHIA LACUUM	0	0,19	0	0	0	0,12	0,23	0	0	0
	1,31	0,58	1,19	1,27	0,36	0,23	0	0	1,84	- 0
	- ŏ	ŏ	ŏ	- ŏ	0	ő	0		ő	0
NIOV NITZSCHIA OVALIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NIPC NITZSCHIA PALEACEA	0	0	0	0	Ō	0	0	0	Ó	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0,95	0,36	1,5	4,11	0,63	3,22	0,95
	0	0	0	0	0	0	0		0	0
NISP NITZSCHIA SPECIES	Ő	ŏ	0,4	0	0	0,12	0,11	0,25	0,92	2,86
NITR NITZSCHIA TROPICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NIVA NITZSCHIA VALDECOSTATA	0,44	0,39	0,59	0	0,18	0	0,23	0	0,92	2,86
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.22	0		0	0	-0	0 23	ő	0	0
NLOG NAVICULA LONGIROSTRIS	0,22	0	Ő	ō	Ő	1,04	1,48	0,25	0,46	0,24
NLOZ NITZSCHIA LORENZIANA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NLSA NITZSCHIA LEVIDENSIS SALINARUM	0,22	1,16	0,79	Ö	0	0	0	0	0	0,48
NMIM NAVICULA MINUSCULA MURALIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0,19	- 0	0,16	0,18	0	0,23		0,40	19
NPA NITZSCHIA PALEA	ŏ	Ő	0	Ő	0	Ő	ő	Ö	0	0
NPAD NITZSCHIA PALEA DEBILIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NPB NAVICULA PARAMUTICA BINODIS	0.44	0,39	0,4	0	0	0,12	0,11	0	0	0,71
INPDE NAVICULA PSEUDOLANCEOLATA		0	0	0	0	0	0	0	- 0	0
NPP NAVICULA PUPULA	ŏ	ŏ	ō	Ő	0	0,46	Ō	- 0	0,23	Ő
NPRE NAVICULA PRAETERITA	0	0	Ó	0	0	0	0	0	0	0
NPYG NAVICULA PYGMEAE	0	0	0,4	0	0	0	0,23	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0	0
	0.44	0	04	0.16	0	2 99	24	533	2 99	0.48
NRUM NAVICULA SALINARUM	0,44	ŏ	0,4	0,10	ō	2,00	0	0	2,00	0,40
NS NAVICULA SP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NSIN NAVICULA SUBINFLATOIDES	0,66	0,77	0,4	0,95	0	0,58	2,97	0,13	0,46	29
NSM NAVICULA SEMINULUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.88	1 03	1 08	0 16	0	- 15	1 14	361	4 37	643
NGP2 NAVICULA SPECIES 2	0,00	1,35	1,30	0,10	0	0.12	0	0,00	0	0,45
NTIT NITZSCHIA INTERMEDIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NTS NITZSCHIA SIGMA	0	0	0	0	0	0	0	Ö	0	0
NTVA NITZSCHIA VALDESTRIATA	2,41	0,77	1,58	0,16	0	0,23	0	0	0	0
	0	0,39	0	0	0	0	0	0 13	0	0
PDIV PINNULARIA DIVERGENTISSIMA	0	0	0	0	0	0	0	0,13	0	0
PIB PINNULARIA BOREALIS	0,22	0	0	0,16	0	0	0,11	0,13	0	0,48
PIDE PINNULARIA DIVERGENS ELLIPTICA	0	0	0	0	Ö	0	0	0	0	0,24
PLSA PLEUROSIGMA SALINARUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PNSP PINNULARIA SP	0	0	0	0	0	0	0	0 13	0	0
RHBR RHOPALODIA BREBISSONII	0	0	0	0	0	0	0	0,13	0	0
RHGI RHOPALODIA GIBBERULA	0,66	Ő	0,79	0	0,18	0,12	0,11	0,13	0,23	0,24
RHMU RHOPALODIA MUSCULUS	0	0,19	0,2	0,16	0	0	0,11	0,25	0	0
RHWE RHOPALODIA WETZELI	0	0,39	0	0,32	0,36	0,12	0,23	0,88	0,23	0,24
	0	0	0 59	0	0	0	0 73	0,13	0	0
SCHI SURIRELLA CHILENSIS	0.22	0	1.39	0.48	0.36	0	0,23	0	0	0
SCPE SCOLIOPLEURA PEISONIS	0.22	Ō	0	0	0	0,12	0	0,13	0,23	1,19
SSUB SURIRELLA SUBSALSA	0,22	0	0	0	0	0	0	0	0	0
STAW STAURONEIS WISLOUCHII	0	0	0	0	0	0	0,11	0	0	0
STME STEPHANODISCUS MEDIUS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
STRO STEPHANODISCUS ROTULA	6	0	0	0	0		0	0	0	0
STSP STEPHANODISCUS SPECIES	0	0,19	0	0	Ő	ō	0	0	0	ō
SUB SURIRELLA BISERIATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBK SURIRELLA BREBISSONII KUETZINGI	0	0 20	0,4	0,32	0,54	0	0	0	0	0,48
	0	0,39	0	0	0	0	0	0	0	0
SUR SURIRELLA SP	ő	0	0	0	0	0	0	0	ő	
SUTA SURIRELLA OVATA UTAHENSIS	1,31	1,54	0,79	1,58	0,36	0,12	0	0	0,23	0
SUWE SURIRELLA WETZELII	0	0,19	0,4	0,48	0	0	0	0,13	0	0,48
SYNA FRAGILARIA ULNA ACUS	0	0 20	0	0	0	0	0	0	0	0
	0,44	0,39	0,2	0	0	0,58	0,11	0,13	0,23	-0,48
SYTF FRAGILARIA FASCICULATA	ŏ	ō	0,2	0	0	0		0	ŏ	0

ANNEXE V: Tableau des abondances relatives exprimées en pourcentage des espèces de diatomées dans l'affleurement Churacari Bajo (CB) .

Espèces	C009	C014	C022	C034	C040	C053	C054	C056	C060	C063	C066	C098	C100	C106	C112	C115	C119	C124	C125	C135
ABI ACHNANTHES BIASOLETTIANA	0	0	0	0	0	0	0	0 0	0,337	1,703	0,575	i C	0 0	0	0	0 0	0	0	0	0
	1,361	0	0	2,304	1,567	0,426	1,278	3 2,963	2,361	0,73	4,789		0,506	2,857		0,159	10,95	9,275	10,93	6,25
ACRI ACHNANTHES BREVIPES BREVIPES		0 756	1 718	0					0 337	1 217	1 1 1 4 9							1,159	0	0
ACI ACHNANTHES ISLANDICA	ō	0,700	0	Ť	l o	0			0,007	0				ŏ			1 õ	ŏ	ŏ	-
ACLA ACHNANTHES LATEROSTRATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Ō	0	0	0 0	0	0	0 0	0	0	0	0,272
	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0	0 0	0	0	0 0	0	0	0	0
ACO ACHNANTHES COARCTATA		0.756		6									0,255	1,429		0,159				
ACOB ACHNANTHES OBLONGELLA	Ō	0	0	1 0	l o	Ō			Ō	ŏ	i õ		0 0	ō		0	ō	ō	ő	- o
ACPA ACHNANTHES PARVULA	0	1,511	0,344	0	0	0	0	0 0	0	1,217	2,107	0	0 0	0	Ö	0 0	0	0	0	0
	0	0		9,217	1,567	0			0	0		2,904	0	0	0 720		0	0	0	0
ACRO ACHNANTHES REVERSA				0	0	0			0				0,30	0,39	0,739		0	0	0	
AD ACHNANTHES DELICATULA	0,34	0,504	1,375	1,382	0	0,426	0,098		1,518	0,487	1,341	0,544	1,266	2,208	0,555	0,317	ō	0,58	0	0,272
ADSE ACHNANTHES DELICATUTULA	0	0	0	0	0	0	0	0 0	0	0	0	0	0,253	0,649	0	0	Ō	0	0	0
AHI ACHNANTHES HIRTA	0	0	0	0	0	0	0	0 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ALA ACHNANTHES LANCEOLATA		0	0			0			0	0 243	0.575		0 127	0				0.58	0	0.543
AMCO AMPHORA COFFEAEFORMIS	ŏ	ŏ	ō	ŏ	0,131			0 0	0	0,245	0,5/10	1	0,127	0,13	ð	0	0	0,00	0	0,010
AMOV AMPHORA OVALIS	0	Ő	0	0	0	0	0	0	0	0,243	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AMVN AMPHORA VENETA	0	0	0	0	0	0	0	0 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0		0	0			0	0,243	0	0		0	0		0	0	0	0
	0	1 õ	ō	1 õ		1 õ			l õ	1 - 6	l õ			0			0	0	0	0
CAI CALONEIS INCOGNITA	0	0	0	0	0	0	0	0 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Ő
CAOB CALONEIS OBTUSA	0	0	Ō	0	0	0,213	0) 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CAW CALONEIS WESTI	0,34	0	0	0	0,914	0,32	0,393	0,741	0,169	0	0,192	1,27	1,266	0,13	0,739	1,905	0	- 0	0	
CDS COCCONEIS DIMINUTA	- 0			19.87	0,131			0 1.481				7,985	14,61	0.5/1	1,763	0	0	- 0	0	0
CHAE CHAETOCEROS SP.	Ő	L Ö	ō	0	0	Ō	ĹŎ		0	0	ļ	0	0	0	- õ	_ o	0	0	0,273	0
COS COCCONEIS SCUTELLUM	0	0	Ō	Ó	0	0	0	0 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CP COCCONEIS PLACENTULA	0	3,778	3,436	0	0	1,066	0	0	4,384	0	0	0	2,658	0	2,957	0	0	0	0	0
CRE COCCONEIS PLACENTULA EUGLYPTA	1,02			1,843	0,653		0,393	1,481		7,786	10,34	2,359		11,69		0,159	4,323	11,88	0,82	10,87
CYAT CYCLOTELLA ATOMUS	0	1-0	0	0	1	1 0			1 0	0	1 0	1 0	0,759	0,26	6	0	0	0	0	0
CYDU CYCLOTELLA DISTINGUENDA	0	0	0	Ó	0	0,107	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CYHK CYCLOTELLA HAKANSSONIAE	0	0,252	0	0	Ō	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0		0	0					0	0		0			0	0	0	0	0	
	0	1 0	0	0	ö	0.107			0		6	6				- o	0	0	0	- o
CYML CYMBELLA SILESIACA	Ō	ō	Ō	Ō	Ō	0	0	0	0	Ō	Ō	Ō	0	Ō	ō	0	0	0	0	0
CYMP CYMBELLA PUSILLA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,39	0	0	0	0	0	0
CYSB CYCLOSTEPHANOS DUBIUS	0	0	0	0	0,131	0	0,098	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	87,07	61,21	67,35	53,92	85,12	89,02	85,64	78,52	72,34	76,64	63,79	62,61	46,96	46,49	71,16	17,78	1,441	0	0,546	0
DILA DIPLONEIS ELLIPTICA DILA DIPLONEIS ELLIPTICA LADOGENSIS	0	0	0	0	0,131	0,32	0,090				6	5.989		0		0	0	- 0	0	0
DS DIPLONEIS SUBOVALIS	0	0	ō	0	ō	ō	1 õ	0	0	ŏ	0	0	4,177	0,13	8,133	0,794	0	0	0	0
DSB DENTICULLA SUBTILIS	0	0	0	0	0	0	Ō	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EA EPITHEMIA ARGUS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
EPTG EPTHEMIA TURGIDA GHANULATA	0	0		0	0	0			0	0	6	6	0		0	0	0	0	0	0
EZ EPITHEMIA ADNATA	Ő	Ō	ō	Ő	ō	ō	1 0	0	0	Ō	1 0	Ő	0	0	ō	0	0	0	0	0
FAT FRAGILARIA ATOMUS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FB FRAGILARIA BREVISTRIATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,13	0	0	0	0	0	0
FCA FHAGILAHIA GAPUCINA FCAV FRAGILARIA GAPUCINA VALICHERIAF	0	0		0	0	0			0	0			0	0		0	0	0	0	0
FE FRAGILARIA ELLIPTICA	0	Ő	Ŏ	0	- ŏ	0	Ö	ō	0	- 0	ő	ŏ	Ő	0	Ő	Ö	0	0	0	0
FP FRAGILARIA PINNATA	2,721	8,06	1,375	3,226	1,958	0,853	0,59	3,704	4,553	4,136	2,874	1,633	0,633	2,208	1,109	0,159	9,51	6,957	4,918	66,58
FRAC FRAGILARIA CONSTRUENS	0	0	0,344	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FRAS FRAGILARIA CONSTRUENS SUBSALINA FRCV FRAGILARIA CONSTRUENS VENTER	0,34	0	0			0			0,169	0,73	0	0,907	1,139	0	0	0	0	0	0	0
FRF FRUSTULIA FRENGUELLI	Ő	Ő	Ö	0	ŏ	0	ŏ	0 0		ő	ŏ	ŏ	0	Ő	Ő	0	0	0	0	0
FRGO FRAGILARIA GOULARDII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FRL FRAGILARIA LAPPONICA	0	0	0	Ö	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FRNI FRAGILARIA NITZSCHIOIDES	0	0	0			0			0	0			0	0		0	0	0	0	- 0
FRPU FRAGILARIA OLDENBURGIANA	0.68	0	0	0		0	0.098	0.37	0	0	- 0		0	0.26	0	0	0,865	1,159	2,732	0,272
FRS FRAGILARIA SPECIES	0	Ő	Ó	Ó	0	0	0	0	Ő	Ó	0	0	Ó	0	0	0	0	0	0	0
FRZE FRAGILARIA ZEILLERI ELLIPTICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0		0	0		0		0				0	0	0	0	0	0	0
GG GOMPHONEMA GRACILE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GOMA GOMPHONEMA ANGUSTATUM	0	Ó	Ó	Ó	0	0	Ō	0	Ó	Ó	0	0	Ó	Ő	Ő	0	Ō	0	0	0
GOME GOMPHONEMA EXIGUUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0		0		0			0	0	0	0	0	0	0	0
GYAC GYROSIGMA ACUMINATUM	0	0	0	0	0	0	- 0	0	0	0	- 0	- 0	0	- 0		0	0	0	0	0
GYSP GYROSIGMA SPENCERII	0,68	0,252	0,344	0	Ő	1,599	4,916	Ő	0,337	Ō	Ő	L ő	Ő	0,13	0,37	0,159	14,41	8,696	22,95	Ő
HA HANTZSCHIA AMPHIOXYS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1,361	10,08	16,49	2,304	3,394	2,878	1,672	7,778	4,384	2,19	8,429	0,363	1,013	1,688	0,924	1,746	0	2,899	0	0
MELI MELOSIRA UNEATA	0	1.259	1.375	0	0.261	0.426	n n	0	0.506	0	1.533	0	0	0.39	0.37	0	0	0.87	0	
NAA NAVICULA ACCOMODA	0	0	0	Ő	0	0	ŏ	l o	0	0	0	1 õ	0,253	0,00	0,185	0	0	0	0	ő
NAAB NAVICULA ABSOLUTA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Ō	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	- 0	0	0	0	0	0					0		0	0	0	0	0
NAHA NAVICULA HALOPHILA	0	0	ō	0	0	0	0	- o	Ő	0	0	0	ő	0	0	0	0	0	0	Ő
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Ō	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NAO NAVICULA TENELLOIDES	0	0	0	0	0	- 0		0	0	0		0		0	0	0	0	0	0	0
NAPE NAVICULA PEREGRINA	0	0	0	0	ō	0	0	ő	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,272
NAPH NAVICULA PHYLLEPTA	0	0	0	0	0	0	ō	0	0	0	0	0,181	0	0	0	0	0	0	Ó	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,519	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
NAU NAVICULA MUTICA	0	0	0	0	0	0,107	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0
NAVE NAVICULA VENETA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NBA NAVICULA BACILLUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Ó	0	0	0	Ő	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Espèces	C009	C014	C022	C034	C040	C053	C054	C056	C060	C063	C066	C098	C100	C106	C112	C115	C119	C124	C125	C135
	0000	00.0	00000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NCOM NITZSCHIA COMMENIS	0	ō	ō	0	Ō	0	Ö	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	ō	ŏ	ō	Ō	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ő	Ō	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NES NITZSCHIA FOSSILIS	0	Ö	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NGG NAVICULA GREGARIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NHN NAVICULA NIVALIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NI NITZSCHIA INCONSPICUA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,338	0	0	0	0	0	0
NIAL NITZSCHIA ALPINA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NIAM NITZSCHIA AMPHIBIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NIAR NITZSCHIA ARCHIBALDII	0	Ó	0	0	0	0	0	0	0	0,243	0,383	0	0	0,13	0	0	0	0	0	0
NIAU NITZSCHIA ACICULARIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NIBU NITZSCHIA BACILLUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NIFO NITZSCHIA FONTICOLA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NIH NITZSCHIA HANTZSCHIANA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NIHU NITZSCHIA HUNGARICA	0	0	0	0	0,131	<u> </u>			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NIIN NITZSCHIA INCOGNITA	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NILA NITZSCHIA LACUUM	0	0	0	0	0	0	0		0	0	- 0	0	0	0	0	0	<u> </u>	0,29	0	0
NIU NITZSCHIA LIEBETRUTHII	0	0	0	0	0	0				0	0		0	0	0	0		0	0	0
NILN NITZSCHIA LINEARIS	0	0	0	0	0				<u> </u>				0			0		0	0	
NIPC NITZSCHIA PALEACEA	0	0	0	<u> </u>	0	0								<u> </u>				0	0	0.542
	0			<u> </u>					<u> </u>				0					0	0	1.047
	0												0		l č			0		1,007
NISU NITZSCHIA SUBACICULARIS	0							<u> </u>					0							
			Ň	Ň									0		l ä	- ŏ	l ě		0	0
	- 0					1 - 7	1				<u> </u>		Ň	0.26	1 .		- 0	0	- 0	
	- 0		0	- ŏ				<u> </u>			1 8	l õ	ő	0,20	0 185	Ň	0		0	0
	0	l õ		- ň	l õ				Ŏ	Ŏ		Ť	ő	ŏ	0.100	i õ	0		- 0	0
	- ň	- ŏ	ň	- ů	l ő	1 å							ň	- o		ň	0	0	0	ô
	0	ŏ	ő	ő	- ů				- o	ő	0	ŏ	ő		õ	0	- o	ŏ	ő	
	- ů	1 å	0	0		<u> </u>	č		Ö	Ő	0	Ő	n	i o		- o	o		ő	0
	ő	ŏ	ő	ő		t ő			1 0	- o	l õ	ŏ	ő	Ťŏ		ō	ő	- ŏ	0	Ő
	- 0	1	ō	ŏ	Ō	Ō			t õ	t õ	i õ	i o	0	1 õ		Ö	0		0	0
			0	ō	ō	ō			ō	0	ō	ō	ō	ō		0	0	ō	0	0
NBA NAVICULA BADIOSA	0	Ō	ō	ō	0	ō		i õ	Ŏ	0	Ō	Ō	Ō	Ŏ	l õ	Ō	Ō	ō	0	0
NRT NAVICULA CRYPTOTENELLA	0	0	0	0,922	ō	0	0	0	0	0	0	0	0	l o	0	0	2,882	0	1,639	0
NSM NAVICULA SEMINULUM	0	0	0	0	0	0	C	0 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NTGR NITZSCHIA GRACILIS	0	0	0	0	0	0	C	0 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NTVA NITZSCHIA VALDESTRIATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Ō	0	Ö	0
NUSA NAVICULA AMERICANA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OM FRAGILARIA LEPTOSTAURON MARTYI	Ó	0	0	0	0	0	Ī	0 0	0	0	0	0	0	0	0	0	Ö	0	0	0
OO OPEPHORA OLSENII	0	0,756	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PARA PARALIA SULCATA	1,361	0	0	0	0,392	0,746	C	0 0	1,18	1,703	0	12,7	21,9	0,649	1,479	76,51	0	0	0	0
PBDI PINNULARIA MICROSTAURON BREBISSONII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PDIV PINNULARIA DIVERGENTISSIMA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PIAL PINNULARIA ALPINA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PIB PINNULARIA BOREALIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PIGI PINNULARIA GIBBA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PIIN PINNULARIA INTERMEDIA	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PIS PINNULARIA SIMILIS	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PISU PINNULARIA SUBCAPITATA	0	0	<u>-</u>	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	l o	0	0	0	0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PLEL PLEUROSIGMA ELONGATUM	0		0	0	1 0 2 0	0			0		0		0	0	0	0	0	0	0	0
PLSA PLEUHUSIGMA SALINAHUM	0				1,020	0			0				U V		0		0	0	0	0
POIN FINNULARIA SINISTRA		8.06	0.687	0.461	0			<u> </u>	0 227								<u> </u>	0	0	0
		0,00	0,007	0,401	0	l š		0.741	0,337			l õ		0.12		<u> </u>	0	0	0	0 373
	0	0.730	l õ	ا	0			0,741	l å	۲ – Å			- 0	0.13				0.29	0	0,272
	89.0	2015	4 811	2 765	0.653	1.066	0 787	1 1 1 1	0.843	ا	0 192	- ŏ	0.633	13 64	2 588	0 150	51.87	46 39	43 72	12 22
	0,00	2,013	0.344	2,705	0,000	0.32	3 343	1	5 734	l õ	0,132	ő	0,000	13,04	2,300	0,139	31,07	40,30	43,72	12,23
RHWE RHOPALODIA WETZELII	ő	- ů	0,011		0,000	0,52	0,010		0 337	ا م	Ť	ň	- ŏ	ŏ	ň	ا	- ŏ	- v	0	0
SA STALIBONEIS ANCEPS	ō	1 8		ŏ	ŏ	ő		Ö	0,007	1 õ	ň	ŏ		ŏ	ŏ				- 0	0
SGB STALIBONELS AGRESTIS	Ő	ō			Ö	ō	0	i õ	t ö	1 õ	ŏ	ň	Ő	0	ŏ		ň		0	0
SPH STALIBONELS PHOENICENTERON	ō	ō	ō	ŏ	ŏ	0	0	ŏ	1 ŏ	Ť	ŏ	ň	Ő	ő	- ŏ	1 ő	ň	ň	ň	0
STSA STAURONEIS SALINA	0	t õ	t õ	-0	ō	· ŏ	t õ	i õ	1 0	1 6	1 0	1 0	0	0		1	- n	0	0	0
SUBK SURIBELLA BREBISSONII KUFTZINGI	Ő	Ō	l õ	n n	ň	ň	1 0	t õ	1 0	1 0	1 n	1 ň	- ř	0	1 0	1 - ñ	<u> </u>		0	n n
SUO SURIRELLA OVALIS	0	1 0	Ō	Ō	0	ō	1 0	Ō	1 õ	tõ	Ō	ŏ	- ō	Ő	Ō	l ő	ŏ	Ő	Ő	0
SUTA SURIRELLA OVATA UTAHENSIS	0	Ō	0	0	0	0	0	0	Ō	1 0	Ō	Ö	0,127	0.26	0	0	0	0	0	0
SUTR SURIRELLA STRIATULA	0	Ō	Ō	Ō	Ō	ō	0	Ō	Ō	Ö	ō	ŏ	0	0	Ō	† ō	Ő	Ő	0	0
SUWE SURIRELLA WETZELII	0	Ó	Ö	0	Ō	0	0,197	0	Ō	0	Ō	0	0,38	0,13	0,555	Ō	Ō	ō	0	0
SYNA FRAGILARIA ULNA ACUS	Ö	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Ō	0	Ö	0	0	0	0	0
SYNU FRAGILARIA ULNA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Ó	Ó	Ō	Ō	1 0	Ō	Ó	0	Ó
SYTE FRAGILARIA FASCICULATA	2,041	0	0	1.843	0.392	0	0.393	1.111	0.169	0.487	2.49	0.544	0.506	1 299	0 185	Ō	3 746	8 986	11 48	0.543

a the second of the second of

ANNEXE V: Tableau des abondances relatives exprimées en pourcentage des espèces de diatomées dans l'affleurement Churacari Bajo (CB).

Earline	1 0417	1 0149	1 0151	1 0154	- 6170	- 017/	1 017	1 0170	0197	0407	0100	0.007	207		1 0 2 2 1	022/		1 0000	1 2225	1 0040
	10131	C145	1 1	C134	10110	1011-	10110	10110	C104	C101	6150	Czuz	C20+	CIL	CLLS	CZZA	C230	CZJ	CZau	CZAL
ABLACHNANTHES BREVIPES	4.68	21,66	40,77	39,35	12.3	A 33.2	1 18.1	21.9	1.100	12.25	19.16	A 1.45F	1.881	1 3.25	69.1	1 81.9	بالسخ	it-č	ite	<u> </u>
ACRE ACHNANTHES BREVIPES BREVIPES	1,000	0 0	1 C	00,00	5 (a (at (0 (1 C	1 0	1 <u>12,12</u>	a c	1,	a c	1 (a (ي ت	1 č	1 č	it õ
ACBI ACHNANTHES BREVIPES INTERMEDIA	t c	1-0	1 0	1 0	<u>v c</u>	<u>s c</u>	<u>51 7</u>	0 0	1 0	0	5 1	δ c	ر ار	3 <u>c</u>	، ا ر	st r	1 0	1 0	1 0	5 6
ACI ACHNANTHES ISLANDICA	0	10	0	10	<u>ه ا</u> ر	<u> </u>	<u>، ا</u> ر	s <u> </u>	10	0,602	20	<u>ه د</u>	<u>ه</u> ر	<u>ه </u>	<u>ب ار</u>	<u>) (</u>	<u>ه ا</u> ر		0	1 <u>0</u>
ACLA ACHNANTHES LATEROSTRATA	0	0	0,337	0	0	0 1	10	<u> </u>	0	0	0	0 0	0	0 1	, c	<u>ه</u> ا	0	0	, 0	0 0
ACLH ACHNANTHES LANCEOLATA HAYNALDII	0	0	0	0	0	10	10	0 (0	0	10	10	0	0	0	1 0	0	0	0,259	0
ACLM ACHNANTHES LEMMERMANII	0	0	0	0	<u> </u>	<u> </u>	<u>Г</u>	1 0	0	0	0	10	0	10	(C	10	0	0	0	1 0
ACO ACHNANTHES COARCTATA	0	4 <u>°</u>	0			4_0	10	1 0	()	0,201	0	<u>4</u>	<u> </u>	4_0	0	10	4_9	0	0	1 0
ACOB ACHNANTHES OBLONGELLA	0	4 _ ?	0	0		4 0	10	10	4	0	1,031	<u> </u>	(°	4 0	0	4_0	4_	f of	0	1 0
ACPA ACHNANTHES PARVULA	<u> </u>	- 0	<u>+ '</u>	0	4 7	4-	4	4 %	4 - 9	<u>+</u>	<u>+</u>	4 %	4 %	4 6	<u>+ '</u>	4 - 7	4 %	L °	Ļ	1 0
ACPE ACHNANTHES PERICAVA	÷	0./33	با ب	0,511	÷	4-7	47	4	<u>+</u>	<u>ب</u>	4	4	Ļ	4	4	<u>4</u>	47	<u></u>	ب ا.	4 8
ACRE ACHNANTHES REVERSA	ب ا	<u>+ </u>	÷		÷	4-7	4-7	4-7	<u>+</u>	<u>+</u>	4-7	4-7	<u>+</u>	4 - 2	ł	47	4	1 0.07	÷	4 - 8
	10.60	4 756	2.69	3 407	1 3 697	╡──╴	5 15	1031	106	6 827	1 2 200	+ 257	4 380	1 8 894	1 2 12	1047	1 1016	2 021	100	1 1 801
AD ACHNANTHES DELICATIONA	0.034	1,,30	0 162	1 3,40,	1 (ŧč	1 7	10,310	1,000	0,02,	3,235	40,7	1	0,007	1 2,127	10,720	0.165	2,021	1.05	1.00
	<u>−</u> ;	÷	l 0,10-	÷	t i	d i	d c	d c	ز ان	1 0	; ;	d ē	÷	, 1	÷	/ 	(⁰ ,	. [;	.1-	1 7
	+ č	÷	0 168	ن ان	, i	d i	i t i	d c	ر ا	+ 0	÷	d ē	1 627	ن ار	÷	d c	2.03	t n 209	1 0 259	0 395
	1 è	0.528	0.505	2 555	.	ti	0.537	1 0.637	. 	0.602	0 20€	d -	0.0-	tõ	ti	d c		10,200	0,00-	0,000
ALO ACHNANTHES LUNGIFES	0.858	7 114	10,000	0.852	ر ا	÷	10,00- C	10,00- c	12094	0.602	1 031	il ē	÷	ł	÷	í i	0 169	, 1	to	1
	0,00-	4,	te	10,000	l c	te	t c	1-0	0.246	0,000	1,000	d e	to		d i	d c	10,00	0.07	1 0	0
	l ė	, j	1 0	1-0	t e	s t e	1		4 187	10	t é	0.162	10	10	d c	d c	4.738	30.87	5.517	0.308
	1 e		10	. ,	1-0	t e	1	1 0	10	0		0	10	.	t c	1-0		1-0	0	0
	- 		10	+ -	10	d e	1 0	1 0	+ -	0	. 	10	1-0	1 0	c	d e	, 0	0.07	10	1-0
	1-ē	÷	1-0	, 	ti	d i	,;	d c	to		÷	d i	to	t o	i c	1 0	1 0	10	1 0	0.088
	1-0	10	1-0	10	10	ر ر	to	1 0	10		10	10	. _	10	- c	10	, 	1 o'	1 0	0
	<u></u> <u>−</u> ;	ل ت	ر ا ر	÷	ا ر	÷	tt	d c	ا آ	ł	÷	d ē	ر ا	ر ا ر	t-i	d c	ł	to	1-0	1-0
	1 è	÷	0 337	+	0 185	d č	0 17	ilè	0.369	1 807	1 031	0 321	të	2.82	ت ار	1 č	t è	t	l d	1
	1 è	÷	0,000	ł	10,100	t	10,	i t č	10,000	1.000	, <u> </u>	10,0-0	.⊢ĕ		يا ت	it è	ن ا ر	to	.t;	1
	1 è	2.51	0.168	1 193	2.588	d è	1.957	d è	, 1 i	0.402	, ∏ ∂	at to	to	, 1 - 7	1.06/	at è	1	10	10	1 0
CHAE CHAETOCEROS SP	t-è	1	0	, 	1	it è	1 r	1 c	1	0	i to	st ö	to	1 0	- c	st e	ن ا ر	1	1 0	
	t - č	ł	it õ	1	1 c	it è	s t č	1 c	it-è	10	i to	1 o	0.627	1-0	i c	it c	0.338	1 0	0	10
CP COCCONFIS PLACENTELLA	t è	ł	0	10	1 e	1	1 c	at e	9.975	0	10	1 0	10	10	c	1 0	0	0	0	
CPE COCCONEIS PLACENTI II A EUGLYPTA	4.167	24,97	17,51	13,8	55,45	58,03	43,69	9.177	0	5,02	14.23	0.647	41,07	2.169	18,09	1 10,3	0.846	0,07	0	1 0
CPI COCCONFIS PLACENTULA LINEATA	0	10	0,337	0	3,887	0	0,71	0	1 0	0	0,619	10	0	0	t c	0	10	0	0	
CYAT CYCLOTELLA ATOMUS	0	1 0	0	0	0	10	1	<u>s a</u>	0	0	0	ut o	0		10	1 0	0	0	0	0
CYDU CYCLOTELLA DISTINGUENDA	0	1 0'	0	1 0	10	10	<u>1 c</u>	1 0	0	0		ut o	0	1 0	1 0	1 0	0	0'	0	0
CYHK CYCLOTELLA HAKANSSONIAE	0	, <mark>0</mark>	0		10	1-0	i l c	0 1	0	0		u o	0		10	10	0	0'	0	
CYMC CYMBELLA CISTULA	0	, <u>o</u>	0	0	0	10	i l c	0 1	0,246	0		1	0		1 0	10	0,338	0,139	0	1,406
CYME CYMBELLA MESIANA	0	10	0		1 0		<u>1 0</u>	ه ا د	0	0	0	1	0	1 0	10	10	0	0'	0	0,044
CYMG CYCLOTELLA MENEGHINIANA	1 0	1 0	0		10	10	1 c	<u>v 1</u>	0.369	0	0	1-0	t o	1-0	1 0	1 0	0,169	0'	0,345	0,527
CYML CYMRELLA SILESIACA	0	, , '	10	0	10	10	16	ه اد	0	0		1 o	1 0'		1 0	1 0	0	0'	0	0
	1.389	ره ا ر	0		0	10	it c	1 o	, t- o'	0	10	10			l o	1 0		0'	0	
CYSR CYCL OSTEPHANOS DUBIUS	0	, 1 ° ,	0		1 0		1-0	ut o	0	0		10	0	1 0	10	1 0		0'	0	0
CYST CYCLOTELLA STRIATA	0	, _ '	0	0	10	10	10	1 0	, ,	0	0		0	0	10	1-0	0	0'	0	0
	0	, 1 0 ,	0	0	10		1 0	1 0	0	0.201	0	1 0	0	0,217	0	1 0	0	0,139	0	0,088
DILA DIPLONEIS ELLIPTICA LADOGENSIS	0	, to'	0	0	t o	1-0	1 0	1 0	0	0	0	1 0	0	0	10	1 0	0	0'	0	0
DE DIPLONEIS SUBOVALIS	10	, to	0	1-0	10	10	با رو		0	0	0	1-0	0	0	0	10	0	0	0	0
DSB DENTICULI A SUBTILIS	0	10	0	0	10	10	1 0	م ار	0	0	0,206	ت از	0		0	10	0	0	0	0
	0	0	0.168	0	10	0	1 0		0	0	0	1 0	0	0	0	10	0	0'	0	0
EPTC EPITHEMIA TURGIDA GRANULATA	0	1 0'	0	0	10	10	10	1	0	0	0		0	1 0'	0		0	0	0,69	0
	10	1 0'	0	0	10	10	te		0	0	0	10	0	0	0		0	0	0	1,318
	0	0	0	0	10	10	ه ار	1	4.433	0	0	0,162	0	0,217	0		12,69	6,76	26,72	0
FAT FRAGILARIA ATOMUS	0	0'	0	0	0	0,182	1 0	1 0	0,123	0	0	0,485	1,567	7,158	0		16,58	12,13	5,517	59,23
EP EPAGIL ARIA RREVISTRIATA	0	1 0'	0	0	10	0	100	1	0.862	0	0	10,03	0.313	8,677	0		3,553	1,533	0.086	1,889
	10	1 o	0	0	to	it o	, to	i l d	0	0	0	0	0	0	0	1-0	3.215	0	0	0
ECAVERACII ARIA CARI CINA VAUCHERIAE	t - 0	l d		1	to	10	i l c	1-0	1 0	6	10	1	0	1 0	0	10	0.338	0	0	0.044
	10	0.661	1.178	1.704	0.555	10	1,243	1 0	2.956	5.422	0	0,485	1.254	0,434	0	0,429	0	0	0	0.044
	62.5	21.53	20,71	19,59	9.612	4.562	17.94	32,75	1.478	32.53	45,36	2.751	12,85	10,63	4.255	2.146	9.306	7.526	3,621	0.483
	1 0	0 264	1.347	1.874	2.033	1 0	0.355	0	0	2.008	0	0.162	0	0	0	0	1.015	0	0	0
EDAS EDAGILARIA CONSTRUENS SUBSALINA	10	0	0	0	0	1-0	0	1 o	27,96	0	0.206	22,65	17,87	10,41	1,064	1-0	7.953	14,43	2.845	5.712
FRCV FRAGILARIA CONSTRUENS VENTER	0	0	0	0	0	0	10	10	0,862	0	0	0	0,627	0	0	0	1,015	2,23	0,172	0,132
FDF FRUSTULA FRENGUELLI	0	0	0	0	0	10	10	10	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0'	0,088
FROO FRAGILARIA GOULARDI	0	0	0	0	0	10	100		0	0	0	1 0	0'	0	0		0	0'	0	0
FBI FRAGILARIA LAPPONICA	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	1 0'	0	0	0	0	0	0,627	0'	Ö
FRNI FRAGILARIA NITZSCHIOIDES	0	0	0	0	0	0	10		0	0,402	0	10'	0	0	0	0	0	0	0	0
FROM FRAGILARIA OLDENBURGIANA	0	0	0	0	0	0	1 0	0	0	0	0	0	0,627	0,	0	0	0	0	0	0
FRPLI FRAGILARIA PULCHELLA	0	0	0	0	0	0,182	0	0	22,29	0	0'	6,958	6,897	18,87	0	0	9,475	1,254	4,741	1,274
FBS FRAGILARIA SPECIES	0	0,264	0	0	0	0	0,355	0	9,113	0,402	0	10,52	0	7,375	0	0	0	14,63	15,86	18,01
FRZE FRAGILARIA ZEILLERI ELLIPTICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0'	0	0	0	0	0	1,861	0,279	0	0
FZ FRAGILARIA ZEILLERI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,086	0
GAC GOMPHONEMA ACUMINATUM	0	0	0'	0	0	0	0	0	0	0	0'	0	0	0	0	0	0	0,209	5,948	0
GG GOMPHONEMA GRACILE	0	0	0'	0	0'	0	0	0	0	0	0'	0	0'	0	0	0	0	0	0	0,088
GOMA GOMPHONEMA ANGUSTATUM	0	0	0'	0	0,	0'	0	0	0,123	0	0'	0,324	0'	0	0	0	0	0	0	0,088
GOME GOMPHONEMA EXIGUUM	0'	0	0'	0	0,	0'	0	0'	0	0	0	0	0	0	0	0	4,738	0	0	0
GOMI GOMPHONEMA ANGUSTUM	<u>°</u>	0	0	0	0'	0	0	0'	0	0	0'	0	0	0	0	0'	0	0	1,379	1,626
GP GOMPHONEMA PARVULUM	0'	0	0'	0	<u>°</u>	0,	0	0'	0	0	0	0	0	0	<u>°</u>	0'	0	0	0,172	0,132
GYAC GYROSIGMA ACUMINATUM	0 '	0	0	0	<u>°</u>	0'	0	0'	0	0	0	0	0	0	<u>°</u>	<u>°</u>	1,861	0	01	0
GYSP GYROSIGMA SPENCERII	<u>°</u>	0	0	0	<u>°</u>	0'	0	0'	0	0	0	0	0	0	<u>°</u>	<u>°</u>	0	0	0	0
HA HANTZSCHIA AMPHIOXYS	<u>°</u>	0	0	0	<u>°</u>	0	0	0'	0	0	0	0	0	0	<u> </u>	0'	0	0	0	0
MASE MASTOGLIA ELLIPTICA	<u> </u>	0,528	0	0,511	<u>°</u>	0'	0	0'	0	0	0	1,456	0	0	<u>°</u>	<u> </u>	0	0	0	0
MDA AULACOSEIRA ALPIGENA	<u> </u>	0	0	0	<u>°</u>	0'	0	0'	0	0	0	0!	0	0	<u> </u>	0	0	0,418	0,259	0,395
MELI MELOSIRA LINEATA	<u>°</u>	0	0	0	<u>°</u>	0'	0	0'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NAA NAVICULA ACCOMODA	0	0	0	0	<u>°</u>	0'	0	0'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NAAB NAVICULA ABSOLUTA	<u>°</u>	0	0	0	<u>°</u>	0'	0	0,	0	0	<u> </u>	0!	0	0	0	0	0,169	0	0	0
NACC NAVICULA CAPITATA CAPITATA	0'	0	<u> </u>	0	0'	0	0	0'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NACL NAVICULA CAPITATA LUENEBURGENSIS	<u>°</u>	0	0	0	<u> </u>	0'	0	0'	0	0		0!	0	0,868	0	0	0	0	0	0
NAE NAVICULA MEDIOCONVEXA	<u>°</u>	0	0'	0	0'	0'	0	0'	0	0	0	0	0	0	0	0'	0	0	0	0
NAHA NAVICULA HALOPHILA	0'	0	0	0	0'	0'	0	0'	0	0	0	0	0	0	0	0'	0	0	0	0,088
NAI NAVICULA MINIMA	0'	0	0	0	0	0'	0	0'	0	0	0	0	0	0	0	0'	0	0	0	0
NALP NAVICULA LAEVISSIMA PERHIBITA	0	0	0	0	0'	0	0	0'	0	0	0	0	0	0	0'	0'	0	0	0	0
NAMD NAVICULA MODICA	0'	0	0	0	0'	0'	0	0'	0	0	0	0	0	0	0'	0'	0	0	0	0,439
NAO NAVICULA TENELLOIDES	0/	0,132	0	0	0	0	0	0/	0	0	0	0	0	0	0'	0'	0	0	0	0
NAPE NAVICULA PEREGRINA	0	0	0	0	0	0	0	0	0,123	0	0	0	0,313	0	0	0	0,846	0,07	2,069	0,439
NAPH NAVICULA PHYLLEPTA	3,646	0	0	0	0	0	0	1,108	0	0,803	0	0		0	0	0	0	0	0	0
NAPR NAVICULA PERMINUTA	0	0	0	0	0	0	0'	0/	0	0	0	0,324	0	0	0	0	0	0	0	0
NAS NAVICULA SUBMURAUS	0'	0	0	0	0	0	0'	0	0	0	0	0	0	0,434	0	0	0	0,139	0,259	0
					A.	C	<u> </u>	<u> </u>	· ·	0	A.	4 4001			0	0'	<u> </u>	0	0'	0
NATR NAMCULA TRIVIALIS	0	0		0	1 <u> </u>	0	0		0			1,133		0	·		· · · · ·	·	·	·
NATR NAVICULA TRIVIALIS	0	0	0	0	0	0			0	0	0	1,133	0	0	0	0	Ő	Ő	0	0
NATR NAVICULA TRIVIALIS NAU NAVICULA MUTICA NAVE NAVICULA VENETA	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0,508	0	0	0
NATR NAVICULA TRIVALIS NAU NAVICULA MUTICA NAVE NAVICULA VENETA NBA NAVICULA BACILLUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 0 0	0	0 0,508 0	0 0 0,906	0	0

		1.0110	LATEL	10111	1.0470	0474	10470	0470	Louis .	6407	Loug	0.000	C204	C242	C221	C224	C230	C233	C215	C242
Espèces	10131	10148	1 6151	C154	101/0	10114	101/0	1011	1000	1000	1041	10202 ·	1000	, <u>, , , , , , , , , , , , , , , , , , </u>	1000	10000	10200	10000	0 172	0.264
	⊢÷′	, 1 ~	ا ب	. 1 ~ ~	نا ر	1	ار	ن ا	ŧř	.1 ~ ~	÷	÷	ن ا ،	te	ti	t e	te		, <u> </u>	ان آ ا،
	+	ŧř	ز ا	لتن	ات	. – – – – – – – – – – – – – – – – – – –	t č	لتر	tõ	ر ا ر	tř	1-7	10	1 0	i l c	st o	0.338	1 o'	0	0,527
	to	to	it d	t- ò	t è	10	to	1-0	0.369	1 0	it e	1 o'	10	0	10	u o	0	<u>ہ</u> ار	0,948	0
NES NITZSCHIA FOSSILIS	10		0	0		it o	to	10	0	, o	1 o	1 <u>0</u>	0	2,169	0	<u>ہ</u> ا	0	0,139	0,345	0,044
NGG NAVICULA GREGARIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0'	<u>ہ ا</u> ر	<u>ره</u> ار	0'	0,217	0	<u>ہ</u> _ا	0	0	0,086	0
	0	0	0'	0'	0	0	0	0	0'	0'	` <u>o</u> '	<u>'ه</u> ار	, <u>0</u> '	0 ′	<u>ا</u> ر	, 0	0	0	<u>°</u>	0
NI NITZSCHIA INCONSPICUA	0	0,132	0'	0	0,37	0'	0	O	0'	0'	0	0	0'	0,434	0	0	0	0,139	0,172	0,044
NIAL NITZSCHIA ALPINA	0	0	0'	0	0	0	0	0	0'	0'	0	/ 0'	0'	<u>°</u>	0	<u> </u>		0,07	- 0	
NIAM NITZSCHLA AMPHIBIA	1,389	0'	0'	<u> </u>	0	<u> </u>	<u> </u>	31,17	<u> </u>	'¢	ſ	<u>ب</u>	•	<u> </u>	4	4	ب ا	<u> </u>	+	1-2
NIAR NITZSCHIA ARCHIBALDII	÷,	Ļ.,	- 0	1 0	1 2 18	<u></u> <u></u>	1 v	Í ["]	1 y	1 .	<u>+ "</u>	<u>+ '</u>	<u>+ "</u>	↓ [→]	+ *	÷	÷	<u>+ </u>	بر ا	1
NIAU NITZSCHIA ACICULARIS	↓ - ;'	ť	. ~ '	ب ا	0,100	<u>+;'</u>	. ↓ _;"	<u>+;'</u>	' ل	<u>+ ~</u> '	; [;	<u></u> ;	. ~ '	ب ر	÷	┊┼─┤╮	0 16	÷	t ř	. ``
	+	. ~ ~	، ا	. ₩	1,***	0 187	، اخ	ᢤ	; ; '	ᢤ᠆ᡶ	ᢤ	ہے ا	، ,	بل_ر	d č	a l č	1 0,100	0.627	0.603	0.132
	$+ \tilde{c}$	بل تر	ز ا ز	ز ا ر	، ا - ر	10, 10 r	ŧř	، ل č	بل ت	بل تو	، ل ز	1~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	ار	ł	$\frac{1}{7}$,	it c	10,00	100	0.044
	tř	ŧŤ	t õ	0.17	$t = \tilde{c}$, † - 7 '	t r	, ∏ č	0.493	it ē	Ť	ن ا	it-ē	0.217	᠆᠇᠊ᡝ	a l c	5,415	- o'	0	10
	te	1 d	it o	1 - 0	it-r	i t ē	it e	ite	10,00	ito	i l c	,1 7	10	0	1 0	s 1 o	1 <u></u>	0 1	0,172	0
NILLA NITZSCHIA LACUUM	1 0	2,114	0	it o'	it c	it o	10	1-0	1 0	1-0	1e	at o	1 o		<u>1 0</u>	<u>0</u> t	<u>_</u>	0	0	0
NILL NITZSCHIA LIEBETRUTHII	10	0,132	1 0	0,17	to	10	0,533	1 o	1 0	10	0,412	2 0	0	0	J0	<u>ه_</u> ار	1,861	0	1,897	0
	0	0	<u>ہ</u> ا	0	0	0	0	<u>ه_</u> ا	0	0	0	ر <mark>ہ ا</mark> د	0	0	<u>ه_</u> ار	1	0	<u>ہ</u>	0,345	0
NIPC NITZSCHIA PALEACEA	0	0	<u>'ه</u> ار	0'	0,185	<u>ہ</u>	0	<u>ہ</u>	0	0		<u>رها</u> ر	<u>ہ</u> _ا،	/ 0′		ە	0	<u>'ه</u> ار	1,466	0
NIPE NITZSCHIA PERMINUTA	0,521	0	0	/ O '	0,555	· <u> </u>		0	0	<u>ه</u> _ ا	0	<u>ہ</u>	0	0	0	0	0	0	0'	0
NIPS NITZSCHIA PUSILLA	11,28	1,717	2,02	1,363	0,185		0,71	0,633	'	و	<u>ہ</u>	0	0	0	/ _ 0	0,429	0	0	0,086	0,088
NISU NITZSCHIA SUBACICULARIS	0	0	0'	0'	0	0	0,533	0	C o'	<u> </u>	0	1 0'	0	<u> </u>	<u></u>	<u> </u>	0	<u>/ 0</u> /	- 0	10
NITR NITZSCHIA TROPICA	0	0	()	0	0	0	0	0		0	/ O'	· ·	ļ,	Í,	<u> </u>	4 4	+ <u>v</u>	0	1 120	1 2 2 95
NIVA NITZSCHIA VALDECOSTATA	- °	0,528	<u>و</u>	0,17	<u>↓</u>	- <u>v</u>	Ļ.	Ļ	ĻŸ	ب	- v	<u> </u>	↓ "	ب	4	<u> </u>	Ļ		4,130	0,350
NLA NAVICULA PSEUDOLANCEOLATA	ب	Ļ	<u>+ ''</u>	<u> </u>	<u>+ </u>	Ļ	<u>+ </u>	Ļ	÷	<u> </u>	<u>+ '</u>	<u> </u>	↓ – ^y ′	÷	<u>+-</u> ;	<u>+ </u>	<u>+</u>	<u>+</u>	ť	, ~ "
	Ļŕ	÷	<u>+ - ;</u>	+ - "	÷	<u>+</u> ;	÷	÷	<u> </u>	<u>+ - ;</u>	4	<u></u>	<u>+ -</u> ;	÷	4-7	<u>_</u>	÷	<u>. – – – – – – – – – – – – – – – – – – –</u>	t"	1000
NMV NAVICULA MUTICA VENTHICUSA	᠆᠆	÷	÷	÷	<u>+-</u> ;	; ل	÷	ر ار	÷	ن ل کو	<u>, </u>	, l ~ č	ن ا ک	. ~	بر ا ب	, , ,	0 16	0 139	ٽ ا.	10,000
	Ť	ᢤ	ر آر	ᡰ᠊ᢅ	÷	، اخ	÷	1 1 42	، ا ،	، ل č	Ť	· اب	ᢤ	ŧř	d – ř	d č	10,100 r	, l v, ··,	tě	. ``
	Ť	ن ا ر	, 1- 7	ا آ	d ř	Ť	+	1,747, C	ن ا	Ť	at č	ن ا ر	,t-č	Ť	a t č	d č	it i	÷	t d	0.351
NPC NAVICULA PSEUDOSCUTIFORMIS	tr	1	1-0	1-0	1 c	it r	1 r	i l c	1 e	1 e	a l r	1	1 o	it r	a t c	at c	1 . .	1 0	0	ا الم
INPP NAVICULA PUPULA	1-0	1 <u> </u>	1-0	t o	it c	it c	it c	at c	it o	it o	, t .	at o	it o	16	at c	at c	i l c	1 <u>0</u>	0	0,176
	0	1 0	<u>0</u>		1 0	ut c	ut e	ut	1 <u> </u>	1 o	<u>st c</u>	s t o	u l	1_0	<u> </u>	<u>s o</u>	1_0	10	0	
NRA NAVICULA RADIOSA		1_0	<u>ه</u> ار	0	0	1_0	1_0	0	0	1_0	<u>ه </u>	<u>ه </u>	1_0	<u>ه</u> ا	<u>ه </u>	<u>ه </u>	1_0	<u>ہ</u> ار	0'	0
NRT NAMCULA CRYPTOTENELLA	2,604	0,528	0	· <u>°</u>	<u> </u>	0	<u> </u>	<u>ه</u> _ا	0	3,012	2 0	1_0	<u>ہ</u> ار		1,064	+ 0,429	1_0	<u>'o</u> '	0'	0
NSM NAVICULA SEMINULUM	0	<mark>و ا</mark> ر	′ <u>وَ</u> ′	0'	0	0		<u>ا</u>	ا ت ا	' <mark>ت</mark> ا		J 0,162	0'	0	0	0	0	<u>'</u>	0,862	0
NTGR NITZSCHIA GRACILIS	0	0	<u></u> ′	<u>0</u> '	0	0	0	0	0	· [0	/ O	<u>رہ ار</u>	· [_ 0'	0	<u> </u>	<u>/ </u>	0	/ 0/	0	0
NTVA NITZSCHIA VALDESTRIATA	_	_	<u>و</u>	<u> </u>	0	<u> </u>	0	(°	0'	<u> </u>	/ O'	<u>' '''''''''''''''''''''''''''''''''''</u>	<u> </u>	<u> </u>	0	<u>/ 0</u>		/ 0/	-0	
NUSA NAVICULA AMERICANA	Ļ	L,		ب	ب	- <u> </u>	<u></u> − ^v		f'	f,	- v	4 <u> </u>	(v	<u></u> − ,	<u> </u>	<u> </u>	<u></u>	0		19
OM FRAGLARIA LEPTOSTAUHON MARTITI	 ~	1 2 430	+ 1 247	1 2018	+	<u>;</u>		: ز ا	÷	1 2 631	÷	<u>, </u>	. - ;	÷	<u>+-</u> *	0.426	÷	1,603	بر ا	1
	+	13,920	1, 3 ,7	13,510,	2,210	÷	1,000	╡─╴╴	; [ر	1,001	+	<u>, </u>	<u>;</u> ;	<u>.</u>	÷	0,920 A C	÷	0,07	با ب	1
PARA PARALIA SULUATA	t-ř	ᢤ	, l č	ᢤ	ᢤ᠆᠊ᢪ	ن ا	÷	÷	1012	; ;	<u>,</u> +;	ᢤ᠆ᢅᡷ	، ل ``	$\frac{1}{7}$	╡╴╴	╗╋╴╴	ᢤ᠆᠆ᡷ	, ~ ~	ن ا	t v
POUP PINNUL ARIA DIVERGENTISSIMA	tr	i l c	to	1-7	s t c	s t č	i i	, 1- 7	1 ,	, ∣ č	i i	d õ	, 1- č	tr	i t c	a t c	tr	÷;	1-0	1-0
PIAL PINNULARIA ALPINA	10	1 c	1 0	10	1 6	it c	at c	it c	it o	ite	1 t	10	10	te	at c	at c	i t c	1 0	0	0.044
PIB PINNULARIA BOREALIS	10	10	<u>1</u>	10	1 .	st c	1 c	it c	10	ut o	1 .	10	10	it e	st c	st c	it e	0,139	0,172	0,132
PIGI PINNULARIA GIBBA	0	0	1 0	0	10	<u>, 1</u>	1 e	10	10	ut o	1 e	5 0	10	1 o	<u>s t</u>	<u>0 l</u>	ut e	1 0	, , , , ,	0,088
PIIN PINNULARIA INTERMEDIA	0	1_0		0'	1_0	1_0	1_0	1_0	0	1_0	<u>ہ</u> _ا	<u>ه </u>	1_0	0	<u></u> l	<u>ه </u>	1_0	<u> </u> '	<u>0</u> '	0
PIS PINNULARIA SIMILIS	0	0	0'	<u>0</u> '	0	0	0	0	0	` <u>ہ</u>]،	0	`0ل	0	0	0	0	0	0	0'	0
PISU PINNULARIA SUBCAPITATA	0	0	<u>(''</u>	0'	0	0		· '	<u>°</u>	/ 0'	0	·	<u> </u>	0'	/ O	<u>ر</u>	0	0	0'	0
	↓	<u>+</u> ;	÷	<u>+ "</u>	1 %	 ?	f - ?	<u> </u>	<u> </u>	f ?'	0	1 0	f o'	Į į	<u> </u>	<u> </u>	0,338	0	0,086	0,088
PLEL PLEUROSIGMA ELONGATUM	÷	<u>. – – – – – – – – – – – – – – – – – – –</u>	÷	<u>+ ~</u>	<u>+</u> +'	<u>+</u> +'	<u>+ </u> *	<u>+</u> ;	<u>+'</u>	' ا	<u>+ '</u>	0,162	<u>+ "</u>	ť	<u>+</u> +	<u></u>	<u>+</u> +	<u>+ </u>	<u> </u>	<u> </u>
	Ť	; ل	ᢤ᠆᠊ᢪ	ن السخ	÷	÷	, 1 7	، ل	'ج ل	را ب	ج ا	<u>,</u>	÷	'	, ;	<u>,;</u>	÷	÷	t de la	H-
	Ť	12900	ᢤ	1 2 896	0.37	، ا	ᢤ᠆᠊ᢪ	ᢤ᠆᠆	+	1 0 407	ᢤ	ن ج ا ب	$+ \tilde{c}$. ⊢ ~′	╤╋	,t−-ř	╡─╴	; ; '	، ا	.
RU ARUTALUUIA OIGUA	tr	1 <u></u>	1.178	1 0.511	0.735	ت اه	1 3 197	1 0.316	ئار	1 0 201	4 747	نۍ له	ب ل ر	, l −č'	at č	ن ہ ا ر	it - ř	╓╌╝	ι – č	1-ð
RHRR RHOPALODIA BREBISSONII	1-7	1.189	1 <u>6</u>	1,193	(¹ ,,	i t - č	1 6	1 C	i t č	10,200	1 1.031	3.398	it ë	0.217	\vec{r}	a l c	i l c	ن ا	0.086	10
RHGI RHOPALODIA GIBBERULA	5,387	4.491	8,249	3,748	3.327	1 2.377	1 3,77	0.316	0.369	2,61	1.031	2.589	0.313	1.085	1.067	3.43?	1	i l	0,00	0.088
RHMU RHOPALODIA MUSCULUS	0	0,264	0,842	0,511	10	0,187	200	ي ال	1 0	3,012	2 0	50	10	0	5 T t	<u>, -</u> l	1 0	, 0 '	0	0
RHWE RHOPALODIA WETZELII	0	0	0	0	1_0	0	0	10	10	<u>ہ آ</u> ر	<u></u> t	<u>, o</u>	1 0	0	<u>1 0</u>	<u> </u>	0	, 	0	0
SA STAURONEIS ANCEPS	0	و ا	/ <u></u> '	/ <u> </u>	0	1_0	0	0	0	0	10	<u>رە</u> ار	0'	0'	<u> </u>	<u>ه</u> ار	0	<u>رە ار</u>	0,259	0
SGR STAURONEIS AGRESTIS	0	O	0'	0'	O		<u>ه</u> _۱	<u>ر</u> ار	<u>ر</u> ار	<u>ر ا</u> ر	<u> </u>	<u>،م</u> ار	O'	0'	<u>ہ</u>	<u>ہ</u>	0	0	0	0
SPH STAURONEIS PHOENICENTERON	0		<u> </u>	0'						· <u>ص</u> ار	<u> </u>	<u>رە ل</u> ر	O'	0'	0	0	0,169	0	0	0,044
STSA STAURONEIS SALINA	0,174		0	0	0	0	_	_	0	0	0	<u> </u>	<u>°</u>	<u> </u>	_	, <u> </u>	0	0	0	<u> </u>
	<u>+ </u>	<u>+ </u>	+ <u></u> ,	1 0'	1 °	0	- <u></u>	<u> </u>	<u> </u>	<u> </u>	· ۲	· ·	(⁰	0'	· ب	, o	0	0		0
	+ ÷	<u>.</u>	ب ا ب	. ⊢ .'	. 	<u>+ </u>	<u>+ </u> ,	÷	<u>+</u>	<u>+ "</u>	<u> </u>	<u> </u>	<u>+ "</u>	ب	<u>+;</u>	<u>+ '</u>	+			0,204
	÷	÷	, 1 ~ 	. [~ ~ '	÷	, 	÷	÷	<u>+ ~</u> ′	1 2000	<u>+</u> ;	<u></u>	<u>+</u>	'را	<u>.</u>	4	÷	<u>+ </u>	⊢ ⊸	H
SUTH SURINELLA STRUATULA	ن ل	ᢤ᠆ᢅ	<u>, – –</u> ;	+	÷	, ;	÷	ᢤ	2467	2,000	1000	+ 150	، ا	+	÷	╎┼╴ど	ł	<u>. – .</u>		H
SUWE SUPINELLA WEI ZEUN	1 ř	t č	ŧř	ᡰ᠊᠊ᢅ	، 	テ᠆ᡶ	ᢤ	ᢤ	2,900	, 1 ~	<u>10,200</u>	<u></u>	, 1 ~ ĕ′	10,937, 7	، ل č	ᢤ	ز آر	÷	0914	ار ا
SYNLI FRAGILARIA ULNA	1-0	1 e	ito	to	te	t č	+	d ,	t ē	ł	, t−č	4-7	1-0	ŧř	ن ا ر	ن ا ر	ار	ا آ	9,51	0.747
SYTE FRAGILARIA FASCICLILATA	10.69/	1 1 845	t c	ر ا	tt	1 1 095	$\pm \vec{c}$	1 0 150	1 607	1110	5 777	16311	8 464	11 71	2 128	tr	4 061	t à	<u> </u>	0.088

ANNEXE V: Tableau des abondances relatives exprimées en pourcentage des espèces de diatomées dans l'affleurement Churacari Bajo (CB).

- (T - 3)

Espèces	C245	C248	C250	C252	C253	C255	C262	C272	C273	C274	C275
ABI ACHNANTHES BIASOLETTIANA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ABR ACHNANTHES BREVIPES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ACBB ACHNANTHES BREVIPES BREVIPES	0	0	0	0	0	Ō	0	0	0	0	0
ACBI ACHNANTHES BREVIPES INTERMEDIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ACI ACHNANTHES ISLANDICA	0	0	0	0	0	Ō	0	ō	0	0	0
ACLA ACHNANTHES LATEROSTRATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ACLH ACHNANTHES LANCEOLATA HAYNALDII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ACLM ACHNANTHES LEMMERMANII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ACO ACHNANTHES COARCTATA	0.057	0	0,28	0	0	Ō	0	0	0	0	0
ACOB ACHINANTHES OBLONGELLA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ACPA ACHNANTHES PARVULA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ACPE ACHNANTHES PERICAVA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ACRE ACHNANTHES REVERSA	0	0	0	0	0	Ō	0	0	0	0	0
ACRO ACHNANTHES ROSTRATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AD ACHNANTHES DELICATULA	2,904	2,175	2,661	2,062	3,017	2,676	1,763	3,266	3,922	1,744	2,044
ADSE ACHNANTHES DELICATUTULA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AHI ACHNANTHES HIRTA	0,171	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ALA ACHNANTHES LANCEOLATA	0,285	0,653	0,14	0,258	0,144	0,334	0,186	0,891	0,523	4,942	0,876
ALO ACHNANTHES LONGIPES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AMCO AMPHORA COFFEAEFORMIS	0	0	0	0,258	0	0	0	0	0	0	0,292
AMOV AMPHORA OVALIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AMVN AMPHORA VENETA	0,342	0,218	4,062	0,387	0,287	0,334	0,371	0,238	0,261	0,145	0,73
ANSC ANOMOEONEIS SPHAEROPHORA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AUL AULACOSEIRA LACUSTRIS	<u> </u>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AY AMPHORA LYBICA	0	0	0	0	0,144	0	0	0	0	0	0
CAI CALONEIS INCOGNITA	0	0	0	0	0	0	0	0,119	0	0	0
CAOB CALONEIS OBTUSA			0	0		<u>م</u>			0	0	0
CAW CALONEIS WESTI	0	0	0	0,258	0	0	0	0	0,261	0	
	<u> </u>	- <u>,</u>	0	0			<u>ب</u>	0		0	ÿ
CUS COCCONEIS DISCULUS			0			- <u>°</u>		- 0		0	
CORE CHAR TOURROS SP.			0					0	<u>⊢ ,</u>	0	
							<u>ب</u>				
CHE COCCONEIS PLACENTULA	1 0	0 072	0					- 0			~
CPL COCCONSIS PLACENTULA EUGLYPTA		0,073		<u>~</u>	<u>ہ</u>		<u> </u>			- 0	
CVAT CVCLOTELLA ATOMUS	<u>ہ</u> ا	<u>ہ</u>						^			~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~
	l ő	- v	0	0	0	0	- ě				
	<u> </u>			- 0 - 1	0	- ⁰	<u> </u>	0	1	- 0	·
CTHR CTCLUTELLA HAVANSSONIAE	0.068	l ö	Ň	0	0 287	0 802	4 824	0	ő	ŏ	ŏ
	0,500	- ŏ	0	0	0,207	0,032	4,024	0	- ů	- ů	<u> </u>
	1 822	0.043	0.56		- 0	0.334	1 577	10.21	4 183	0.872	14.6
	1,022	0.343	0,00	0	0	0,327	1,577	0 119	4,100	0,012	14,0
	ň	0,2,0	- ŏ		· 0	0	- ŏ	0,110	ő	0	
CYSR CYCLOSTEPHANOS DUBUIS	- ů	ő	- ŏ	ő	ŏ	ő	ŏ	0	ŏ	0	- 6
CYST CYCLOTELLA STRIATA	ŏ	0	- ŏ	- 0	0	ő	- ŏ	0	ō	0	- 6
	Ő	0.073	- ů	Ő	ō	0	0	0	Ō	Ö	ŏ
	0	0,010	0		0	ŏ	0	0	0	Ó	Ō
	ŏ	0		0.258	0	Ő	0 186	0	ō	0	0
DSB DENTICULUA SUBTILIS	ŏ	ő	ō	0,200	0	ō	0	0	Ő	Ō	0
	ō	0	ŏ	0	0	ō	Ö	0	0	0	0
EPTG EPITHENIA TUBGIDA GBANULATA	Ō	0	0	Ō	0	Ó	0.928	0	0.654	0	3,65
ET EPITHEMIA TUBGIDA	0.057	3.988	ō	Ö	0	0	0	1,9	0	0,436	0
EZ EPITHEMIA ADNATA	0,74	1,668	11,2	2,835	0,718	0,669	2,968	0,059	5,49	0	9,927
FAT FRAGILARIA ATOMUS	67,37	58,74	12,46	32,99	58,33	62,88	44.06	53,74	49,93	47,97	21,61
FB FRAGILARIA BREVISTRIATA	2,79	3,698	0,84	12,5	7,615	5,686	7,421	1,01	5,621	1,163	1,022
FCA FRAGILARIA CAPUCINA	0,513	0,29	0,7	0,129	0,431	0,78	0,649	0.059	0,261	0,436	0,292
FCAV FRAGILARIA CAPUCINA VAUCHERIAE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FE FRAGILARIA ELLIPTICA	0	0	0	0,515	0	0	1,948	0	1,569	0	0,292
FP FRAGILARIA PINNATA	0,513	0,145	1,961	0,773	0,144	2,007	0,186	0,059	Ō	1,017	0
FRAC FRAGILARIA CONSTRUENS	0,114	0,145	0	0	0	0	0	0,059	0	1,308	0
FRAS FRAGILARIA CONSTRUENS SUBSALINA	3,929	0	18,35	6,314	12,07	11,71	3,989	2,553	3,66	0	0,292
FRCV FRAGILARIA CONSTRUENS VENTER	0,171	0	0	0	0	0	0,186	0	0	0	0
FRF FRUSTULIA FRENGUELLI	0	0,145	0	0	0	0	0	0,059	0	0	0,292
FRGO FRAGILARIA GOULARDII	0	0,145	0	0	0	0	0	0,416	0	0,436	1,752
FRL FRAGILARIA LAPPONICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FRNI FRAGILARIA NITZSCHIOIDES	0	Ō	0	Ő	Ō	Ō	0	0	0	0	0
FROL FRAGILARIA OLDENBURGIANA	0	Ö	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FRPU FRAGILARIA PULCHELLA	1,082	4,206	6,863	6,701	1,293	0,446	3,989	0,772	1,83	0,145	2,482
FRS FRAGILARIA SPECIES	7,118	4,786	3,081	6,959	2,73	4,125	17,53	5,285	8,497	0	9,051
FRZE FRAGILARIA ZEILLERI ELLIPTICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GAC GOMPHONEMA ACUMINATUM	0,171	0,218	5,742	0.258	0 202	0 ~~~		0,119	0,915	0	0,564
GG GOMPHONEMA GRACILE		0,073	<u> </u>	0,258	0.287	0,223		0,119	0,261	0,145	0
COME COMPHONEMA ANGUSTATUM	<u>ب</u>		1 404	0 645	0 740	0 000	0740	0		0	0 070
	0.205	0	1,401	CTC,U	0,/18	0,069	0,142	0		0	0,0/0
	0.403	0.145	0.50	0 25.0				۰ ۱		0	
	0,007	0,143	0,00	0,200	ں م	- n			- n	0	0
GYSP GYBOSIGMA SPENCERII	- n	0	0.28	1.289	0	ň	- ,	0.119	0.131	0	0,292
	<u> </u>	۰ ۱	0,20	.,203 ^	- n	<u> </u>	- n	0.050	- <u>-</u> ^	0 145	0,292
MASE MASTOGUA ELLIPTICA	1 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MDA AULACOSEIRA AL PIGENA	0.456	0.725	- o	1.546	0.575	0.223	0.186	0.297	0.784	0.727	0
MELI MELOSIBA LINFATA	0	0	0	0.129	0	0	0	0	0	0	Ő
NAA NAVICULA ACCOMODA	Ó	Ō	Ő	0	0	Ő	Ó	Ő	Ō	0	0
NAAB NAVICULA ABSOLUTA	0	0	0	0	0	Ó	0	0	0	0	0
NACC NAVICULA CAPITATA CAPITATA	1,139	0,218	Ó	Ó	0,144	Ó	0,186	2,375	0	24,71	0,584
NACL NAVICULA CAPITATA LUENEBURGENSIS	0	0	0	0	0	Ó	0	0	0	0	0
NAE NAVICULA MEDIOCONVEXA	0	0	0,28	0	0	0,223	0	0	0	0	0
NAHA NAVICULA HALOPHILA	1,31	0,725	0,42	1,675	1,293	1,115	0,649	0,95	1,176	0,872	3,504
NAI NAVICULA MINIMA	0,228	0,073	0	0	0	0	0	0,178	0	0,291	0
NALP NAVICULA LAEVISSIMA PERHIBITA	0	0,145	Ō	0	0	Ö	0	0	0	0	Ō
NAMD NAVICULA MODICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NAO NAVICULA TENELLOIDES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NAPE NAVICULA PEREGRINA	0,399	0,145	1,681	1,933	1,868	0,669	2,134	1,425	0,784	0,291	0,292
NAPH NAVICULA PHYLLEPTA	0,057	0	0	0,644	0,144	0	0	0	0	Ō	0
NAPR NAVICULA PERMINUTA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Ó
NAS NAVICULA SUBMURALIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NATH NAVICULA TRIVIALIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NAU NAVICULA MUTICA	0	0	0	0	0	0,223	0	0,297	0,261	0,291	0,292
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NBA NAVICULA BACILLUM	0 	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0,145	0	0	0	0	0	0	0,261	0	0
INCHU NAVICULA CAPITATA HUNGARICA	1 0	0,218	0	0,773	4,454	0,223	0,371	0,416	0,261	0	1,46

••

	0515	0515	0.77	A	Control I	0000	0000	0070	0000	0274	0275
Espèces	C245	C248	C250	C252	C253	C255	C262	0.272	0.273	0.672	C275
	1,253	0,29	0	0,387	0,431	0,111	0,557	0,238	0,201	0,072	0
			1 0	0	0,207	0.223	0,186	0,119	0,261	0,291	0,146
NF NITZSCHIA FRUSTULUM	Ťŏ	Ő	8,543	1,031	1,006	0,557	0,742	1,366	4,575	0,872	20,29
NFS NITZSCHIA FOSSILIS	0	0,653	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NGG NAVICULA GREGARIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NHN NAVICULA NIVALIS	0,114	0,073	0	0	0	0	0	0	0	0,436	0
	Ļç			0	Ļò	0	⊢ °		⊢ °	0,145	⁰
NIAL NI I ZSCHIA ALMINA NI AM NI I ZSCHIA AMPHIRIA	 ^	<u>^</u>	<u> </u>	0				- ⁰			0
NIAR NITZSCHIA ARCHIBALDII	Ιõ	0,435		Ő	ő	- o	1 0	ŏ	l ő	ŏ	ŏ
NIAU NITZSCHIA ACICULARIS	L Ó	0	Ó	0	Ō	ō	0	Ö	ō	ō	Ó
NIBU NITZSCHIA BACILLUM	0,513	0,073	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NIFO NITZSCHIA FONTICOLA	0,285	0,145	0,7	0	0	0	0	0,119	0	Ó	0
NIH NITZSCHIA HANTZSCHIANA		0	ļ	0	0	0		0	0		0
		0		0	0	0		0	0	0	0
	0	0 943	1 401	0	o o	0 223	0	0	0.392	0	0
NILI NITZSCHIA LIEBETRUTHI	0,057	0,145	0	Ő	Ť	0	ŏ	ŏ	0	ŏ	ő
NILN NITZSCHIA LINEARIS	0	0,218	Ō	0.387	ō	ō	Ō	0,178	Ő	0,727	Ó
NIPC NITZSCHIA PALEACEA	0	0,29	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NIPE NITZSCHIA PERMINUTA	0,057	0,435	0,28	0	0,144	0,111	0	0	0	0	0.292
NIPS NITZSCHIA PUSILLA	0	0		0	Ō	0,111	0	0	Ö	0	ļ
NISU NITZSCHIA SUBACICULARIS	<u>⊢ °</u>	<u>⊢⊸</u>	2 204	0 5 1 5	<u>ج</u>	0 0		0	- o	0	
	0.513	2,878	0 2,301	0,313		0,223		9.62		2,326	
NLA NAVICULA PSEUDOLANCEOLATA	0,010	0	l õ	0,258	ŏ	0	1 0	0,02		0	<u> </u> −
NMIN NAVICULA MINUSCULA MINUSCULA	Ō	0	0	0	Ō	ŏ	Ō	0	ŏ	Ō	Ó
NMV NAVICULA MUTICA VENTRICOSA	0	0,145	0	0	0	0,223	0	0	Ö	0	0
NPA NITZSCHIA PALEA	0	0	0	0	0	0,223	0,186	0	0	0	0
NPDE NAVICULA PSEUDOLANCEOLATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		⊢ °		0 100	<u> </u>	- 0	<u>م</u>		0	0 145	
	0		- U - N	0,129	0 575	0 223				2 035	
NR NAVICULA RHYNCHOCEPHALA	0,228	0,435	0	- 0	0,3/3	0,223	0	0,178	0	1,000	0
NRA NAVICULA RADIOSA	0	0	0	0	ō	0	ŏ	0,119	ō	0,145	ō
NRT NAVICULA CRYPTOTENELLA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Ó	0
NSM NAVICULA SEMINULUM	0	ō	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0,171	0	0	0			0	0	0	0	0
	0.057	0	0,28	0				0	0	0	0
OM FRAGILARIA LEPTOSTALIRON MARTYI	0,007	0	0	0	- 0	1 0	- n	0	0	0	0
OO OPEPHORA OLSENII	0,057	Ő	0	0	0	0	Ŏ	ő	0	ō	Ő
PARA PARALIA SULCATA	0	0	0	0	0	0	0	0	Ó	Ó	0
PBDI PINNULARIA MICROSTAURON BREBISSONII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PDIV PINNULARIA DIVERGENTISSIMA	0,057	0	0	0	0	0		0	0	0	0
	0 114	0 362	014	0 259	0	0 222	0 195	0 770	0.264	1 017	0 140
PIGI PINNULANIA DUNEALIS	0,114	0,303	0,14	0,200	0	0,223	0,100	0,238	0,201	1,017	0,140
PIIN PINNULARIA INTERMEDIA	ŏ	Ő	- d	0	Ő	ő	l õ	0	0	0,727	ő
PIS PINNULARIA SIMILIS	0	0	0	0	0	Ö	ō	0,178	0	0,291	Ō
PISU PINNULARIA SUBCAPITATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,727	0
PIVI PINNULARIA VIRIDIS	0	0	_ o	0	0	0	0	0	0	0	0
PLEL PLEUROSIGMA ELONGATUM	<u>0</u>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PSIN PINNUI ARIA SINISTRA	0	0	0	0		0.223	0	0	0		0 292
RG RHOPALODIA GIBBA	l õ	0	5		0	0	0			0	0,494
RHAC RHOPALODIA ACCUMINATA	Ó	0	Ó	Ő	Ő	0	ō	ō	0	ō	ō
RHBR RHOPALODIA BREBISSONII	0	0,145	0	0,644	0,144	0	0	0	0	0	0
RHGI RHOPALODIA GIBBERULA	0,569	0	0	1,16	0,144	0	0,371	0	0	0	0
RHMU RHOPALODIA MUSCULUS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Ō	0
	0.057	0	0	0		0 222	0	0	0	0	0
SGR STALIBONELS ANGERSTIS	0,057	0	0	0	0	0,223	0		0.261	1,017	0
SPH STAURONELS PHOENICENTERON		0	0	0	0	0	0	0.059	0,201	0.145	
STSA STAURONEIS SALINA	Ő	0	0	Ő	Ő	Ő	Ő	0	0	0	ő
SUBK SURIRELLA BREBISSONII KUETZINGII	0	0	0,28	0	0	0,223	0	0	0	0	0
SUO SURIRELLA OVALIS	0,114	0,218	0	0	Ő	0	0	0	0	Ō	0
SUTA SURIRELLA OVATA UTAHENSIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0,261	0	0
SUME SUBIRELLA STRIATULA	0 171	0	0	1 675		0	0	0	0	0	0
SYNA FRAGLARIA ULNA ACUS	0	0	0	0	-0	0	0	0	0	0	0
SYNU FRAGILARIA ULNA	0.513	0	12,18	Ő	Ő	0,446	0,557	ō	1,569	ō	0,146
SYTF FRAGILARIA FASCICULATA	0,057	0,145	0,42	11,08	0,575	0	0,186	0,416	0,654	0	1,314

Annexe V: Tableau des abondances relatives exprimées en pourcentage des espèces de diatomées dans l'affleurement Pakollo Jahuira (J0), dans les affleurements du site Tauca I et J (BT) et dans les biohermes (S).

Espèces	BTOS	BT07	втоя	BT12	BT13	J019	J023	.1030	1033	.1038	.1047	.1050	J057	\$19	\$20	\$22	\$23	\$37	547
ABR ACHNANTHES BREVIPES	0	0	0.18	0	0.31	2 72	14 2	17.3	28.3	18.4	53.9	43 1	12.2	1.61	0.37	0.61	1.01	3.86	
AD ACHNANTHES DELICATULA	0.25	0.29	1.64		0,01	0.39	3.87	2.00	3.04	3.21	20.2	14 0	8 38		0,07	0,01	1,01	0,00	
ALA ACHNANTHES LANCEOLATA	0	0.29	0		1 0	0,00	0,01	0.76	0,04	0,21	20,2	0	0,00	- 0	0	0	- ŏ	0	0.11
AMCO AMPHORA COFFEAFORMIS	299	372	0.73				ň	0,70		1 ñ	ň	- ŏ	ŏ	0	0	0	1 õ	0	0.11
AMPS AMPHORA SPECIES	0	0,12	0,10		1 õ		- 0		1 ñ		- 0		0	0	3		134	- Ň	1 50
AMVN AMPHORA VENETA		229	2.55				0			1 ñ	0	0 13	0.27				1,54	- 0	1,05
ANS ANOMOEONEIS SPHAEROPHORA	 ;	2,25	2,00	0.84	0.63			L õ				0,13	0,27	0	0	0			- 0
CAW CALONEIS WESTI	1 õ	1 õ		0,04	0,00	0.58	0.32	0 10	0.34	0.36	0.52		0	0	0	0			- 0
CP COCCONEIS PLACENTULA	 õ	1 15	0.36			0.58	3.87	1 14	1.85	3.93	0,02	04	0	0		03	0.34	20	0
CYCS CYCLOTELLA STELLIGERA	0.25	0.29	0.18			0,00	1 20	0.38	0.17	0,50	ő	0,4	ŏ			0,5	0,04	2,3	- 0
CYDI CYCLOTELLA DISTINGUENDA	0,20	0,25	0,10		 		3.87	0,50	0,17				0	0					0
CYMG CYCLOTELLA MENEGHINIANA		0	- 0		ر ا	8 95	0.97	0.95	0.34		- 0		0 14		0				
CYST CYCLOTELLA STRIATA	0.5	0.57	0.55		0.63	70.8	587	573	26.1	21 4	ŏ	0	0,14				0.24	04.5	0.62
DE DENTICULA ELEGANS	0.5	0,07	0,00		10,00	13,0	30,7	07,0	30,1	31,4	0		- 0	0	0	0	0,34	04,5	0,55
DISB DIPLONEIS SMITHILDILETATA				ا	 	0.78	0.07		0.94	0.54	0	0	- 0	0	- 0	- 0			0
OSB DENTICULUA SUBTILIS	86.3	817	88.0	59.5	62.6	1.05	1.61	20	12.5	0,04	12	14.0		004		00.6		0	0
		0.20	00,9	30,5	03,5	0.10	1,01	3,0	12,5	20,4	13	14,8	00,0	98,4	30	98,5	94		91,1
	0.25	0,25	-		- <u> </u>	0,19	<u> </u>	0,19	- v			0		0	0		0		0
	0,20	ا		4 75	2.52	0.10		0.05	- 0		- v	-		0	0	0		0	0
	1	0.57		34.6	2,52	0,19	0.65	0,90			0	0	- v	0			0	0	0,11
EP FRAGIL ARIA PINNATA	0.5	0,57	0.55	0.21	1.26	0.58	1.04	4 02	4 05	112	1 55		- 0		0	0	0.24		0,11
FRAC FRACILARIA CONSTRUENS	10,75	0	0,00	0,21	1,20	0,56	1,94	4,93	4,00	11,3	1,00		0	0		0	0,34	0	0,21
FRAS FRAGILARIA CONSTRUENS SUBSALINA	0.25	0.20	0				0.65	0.20	0,17	<u> </u>	0.50	0	0	0	0	0		0	0
FRS FRAGILARIA SPECIES	0,20	0,25				1 26	0,00	0,30	0		0,52	0	0		0	0	0	0	0,11
	1 05	0.57				1,30		0			0		- v	0	0	0	0,67	0,97	0
GONI GONPHONEMA ANGLISTUM	0,5	0,57	- 0	- 0	<u> </u>		0		0	0	0	0		0	0	0	0	0	0
GYSP GYPOSIGMA SPENCERII	0,5	0,57	- 0					0		0	0	0	0	0	0,75	0	0	0	0,64
MASE MASTOCI IA EL LIDTICA	- ÷		-				0.65	0.76	1.00	0,54	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	- ÷					0.10	0,65	0,76	1,09	1,79		0	0	0	0	0	0	3,38	0
	1 - %	 0	0	0		0,19	0	0	0,51	0,18	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	l š			0.11			0	0.00	0		0	0	0,54	0	0	0	0	0	0,21
	<u> </u>	ا	0.26	0,11	<u>ا</u>		0	0,30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1 8		0,30			0	0	0	0,67	0,18	0	1,46	0	0	0	0	0	0	0
	1 2 40	5 16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	58,4	0	0	0	5,31
	2,49	5,10	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	 		0	0		0		0	0	0	0	0	0	0	7,49	0	0	0	0
	 		0	0		0		0	0	0	0	0	0,41	0	0	0	0	0	0
NICC NITZSCHIA COMPRESSA COMPRESSA	- ÷		0	0	- 0	0	0.05	0,19	0	0,18	0	0,8	0,41	0	0	0	0	0	0
NIHU NITZSCHIA HUNGARICA	- ÷	0.20		0 11	0		1.20	0,95	0,84	0,89	2,59	0	1,22	0	0	0	0	0	0
	l š	0,25	1 45	0,11		- 0	1,29	1,33	1,30	0,71	0,52	18,4	1,08	0	0	0	0	0	0
	l š	0.20	0.26	0.11	1.26	- 0	~	0		0		0	0	0	0	0	0	0	0
NSCA NITZSCHIA SCAPELLIEORMIS	200	0,29	0,30	0,11	1,20	0	0	0	0	0	0	0,27	0	0	0	0	0,34	0	0
PARA PARALIA SHI CATA	2,99	0,00	0,91	- 0	0		0.65	0.57	2 40	0	0	0	0	0	0	0,3	1,34	0	0
	+ ~	0.57	0.10	0	- 0		0,65	0,57	2,19	2,32	0	0	0	0	- 0	0	0	0,97	0
		0,57	0,18	0	0.21			0 00		0	- 0	0	0	0	. 0	0,3	0	0,48	0
RHBR RHOPALODIA BREBISSONII	l ÷		0	0	0,31	0	- 0	0,38	1,18	0,89	0	2,66	1,08	0	0	0	0	0	0
		0	0	0.11	0,03	- 0	- 0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,97	0
RHMU RHOPALODIA MUSCULUS		0		0,11		0		0 10	1 25	0	0	0,93	4,32	0	0	0	0	0	
		0.20	0.55	0 11		0.20	0.20	0,19	1,35	0,18	0	0	0	0	0	0	0	0	0
STAW STALIPONEIS WISI OLICHII	1 %	0,29	0,00	0,11	001	0,39	0,32	0	0,17	0,18	4,15	1,33	1,08	0	0	0	0	0	0
				0,53	0,94	0.70	0 00	0.38	0,34	0	0,52	0,27	0	0	0	0	0	0	0
	1 %		0.55	0	0	0,78	2,20	0,95	0,17	0,18	0,52	0,66	0,14	0	0	0	0	0	0
	<u> </u>	0	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	- 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,04	0	0	0	0	0	0	0	0
STIT FICAGILARIA FASCICULATA	0	0	0	0	0	0,58	1,29	3,61	1,85	2,32	1,04	0	0	0	0	0	0.34	1.93	0

ANNEXE V: Tableau des abondances relatives exprimées en pourcentage des espèces de diatomées dans l'affleurement CHKA (Bassin de Chiar Kkota, Lipez)

ABO: AMPICRS BOTANDE Tots Tots <thtots< th=""> Tots Tots<!--</th--><th>Fan basa</th><th>Toor</th><th>7070</th><th>7075</th><th>7000</th><th>TOOL</th><th>7000</th><th>7007</th><th>7400</th><th>7400</th><th>7440</th><th>TAAC</th><th>7440</th><th>7404</th><th>7447</th></thtots<>	F an basa	Toor	7070	7075	7000	TOOL	7000	7007	7400	7400	7440	TAAC	7440	7404	7447
ABAD_CONTRES Display	Especes	T065	1070	10/5	1080	1085	1090	1097	1102	1109	1112	1116	1119	1121	114/
BIRLADAMINES BRUDINSU 24.5 1/3 0.67 1/24 24.6 0.13 0.020 0.2 0.20 0.2 0.20 0.2 0.20 0.2 0.20 <td>ABOL AMPHORA BOLIVIANA</td> <td>00.57</td> <td>17.54</td> <td></td> <td>10.01</td> <td>04.50</td> <td>0.070</td> <td>0.404</td> <td>0.000</td> <td></td> <td></td> <td>0.0</td> <td>4 000</td> <td>24.02</td> <td></td>	ABOL AMPHORA BOLIVIANA	00.57	17.54		10.01	04.50	0.070	0.404	0.000			0.0	4 000	24.02	
DADACESSMENT RESERVATION Dist Dist <thdist< th=""> Dist Di</thdist<>	ABR ACHNANTHES BREVIPES	28,5/	17,51	00,87	12,94	24,52	0,676	0,134	0,829			0,2	1,099	21,02	
ALLGE-DROUM Q150 Q160	ACAR ACHNANTHES ARENARIA	0.450	0.005		1 07	0.704		0,134	0.092				0,163	0,95	0.405
Allow Authorite To Struke Image of the second	AD ACHNANTHES DELICATULA	0,152	0,935		1,3/	0,781			0,276				3,840	14,20	0,135
AMAT AMAT <th< td=""><td>AHSP ACHNANTHES SP</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></th<>	AHSP ACHNANTHES SP														
AMCJ AMPICIAN CARVALALIANA 1.527 1.148 0.458 0.207 0.461 1 4 4 5 AMCO AMPRON ACCIPEREFORMIS 2.78 6.210 1.77 7087 2.08 4 4 4 4 5 1 AMCO AMPRON ACCIPEREFORMIS 2.78 6.210 1.77 7087 2.010 4 4 4 4 5 AMCO AMPRON ACCIPEREFORMIS 1.52 2.291 1.411 1.742 1.960 4 4 4 5 4 4 5 5 4 4 6 3 5 5 4 4 6 3 5 7 4 0.328 5 7 4 0.33 1.64 0.183 0.328 5 7 4 0.33 1.64 0.183 0.38 6.84 6.68 6.64 6.68 6.64 6.68 6.64 6.68 6.68 6.64 6.68 2.07 7 36 0.753 1.012								0,134	0.404						
AMCD AMPICAR ACCHTEAPCOMINS 2128 6219 1/1/ 1/2 1/2 1/2 1/2 4.03 MICD AMPICAR ACCUTTRSCILLA 4/11 0.33 0	AMCJ AMPHORA CARVAJALIANA	1,6/2	1,146	0,454	0,355	0,958	0,507		0,461					4.540	
AMCU AMPIGRA ACUTUSCULA 4.111 0.303	AMCO AMPHORA COFFEAEFORMIS	2,128	6,219	3,177	7,092	7,088	3,041	0,268	0,922					4,513	
AMD AMPICRA DELICATISSIVA Other Ot	AMCU AMPHORA ACUTIUSCULA	4,711		0,303											
AMPA AMPHORA ATACAMANA 0,152 2,271 1,181 1,724 2,195 1 1 1 0,122 0,23 0,22 </td <td>AMD AMPHORA DELICATISSIMA</td> <td></td>	AMD AMPHORA DELICATISSIMA														
AMMY AMPI-GAL VENETA 0 0.192 0.192 0.238 AMMY AMPI-GAL VENETA 0 0.192 0.238 0.238 ASPE ACHWAITHES SPELCOSA 0 0.238 0.538 0.538 ARGE ANDOLCOSE INSTRACTIONA 0.466 0 0.537 0.142 0.183 0.238 GRAC BRACCHWISTERA 0 0.537 0.142 0.183 0.238 0.538 GRAC GRACCHALLA ENGLIVETA 0.76 1.473 2.572 3.369 2.107 0.635 7.14 9.683 16.86 6.188 6.484 6.86 2.48 0.770 0.142 0.142 0.142 0.142 0.142 0.783 0.771 0.144 0.142 0.738 0.77 0.144 0.238 6.049 9.069 9.182 2.344 0.238 6.050 0.592 0.744 5.52 9.047 9.027 0.142 0.738 0.775 0.144 0.238 0.782 0.418 0.238 0.782 0.418 0.238 0.755 0.755	AMPA AMPHORA ATACAMANA	0,152	2,291		1,418	1,724	2,196								
ANSC ARMONECKIES SPLECKOM 0.238 0.278 AT AMPLOAL TRECA 0.456 0.537 0.142 0.538 AT AMPLOAL TRECA 0.456 0.537 0.142 0.538 AT AMPLOAL TRECA 0.537 0.142 0.538 0.537 AT AMPLOAL TRECA 0.537 0.142 0.153 0.238 CARE CARACYSTERA SPLACENTLLA LOULYPTA 0.76 1.473 2.572 3.369 2.107 0.670 0.403 5.114 9.083 16.86 6.481 16.86 2.46 0.142 0.142 0.142 0.143 0.143 0.143 0.142 7.360 0.275 0.776 0.144 0.144 0.142 7.360 0.276 0.772 0.468 3.502 7.360 0.278 0.757 0.544 0.144 0.144 0.142 0.142 0.142 0.144 0.144 0.142 0.142 0.142 0.142 0.144 0.142 0.142 0.142 0.142 0.142 0.142 0.142 0.144 0.144	AMVN AMPHORA VENETA					0,192									0.07
ASPE ACHWATHES SPECIOSA Unit Un	ANSC ANOMOEONEIS SPHAEROPHORA COSTATA														0,27
Art AMERICAR LYBICA L	ASPE ACHNANTHES SPECIOSA													0,238	0.500
BRAC BRACHYSIRA APONINA 0.458 1 0.57 0.142 0.183 0.238 CHAE CHAETOCEROS SP 0.76 1.73 2.572 3.365 2.107 0.676 0.403 5.714 9.083 18.8 6.188 6.488 6.488 6.488 6.48 16.86 24.8 CYCS CYCLOTELLA STELLIDERA 1	AY AMPHORA LYBICA						L								0,539
CAW CALONES WESTI 0.142 0.142 0.142 0.142 0.143 0.238 CPE COCCOREIS FLACENTULA EUGLYPTA 0.76 1.73 2.572 3.566 2,107 0,67 0,403 5.714 6.083 6.688 6.688 6.688 6.688 6.783 0.783 0.783 0.783 0.783 0.783 0.783 0.783 0.783 0.783 0.783 0.783 0.783 0.783 0.783 0.783 0.783 0.783 0.783 0.774 0.142 - - 0.783 0.777 0.784 0.783 0.777 0.784 0.783 0.777 0.784 0.784 0.777 0.784 0.784 0.783 0.777 0.784 0.784 0.783 0.785 <	BRAC BRACHYSIRA APONINA	0,456											0.100	0.000	
CHAE CHAETOCEROS SP OTE T	CAW CALONEIS WESTII							0,537			0,142		0,183	0,238	
CRE COCCONELS PLACEMULA EUGLYPTA 0,7F 1,473 2,572 3,369 2,107 0,76 0,433 5,714 9,083 168,6,168 60,49 156,6 24.6 (************************************	CHAE CHAETOCEROS SP.											0.400	00.40	40.00	24.0
CYCS CYCLOTELLA STELLIGERA 0.183 0.183 CYME CYCLOTELLA MENCENTINANA 0.142 0.142 0.142 CYME CYMBELLA CISTULA 6.535 21.77 0.454 23.4 46.38 3.002 0.142 0.142 0.142 0.756 CYME CYMBELLA MENCENTINANA 6.535 21.77 0.454 0.012 46.02 90.64 70.69 91.82 24.44 0.238 66.02 CYME CYMDELLA STIRILLA STIRITA 1.172 0.164 0.1012 46.02 90.64 70.69 91.82 24.44 0.238 62.02 0.134 0.014 0.02 0.134 0.014 0.028 0.0152 0.134 0.028 0.014 0.238 0.228 0.275 0.218 0.238 0.228 0.298 0	CPE COCCONEIS PLACENTULA EUGLYPTA	0,76	1,473	2,572	3,369	2,107	0,676	0,403	5,714	9,083	18,8	6,188	66,48	16,86	24,8
CYL CYMBELLA GRACIUS Image: Construction of the second secon	CYCS CYCLOTELLA STELLIGERA												0,183		
CYMC CYMC BLLIA A CISTULA CYMC CYCLOTELUA MENCEGHINANA CYMC CYMC CYCLOTELUA MENCEGHINANA CYMC CYMC CYCLOTELUA PUSILLA CYMC CYMC BLLIA PUSILLA CYMC CYMC BLLIA PUSILLA CYMC CYMC BLLIA STRIATA 1572 0,164 0,150 0,000 0,152 6,402 0,74 85,62 9,064 7,966 9,182 3,44 0,238 6,20 CYST CYCLOTELLA STRIATA DES DENTICULA MESOLEPTA DES DENTICULA CAPUCINA DES DENTICULA MESOLEPTA DES DES DES DES DES DES DES DES DES DES	CYL CYMBELLA GRACILIS														
CYMC CYCLOTELLA MENGCHINANA	CYMC CYMBELLA CISTULA														
CYMP CYMBELLA PUSILLA 6,535 21,77 0,454 23,4 4,639 30,1 4,689 30,20	CYMG CYCLOTELLA MENEGHINIANA										0,142				
CYST CYCLOTELLA STRATA 1,672 0,164 0,173 0,184 79.06 91.82 23.44 0,238 66.04 DIED EDNTICULA MESOLÉPITA 0.608 0,177 0,134	CYMP CYMBELLA PUSILLA	6,535	21,77	0,454	23,4	46,93	20,1	4,698	3,502					7,363	0,27
DE CENTICULA ELEGANS 0,68 0,177 0.184 1 DES DENTICULA MESOLEPTA 0 0.134 0 0 DES DENTICULA MESOLEPTA 0.152 0.166 0 0 DES DENTICULA SUBTLIS 0.152 0.166 0 0 DENTO ENTONOREIS PALUDOSA 1.216 4.419 0.152 0.166 0 0 ENTO ENTONOREIS PALUDOSA 1.216 4.419 0.152 0.166 0 0 0 ENTO ENTONOREIS PALUDOSA 1.216 4.419 0.151 0.887 0.184 0.283 0.786 2.015 6.651 FE FARGILARIA PINNATA 0.76 2.291 1.21 4.433 0.965 1.014 0.403 0.484 0.285 0.796 2.015 6.651 FRAS FRAGILARIA PINNATA 0.76 2.911 1.21 4.433 0.965 0.403 0.465 0.484 0.285 0.796 2.015 6.851 0.413 0.463 0.444 0.464 0.444 0.464 <t< td=""><td>CYST CYCLOTELLA STRIATA</td><td>1,672</td><td>0,164</td><td>0,151</td><td>0,709</td><td>0,192</td><td>64,02</td><td>90,74</td><td>85,62</td><td>90,64</td><td>79,06</td><td>91,82</td><td>23,44</td><td>0,238</td><td>66,04</td></t<>	CYST CYCLOTELLA STRIATA	1,672	0,164	0,151	0,709	0,192	64,02	90,74	85,62	90,64	79,06	91,82	23,44	0,238	66,04
DMES DENTICULA MESOLÉPTA 0.134 0.134 0.134 DOB DIPLONES SUBOYALIS 0.152 0.166 0.166 0.166 DOB DEVICULA SUBTILIS 0.152 0.167 0.877 0.184 0.238 DETO ENTICULA SUBTILIS 0.152 0.167 0.877 0.184 0.238 DETO ENTICOLA SUBTILIS 0.152 0.168 0.166 0.238 DETO ENTICOLA SUBTILIS 0.152 0.168 0.288 0.278 CAR RAGILARIA BREVISTRIATA 0.76 2.291 1.21 4.433 0.956 1.014 0.403 0.184 0.285 0.786 2.015 6.661 FRASIGUARIA CONSTRUENS SUBSALINA 0.33 0.433 0.465 0.183 0.285 0.0674 MASE MASTOCIONA SENCERII 0.403 0.465 0.183 0.285 0.0674 NARE NAVICULA FRICONSTRUENTS 0.164 0.465 0.855 0.399 1.099 0.539 NARA NAVICULA ALGUNENSIS 0.164 0.166 0.134 0.276 2.513	DE DENTICULA ELEGANS	0,608			0,177				0,184						
DED DIPLONEIS SUBOVALIS Image: Construct of the substruct of the sub	DMES DENTICULA MESOLEPTA							0,134							
DSB DENTICULA SUBTILIS 0,152 0.169 0.164 0.238 EZ EPITTEULA SUBTILIS 0,151 0.887 0.192 0.507 0.184 0.238 EZ EPITTEMIA ADINATA 0 0 0 0 0 0 FRAGILARIA CAPUCINA 0 <td>DS DIPLONEIS SUBOVALIS</td> <td></td>	DS DIPLONEIS SUBOVALIS														
ENTO ENTOMONEIS PALUDOSA 1,216 4,419 0,150 0,920 0,927 0,164 0,238 EFE FRAGILARIA DINATA I <tdi< td=""> I I</tdi<>	DSB DENTICULA SUBTILIS	0,152					0,169								
EZ EPTIFEMIA ADNATA Image: Construction of the	ENTO ENTOMONEIS PALUDOSA	1,216	4,419	0,151	0,887	0,192	0,507		0,184					0,238	
FIE FRAGILARIA DREVISITIATA Image: Construction of the constructio	EZ EPITHEMIA ADNATA														
FCA FRAGILARIA CAPUCINA	FB FRAGILARIA BREVISTRIATA														
PFRAFILARIA PINNATA 0,76 2,291 1,21 4,433 0,958 1,014 0,403 0,184 0,285 0,798 2,015 6,651 FRAF FRAGURATIA CONSTRUENS SUBSALINA 0,383 0,403 0,645 0,183 0,285 0,674 GYSP CYROSIGMA SPENCERII 0,383 0,403 0,645 0,183 0,285 0,674 MASE MASTOGLOA ELLIPTICA 0,134 0,134 0 0 0,134 0 0 NARE MASTOGLOA ELLIPTICA 0,164 0,134 0,276 0,855 0,399 0,539 NARE NAVICULA FALOPHILA 1,672 0,164 0,169 0,276 0,2613 0,434 0,276 0,239 0,539 NARA NAVICULA ANALINCECIA 17,78 5,892 0,508 5,496 1,341 0,276 0,733 0,733 0,768 0,394 0,795 0,383 0,96 0,739 0,539 0,96 0,739 0,739 0,739 0,739 0,739 0,739 0,739 0,739 0,739 0,739 0,739 0,739 0,739 0,739 0,739 0,733	FCA FRAGILARIA CAPUCINA														
FRAS FRAGILARIA CONSTRUENS SUBSALINA Image: Construction of the second sec	FP FRAGILARIA PINNATA	0,76	2,291	1,21	4,433	0,958	1,014	0,403	0,184		0,285	0,798	2,015	6,651	
FRF FRUSTULIA FRENQUELLI 0.383	FRAS FRAGILARIA CONSTRUENS SUBSALINA														
GYSP GYROSIGMA SPENCERII 0.403 0.445 0.183 0.285 0.674 MASE MASTOGLOIA ELLIPTICA 0.134 0.276 0.134 0.134 0.276 0.131 0.134 0.276 0.733 0.134 0.134 0.276 0.133 0.134 0.134 0.183 0.95 0.134 0.276 0.733 0.134 0.169 0.092 0.183 0.96 0.183 0.96 0.183 0.96 0.183 0.96 0.183 0.96 0.183 0.96 0.183 0.96 0.183 0.96 0.183 0.96 0.183 0.96 0.183 0.96 0.183 0.96 0.183	FRF FRUSTULIA FRENGUELLII					0,383									
MASE MASTOGLOIA ELLIPTICA 0.134 0.134 NAEG NAVICULA ELGINENSIS 0.164 0.169 0.855 0.399 0.539 NAPH NAVICULA PHILA 1.672 0.164 0.169 0.855 0.399 0.539 NAPH NAVICULA PHYLEPTA 1.672 0.164 0.169 0.134 0.276 2.613 NATA NAVICULA INCERTATA 17.78 5.892 0.908 5.466 1.341 0.169 0.733 0.733 NATA NAVICULA ATACAMANA 0.0709 0.958 0.134 0.276 0.733 0.733 NCA NAVICULA CARITATA 0.169 0.944 1 0.739 0.956 0.733 0.95 NCA NAVICULA CAR 0.709 0.958 0.134 0.276 0.733 0.65 0.733 0.95 0.733 0.757 0.184 0.142 0.362 0.66 1.078 0.072 0.184 0.142 0.365 9.674 0.674 0.655 0.539 0.674 0.735 0.674 0.735 0.674 0.755	GYSP GYROSIGMA SPENCERII							0,403	0,645	0,183	0,285				0,674
NAEG RAVICULA ELGINENSIS Image Ima	MASE MASTOGLOIA ELLIPTICA							0,134							
NAHA NAVICULA HALOPHILA Image Imag	NAEG NAVICULA ELGINENSIS														
NAPH NAVICULA PHYLLEPTA 1,672 0,164 0,169 0,855 0,399 1,099 0,539 NASA NAVICULA SALINICOLA 17,78 5,892 0,908 5,496 1,341 0,169 0,134 0,276 2,613 2,613 NATA NAVICULA INCERTATA 0 0,709 0,958 0,134 0,276 0,733 0,	NAHA NAVICULA HALOPHILA														
NASA NAVICULA SALINICOLA 17,78 5,892 0,908 5,496 1,341 0,169 0,134 0,276 2,613 NATA NAVICULA INCERTATA 0 0,709 0,958 0,134 0,276 0,733 0 NATA NAVICULA ATACAMANA 0,709 0,958 0,134 0,276 0,733 0 NCA NAVICULA CRYPTOCEPHALA 0,709 0,958 0,134 0,092 0,183 0,95 NCA NAVICULA CARI 0,709 0,958 0,194 0,092 0,183 0,95 NCA NAVICULA CINCTA 0,169 0,092 0,184 0,142 0,366 29,69 0,674 NCO NAVICULA CUSPIDATA 6,71 13,01 4,787 2,107 0,507 0,184 0,142 0,366 29,69 0,674 NRU NAVISCULA CUSPIDATA 0,152 0,164 0,338 0,092 0 0 3,908 NILU NITZSCHIA REUSTULUM 6,571 13,01 4,787 2,107 0,507 0,184 0,142 0,366 29,69 0,674 NINI NITZSCHIA FRUSTULIM 6,571 0,152 0,164	NAPH NAVICULA PHYLLEPTA	1,672	0,164				0,169				0,855	0,399	1,099		0,539
NATA NAVICULA INCERTATA Image: Constraint of the second seco	NASA NAVICULA SALINICOLA	17,78	5,892	0,908	5,496	1,341	0,169	0,134	0,276					2,613	
NATC NAVICULA ATACAMANA 0,709 0,958 0,134 0,276 0,733 NC NAVICULA CRYPTOCEPHALA 0,709 0,94 0,94 0,733 0,733 NCA NAVICULA CRRI 0,169 0,092 0,183 0,95 NCA NAVICULA CARI 0,169 0,092 0,183 0,95 NCA NAVICULA CIARTA 0 0 0,96 0,992 0,183 0,95 NCI NAVICULA CIMATA 0 0 0,902 0,183 0,95 0,956 0,973 0,956 0,992 0,183 0,95 NCI NAVICULA CUSPIDATA 0 0,152 0,164 0,338 0,992 0,674 0,308 0,992 0,674 NRE NITZSCHIA FRUSTULUM 0,152 0,164 0,338 0,092 0,539 0,142 0,22 0,539 NINU NITZSCHIA INCORNEPICUA 0,655 1,418 0,142 0,22 0,539 NILL NITZSCHIA LIGEBETRUTHII 0,152 0,958 0,142 0,22 0,539 NILL NITZSCHIA VALDECOSTATA	NATA NAVICULA INCERTATA				_										
NC NAVICULA CRYPTOCEPHALA 0,94 0,94 0 NCA NAVICULA CARI 0,169 0,092 0,183 0,95 NCA NAVICULA CARI 0 0 0 0 0 0 NCA NAVICULA CINCTA 0	NATC NAVICULA ATACAMANA				0,709	0,958		0,134	0,276				0,733		
NCA NAVICULA CARI 0,169 0,092 0,183 0,95 NCAR NAVICULA AFF CARVAJALIANA 0	NC NAVICULA CRYPTOCEPHALA							0,94							
NCAR NAVICULA AFF CARVAJALIANA Image: Constraint of the constrene constraint of the constraint of the constrene cons	NCA NAVICULA CARI						0,169			0,092			0,183	0,95	
NCI NAVICULA CINCTA 1,078 NCOM NITZSCHIA COMMUNIS 1 </td <td>NCAR NAVICULA AFF CARVAJALIANA</td> <td></td>	NCAR NAVICULA AFF CARVAJALIANA														
NCOM NITZSCHIA COMMUNIS Image: constraint of the second seco	NCI NAVICULA CINCTA														1,078
NCU NAVICULA CUSPIDATA Image: Control of the state of th	NCOM NITZSCHIA COMMUNIS														
NF NITZSCHIA FRUSTULUM 6,71 13,01 4,787 2,107 0,507 0,184 0,142 0,366 29,69 0,674 NGRU NITZSCHIA GRUNOWII 0,152 0,164 0,338 0,092 3,908 NI NITZSCHIA HUNGARICA 0,655 1,418 0,142 0,22 0,539 NILA NITZSCHIA LUBERTRUTHII 3,495 0,982 0,142 0,2 0,539 NILI NITZSCHIA LIEBETRUTHII 0,539	NCU NAVICULA CUSPIDATA														
NGRU NITZSCHIA GRUNOWII 0.152 0.164 0.338 0.092 Image: Constraint of the state	NF NITZSCHIA FRUSTULUM		6,71	13,01	4,787	2,107	0,507		0,184		0,142		0,366	29,69	0,674
NI NITZSCHIA INCONSPICUA 0,655 1,418 0 3,908 NIHU NITZSCHIA HUNGARICA 0,142 0,2 0,539 NILA NITZSCHIA LACUUM 3,495 0,982 0 0 0 0 0 0 0,539 NILA NITZSCHIA LIEBETRUTHII 0	NGRU NITZSCHIA GRUNOWII	0,152	0,164				0,338		0,092						
NIHU NITZSCHIA HUNGARICA 0,142 0,2 0,539 NILA NITZSCHIA LACUUM 3,495 0,982	NI NITZSCHIA INCONSPICUA		0,655		1,418										3,908
NILA NITZSCHIA LACUUM 3,495 0,982 Image: Constraint of the state of the st	NIHU NITZSCHIA HUNGARICA										0,142	0,2			0,539
NILI NITZSCHIA LIEBETRUTHII Image: Constraint of the system	NILA NITZSCHIA LACUUM	3,495	0,982												
NIPS NITZSCHIA PUSILLA 0,152 0,2 0,2 NIPU NITZSCHIA PUMILA 0,958 0,958 0,2 0,2 NIVA NITZSCHIA VALDECOSTATA 22,49 26,02 6,657 30,5 8,621 0,845 0,134 0,184 2,375 NLA NAVICULA PSEUDOLANCEOLATA 0,304 0,756 0,152 0,403 0,184 0,184 0,238 NPYG NAVICULA LONGIROSTRIS 0,152 0,403 0,184 0,238 0,238 RHGI RHOPALODIA GIBBERULA 0,152 0,403 0,184 0,238 0,238 RHWE RHOPALODIA WETZELII 1,52 0,491 0,454 0,887 0,338 0,238 SCPE SCOLIOPLEURA PEISONIS 0,655 0,532 0,192 1,52 0 0 STAW STAURONEIS WISLOUCHII 1,368 0,818 1,664 0,532 0,192 2,365 0,142 0,22 2,85 SUWE SURIRELLA WETZELII 0,126 1,216 1,21 0,177 0,507 0,134 0,142 0,2 2,85 <td< td=""><td>NILI NITZSCHIA LIEBETRUTHII</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></td<>	NILI NITZSCHIA LIEBETRUTHII														
NIPU NITZSCHIA PUMILA 0,958 0 0 0 NIVA NITZSCHIA VALDECOSTATA 22,49 26,02 6,657 30,5 8,621 0,845 0,134 0,184 2,375 NLA NAVICULA PSEUDOLANCEOLATA 0,304 0,756 0<	NIPS NITZSCHIA PUSILLA	0,152										0,2			
NIVA NITZSCHIA VALDECOSTATA 22,49 26,02 6,657 30,5 8,621 0,845 0,134 0,184 2,375 NLA NAVICULA PSEUDOLANCEOLATA 0,304 0,756 0	NIPU NITZSCHIA PUMILA					0,958									
NLA NAVICULA PSEUDOLANCEOLATA 0,304 0,756	NIVA NITZSCHIA VALDECOSTATA	22,49	26,02	6,657	30,5	8,621	0,845	0,134	0,184					2,375	
NLOG NAVICULA LONGIROSTRIS 0,152 0,403 0,184 0 NPYG NAVICULA PYGMEAE 0,152 0,403 0,184 0 0 RHGI RHOPALODIA GIBBERULA 0,169 0,169 0,238 0,238 0,238 RHWE RHOPALODIA WETZELII 1,52 0,491 0,454 0,887 0,338 0,238 0,238 SCPE SCOLIOPLEURA PEISONIS 0,655 0,532 0,192 1,52 0 0 0,238 STAW STAURONEIS WISLOUCHII 1,368 0,818 1,664 0,532 0,192 2,365 0,184 0,238 0,238 SUSE SURIRELLA SELLA 1,216 1,21 0,177 0,507 0,134 0,142 0,2 2,265 SUWE SURIRELLA WETZELII 0 0,183 0,183 0,183 0,183 0,183	NLA NAVICULA PSEUDOLANCEOLATA	0,304		0,756											
NPYG NAVICULA PYGMEAE 0,152 0,403 0,184 0 0 RHGI RHOPALODIA GIBBERULA 0,169 0,169 0,238 0,238 0,95 <td>NLOG NAVICULA LONGIROSTRIS</td> <td>0,152</td> <td></td>	NLOG NAVICULA LONGIROSTRIS	0,152													
RHGI RHOPALODIA GIBBERULA 0,169 0,169 0,238 RHWE RHOPALODIA WETZELII 1,52 0,491 0,454 0,887 0,338 0,95 SCPE SCOLIOPLEURA PEISONIS 0,655 0,532 0,192 1,52 STAW STAURONEIS WISLOUCHII 1,368 0,818 1,664 0,532 0,192 2,365 0,184 0,238 SUSE SURIRELLA SELLA 1,216 1,21 0,177 0,507 0,134 0,142 0,2 2,855 SUWE SURIRELLA WETZELII 0,183 0,183	NPYG NAVICULA PYGMEAE	0,152			_			0,403	0,184						
RHWE RHOPALODIA WETZELII 1,52 0,491 0,454 0,887 0,338 0 0,95 SCPE SCOLIOPLEURA PEISONIS 0,655 0,532 0,192 1,52 0,95 STAW STAURONEIS WISLOUCHII 1,368 0,818 1,664 0,532 0,192 2,365 0,184 0,238 SUSE SURIRELLA SELLA 1,216 1,21 0,177 0,507 0,134 0,142 0,2 2,855 SUWE SURIRELLA WETZELII 0,183 0,183	RHGI RHOPALODIA GIBBERULA						0,169							0,238	
SCPE SCOLIOPLEURA PEISONIS 0,655 0,532 0,192 1,52 </td <td>RHWE RHOPALODIA WETZELII</td> <td>1,52</td> <td>0,491</td> <td>0,454</td> <td>0,887</td> <td></td> <td>0,338</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0,95</td> <td></td>	RHWE RHOPALODIA WETZELII	1,52	0,491	0,454	0,887		0,338							0,95	
STAW STAURONEIS WISLOUCHII 1,368 0,818 1,664 0,532 0,192 2,365 0,184 0,238 SUSE SURIRELLA SELLA 1,216 1,21 0,177 0,507 0,134 0,142 0,2 2,85 SUWE SURIRELLA WETZELII 0 0 0 0 0 0 0 183	SCPE SCOLIOPLEURA PEISONIS		0,655		0,532	0,192	1,52								
SUSE SURIRELLA SELLA 1,216 1,21 0,177 0,507 0,134 0,142 0,2 2,85 SUWE SURIRELLA WETZELII 0 <	STAW STAURONEIS WISLOUCHII	1,368	0,818	1,664	0,532	0,192	2,365		0,184					0,238	
SUWE SURIRELLA WETZELII 0.183	SUSE SURIRELLA SELLA	1,216		1,21	0,177		0,507	0,134			0,142	0,2		2,85	
	SUWE SURIRELLA WETZELII												0,183		

ANNEXE V: Tableau des abondances relatives exprimées en pourcentage des espèces de diatomées dans l'affleurement CHKA (Bassin de Chiar Kkota, Lipez)

Espèces	T150	T152	T159	T170	T175	T178	T190	T196	T205	T221	T229	T238	T242
ABOL AMPHORA BOLIVIANA													
ABR ACHNANTHES BREVIPES	4,04	0,604	29,17		9,009	45,92		0,452					
ACAR ACHNANTHES ARENARIA													
AD ACHNANTHES DELICATULA	5,387	9,215	7,246	0,165	0,676	0,644	14,13	0,226					
AHSP ACHNANTHES SP		0,755											
AMAT AMPHORA ATACAMAE													
AMCJ AMPHORA CARVAJALIANA			0,906										
AMCO AMPHORA COFFEAEFORMIS	1,01	14,05	16,3		1,126	2,79	0,883	0,905	0,272				
		0.000	0.004			0 700	1.5.45						
		9,063	3,261			8,798	1,545						
	0 168		0 181		1 802		1 325					1 200	0 122
ANSC ANOMOFONEIS SPHAFROPHORA COSTATA	0,100		0,101		1,002		1,525		0 136	0.317	1 328	5.682	2 439
ASPE ACHNANTHES SPECIOSA		2,115	3.442		0.901	1.931			0,100	0,017	-1,020	0,162	2,400
AY AMPHORA LYBICA	0,337							-					
BRAC BRACHYSIRA APONINA											-	<u> </u>	
CAW CALONEIS WESTII		0,302	1,449										
CHAE CHAETOCEROS SP.								-		0,317		0,325	
CPE COCCONEIS PLACENTULA EUGLYPTA	43,1	4,23	22,64	10,91	1,802	7,94	20,75	10,63	11,14	0,635	0,133	3,247	1,829
CYCS CYCLOTELLA STELLIGERA		1,964	0,725			1,073			0,136				0,122
CYL CYMBELLA GRACILIS			0,362		0,45	0,429	0,662						
		0.000							0,136				
	0.160	0,302	4.007		64.04	0.045	0,442			0.150			0,122
	0,100	1,057	1,087	06.45	61,04	0,215	1,104	02.42	04.02	0,159	0.400		
	20,0	0,193	2,099	80,45	0,901	5,794	5,90	82,13	84,92	0,317	0,133	1 000	40.05
		0,302				0,429		_		13,49	10,73	1,623	13,05
DS DIPLONELS SUBOVALIS				0 165									
DSB DENTICULA SUBTILIS	h —			0,100									
ENTO ENTOMONEIS PALUDOSA		0,151					0.221						
EZ EPITHEMIA ADNATA			0,181				-1		0.136				
FB FRAGILARIA BREVISTRIATA				0,331								0.162	
FCA FRAGILARIA CAPUCINA		0,302											
FP FRAGILARIA PINNATA	4,04	31,87	0,725	0,331	0,45	1,717	1,104	0,905	0,815				0,122
FRAS FRAGILARIA CONSTRUENS SUBSALINA									0,136				
FRF FRUSTULIA FRENGUELLII													
	0,168	0,302	0,181	0,331				0,679	1,223				
		0.454	0.000										
		0,151	0,362							24,29		0,162	
	1 5 1 5	0,151		0.406	2 252			0.005	0.426		0,133	0,162	_
	0.505	2 417		0,490	2,252	2 261		0,905	0,136				
	0,505	2,411			0,070	2,301							
NATC NAVICULA ATACAMANA	0.168	8,459	0.181		0.45	0 644		0 452	0 136	57.46	37.98	74 19	65.24
NC NAVICULA CRYPTOCEPHALA									0,100	01,10	01,00		00,24
NCA NAVICULA CARI							0,221					2,76	7,805
NCAR NAVICULA AFF CARVAJALIANA					0,225								
NCI NAVICULA CINCTA		0,151							0,408	2,698	43,43	7,955	9,024
						0,858	1,545						_
										0,317		1,786	
	0,673			0,331									0,122
	0 337	_			0.45		0.004	0.450					_
	3 704			0.165	0,45		0,221	0,452	0.126				
	5,704			0,100			0,221	0,079	0,130				
NILI NITZSCHIA LIEBETRUTHII		3,776	3 08		0 225	9.013	47.68	0.452					
NIPS NITZSCHIA PUSILLA			- 0,00		0,220	0,010	11,00	0,402					
NIPU NITZSCHIA PUMILA	_												
NIVA NITZSCHIA VALDECOSTATA		0,604	0,181	_							0,133	0,325	
NLA NAVICULA PSEUDOLANCEOLATA					17,57	9,013	0,221		-				
NLOG NAVICULA LONGIROSTRIS							0,221						
	0,168		0,362	_			1,104						
STAW STALIBONELS WISLOLICHI		0.604	0.262										
SUSE SURIRELLA SELLA	7 576	0,004	3 442	0.165		0.420	0.224	0.670				0.400	
SUWE SURIRELLA WETZEL!!	0.337	0,500	3,442	0,100		0,429	0.221	0,079	0.126			0,162	
	0,007			0,100			0,441	J, 4JZ	0,100				

r	<u> </u>		6								~			N		6	0	-	6
1	A	K012	KOIE	V010	E 1021	F	6	H K027	1	J 7022	K026	L.	M KO44	KOAE	KOAR	1022	1023	1024	3
		0.00	0.00	_NU10	NU21	RU22	0.61	0.16	KUSU	NU33	NU30	N040	K044	NU40	0.10	11 44	0.00	2 72	0.34
2	ADR ACHMANTHES ADEMADIA	9,09	0,09		0.26	0.27	0,01	0,10							0,19	11,44	0,99	2,12	0,54
		0.23	0,05		0,30	0,27	0.12	0,10	0.78				1 12	0.59	0,19	1.66			
5		0,20	- 0,03		0,00	0,14	0,12	0,03	0,70				1,12	0,00		2 16	7 95	25.68	0.17
6		0.70	0.45	0.54	0.18	89.0	0.12							0.12		0.17	1,00	20,00	-0,11
7		- 0,70	0,40	0,04	0,10	0,00	0,12							0,12			2 65		
8	AMPM AMPHORA ATACAMANA MINOR																	1.95	
9	AMVN AMPHORA VENETA								0.16	1.21						0.33	0,66		
10	ANSC ANOMOEONEIS SPHAEROPHORA COSTATA				0.09		0.12		0.16	0.20			0,28			0,66	35,43		
11	ASPE ACHNANTHES SPECIOSA															0,66		0,78	
12	AY AMPHORA LYBICA															0,17	0,99		
13	CAW CALONEIS WESTII	0,12	1,09	0,54	0,09	0,14	1,22							0,12		0,66			
14	CD COCCONEIS DIMINUTA															0,66	0,33		
15	CHAE CHAETOCEROS SP.				_							0,40	11,17						
16	CPE COCCONEIS PLACENTULA EUGLYPTA	9,56	4,45	0,65	2,76	1,89	1,83	18,10	1,55	6,26	2,26	3,23	44,97	14,39	30,46	18,41	12,25	2,33	0,34
17	CPL COCCONEIS PLACENTULA LINEATA																3,97		
18	CYCS CYCLOTELLA STELLIGERA				0,09	0,14		0,63	0,62	2,83	84,20					0,66	0,33	5,06	
19	CYHK CYCLOTELLA HAKANSSONIAE	71,33	90,92	90,72	85,23	94,86	93,64	73,33	87,60	0,20	0,45	0,40	3,91	81,96	65,13				
20	CYL CYMBELLA GRACILIS		_		0,09	0,14	0,12			0,40									
21	CYMC CYMBELLA CISTULA						0,12		0,16	0,61	1,13								
22	CYMG CYCLOTELLA MENEGHINIANA				0,09		0,24	0,95	0,31	72,53	0,68	91,13				0,17	0,33	21,79	0,85
23	CYMP CYMBELLA PUSILLA	2,33	1,27	5,07	0,09	0,41	0,24	0,16	0,16							40.40	0.00	20.00	
24	CYST CYCLOTELLA STRIATA															46,10	2,32	29,96	90,95
25	DE DENTICULA ELEGANS	0,47	0,09	0,22				0,32								0,33	F 00	3,50	0.17
26	DS DIPLONEIS SUBOVALIS															0,17	5,63		0,17
27	DSB DENTICULA SUBTILIS								6.10	0.00	0.00	0.00					0,99	0.30	0.17
28									0,16	0,20	0,68	0,20					0.66	0,39	
29	FB FRAGILARIA BREVISTRIATA																0,00	0.30	
30	FBIC FRAGILARIA BICEPS	<u> </u>								0.40	0.22							0,53	
31		2.45	0.26	0.00	1 22	0.07	0.40	1 42	2.67	0,40	0,23		20.80	0.83	0.06				
32	FP FRAGILARIA PINNATA	2,45	0,30	0,22	1,33	0,27	0,49	1,43	3,57	1.62	4,29		29,09	0,05	0,30				
33	FRAS FRAGILARIA CONSTRUENS SUBSALINA									1,02	3.61								
34	ERE ERUSTULA ERENQUELUI										5,01						0.33		
35								0.16	0.16	0.40							- 0,00		
30		0.12	0.09	0.86	6 58	0.14		0,10	3 10	0,40		0.20	5 31	0.47	0 19	0.17			
38		0,12	0,03	0,00	0,00	0,14						0,20	0,01	•,	•,.•	0,17		1,56	
39	MASE MASTOGI DIA ELLIPTICA	-																0,39	
40	MATA MASTOGLOIA ATACAMAE	-						0,79											
41	NAHA NAVICULA HALOPHILA	_						0,32	0,16	0,40		0,81			0,19				
42	NAMM NAVICULA MUTICA MUTICA															0,17	3,64		0,34
43	NAPH NAVICULA PHYLLEPTA	1,05	0,09		0,36	0,41			0,16	0,61		1,01		0,47	0,57				
44	NATC NAVICULA ATACAMANA		0,09	0,32	0,71		0,24		0,31	0,20		0,20							
45	NBUL NITZSCHIA FRUSTULUM BULNHEIMIANA									0,20	0,45								
46	NCA NAVICULA CARI					0,14			0,16					0,24	0,19		0,66		0,17
47	NCI NAVICULA CINCTA						0,12	0,16		0,81		0,81							
48	NCU NAVICULA CUSPIDATA																0,33		
49	NDEP NAVICULA DECIPIENS									0,40		0,40			_		12,25	0.00	
50	NGRU NITZSCHIA GRUNOWI														_		0.66	0,39	0.17
51																10.79	0,00		0,17
52													0.66		0.39	10,78			
53		0.00								0.20	0.69		0,56	0.24	0,30				
54		0,23								0,20	0,08			0,24	0,00			0.78	
50		<u> </u>	0.19		0.09				0.16			0.60	1 68	0.12	0.19	0.50		0.78	
57		Ő 47	0.18		5,09				5,10	4 85		5,00	0.84	5, 12		5,00			
58	NILL NITZSCHIA LIEBETRUTHI		0.09		0.09	0.27		2.06	0.16	1,00			5,04	0.12	0.38				
59	NIPC NITZSCHIA PALEACEA		0,00		0.44	5,21	0.12	0.16	5,.0						.,				
60	NIPE NITZSCHIA PERMINUTA				21,14		2, 12	5,15	0,16	0,20	0,45					0,17			
61	NIVA NITZSCHIA VALDECOSTATA	0,82		0,11												0,17	0,33		
62	NLA NAVICULA PSEUDOLANCEOLATA	0,12		.,					0,16					0,12					
63	NPYG NAVICULA PYGMEAE		0,18	0,65															
64	NSIN NAVICULA SUBINFLATOIDES																	0,39	
65	PIB PINNULARIA BOREALIS															0,17			
66	RHGI RHOPALODIA GIBBERULA		0,09				0,12									1,82		0,78	
67	SCPE SCOLIOPLEURA PEISONIS	0,23															3,64		
68	STAW STAURONEIS WISLOUCHII	0,47			0,09														0,17
69	STCH STAURONEIS CHILENSIS						0,24					0.40							
70	SUP SURIRELLA PEISONIS		-	6.1								0,40		0.10	0.10	0.00	0.00	0.20	
71	SUSE SURIRELLA SELLA	0,12	0,09	0,11	0,18	0.11	0.04	0.40	0.10				0.29	0,12	0,19	0,03	1.66	0,59	0 17
72		0,12		<u> </u>	0,27	0,14	0,24	0,48	0,16	0.20		0.20	0,28	0,12	0,19	0,00	1,00		0,17
73		-								0,20		0,20				0.17			
76			-													5,17			
13		_			1					L	_							_	

ANNEXE V: Tableau des abondances relatives exprimées en pourcentage des espèces de diatomées dans l'affleurement CHKB (Bassin de Chiar Kkota, Lipez).

	A	8	С	D	E	F	G	н	1	J	ĸ	L	м	N	0
1	Espèces	H016	H026	H035	H041	H042	H043	H045	H085	H110	H142	H176	H206	H224	H232
2	ABOL AMPHORA BOLIVIANA						2								
3	AD ACHNANTHES DELICATULA			7					10						1
4	ALA ACHNANTHES LANCEOLATA				2					3			5		
5	AMCJ AMPHORA CARVAJALIANA	2	4						2						
6	AMCO AMPHORA COFFEAEFORMIS								20						
7	AMI ACHNANTHES MINUTISSIMA											1		9	3
8	AMPL AMPHORA PLATENSIS			23	43	9	38	37	13						
9	AMPM AMPHORA ATACAMANA MINOR				2										
10	AMVN AMPHORA VENETA			91	119	75	48	35	107			1		104	43
11	ANSC ANOMOEONEIS SPHAEROPHORA COSTATA			5	2				31						
12	AY AMPHORA LYBICA												2		
13	CD COCCONEIS DIMINUTA			2		4		15	8		1		2		1
14	CHAE CHAETOCEROS SP.				2	3									
15	CPE COCCONEIS PLACENTULA EUGLYPTA				12	33	4	22			24	5	3		
16	CPL COCCONEIS PLACENTULA LINEATA	10	14	107	78	260	253	447	8	36				118	130
17	CYCS CYCLOTELLA STELLIGERA	806	971	3	2	22	14	47	3	460	578	439	299	1	
18	CYL CYMBELLA GRACILIS					2					1			1	
19	CYMC CYMBELLA CISTULA								23	3	5		1	9	9
20	CYMG CYCLOTELLA MENEGHINIANA	165	5	2		7	40	7	5				1	2	
21	CYST CYCLOTELLA STRIATA	3													
22	DE DENTICULA ELEGANS			7		44	2	4					1		
23	DS DIPLONEIS SUBOVALIS			5	2	2	2	4	<u> </u>	10					
24	EZ EPITHEMIA ADNATA	5	2					3	1	10	8			1	_
25	FAT FRAGILARIA ATOMUS		<u> </u>									1		-	
26	FCA FRAGILARIA CAPUCINA		4				10	- 10	-	6	5	9	4	2	
21	FP FRAGILARIA PINNATA	/		3	14	/	10	10	4	2	10	1		2	_
28	FRAS FRAGILARIA CONSTRUENS SUBSALINA									101	22	4			
29	FRPU FRAGILARIA PULCHELLA					2					1	10	2		
30							6		7	3	1	10	2		
31				117	410	156	256	227	1		2			1	
32		<u> </u>		- 117	410	150	330	237	24				2	- 1	
34															
25					4						1		2		
36									225	1		2	1		
37				-					225					5	2
38				2				2	16					13	2
39				576	302	180	72	120	450						
40				47	4	165	147	120	2						
41		2	-							1			1		
42		-									1	1			
43	NISP NITZ SCHIA SPECIES											· ·	-	15	
44	NIVA NITZSCHIA VALDECOSTATA	-		2	2		4	4					-		
45		† —	-		-					1	2		1		
46	NUB NAVICULA LIBONENSIS			-		29	2	4							
47	NTVA NITZSCHIA VALDESTRIATA			-			-	- 1	41					-	
48	SA STAURONEIS ANCEPS												1		
49	SUSE SURIRELLA SELLA							2					· · · ·		,
50	SUTA SURIRELLA OVATA UTAHENSIS	1									1				
51	SYNU FRAGILARIA ULNA	-			-					14	13	5	3		

ANNEXE V: Tableau des abondances relatives exprimées pour mille des espèces de diatomées dans l'affleurement de Honda (Lipez).

.

PLANCHE I

Laguna Pastos Grandes

• · · .

1. Amphora coffeaeformis (Agardh) Kützing vue interne. 2. Achnanthes delicatula (Kützing) Grunow vue externe. 3. Fragilaria brevistriata Grunow in Van Heurck vue externe. 4. Fragilaria zeilleri Héribaud vue externe. 5.Navicula paramutica binodis Bock vue externe. 6.Navicula pseudolanceolata Lange-Bertalot vue externe. 7. Navicula pygmaea Kützing vue interne. 8. Stauroneis bathurstensis Giffen vue externe.

PL.1



PLANCHE II

1. Achnanthes delicatula (Kützing) Grunow vue interne. Laguna Chiar Kkota 2. Cymbella pusilla Grunow vue interne. Laguna Chiar Kkota 3. Surirella chilensis Hustedt vue interne. Laguna Chiar Kkota 4. Amphora carvajaliana Patrick vue externe. Laguna Chiar Kkota 5. Rhopalodia wetzelii Hustedt vue interne. Laguna Pujio 6. *Rhopalodia wetzelii* Hustedt vue interne. Laguna Pujio 7. Amphora atacamana Patrick vue externe. Laguna Pujio 8. Achnanthes chilensis Hustedt vue externe. Laguna Verde
PL.2



PLANCHE III

1. Mastogloia atacamae Hustedt vue externe. Laguna Pastos Grandes 2. Navicula cari Ehrenberg vue interne. Laguna Pastos Grandes 3. Mastogloia atacamae Hustedt vue externe. Laguna Pastos Grandes 4. Surirella sella Hustedt vue interne. Laguna Pastos Grandes 5. Denticula elegans Kützing vue interne. Laguna Ramaditas 6. Nitzschia liebetruthii Rabenhorst vue externe. Laguna Ramaditas 7. Achnanthes speciosa Hustedt vue interne. Laguna Ramaditas 8. Brachysira aponina Kützing vue externe. Laguna Ramaditas 9. Denticula elegans Kützing vue interne. Laguna Ramaditas 10. Surirella ovata var. utahensis Grunow vue externe. Laguna Chulluncani 11. Hantzschia amphioxys (Ehrenberg) Grunow vue externe. Laguna Chulluncani

316

PL.3

