

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

DISTRIBUTION DES ASSEMBLAGES PALYNOLOGIQUES ET
MICROFAUNISTIQUES LE LONG DES CÔTES OUEST MEXICAINES

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN SCIENCES DE LA TERRE

PAR
KIÉLT JEAN-FRANÇOIS

DÉCEMBRE 2006

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

Je désire remercier très sincèrement ma directrice de Maîtrise, Anne de Vernal, professeure, palynologue au département des Sciences de la terre et de l'atmosphère de l'UQAM et membre du GEOTOP. Ses encouragements et son soutien financier m'ont permis de mener à bien ce travail.

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont participé au bon déroulement de mes activités au GEOTOP. Mes remerciements vont tout particulièrement à Maryse Henry, Guy Bilodeau, Vera Pospelova, Julie Leduc et Josée Savard.

Un grand merci à Ana Carolina Ruiz, professeure géochimiste à l'université de Mazatlan au Mexique pour l'envoi des échantillons.

Je tiens à remercier Taoufik Radi pour ses nombreux conseils, ses critiques et sa disponibilité. Je désire remercier également les professeurs Moritz Lehmann et Fabienne Marret ainsi le docteur Ana Carolina Ruiz pour avoir accepté d'évaluer ce mémoire.

Enfin, je remercie mes parents, mon frère, sans qui ce séjour à l'étranger n'aurait pu avoir lieu ainsi que toute ma famille pour leur soutien inestimable.

RÉSUMÉ

L'analyse pollinique des sédiments de surface de la Baie de la Paz dans le Golfe de Californie et du Golfe de Tehuantepec montre que les assemblages sont dominés par les taxons herbacés (Chenopodiaceae et Asteraceae) dans la Baie de la Paz et par les Pinaceae dans le Golfe de Tehuantepec. Les enregistrements sporo-polliniques reflètent des apports d'une végétation boréale, luxuriante dans le Golfe de Tehuantepec et d'une végétation plus sèche au sud de la baie de Californie.

Les proportions de tests carbonatés de foraminifères et de réseaux organiques de foraminifères benthiques montrent que les sédiments de la Baie de la Paz ainsi que ceux de la partie Nord du Golfe de Tehuantepec sont fortement affectés par la dissolution du carbonate de calcium contrairement à ceux de la partie sud du Golfe de Tehuantepec où le CaCO_3 biogénique dans le sédiment est relativement bien préservé.

L'étude des kystes de dinoflagellés a été réalisée afin de déterminer des relations entre les assemblages de dinokystes et les paramètres hydrographiques des eaux de surface. Les résultats illustrent des concentrations de 12700 kystes/cm³ dans la Baie de la Paz à moins de 2000 kystes/cm³ dans le Golfe de Tehuantepec et une diversité des espèces élevée (36 taxons). Les assemblages incluent des espèces autotrophes et hétérotrophes. L'espèce autotrophe *Polysphaeridium zoharyi* accompagnée de taxons hétérotrophes tels *Brigantedinium* spp., *Echinidinium aculeatum*, *Echinidinium granulatum* domine la partie Nord du Golfe de Tehuantepec, qui est caractérisé par un upwelling hivernal. Inversement, les échantillons de la partie sud du Golfe de Tehuantepec sont dominés par des taxons autotrophes tels *Spiniferites delicatus* et *Bitectatodinium spongium*. Les sites de la Baie de la Paz caractérisés par une forte productivité primaire (360 gC/m²/an) sont dominés par des taxons hétérotrophes représentés principalement par *Brigantedinium* spp., *Echinidinium aculeatum*, *Echinidinium granulatum* et *Polykrikos kofoidi*. Les résultats de l'analyse multivariée montrent que la distribution des dinokystes dans le Golfe de Californie et dans le Golfe de Tehuantepec est contrôlée essentiellement par la température de février et la productivité primaire annuelle.

Mots clés : Golfe de Californie; Golfe de Tehuantepec; pollen; dinokystes, température de février; Productivité primaire.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	ii
RÉSUMÉ.....	iii
TABLE DES MATIÈRES.....	iv
LISTE DES FIGURES	vi
LISTE DES TABLEAUX	viii
LISTE DES ANNEXES	ix
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I.....	5
CONTEXTE HYDROGRAPHIQUE GÉNÉRAL	5
1.1 La circulation océanique et atmosphérique	5
1.1.1 Les vents dominants	5
1.1.2 Les masses d'eau et la circulation des eaux de surface	7
1.2 Productivité et upwelling.....	8
1.3 Température et salinité	9
1.4 Climat et végétation.....	12
CHAPITRE II.....	15
MÉTHODE	15
2.1 Échantillonnage.....	15
2.2 Technique de préparation des échantillons pour l'analyse palynologique.....	15
2.3 Technique de préparation des échantillons pour l'analyse des microfaunes carbonatées.....	16
2.4 Dénombrement des palynomorphes	16
2.5 Dénombrement des microfaunes carbonatées.	17
2.6 Nomenclature du pollen et des spores, des tests de foraminifères et taxinomie des dinokystes.....	18
2.7 Sources des données océaniques actuelles : hydrographie et productivité.....	22
2.8 Analyses statistiques.....	22
CHAPITRE III	24

3.1	Les palynomorphes terrestres	24
3.1.1	Les grains de pollen et spores de ptéridophyte.....	24
3.1.1.1	Les concentrations.....	24
3.1.1.2	Assemblages des grains de pollen et spores de ptéridophyte.....	24
3.2	Les palynomorphes marins.....	31
3.2.1	Les réseaux organiques de foraminifères	31
3.2.2	Les dinokystes	31
3.2.2.1	Les concentrations.....	31
3.2.2.2	Les assemblages.....	31
3.2.2.3	Résultats des analyses statistiques	33
3.2.2.4	Zonation régionale	37
3.3	Les tests carbonatés et agglutinants de foraminifères	39
3.3.1	Les concentrations et les assemblages.....	39
3.3.2	Réseaux organiques versus tests de foraminifères	40
CHAPITRE IV	.....	43
DISCUSSION	.....	43
RÉFÉRENCES	.....	50
ANNEXE A	.....	57
TABLEAUX DE DÉNOMBREMENT	.....	57
ANNEXE B	.....	64
PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES	.....	64
ANNEXE C	.....	69
SYSTÉMATIQUE	.....	69

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Carte de localisation des sites étudiés. La bathymétrie est représentée par les isobathes 200, 500 et 1000 m.....	3
Figure 2. Courants de surface du Pacifique Nord équatorial (Flèches grises) et vents dominants (Flèches noires) (Boumaggard et al., 1998). CC=Courant de Californie. CNE=Courant Nord Equatorial. CCNE=Contre Courant Nord Equatorial. CCR=Courant du Costa Rica. CSE=Courant Sud Equatorial. ZCIT=Zone de convergence intertropicale. Les points correspondent aux sites d'échantillonnage. Les isobathes correspondent à 200 et 1000m.....	6
Figure 3. Cartes illustrant les gradients de température, de salinité (NODC, 2001) et les teneurs en chlorophylle (Antoine et al., 1996) aux mois de février et d'août dans la région d'étude.....	10
Figure 4. Carte illustrant les différents types de zones bio-climatiques du Mexique (http://circuit.mexique.free.fr/images/mex_map2.jpg ; voir texte).....	13
Figure 5. Concentration des palynomorphes terrestres (grains de pollen, spores de ptéridophytes) et marins (réseaux organiques de foraminifères et dinokystes) le long de la marge Ouest mexicaine.	25
Figure 6. Diagramme de pourcentage des principaux taxons sporo-polliniques. À droite sont illustrées les concentrations, et la pondération des spectres selon les composantes principales 1 et 2.....	26
Figure 7. Pondération des principaux taxons sporo-polliniques par rapport aux composantes principales 1 et 2.	29
Figure 8. Distribution des assemblages sporo-polliniques selon les composantes 1 et 2 dans les sédiments le long de la marge Ouest mexicaine.....	29
Figure 9. Relation entre la concentration des dinokystes et celle des réseaux organiques de foraminifères.....	32
Figure 10. Diagramme de pourcentages de dinokystes. À droite, sont illustrées les concentrations des dinokystes, le nombre de dinokystes comptés et la pondération des spectres par rapport aux 2 premières composantes principales.....	34
Figure 11. Pondération des taxons de dinokystes et des paramètres environnementaux par rapport aux axes 1 et 2 issue de l'analyse de redondance.....	35

- Figure 12. Distribution des assemblages de dinokystes par rapport aux axes 1 et 2 issue de l'analyse de redondance.....35
- Figure 13. Corrélation entre les valeurs de l'axe 1 et la température de février pour les sites de la marge Ouest mexicaine. Les coefficients de corrélation sont calculés sur la base d'une relation linéaire.....36
- Figure 14. Corrélation entre les valeurs de l'axe 2 et la productivité annuelle pour les sites de la marge Ouest mexicaine. Le coefficient de corrélation est calculé sur la base d'une relation linéaire.....36
- Figure 15. Diagramme de concentration des tests de foraminifères planctoniques, benthiques, réseaux organiques et rapports entre les tests de foraminifères planctoniques et benthiques et ceux entre les réseaux organiques de foraminifères et les tests de foraminifères benthiques. Les échantillons marqués d'un astérisque n'ont pas été analysés pour leur contenu microfaunistique en raison des trop faibles quantités de sédiment disponible.....41
- Figure 16. Diagramme de pourcentage des tests de foraminifères planctoniques, benthiques et des tests agglutinants. Les pourcentages de chacun des tests de foraminifères planctoniques et benthiques ont été calculés sur la base de leur somme.....42
- Figure 17. Relation entre la productivité primaire et l'indice de dissolution.....47

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Localisation des sites d'échantillonnage.....	4
Tableau 2. Température et salinité des eaux de surfaces en février et août (cf. NODC, 2001), et productivité primaire moyenne annuelle, en février, et août (cf. Antoine <i>et al.</i> , 1996) actuelles aux sites étudiées. La moyenne est établie selon un diamètre de 30 miles nautiques autour des sites	11
Tableau 3. Liste des taxons de foraminifères planctoniques et benthiques recensés dans les sédiments.....	19
Tableau 4. Liste des taxons de dinokystes recensés dans les sédiments de surface. Les espèces marquées par un astérisque ont été supprimées des analyses statistiques en raison de faibles occurrences (voir section 2.6 pour plus d'information). Les taxons marqués d'un double astérisque font l'objet de brève description dans la section 2.4.....	20
Tableau 5. Concentration des palynomorphes terrestres (grains de pollen, spores de ptéridophytes) et marins (dinokystes, réseaux organiques de foraminifères) et des tests de foraminifères.....	27
Tableau 6. Pondération des taxons sporo-polliniques par rapport aux composantes principales 1 et 2.....	30
Tableau 7. Pondération des taxons de dinokystes sur les axes 1 et 2 résultant des analyses de redondance (RDA).....	30
Tableau 8. Tableau récapitulatif des coefficients de corrélation entre les valeurs des trois premiers axes issus de l'analyse de redondance et les conditions hydrographiques. Les coefficients de corrélation sont calculés à partir de relations linéaires.....	38

LISTE DES ANNEXES

Annexe A :	Tableaux de dénombrement.....	57
Tableau 1.	Dénombrement des palynomorphes terrestres.....	58
Tableau 2.	Dénombrement des dinokystes.....	59
Tableau 3.	Dénombrement des tests de foraminifères planctoniques, benthiques et agglutinants dans la fraction supérieure à 106 µm des échantillons de surface.....	60
Tableau 4.	Concentration des différents palynomorphes en terme de spécimens/cm ³ de sédiment humide.....	61
Tableau 5.	Concentration des tests carbonatés de foraminifères planctoniques, benthiques dans la fraction supérieure à 106 µm, concentration des réseaux organiques dans les lames palynologiques des échantillons de surface.....	62
Tableau 6.	Pondération des composantes principales 1 et 2 déterminées à partir des assemblages de grains de pollen issus de l'analyse en composantes principales (ACP).....	63
Tableau 7.	Pondération des spectres selon les axes 1, 2 et 3 déterminées à partir des assemblages de dinokystes issus de l'analyse de redondance (RDA).....	63
Annexe B :	Planches photographiques.....	64
Planche 1.....		66
Planche 2.....		68
Annexe C :	Systematique.....	69

INTRODUCTION

Le domaine océanique subtropical de la côte ouest mexicaine est très riche en ressources halieutiques. Les crustacés, incluant la crevette, constituent la plus importante ressource marine du Mexique (Lluch-Cota, 2002; Enriquez-Andrade *et al.*, 2005). La forte productivité est favorisée par l'upwelling qui constitue des remontées d'eaux profondes riches en nutriments, notamment le long de la côte californienne (Bakun, 1973), dans le Golfe de Californie (Badan-Dangon *et al.*, 1985; Gaxiola-Castro *et al.* (1995) et dans le Golfe de Tehuantepec (Travisna *et al.*, 1995).

À l'échelle du Quaternaire, les variations climatiques et océanographiques des côtes mexicaines sont mal connues. Citons toutefois les travaux d'Arellano-Torres *et al.*, (2003) qui, d'une manière qualitative, ont montré à partir des assemblages de foraminifères planctoniques, que l'intensité de l'upwelling a considérablement varié durant les derniers 23 000 ans dans le Golfe de Tehuantepec. Les derniers 10 000 ans seraient caractérisés par une augmentation de l'intensité de l'upwelling et de la productivité primaire. Pour évaluer d'une manière quantitative ces variations, le développement d'approches méthodologiques à partir de traceurs micropaléontologiques ou géochimiques serait très utile.

Des approches méthodologiques pour reconstituer les paléoclimats et les paléoenvironnements ont été développées en utilisant les relations entre les assemblages de microfossiles dans le sédiment de surface et les paramètres hydrographiques ou environnementaux. Parmi les microfossiles utilisés, les kystes de dinoflagellés (ou dinokystes) présentent un intérêt particulier dans les milieux de marge continentale où une dissolution du carbonate de calcium est fréquente. À la différence des tests carbonatés de foraminifères et des coccolithes qui sont susceptibles de dissolution, la membrane organique des dinokystes n'est généralement pas affectée par la dissolution. Les dinokystes sont produits par environ 15 à 20% des espèces connues de dinoflagellés (*e.g.*, Head, 1996) qui représentent une part dominante de la productivité phytoplanctonique marine, avec les diatomées et les coccolithophores (Taylor, 1987). De nombreux travaux traitant des dinokystes aux moyennes et hautes latitudes, dans l'Atlantique Nord et le Pacifique Nord ont permis de démontrer qu'ils constituent d'excellents traceurs des conditions hydrographiques de surface, soit la température, la salinité et le couvert de glace de mer (*e.g.*, Turon, 1984;

Matthiessen, 1995; Rochon *et al.*, 1999; de Vernal *et al.*, 1994, 1997, 2001, 2005; Radi *et al.*, 2001, Radi et de Vernal, 2004). Les dinokystes ont été également utilisés dans les zones d'upwellings péruviens et ibériques comme traceurs de l'intensité d'upwelling (*e.g.*, Lewis *et al.*, 1990; Sprangers *et al.*, 2003). Certaines études ont montré une relation étroite entre les assemblages de dinokystes et la productivité primaire et les nutriments, en particulier dans la mer d'Arabie (Zonneveld, 1997a), dans les zones d'upwellings du courant de Benguela (Marret, 1994; Zonneveld *et al.*, 2001), le long des marges du Pacifique Nord oriental (Radi et de Vernal, 2004) et dans la partie Nord de l'océan Atlantique (Devillers et de Vernal, 2000).

La distribution des dinokystes dans les régions tropicales et équatoriales des marges du Pacifique est encore mal connue. Récemment, les travaux de Radi et de Vernal (2004) ont montré que la productivité primaire et l'intensité de l'upwelling jouent un rôle déterminant dans la distribution des assemblages de dinokystes dans le Pacifique du Nord Est entre les latitudes 40°N et 60°N. Cela nous laisse supposer que les dinokystes seraient également de bons traceurs des conditions hydrographiques et de productivité primaire à des latitudes plus basses.

Ici, nous présentons une étude palynologique effectuée sur 57 échantillons de sédiments de surface prélevés entre les latitudes 14°N et 25°N le long de la marge mexicaine incluant le Golfe de Californie et le Golfe de Tehuantepec (Figure 1; Tableau 1). Notre objectif est d'établir quels sont les paramètres environnementaux (température, salinité, et productivité primaire) qui influencent la distribution des assemblages de dinokystes. Cette étude s'inscrit dans le cadre d'un projet visant à établir une base de données de référence des basses et moyennes latitudes qui pourra servir à des reconstitutions quantitatives de productivité primaire dans l'océan Pacifique.

Outre les dinokystes, les divers palynomorphes ont fait l'objet d'analyses afin de déterminer quels sont les apports d'origine terrestre (grains de pollen et spores) et quelle est la densité des réseaux organiques de foraminifères benthiques. Par ailleurs, nous avons examiné le contenu microfaunistique (foraminifères) des échantillons comme traceur complémentaires de la productivité pélagique et benthique et afin d'évaluer la préservation du CaCO₃ par le rapport entre tests carbonatés et réseaux organiques de foraminifères benthiques.

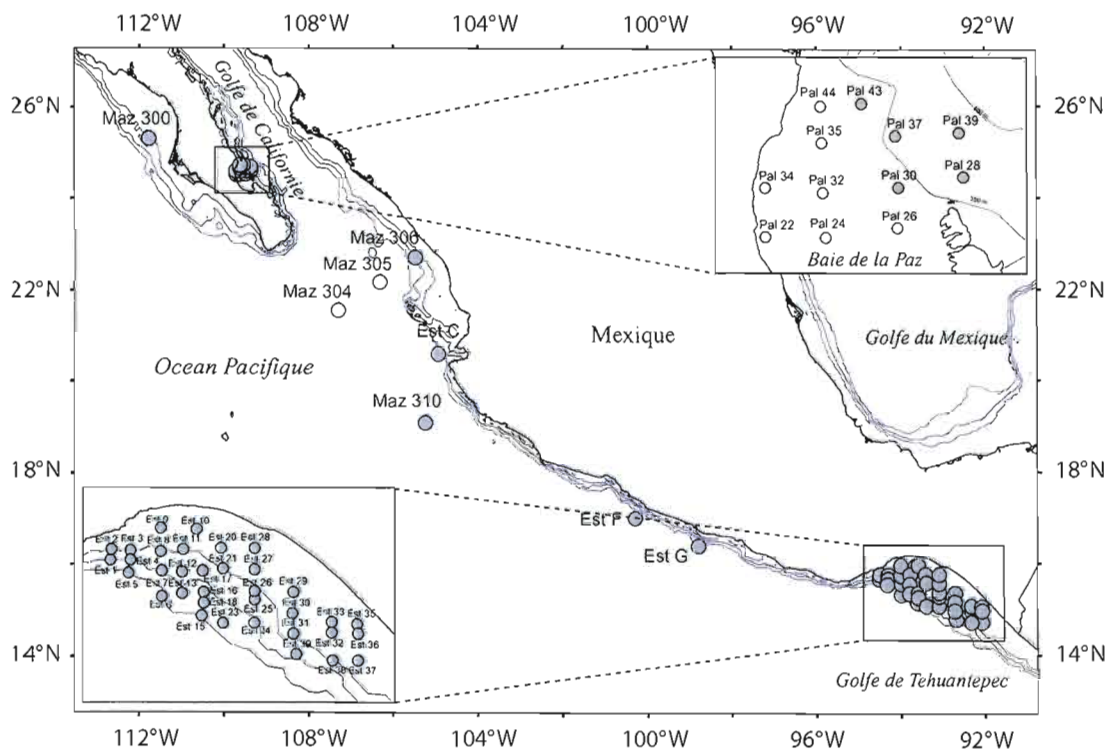


Figure 1. Carte de localisation des sites étudiés. La bathymétrie est représentée par les isobathes 200, 500 et 1000 m.

Tableau 1. Localisation des sites d'échantillonnage.

Sites	Numéro de laboratoire de palynologie de l'UQAM UQP*	Latitude	Longitude	Profondeur d'eau (m)
Paleo IX 22	1945-1	24°32,639'N	110°43,092'W	38,8
Paleo IX 24	2098-1	24°32,572'N	110°36,831'W	334
Paleo IX 26	2098-2	24°33,48'N	110°29,447'W	282
Paleo IX 28	1945-2	24°38,202'N	110°22,55'W	888
Paleo IX 30	2098-3	24°37,233'N	110°29,354'W	34
Paleo IX 32	1945-3	24°36,739'N	110°37,154'W	401
Paleo IX 34	2098-4	24°37,204'N	110°43,102'W	29,5
Paleo IX 35	1945-4	24°41,344'N	110°37,236'W	395
Paleo IX 37	2048-5	24°41,984'N	110°29,656'W	348
Paleo IX 39	1945-5	24°42,296'N	110°23,015'W	850
Paleo IX 43	1945-6	24°45,279'N	110°33,151'W	312
Paleo IX 44	2098-6	24°45,008'N	110°37,353'W	324
Maz 300	2088-5	25°19,71'N	112°46,02'W	387
Maz 304	2019-2	21°34,34'N	108°18,53'W	3070
Maz 305	2019-3	22°11,41'N	107°19,08'W	2990
Maz 306	2019-1	22°43,23'N	106°28,91'W	375
Maz 310	2088-3	19°06,79'N	106°14,61'W	3500
TEHUA EST C	1946-6	20°37,481'N	105°56,260'W	670
TEHUA EST F	1547-1	17°01,340'N	101°18,794'W	2100
TEHUA EST G	1547-2	16°24,356'N	99°48,667'W	2380
TEHUA EST 1	2067-1	15°41,967'N	95°31,255'W	700
TEHUA EST 2	1946-1	15°47,821'N	95°30,647'W	225
TEHUA EST 3	2022-4	15°47,433'N	95°19,212'W	290
TEHUA EST 4	2067-2	15°42,064'N	95°19,169'W	600
TEHUA EST 5	2030-5	15°34,921'N	95°20,600'W	1025
TEHUA EST 6	2067-3	15°21,850'N	95°00,707'W	1050
TEHUA EST 7	2067-5	15°36,032'N	95°00,310'W	280
TEHUA EST 8	2067-4	15°46,98'N	95°01,44'W	166
TEHUA EST 9	2068-2	15°59,954'N	95°01,324'W	67,5
TEHUA EST 10	1946-2	15°59,672'N	94°40,260'W	68
TEHUA EST 11	2068-3	15°48,050'N	94°47,993'W	240
TEHUA EST 12	2067-6	15°35,517'N	94°48,411'W	187
TEHUA EST 13	2068-1	15°23,480'N	94°48,534'W	230
TEHUA EST 15	1946-3	15°11,078'N	94°37,091'W	303
TEHUA EST 16	2069-1	15°23,787'N	94°36,057'W	234
TEHUA EST 17	2068-4	15°36,180'N	94°36,857'W	230
TEHUA EST 18	2068-5	15°18,013'N	94°35,995'W	227
TEHUA EST 19	2068-6	15°59,951'N	94°35,859'W	52
TEHUA EST 20	2022-5	15°48,400'N	94°25,629'W	95
TEHUA EST 21	2069-2	15°37,448'N	94°24,478'W	242
TEHUA EST 23	2069-3	15°06,723'N	94°24,801'W	283
TEHUA EST 24	2030-2	15°06,489'N	94°06,219'W	245
TEHUA EST 25	2069-4	15°19,922'N	94°05,980'W	224
TEHUA EST 26	2030-1	15°24,552'N	94°05,791'W	213
TEHUA EST 27	2069-5	15°36,543'N	94°05,937'W	110
TEHUA EST 28	2022-6	15°48,338'N	94°06,044'W	47
TEHUA EST 29	2030-3	15°24,153'N	93°43,049'W	60
TEHUA EST 30	2069-6	15°11,830'N	93°43,792'W	180
TEHUA EST 31	2070-2	15°00,603'N	93°43,026'W	187
TEHUA EST 32	2070-1	15°00,984'N	93°20,213'W	87
TEHUA EST 33	2070-4	15°07,209'N	93°20,413'W	45
TEHUA EST 35	2030-4	15°05,94'N	93°05,129'W	35
TEHUA EST 36	2070-3	15°00,767'N	93°05,038'W	44
TEHUA EST 37	1946-5	14°45,830'N	93°04,821'W	88
TEHUA EST 38	2070-5	14°45,860'N	93°19,969'W	258
TEHUA EST 39	2030-6	14°48,955'N	93°41,639'W	220

* Numéro de préparation dans le cahier du laboratoire de palynologie du GEOTOP.

CHAPITRE I

CONTEXTE HYDROGRAPHIQUE GÉNÉRAL

1.1 La circulation océanique et atmosphérique

1.1.1 Les vents dominants

Les vents dominant la région Est du Mexique sont générés par la cellule de haute pression Nord-Pacifique qui se forme au-dessus de l'Alaska et du Nord-Est du Canada (Monreal-Gómez *et al.*, 1998; Arellano-Tores, *et al.*, 2003). Le changement de position de la zone de haute pression Nord-Pacifique qui se déplace au-dessus du Golfe du Mexique ainsi que son interaction avec la zone de dépression adjacente résultent d'une saisonnalité dans la direction des vents qui contrôlent la circulation des eaux de surface (Figure 2). En effet, les vents dans la partie sud du Golfe de Californie proviennent du Nord-Ouest d'octobre à mai et les vents du sud apparaissent de juin à septembre pendant la saison chaude (Trasvina-Castro *et al.*, 2003). De la fin de l'automne au début du printemps, les vents du Nord-Ouest, qui atteignent des vitesses de 8 à 12 m.s⁻¹ le long du principal gradient de pression barométrique (Barron *et al.*, 2004), sont à l'origine d'un transport des eaux superficielles à l'extérieur du Golfe de Californie (Thunell, 1998; Trasvina-Castro *et al.*, 2003). Durant l'été et jusqu'au début de l'automne, les vents du Sud sont toutefois faibles (5 m.s⁻¹; Thunell, 1998; Monreal-Gómez *et al.*, 2001); ils résultent d'un climat de mousson caractérisé par une augmentation des précipitations et une diminution de la productivité primaire (Thunell, 1998; Barron *et al.*, 2004).

L'isthme de Tehuantepec situé au Sud-Est du Mexique, formé d'un couloir tectonique Nord-Sud joue un rôle sur la circulation atmosphérique et engendre des vents appelés « Tehuanos » (Boumaggard *et al.*, 1998). Ces vents y sont générés lorsqu'une cellule de haute pression se forme au dessus du Golfe du Mexique alors que les pressions demeurent basses dans la zone équatoriale du Pacifique engendrant un gradient Nord-Est de pression le long de la chaîne de montagne Sierra Madre (Kirby *et al.*, 2004). Ce gradient permet aux

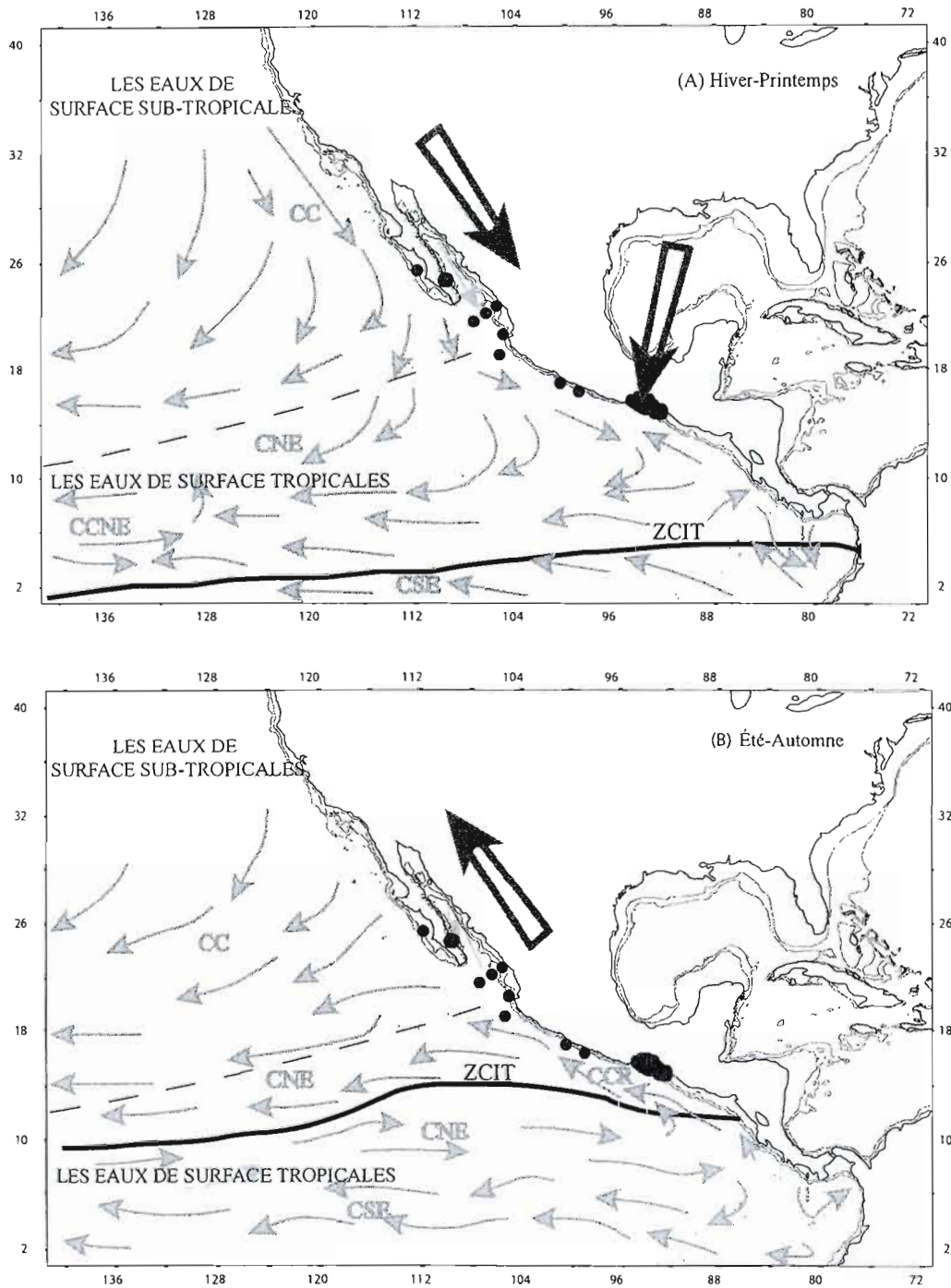


Figure 2. Courants de surface du Pacifique Nord équatorial (Flèches grises) et vents dominants (Flèches noires) (Boumaggard et al., 1998). CC=Courant de Californie. CNE=Courant Nord Equatorial. CCNE=Contre Courant Nord Equatorial. CCR=Courant du Costa Rica. CSE=Courant Sud Equatorial. ZCIT=Zone de convergence intertropicale. Les points correspondent aux sites d'échantillonnage. Les isobathes correspondent à 200 et 1000 m.

vents « Nortés » d'être propulsés à travers l'isthme de Tehuantepec en hiver (Arellano-Tores *et al.*, 2003). Les « Tehuanos » sont ainsi le résultat des masses d'air froides provenant du Nord et qui arrivent à l'encontre d'une masse d'air plus chaude produisant une descente rapide de vents de forte intensité. Ceux-ci sont à l'origine de l'upwelling dans la partie Nord du Golfe de Tehuantepec (Arellano-Tores *et al.*, 2003; Monreal-Gómez et Salas de Leon, 1998). En hiver, les vents d'ouest provenant des moyennes latitudes s'étendent jusqu'à 19° de latitude Nord et apportent des conditions sèches sur la plupart du pays excepté dans la Baie de Californie où les précipitations sont relativement élevées (Metcalf *et al.*, 2000). Les vents d'Est dominant en été, apportant l'humidité du Golfe du Mexique et surtout de l'Est du Pacifique. Ce changement saisonnier dans la direction des vents est désigné sous le terme de mousson mexicaine.

1.1.2 Les masses d'eau et la circulation des eaux de surface

Le domaine marin côtier du Mexique est caractérisé par deux masses d'eau de surface : les eaux de surface tropicales et les eaux de surface subtropicales (Figure 2; Haslett, 2003; Monreal-Gómez et Salas de Leon, 1998). Les eaux de surface tropicales sont riches en oxygène et se distinguent par une salinité de 33 à 33,5 et des températures élevées (25 à 30°C). La masse d'eau de surface subtropicale se caractérise aussi par de températures élevées (20 à 28°C), mais elle est marquée par un appauvrissement en nutriments et une plus forte salinité (> 34,4).

La circulation de surface le long des côtes sud-ouest mexicaines est influencée par (1) le courant de Californie s'écoulant vers le Sud et constituant une masse d'eau froide (Wyrski, 1967) (2) le contre courant nord équatorial (CCNE) circulant vers le nord et transportant une masse d'eau tropicale (Halfar et Ingle, 2003; Franco-Gordo *et al.*, 2004). Le front intertropicale (la zone de convergence intertropicale, soit ZCIT) correspondant à la rencontre de deux masses d'air, l'alizé du Nord-Est de l'hémisphère Nord et l'alizé du Sud-Est de l'hémisphère Sud induit une large fluctuation annuelle de la température des eaux de surface, de 17 à 30°C (Figure 2; Halfar *et al.*, 2004) : (1) de août à décembre, la ZCIT se situe à 10°N; le CCNE est plus développé vers le Sud et alimente le courant côtier du Costa Rica

(CCCR) qui s'écoule à travers le Golfe de Tehuantepec et traverse l'embouchure du Golfe de Californie.

En janvier, la ZCIT se déplace vers le sud jusqu'à 3°N. Le CCNE s'affaiblit et le courant de Californie s'intensifie.

(2) de février à avril, le CCNE est absent et l'intensité de la CCCR s'affaiblit; Le flux d'eau arrivant au Nord du Golfe de Tehuantepec se déplace vers le Sud Est et constitue alors une extension du Courant de Californie.

(3) de mai à juillet, la ZCIT se déplace vers sa position boréale, et le CCNE se renforce.

1.2 Productivité et upwelling

Les côtes des régions tropicales du Pacifique Est sont marquées par un fort upwelling, plus particulièrement dans le Golfe de Tehuantepec (Trasvina *et al.*, 1995; Lluch-Cota, 2002) et dans le Golfe de Californie (Barron *et al.*, 2004; Gaxiola-Castro *et al.*, 1995). Pendant la saison hivernale (décembre à mai), cet upwelling, provoqué par les vents du Nord, génère une productivité primaire élevée dans le Golfe de Californie (Hidalgo-González, 2004). Pendant la saison estivale, (juillet à octobre), les vents du sud dominant et accentuent l'upwelling du côté ouest de la baie de Californie (Hidalgo-González, 2004). L'intensité des upwellings y est alors moins importante et la pénétration des eaux de surface équatoriales provoque une très forte stratification de la colonne d'eau (Santamaria-Del-Angel *et al.*, 1999).

Dans le Golfe de Tehuantepec, les masses d'eau entraînées vers le sud par les Tehuanos, est compensé par l'upwelling, qui crée en surface des zones de température très basse (autour de 10 à 14°C en hiver). De faibles teneurs en oxygène (5,03 $\mu\text{mol/l}$ en surface et une concentration inférieure à 0,5 $\mu\text{mol/l}$ entre 100 et 1300 m de profondeur) sont alors observées (Boumaggard *et al.*, 1998). La présence du radiolaire *Acrosphaera murrayana* qui est caractéristique de l'upwelling du Pérou semble également marquer l'upwelling hivernal du Golfe de Tehuantepec (Boumaggard *et al.*, 1998).

Dans les zones d'upwelling, il y a une contribution des eaux tropicales et subtropicales amenées par le courant côtier du Costa Rica (Molina-Cruz *et al.*, 1994). Le

Golfe de Californie constitue un milieu marin très productif. La concentration en chlorophylle peut y atteindre $0,50 \text{ mg/m}^3$ (Hidalgo-González et Alvarez-Borrego, 2001).

La productivité primaire est estimée à $320\text{-}390 \text{ gC/m}^2/\text{an}$, $140\text{-}200 \text{ gC/m}^2/\text{an}$, et $120\text{-}360 \text{ gC/m}^2/\text{an}$, dans la baie de la Paz, le long de la côte mexicaine et dans le Golfe de Tehuantepec, respectivement (Tableau 2; Antoine *et al.*, 1996). Cette productivité est dominée par les diatomées, les dinoflagellés et les coccolithophores. Cependant, dans nos régions d'études la productivité primaire est comparativement moindre que celle des marges ibériques et somaliennes où les teneurs varient de 200 à $600 \text{ gC/m}^2/\text{an}$ (Antoine *et al.*, 1996). Également, la productivité primaire est plus importante dans les zones d'upwellings du Nord-Est de l'Océan Pacifique ($500 \text{ gC/m}^2/\text{an}$) que dans la zone d'upwelling du Golfe de Tehuantepec ($360 \text{ gC/m}^2/\text{an}$).

1.3 Température et salinité

La zone d'étude est marquée par un fort gradient latitudinal et longitudinal (Figure 3) de la température. Depuis l'embouchure du Golfe de Californie jusqu'au Golfe de Tehuantepec la température varie entre 18 et 27°C et entre 27 et 30°C en février et en août respectivement (Figure 3; cf. NODC, 2001). On observe également un gradient de salinité hivernal du Golfe de Californie vers le Golfe de Tehuantepec, de 35 à 33 (NODC, 2001).

Les températures des eaux de surfaces dans le Sud du Golfe de Californie varient entre 25 et 29°C durant les mois de mai à septembre, correspondant ainsi à des conditions tropicales. Durant le reste de l'année, la température des eaux de surface varie de 19 à 24°C (Halfar *et al.*, 2004). La salinité, particulièrement élevée dans la baie de la Paz (~ 35), est le résultat du bilan hydrique de la région. En effet, l'évaporation y excède les précipitations d'environ 120 mm/an (Monreal-Gómez *et al.*, 2001).

La température moyenne annuelle des eaux de surface du Golfe de Tehuantepec est de 25 à 30°C . La colonne d'eau est caractérisée par une stratification et la thermocline occupe une profondeur moyenne de 30 m en hiver et de 70 m en été.

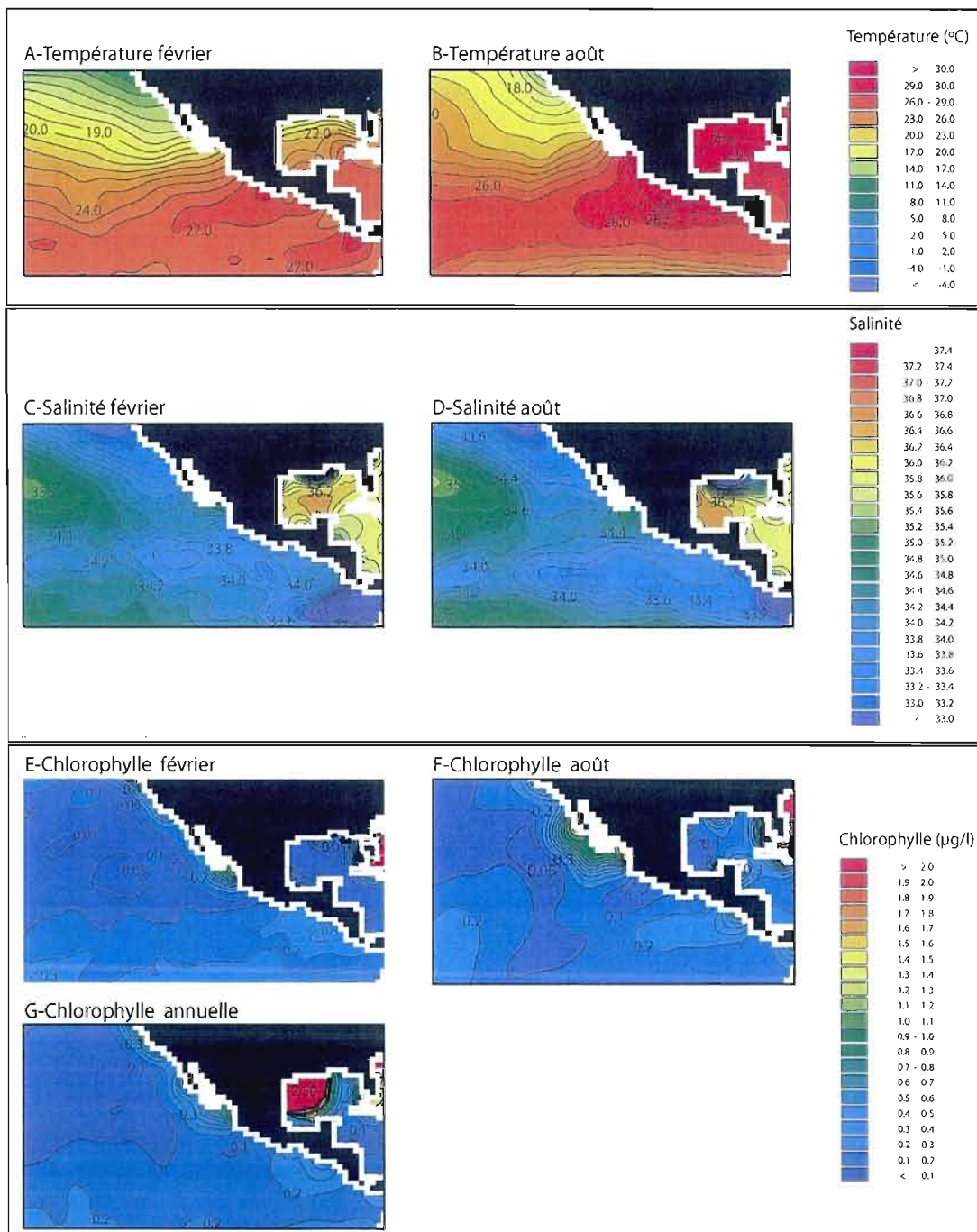


Figure 3. Cartes illustrant les gradients de température, de salinité (NODC, 2001) et les teneurs en chlorophylle (Antoine *et al.*, 1996) aux mois de février et d'août dans la région d'étude.

Tableau 2. Température et salinité des eaux de surface en février et août (cf. NODC, 2001), et productivité primaire moyenne annuelle, en février, et août (cf. Antoine et al., 1996) actuelles aux sites étudiées. La moyenne est établie selon un diamètre de 30 miles nautiques autour des sites.

Sites	Température en février (°C)		Température en août (°C)		Salinité en février		Salinité en août		Productivité en février (gC/m /a ²)		Productivité en août (gC/m /a ²)		Productivité annuelle (gC/m /a ²)	
	\bar{X}		\bar{X}		\bar{X}		\bar{X}		\bar{X}		\bar{X}		\bar{X}	
Paleo IX 22	18,61	0,3	28,48	1,6	/	-	/	-	27,86	4,6	33,09	19,8	390,13	95,9
Paleo IX 24	18,54	0,3	28,37	1,5	/	-	/	-	25,91	4,9	28,54	17,2	355,76	92,2
Paleo IX 26	18,81	0,7	28,62	1,5	35,21	-	/	-	25,57	4,5	24,98	13,9	330,41	81,2
Paleo IX 28	18,72	0,7	28,93	1,6	35,21	-	/	-	25,57	4,5	24,98	13,9	330,41	81,2
Paleo IX 30	18,72	0,7	28,79	1,6	35,21	-	/	-	25,57	4,5	24,98	13,9	330,41	81,2
Paleo IX 32	18,46	0,3	28,62	1,6	/	-	/	-	26,39	4,5	26,44	15,2	346,52	83,2
Paleo IX 34	18,51	0,3	28,75	1,6	/	-	/	-	28,08	4	29,52	17,4	373,17	86,6
Paleo IX 35	18,46	0,3	28,62	1,6	/	-	/	-	26,18	3,5	23,81	7,5	334,84	59,6
Paleo IX 37	18,72	0,7	28,89	1,6	35,21	-	/	-	25,34	3,6	22,79	6,9	319,87	60,2
Paleo IX 39	18,75	0,7	28,89	1,6	35,21	-	/	-	25,34	3,6	22,79	6,9	319,87	60,2
Paleo IX 43	18,55	0,8	28,87	1,7	35,26	-	/	-	26,48	3,2	22,92	6,8	329,04	55,4
Paleo IX 44	18,28	0,4	28,62	1,6	35,3	-	/	-	26,48	3,2	22,92	6,8	329,04	55,4
Maz 300	18,37	1,5	24,14	1,8	34,31	0,2	34,06	0,2	12,45	3,5	24,84	7,1	305,17	93,3
Maz 304	23,15	1	28,49	0,9	34,68	-	34,73	-	11,81	0,9	8,79	0,9	144,19	4,5
Maz 305	22,68	1,1	29,8	0,5	34,85	-	/	-	14,55	2,6	11,29	3,2	168,02	17,9
Maz 306	22,13	1	28,9	1,2	34,82	0,1	34,68	0,1	20,01	3,9	18,01	5,6	217,84	55,1
Maz 310	24,45	0,9	29,45	0,7	/	-	34,523	-	16,22	3,6	11,38	1,5	200	39,8
TEHUA EST C	24,78	0,7	29,62	0,5	34,55	-	34,275	-	17	6,4	13,5	3,8	220,56	61,8
TEHUA EST F	27,54	0,8	29,37	0,7	/	-	/	-	11,28	2,4	11,59	3,2	181,84	15,3
TEHUA EST G	27,82	0,7	29,66	0,9	34,04	0,2	33,14	-	14,8	0,5	11,13	1,8	183,26	11,5
TEHUA EST 1	25,86	1,2	29,38	0,4	34,06	0,1	33,53	-	21,32	5,6	21,89	6,2	342,75	53,6
TEHUA EST 2	25,78	1,3	29,38	0,4	34,03	0,1	33,53	-	22,09	6,3	22,35	7	354,72	54,6
TEHUA EST 3	25,61	1,1	29,37	0,4	34	0,1	/	-	24,04	6,1	22,16	6,7	362,24	44
TEHUA EST 4	25,58	1,1	29,37	0,4	34,03	0,1	/	-	23,12	5,6	21,5	6,2	352,69	43,5
TEHUA EST 5	25,68	1,1	29,68	0,7	34,04	0,1	/	-	23,12	5,6	21,5	6,2	352,69	43,5
TEHUA EST 6	26,05	1	29,7	0,7	33,99	-	33,9	0,1	23,72	3,6	18,83	5,7	342,09	39,3
TEHUA EST 7	25,9	1,1	29,59	0,7	33,98	-	/	-	25,41	4,8	20,67	6,5	355,77	41,8
TEHUA EST 8	25,63	1,1	29,37	0,4	33,94	-	/	-	25,58	5,3	21,53	6,7	359,55	42,6
TEHUA EST 9	25,71	1,3	29,37	0,4	33,92	-	/	-	26,4	5,9	23,06	7	367,54	46,9
TEHUA EST 10	25,87	1,8	29,55	0,4	33,77	0,1	/	-	27,49	4	22,21	7	338,11	55
TEHUA EST 11	25,7	1,6	29,46	0,4	33,79	0,1	/	-	26,81	3,7	20,38	6,9	331	53,3
TEHUA EST 12	25,9	1,5	29,46	0,4	33,87	0,2	/	-	25,94	3,8	19,2	6,5	326,64	51,37
TEHUA EST 13	25,93	1,5	29,63	0,5	33,9	0,2	33,9	0,1	24,33	2,8	17,22	6,5	311,43	47,5
TEHUA EST 15	26,35	1,5	29,7	1,1	34,18	-	33,9	0,1	23,34	2,5	14,43	2	282,58	45
TEHUA EST 16	26,27	1,5	29,74	0,5	33,86	0,2	34	-	23,98	3	15,55	3	291,38	45,5
TEHUA EST 17	26,24	1,5	29,55	0,4	33,84	0,1	/	-	25,65	3,9	17,59	4,9	308,56	52,1
TEHUA EST 18	26,23	1,6	29,63	0,8	34,18	-	34	-	23,77	2,9	15,25	2,9	285,97	44,1
TEHUA EST 19	25,87	1,8	29,55	0,4	33,77	0,1	/	-	27,1	4,2	20,02	5,3	320,17	52,5
TEHUA EST 20	26,17	2,3	29,4	0,4	33,7	0,1	/	-	24,19	6,1	16,06	4,8	276,65	75,1
TEHUA EST 21	26,4	2	29,4	0,4	33,7	0,1	/	-	23,14	6,4	15,24	4,7	269,9	77,7
TEHUA EST 23	26,59	2,1	30,16	1,2	33,35	-	/	-	20,93	5,4	12,93	2,9	246,12	66,7
TEHUA EST 24	26,73	2,1	30	1,6	33,44	0,1	/	-	17,33	6,8	11,9	3,9	192,84	72
TEHUA EST 25	26,76	2	29,15	0,4	33,552	0,1	/	-	17,32	7,3	12,19	4,4	193,84	77,3
TEHUA EST 26	26,74	2,1	29,15	0,4	33,58	0,1	/	-	16,97	8	11,83	4,9	192	87,7
TEHUA EST 27	26,37	2,3	29,5	-	33,66	-	/	-	18,05	8,2	12,61	5,2	202,78	89,4
TEHUA EST 28	26,19	2,6	29,5	-	33,66	-	/	-	19,64	8	13,77	5,2	217,95	87,1
TEHUA EST 29	27,36	1,5	28,8	-	33,55	-	/	-	11,13	6,5	9,21	3,7	129,31	70,5
TEHUA EST 30	27,33	1,5	30	1,6	33,49	-	/	-	12,54	6,3	11,21	5,1	145,82	68,8
TEHUA EST 31	27,31	1,5	30,36	1,3	33,46	-	33,78	-	13,57	5,9	11,98	4,9	158,6	65,7
TEHUA EST 32	27,62	0,6	30,25	1,2	33,47	-	33,78	-	12,55	5,1	14,82	7,9	157,38	66
TEHUA EST 33	27,65	0,6	29,4	-	33,48	-	/	-	12,55	5,1	14,82	7,9	157,38	66
TEHUA EST 35	27,77	0,5	29,4	-	33,48	-	/	-	12,74	4,9	16,3	8,2	165,04	66
TEHUA EST 36	27,71	0,5	30,25	1,2	33,47	-	/	-	13,32	4,5	18,63	8,5	179,26	64
TEHUA EST 37	27,69	0,5	30,37	1	33,47	-	/	-	14,2	3,4	17,9	10,4	185,18	47
TEHUA EST 38	27,62	0,6	30,03	0,9	33,46	-	/	-	14,17	4,2	14,64	6,2	176,16	52,5
TEHUA EST 39	27,56	0,6	30,17	1,1	33,43	-	33,34	-	15,07	4,9	12,51	4	177,3	55,1

/ Données non disponibles

1.4 Climat et végétation

Le climat de la région étudiée est de type tropical subhumide (Garcia, 1981). La température de l'air s'établit à 27°C. Deux saisons sont distinguées: une saison sèche et chaude (32,2°C en juillet) qui s'étend de novembre à avril et une saison des pluies, qui s'étend de mai à octobre, pendant laquelle les précipitations entraînent une baisse de la température (22,4°C en décembre). Les précipitations hivernales sont d'environ 90 mm, et représentent entre 5 et 10% de la précipitation annuelle totale. Le versant du Pacifique est moins pluvieux que celui du Golfe du Mexique en raison des alizés. Pendant l'été, les régions méridionale et occidentale reçoivent des pluies irrégulières provoquées par les cyclones de l'Océan Pacifique qui passent sur le territoire mexicain en direction du Nord du Golfe du Mexique. La position plus septentrionale des cyclones résulte en un climat désertique de la Basse Californie et du versant nord-ouest du Pacifique. Ainsi plus on monte vers le Nord, moins les pluies sont abondantes d'où une végétation rabougrie dans le Nord et luxuriante dans le Sud.

Six principales zones biogéographiques se distinguent sur le territoire mexicain (Figure 5) :

(1) Une région tropicale humide caractérise la région du Sud-Est le long du Golfe du Mexique est associé à des forêts tropicales composées de feuillus persistants. On y retrouve très rarement une végétation de savane.

(2) La région tropicale subhumide correspond aux régions des plaines côtières du Pacifique, du Yucatan, de Veracruz, et du Tamaulipas où l'on retrouve essentiellement des forêts tropicales à feuille caduques.

(3) Les régions montagneuses caractérisées par un climat tempérées humides sont dominées par des forêts denses humides avec des essences boréales et tropicales. Les alizés du Nord-Est, qui prédominent sur le territoire mexicain, pénètrent par le Golfe du Mexique, chargés d'humidité et provoquent des pluies abondantes sur les versants orientés vers le Golfe du Mexique en se heurtant aux contreforts de la Sierra Madre Orientale et de la partie Nord des Plateaux du Chiapas. L'humidité permanente de cette région est associée à des forêts dominées par des arbres à feuilles persistantes avec un sous-bois de mousses, de fougères, d'Orchidées et la présence d'épiphytes tels que *Epidendrum*, *Peperomia* et *Tillandsia*.

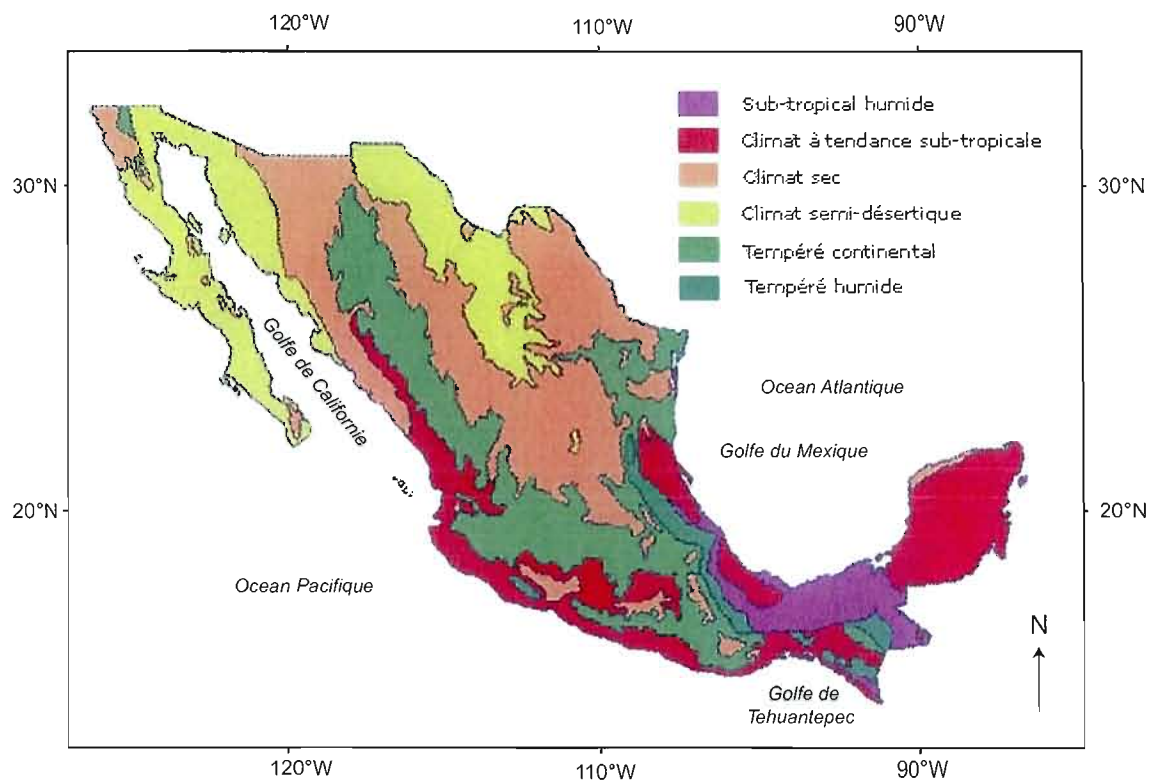


Figure 4. Carte illustrant les différents types de zones bio-climatiques du Mexique (http://circuit.mexique.free.fr/images/mex_map2.jpg; voir texte).

(4) Les zones subhumides tempérées se situent à une altitude de 2500 à 4000 m : elles se caractérisent par une végétation mixte (herbes, arbustes et arbres) riche en pins, et en chênes. Les principaux genres y sont *Pinus*, *Quercus*, *Sedum*, *Eryngum* et *Salvia* (Ramamoorthy et Elliott, 1993). L'isthme de Tehuantepec est caractérisé par ce type de végétation.

(5) Les zones arides et subarides couvrent un quart du Mexique dans sa partie Nord et centrale incluant également la région de la Baie de Californie. La végétation de la côte Sud-Ouest de la péninsule de la Baie de Californie est arbustive : la présence d'épineux charnus de prairies y est caractéristique (Wiggins, 1980; León de la Luz *et al.*, 2000). Le Golfe de Californie se situe entre le désert de Sonora et la région forestière tropicale sèche du Cap au Sud.

(6) Une dernière zone correspond à de très hautes altitudes, supérieures à 3000 m. Elle est dominée par une végétation herbacée. À de telles altitudes, les montagnes limitent les pluies des hauts plateaux intérieurs qui se caractérisent par une diversité de plantes succulentes et xérophytes.

Dans la Péninsule de Basse Californie, le tracé du relief et l'extrême sécheresse du sol empêchent la formation de cours d'eau importants, sauf dans le Nord-Ouest. Les deux versants de la péninsule sont sillonnés de profonds ravins secs et pierreux. Celles-ci transforment les cours d'eau en torrents qui dévastent tout sur leur passage avant de se jeter dans la mer. Plusieurs rivières se déversent dans le Golfe de Tehuantepec. La plus importante (rivière Tehuantepec), ayant un débit de 1368,7 millions de m³/an (Tapia-Garcia *et al.*, 1998).

CHAPITRE II

MÉTHODE

2.1 Échantillonnage

Tous les échantillons ont été prélevés avec un carottier boîte de type Usnel ou Reineck (cf. Tableau 1). Les échantillons de surface ont été prélevés entre 0 et 1 cm de profondeur dans les carottes. Le sédiment est principalement de type silto-sableux. Toutefois, les échantillons côtiers du Golfe de Tehuantepec sont de type sableux.

Des études sur les radio-isotopes du Pb^{210} basées sur une carotte sédimentaire dans la Baie de la Paz (Douglas *et al.*, 2001) et dans le Golfe de Tehuantepec (Ruiz-Fernández *et al.*, 2004) permettent d'évaluer les vitesses de sédimentation à environ 0.35 à 0.5 mm/an et de 0.5 mm/an, respectivement. Halfar *et al.* (2001) ont étudié les dépôts carbonatés et silicoclastiques de l'Holocène et du Pléistocène dans une carotte sédimentaire située dans la Baie de la Paz et déterminé des vitesses de sédimentation supérieures à 2.6 mm/an. Bien que très ponctuelles, ces estimations nous laissent supposer des vitesses de sédimentation élevées à l'échelle de la région étudiée. Les échantillons analysés représenteraient donc quelques décennies et peuvent être associés à des conditions modernes.

2.2 Technique de préparation des échantillons pour l'analyse palynologique

Les échantillons ont été préparés pour l'analyse palynologique selon le protocole du laboratoire de micropaléontologie du GEOTOP (de Vernal *et al.*, 1999). Pour chaque échantillon, on prélève 3 à 5 cm³ de sédiment humide dont on mesure le volume par déplacement d'eau dans un cylindre gradué. Le sédiment est ensuite séché et pesé pour calculer la densité du sédiment. Afin d'évaluer les concentrations de palynomorphes lors du comptage au microscope, on introduit dans l'échantillon une quantité déterminée de grains de spores (*Lycopodium clavatum*) en capsule. Un premier tamisage à 106 et à 10 µm permet d'éliminer la fraction sableuse grossière (>106 µm) ainsi que les silts fins et les argiles (<10

µm). La fraction comprise entre 106 et 10 µm est récupérée, puis soumise à des traitements chimiques à l'acide chlorhydrique (HCl, 10%) et fluorhydrique (HF, 49%). L'HCl permet de dissoudre les carbonates alors que le HF sert à éliminer les particules siliceuses. Ces traitements sont répétés 3 à 4 fois. L'utilisation des ultrasons a été nécessaire pour défloculer les particules organiques et obtenir de meilleurs rendements lors du tamisage final de 10 µm. Le résidu de la fraction comprise entre 106 et 10 µm est monté entre lame et lamelle dans un gel de glycérine.

2.3 Technique de préparation des échantillons pour l'analyse des microfaunes carbonatées.

La préparation des échantillons pour l'analyse des microfossiles carbonatés a été également effectuée selon le protocole du laboratoire de micropaléontologie du GEOTOP. Pour chaque échantillon on prélève une quantité donnée de sédiment (3 à 5 cm³). Après la mesure du volume et de la densité du sédiment obtenu à partir du sédiment sec, un seul tamisage à 106 µm est nécessaire. On procède ensuite à un rinçage final à l'eau distillée de la fraction retenue dans le tamis de 106 µm. Cette fraction est disposée sur un filtre Wathman n°4 que l'on fait sécher à l'air ambiant. Le poids de cette fraction est noté et l'échantillon est ensuite entreposé dans des pots Nalgène.

2.4 Dénombrement des palynomorphes

L'analyse et le dénombrement des palynomorphes ont été effectués par observation au microscope optique sous lumière transmise selon des grossissements de 250 à 1000X. Les principaux palynomorphes identifiables (dinokystes, grains de pollen, spores, réseaux organiques de foraminifères benthiques) ont été dénombrés. Un minimum de 300 dinokystes a été identifié et compté dans la plupart des échantillons (cf. Annexe A : Tableau 3).

Les concentrations des palynomorphes ont été évaluées par la méthode des grains marqueurs (Matthews, 1969). Cette méthode permet d'obtenir des résultats dont la reproductibilité est estimée à environ 10% pour un intervalle de confiance de 0,95 (de Vernal *et al.*, 1987).

Les pourcentages des différents taxons de dinokystes et des tests de foraminifères sont calculés sur la base de leurs sommes respectives.

Pour ce qui concerne le assemblage sporo-polliniques, le pourcentage de chacun des taxons a été calculé sur la base de la somme pollinique, excluant les spores.

2.5 Dénombrement des microfaunes carbonatées.

Le dénombrement des tests de foraminifères dans la fraction de sédiment supérieure à 106 μm a été effectué par observation à la loupe binoculaire, à un grossissement de 25X à 40X. Un minimum de 300 tests de foraminifères a été identifié et compté quand cela était possible (cf. Annexe A : Tableau 3). Les fragments de tests de foraminifères non identifiables n'ont pas été inclus dans les dénombrements. Les tests de foraminifères ne présentés pas de marque de dissolution décelable. Également, aucune différence dans la morphologie des tests n'a été observée entre les tests de foraminifères de la baie de la Paz et ceux du Golfe de Tehuantepec.

Dans certains échantillons la concentration des foraminifères est parfois très élevée, ce qui empêche le comptage total de l'échantillon. Dans ce cas, l'extraction d'une partie aliquote de l'échantillon est nécessaire. Elle est réalisée à l'aide d'un partiteur qui permet une séparation de l'échantillon en deux parties égales. Cette séparation mécanique peut être réalisée autant de fois que nécessaire ($1/2$, $1/4$, $1/8$, $1/16$, ...) afin d'obtenir un aliquote renfermant une population de densité adéquate pour l'analyse. Après aliquotage et tamisage, les microfaunes sont étendues de la façon la plus uniforme possible sur un plateau pour l'observation sous la loupe binoculaire. Le plateau est divisé en sections carrées de superficie égale. Toutefois, en dépit de la partition, le nombre d'individus dans l'aliquote peut être trop élevé pour un comptage systématique. Dans ce cas, une analyse partielle de l'aliquote, en dénombrant les individus que sur une partie du plateau suffit. Il est ainsi nécessaire, lors d'un comptage systématique (300 individus en moyenne) de noter le nombre de carrés analysés par rapport au nombre total de carrés du plateau. Les dénombrements réalisés par comptage systématique sur la superficie totale ou partielle du plateau permettent de calculer, par extrapolation, la concentration des foraminifères dans le sédiment.

La concentration a été calculée comme suit :

$$[\text{Tests de foraminifères/cm}^3] = (S \times A \times s) / V$$

S = Somme des microfossiles dénombrés

A = Nombre de partition

s = Rapport superficie du plateau versus superficie analysée

V = Volume de l'échantillon

2.6 Nomenclature du pollen et des spores, des tests de foraminifères et taxinomie des dinokystes

Les grains de pollen ont été identifiés au niveau du genre ou de la famille. Les gymnospermes tels *Pinus*, *Picea*, *Abies*, ont été regroupés sous la dénomination Pinaceae. Les Asteraceae regroupent *Ambrosia*, *Artemisia* et d'autres genres non identifiés. Les espèces indéterminées correspondent à des formes tricolpées, triporées, tricolporées que nous n'avons pas pu identifier.

La nomenclature des foraminifères est conforme à celles des livres de références de Kennett et Srinivasan (1983), Loeblich et Tappan (1994), et Patterson *et al.* (1998). Parmi les 31 taxa recensés, 8 sont des formes planctoniques et 23 sont des formes benthiques (cf. Tableau 3).

La nomenclature des dinokystes utilisée dans cette étude est conforme à celle de Rochon *et al.* (1999), Radi et de Vernal (2004) et Marret et Zonneveld (2003). Au total 36 taxons ont été recensés (cf. Tableau 4). Plusieurs taxons ont été regroupés sur la base de leurs similarités morphologiques.

Les spécimens du genre *Brigantedinium* comprennent *B. cariacense*, *B. simplex* ainsi que de nombreux spécimens non identifiés à l'espèce en raison d'une orientation ou préservation ne favorisant pas l'observation de l'archéopyle. Ils sont ainsi regroupés sous l'appellation *Brigantedinium* spp. Parmi les espèces appartenant au genre *Spiniferites*, on a identifié *S. elongatus*, *S. delicatus*, *S. ramosus* et *S. mirabilis*. *Spiniferites* spp. regroupe tous les spécimens ne pouvant pas être attribués de façon univoque à l'une des espèces ci-dessus.

Tableau 3. Liste des taxons de foraminifères planctoniques et benthiques recensés dans les sédiments.

Foraminifères planctoniques

Globigerina bulloides
Neogloboquadrina pachyderma levogyre
Neogloboquadrina pachyderma dextrogyre
Globorotalia sp.
Globorotalia umbilicata
Globorotalia tumida
Globigerinoides ruber

Foraminifères benthiques

Brizalina subaenariensis
Brizalina pseudoplicata
Brizalina pseudopunctata
Trifarina bradyi
Stainforthia concava
Bulimina marginata
Bulimina sp.
Uvigerina peregrina
Uvigerina auberiana
Cassidulina reniforme
Cassidulina teretis
Islandiella helenae
Islandiella norcrossi
Lenticulina sp.
Gyrodina sp.
Eponides sp.
Chilostomella oolina
Triloculina trachinata
Nonion sp.
Cibicides sp.
Elphidium sp.
Cancris auriculus
Melonis sp.

Tableau 4. Liste des taxons de dinokystes recensés dans les sédiments de surface. Les espèces marquées par un astérisque ont été supprimées des analyses statistiques en raison de faibles occurrences (voir section 2.6 pour plus d'information). Les taxons marqués d'un double astérisque font l'objet de brève description morphologique dans la section 2.4.

Gonyaulacale

Bitectatodinium spongium
Lingulodinium machaerophorum
Nematosphaeropsis labyrinthus
Operculodinium centrocarpum
Polysphaeridium zoharyi
Spiniferites delicatus
Spiniferites elongatus
Spiniferites ramosus
 * *Spiniferites membranaceus*
Spiniferites mirabilis
Spiniferites spp.

Peridiniale

Pentapharsodinium dalei
Islandinium minutum
Brigantedinium spp.
Protoperidinioids
 * *Lejeunecysta* spp.
Selenopemphix nephroides
Selenopemphix quanta
 * *Votadinium calvum*
 * *Votadinium spinosum*
Quinquecupis concreta
Stelladinium spp.
Echinidinium aculeatum
Echinidinium granulatum
 * *Echinidinium zonneveldiae*
 * * *Echinidinium* sp. x
 * * *Echinidinium* cf. *granulatum*

Gymnodiniale et Diplopsalidae

Polykrikos cf. *kofoidii*
Polykrikos kofoidii
 * *Polykrikos schwartzii*
 * *Dubridinium*

Autre

* * Kyste A

La plupart des kystes de *Polykrikos kofoidii* ressemblent à ceux décrits et illustrés dans la mer de Béring et le long des marges Nord-Est Pacifique par Radi *et al.* (2001) et Radi et de Vernal (2004). Ce taxon se caractérise par un ectophragme fibreux formant des processus en forme d'éventail qui ne sont pas reliés distalement (cf. Planche 1). Toutefois, plusieurs spécimens des Golfes de Californie et de Tehuantepec présentent une morphologie distincte, se caractérisant par un corps central sphérique plutôt qu'allongé, et une taille réduite (47 à 60 μm) et des processus courts (4.5 à 10 μm) et nombreux. Ce kyste est désigné sous l'appellation *Polykrikos cf. kofoidii*.

Le kyste de *Polysphaeridium zoharyi* a fait également l'objet d'une attention particulière du fait qu'il présente une diversité dans la morphologie des processus. La longueur des processus est variable (4 à 16 μm) et on observe parfois deux ou trois processus fusionnés à leur base (cf. Planche 1). *Polysphaeridium zoharyi* domine les assemblages dans la partie nord-ouest du Golfe de Tehuantepec. On a défini le kyste A dans le Golfe de Californie et au large des côtes Californienne (Radi, communication personnelle). C'est un kyste proximochorate avec un corps central sphérique à subsphérique. L'endophragme est lisse et mince, de couleur brun clair à marron or. Les processus sur l'ectophragme sont nombreux et creux et sont arrangés de façon linéaire. Ce kyste n'appartient pas au genre *Echinidinium* car la formation d'un archéopyle semble liée à la perte de plaques apicales ou intercalaire (cf. Annexe C; Planche 2).

En plus du kyste A, on distingue une espèce appartenant au genre *Echinidinium* mais ne correspondant à aucune espèce décrite par Zonneveld (1997b) et Head (2002). Cette espèce a été désignée *Echinidinium* sp. x (Planche 2). Sa petite taille ainsi que la difficulté d'observer l'archéopyle nous amène à placer ce kyste dans le groupe *Echinidinium*. Il pourrait toutefois appartenir à *Islandinium* (cf. Annexe C).

Une autre espèce appartenant au genre *Echinidinium* est présente. Elle est caractérisée par un corps central sphérique, petit (<24 μm), ainsi que par un ectophragme granuleux. La paroi du kyste est granulaire et d'apparence transparente. Les processus sont fins, nombreux et creux. Ce kyste correspond à tous les critères morphologiques de l'espèce *Echinidinium granulatum* mais diffère de celle-ci par sa petite taille. Nous l'avons appelé *Echinidinium cf. granulatum* (cf. Planche 2).

2.7 Sources des données océaniques actuelles : hydrographie et productivité

Les températures et salinités des eaux de surfaces des mois de février et d'août (Tableau 2) sont issues des CD-ROMS publiés par le *National Oceanographic Data Center* (NODC, 2001). Toutes les données ont été transférées après leurs extractions sur un disque dur et organisées selon des tables de requête, utilisant le système de gestion de bases de données relationnelles ORACLE. Les moyennes des mesures effectuées entre 1930 et 2001 ont été compilées selon un rayon de 30 miles nautiques autour des sites. Les données de productivité proviennent des analyses par télédétection publiées par Antoine *et al.* (1996). Elles correspondent à une estimation à partir des observations satellitaires de la chlorophylle. L'incertitude concernant la précision des estimations de la productivité primaire est de l'ordre de 17% (Antoine et Morel, 1996). La productivité est exprimée en moyenne annuelle, en grammes de carbone par unité de surface (gC/m^2).

2.8 Analyses statistiques

Afin de mieux comprendre la distribution de dinokystes et de déterminer quels sont les paramètres qui contrôlent celle-ci, une analyse multivariée de type RDA (*Redundancy Analysis*) a été effectuée à l'aide du logiciel Canoco 4.0 de ter Braak et Smilauer (1998). Cette technique d'ordination canonique permet d'évaluer la relation entre la distribution des taxons et les paramètres environnementaux. Il s'agit donc d'analyse traitant simultanément deux tableaux de données différentes, espèces et variables environnementales. Les diagrammes qui en résultent illustrent non seulement les motifs de variation dans la composition spécifique mais aussi les liens entre espèces et variables de l'environnement. Cette analyse permet d'obtenir une relation directe, linéaire entre les taxons et les conditions hydrographiques du milieu. L'analyse canonique de redondance (RDA) est la forme canonique de l'analyse en composante principale (PCA).

Parmi les 35 taxons recensés, 7 espèces sont rares (< 1 %) et n'ont pas été utilisées pour l'analyse statistique (Tableau 4). Une transformation logarithmique a été faite afin de donner plus de poids aux taxons faiblement représentés.

Les pourcentages de pollen et de spores ont aussi fait l'objet d'analyse statistique. Les taxons suivants ont été sélectionnés pour des analyses multivariées Pinaceae, *Alnus*, Asteraceae, Chenopodiaceae, Caryophyllaceae, Poaceae et Brassicaceae. Les taxons indéterminés n'ont pas été inclus dans ces analyses. Nous avons effectué une analyse en composantes principales qui se base sur une matrice de covariance à partir des 9 taxons incluant les types de spores. Une première analyse de correspondance de type DCA (*Detrended correspondence analysis*) a permis de déterminer la longueur du premier axe qui est de 1,6 déviation standard indiquant une variation linéaire. Une analyse en composantes principales (ACP) a donc été réalisée.

2.9 Présentation des résultats

Les résultats d'analyses palynologiques et des microfaunes carbonatées sont présentés sous forme de diagrammes de pourcentages et de concentrations. L'abondance des dinokystes, du pollen, des spores, des réseaux organiques de foraminifères et des tests de foraminifères est exprimée en concentration, soit en nombre de spécimens par unité de volume (Figures 5 et 10).

Des diagrammes de pourcentages ont été établis pour les assemblages sporo-polliniques ainsi que pour les dinokystes. Les résultats des analyses microfaunistiques sont présentés sous forme de diagrammes de concentration et de pourcentages. L'abondance des tests de foraminifères est exprimée en pourcentage des espèces. L'ensemble de foraminifères recensés est présenté dans le tableau 4. Les données brutes de tous les comptages sont reportées en annexe (Tableaux 1 à 3).

CHAPITRE III

DISTRIBUTION DES PALYNOMORPHES

3.1 Les palynomorphes terrestres

3.1.1 Les grains de pollen et spores de ptéridophyte

3.1.1.1 Les concentrations

Dans les sédiments prélevés le long des côtes ouest mexicaines, les concentrations des palynomorphes terrestres sont généralement élevées (Figure 5, Tableau 5). Les spores et les grains de pollen ont des concentrations pouvant atteindre 27000 grains/cm³ (Figure 5). Toutefois, la Baie de la Paz se singularise par de très faibles concentrations, inférieures à 1150 spores/cm³ et 8000 pollen/cm³. Les spores et grains de pollen sont plus abondants le long de la côte ouest mexicaine et dans la partie Nord du Golfe de Tehuantepec. Leurs concentrations y atteignent 3600 spores/cm³ et 27000 pollen/cm³.

3.1.1.2 Assemblages des grains de pollen et spores de ptéridophyte

Les principaux taxons sporo-poliniques recensés sont les Pinaceae (*Pinus*, *Picea*, *Abies*), Asteraceae, Chenopodiaceae, Brassicaceae, Caryophyllaceae, Poaceae, *Alnus*, ainsi que des spores monolètes et trilètes.

Les taxons dominant dans les régions côtières du Mexique sont Pinaceae, *Alnus*, Asteraceae, et Chenopodiaceae. Les grains de pollen de Pinaceae dominent également les assemblages le long de la côte mexicaine et dans le Golfe de Tehuantepec alors que ce sont les Asteraceae et les Chenopodiaceae qui dominent ceux du Golfe de Californie (Figure 6).

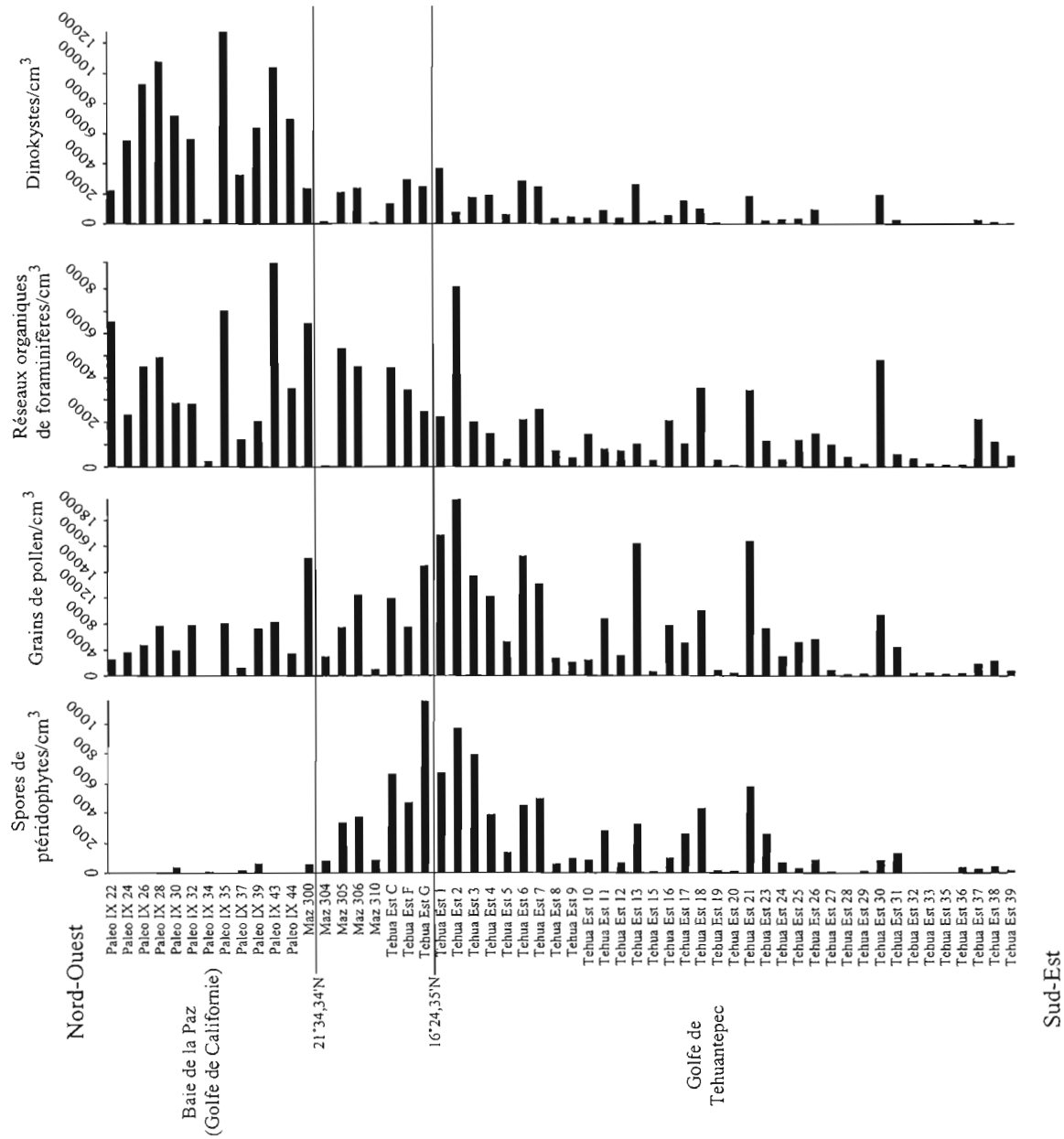


Figure 5. Concentration des palynomorphes terrestres (pollen, spores de ptéridophytes) et marins (réseaux organiques de foraminifères et dinokystes) le long de la marge Ouest mexicaine.

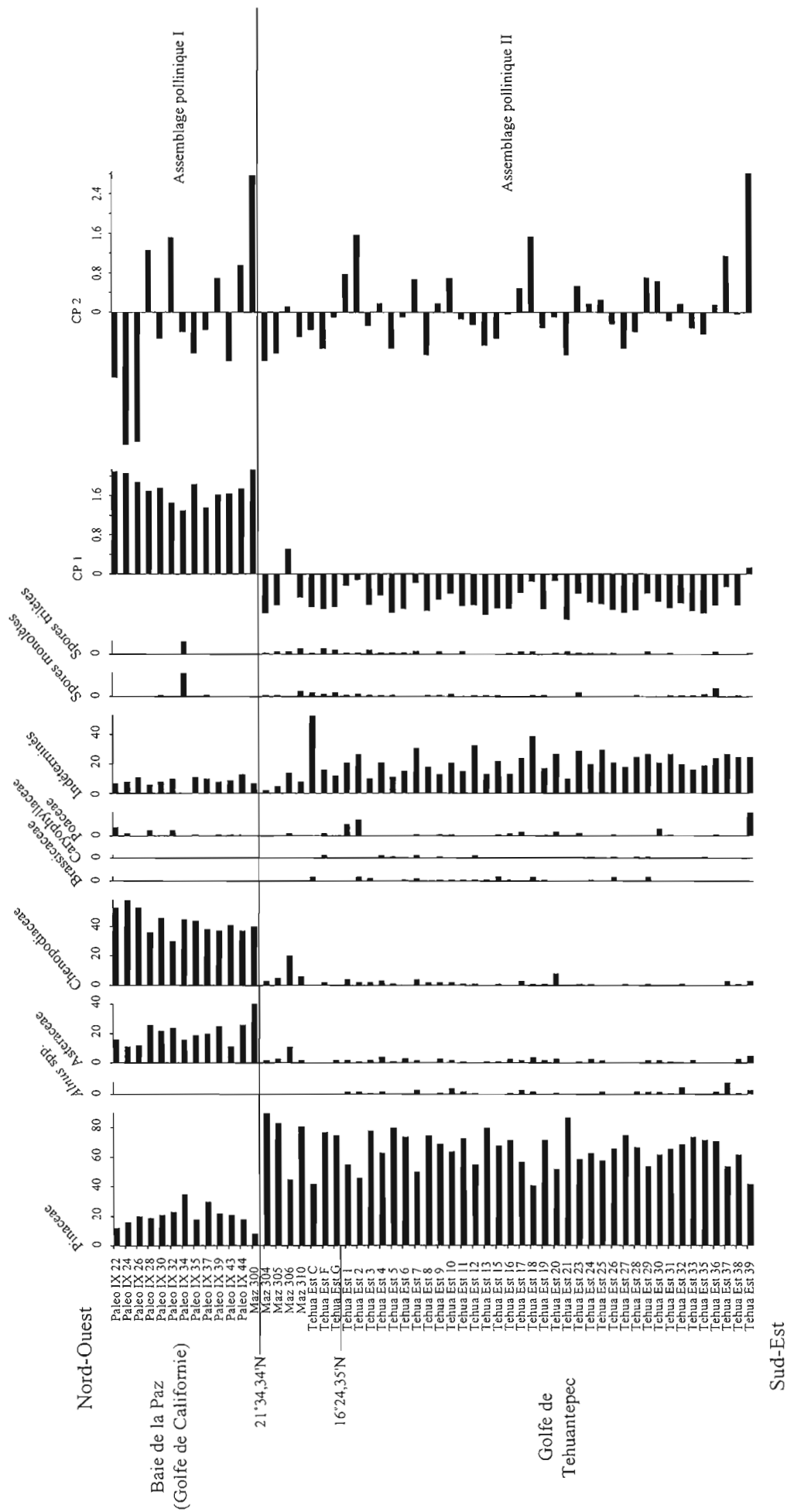


Figure 6. Diagramme de pourcentage des principaux taxons sporo-polliniques. À droite sont illustrés les concentrations, et la pondération des spectres selon les composantes principales 1 et 2.

Tableau 5. Concentration des palynomorphes terrestres (grains de pollen, spores de ptéridophytes) et marins (dinokystes, réseaux organiques de foraminifères) et des tests de foraminifères.

Sites	Dinokystes/cm ³	Pollen/cm ³	Spores/cm ³	Réseaux Organiques/cm ³	Tests de foraminifères/cm ³
Paleo IX 22	2249	2506	0	6544	731
Paleo IX 24	5446	3737	0	2331	294
Paleo IX 26	8976	4819	0	4502	394
Paleo IX 28	10800	7726	0	4934	976
Paleo IX 30	7046	3972	39	2854	528
Paleo IX 32	5644	7884	0	2836	520
Paleo IX 34	319	41	10	278	1080
Paleo IX 35	12723	8179	0	7043	3791
Paleo IX 37	3281	1316	20	1255	26640
Paleo IX 39	6388	7275	66	2049	863
Paleo IX 43	10429	8351	0	9172	403
Paleo IX 44	6703	3490	0	3513	624
Maz 300	2392	18154	62	6470	/
Maz 304	191	3073	83	60	/
Maz 305	2120	7504	336	5339	/
Maz 306	5433	12469	376	4522	/
Maz 310	128	1003	88	13	44
TEHUA EST C	1582	12013	667	4449	11220
TEHUA EST F	2976	7538	471	3454	/
TEHUA EST G	2303	16928	1152	2487	/
TEHUA EST 1	3694	21639	674	2248	32
TEHUA EST 2	2433	27182	970	8090	1370
TEHUA EST 3	1804	15362	796	2014	/
TEHUA EST 4	1941	12215	389	1487	19
TEHUA EST 5	641	5324	137	350	15
TEHUA EST 6	2904	18436	453	2115	45
TEHUA EST 7	2506	14196	502	2596	725
TEHUA EST 8	348	2780	61	732	31536
TEHUA EST 9	549	2196	99	427	3362
TEHUA EST 10	348	2503	86	1457	7830
TEHUA EST 11	931	8848	283	806	277
TEHUA EST 12	437	3180	68	731	24785
TEHUA EST 13	2645	20427	328	1040	166
TEHUA EST 15	206	696	12	309	35984
TEHUA EST 16	574	7771	100	2073	23384
TEHUA EST 17	1557	5135	262	1050	22880
TEHUA EST 18	1034	10130	432	3550	693
TEHUA EST 19	87	964	18	324	7056
TEHUA EST 20	48	536	13	97	3600
TEHUA EST 21	1912	20775	582	3430	884
TEHUA EST 23	345	7376	264	1166	20240
TEHUA EST 24	436	3101	70	354	8224
TEHUA EST 25	327	5272	33	1208	9450
TEHUA EST 26	1189	5736	91	1510	10850
TEHUA EST 27	54	974	10	1015	32116
TEHUA EST 28	28	295	5	486	1344
TEHUA EST 29	22	412	15	171	6963
TEHUA EST 30	1999	9495	86	4819	37968
TEHUA EST 31	326	4597	136	604	13960
TEHUA EST 32	55	502	11	418	26005
TEHUA EST 33	61	599	11	171	6714
TEHUA EST 35	88	370	10	125	1720
TEHUA EST 36	126	478	40	115	4530
TEHUA EST 37	318	1987	30	2154	6440
TEHUA EST 38	92	2428	45	1123	17182
TEHUA EST 39	124	861	20	524	18461

La première composante (CP1) représente 93.7% de la variance (Figures 7 et 8). Elle est définie par une opposition entre les Pinaceae et les Asteraceae-Chenopodiaceae (Figure 7; Tableaux 6). La deuxième composante (CP2) ne représente que 3.1% de la variance (Figures 7 et 8). Cette composante oppose *Alnus* et les Poaceae, d'une part, et les Chenopodiaceae, d'autre part (Tableau 6).

Les proportions relatives des différents taxons ainsi que les composantes principales permettent de distinguer 2 grandes zones polliniques qui ont une signification biogéographique (Figures 5 à 8) :

(1) La zone I correspond à la Baie de la Paz. Elle se singularise par la dominance des taxons herbacés, soit les Chenopodiaceae ($\geq 40\%$) et les Asteraceae ($\geq 20\%$). Les Pinaceae sont toutefois présents mais avec des pourcentages n'excédant pas les 30%. La dominance des herbacées est compatible avec la végétation du sud de la péninsule de la Baie de Californie qui est steppique (Starker, 1950).

(2) La zone II regroupe les échantillons du Golfe de Tehuantepec. Elle est marquée par la dominance des Pinaceae ($\geq 50\%$) qui illustre un apport issu de la végétation boréale de la région montagneuse du Chiapas et d'Oaxaca (Starker, 1950). La forêt de Lacandon de la région du Chiapas, adjacente au Golfe de Tehuantepec, se caractérise par un mélange issue de forêts tropicales et tempérées (Dominguez-Vásquez *et al.*, 2004). Toutefois, à plus haute altitude, à partir de 800 m, le type de végétation se caractérise par des forêts plus humides à chêne et pin. La dominance des Pinaceae reflèterait davantage la végétation des plus hautes altitudes du plateau central Mexicain où les forêts sont dominées par des complexes de pins, chênes et arbres à bois dur (Conserva *et al.*, 2002).

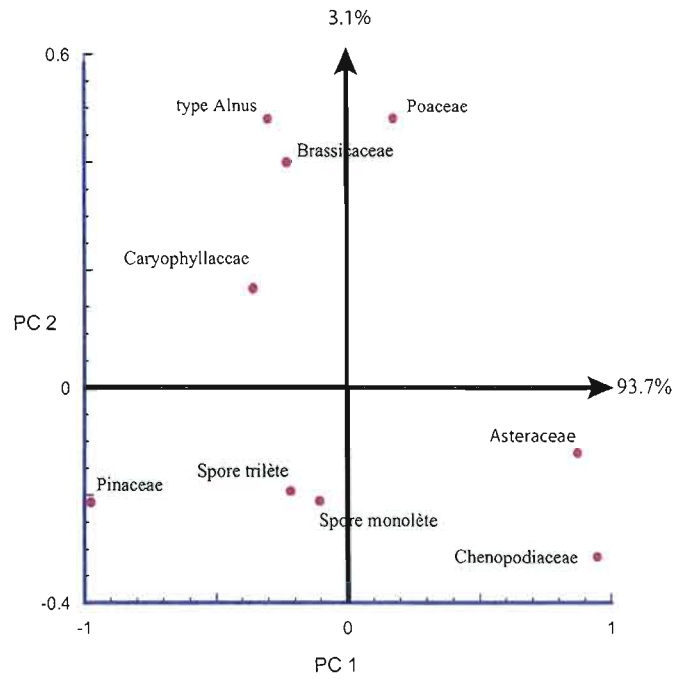


Figure 7. Pondération des principaux taxons sporo-polliniques par rapport aux composantes principales 1 et 2.

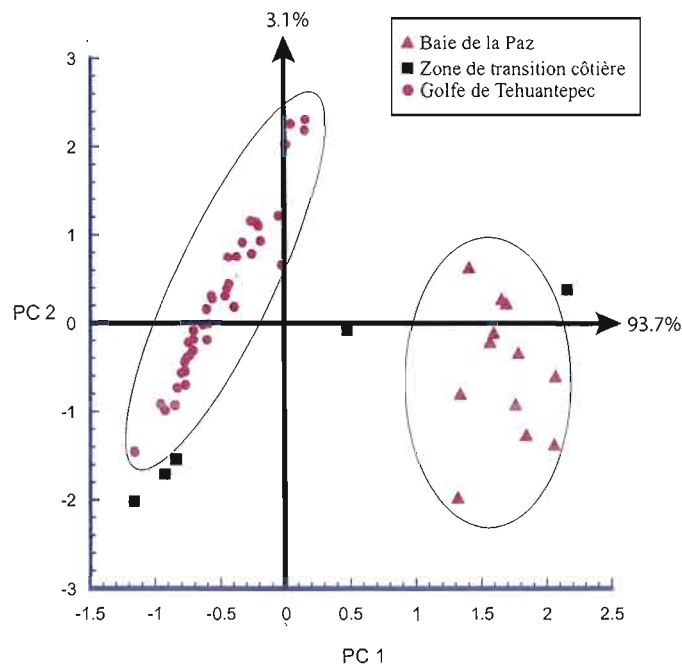


Figure 8. Distribution des assemblages sporo-polliniques selon les composantes 1 et 2 dans les sédiments le long de la marge Ouest mexicaine.

Tableau 6. Pondération des taxons sporo-polliniques par rapport aux composantes principales 1 et 2.

	CP 1	CP 2
Pinaceae	-0,9953	-0,0783
<i>Alnus</i>	-0,3185	0,4592
Asteraceae	0,8725	0,3651
Brassicaceae	-0,2933	0,067
Caryophyllaceae	-0,3884	-0,0043
Chenopodiaceae	0,9764	-0,2119
Poaceae	0,2029	0,4079
Spore monolète	-0,2135	-0,0094
Spore trilète	-0,2808	0,1096

Tableau 7. Pondération des taxons de dinokystes sur les axes 1 et 2 résultant des analyses de redondance (RDA).

	Axe 1	Axe 2
<i>Bitectatodinium spongium</i>	0.0162	0.0695
<i>Lingulodinium machaerophorum</i>	-0.1301	-0.4908
<i>Nematosphaeropsis labyrinthus</i>	-0.1015	0.1434
<i>Operculodinium centrocarpum</i>	0.2476	0.2955
<i>Polysphaeridium zoharyi</i>	-0.6370	-0.2496
<i>Spiniferites delicatus</i>	-0.3470	0.0128
<i>Spiniferites elongatus</i>	0.5045	0.1893
<i>Spiniferites ramosus</i>	0.3757	0.1906
<i>Spiniferites mirabilis</i>	0.2402	-0.2086
<i>Spiniferites</i> spp.	0.0308	0.0085
<i>Pentarparsodinium dalei</i>	0.4835	-0.0071
<i>Islandinium minutum</i>	0.7534	-0.0483
<i>Echinidinium</i> sp.-x	-0.3019	-0.5808
<i>Brigantedinium</i> spp.	0.2902	-0.1158
<i>Selenopemphix nephroides</i>	0.2106	-0.3091
<i>Selenopemphix quanta</i>	0.2673	-0.4025
<i>Quinquecupis concreta</i>	0.0122	-0.1347
<i>Polykrikos kofoidii</i>	0.6426	-0.2564
<i>Polykrikos</i> cf. <i>kofoidii</i>	0.4218	-0.2169
<i>Echinidinium aculeatum</i>	0.3243	-0.4872
<i>Echinidinium granulatum</i>	0.0937	-0.2682
<i>Echinidinium</i> cf. <i>granulatum</i>	0.0960	-0.2756
Kyste A	0.4688	-0.1809

3.2 Les palynomorphes marins

3.2.1 Les réseaux organiques de foraminifères benthiques

Les réseaux organiques de foraminifères benthiques sont présents dans tous les échantillons de la marge ouest mexicaine. Les concentrations des réseaux organiques de foraminifères sont variables et atteignent un maximum de près de 8000 réseaux/cm³ dans la Baie de la Paz et dans la zone d'upwelling du Golfe de Tehuantepec (Figure 5).

Le long de la côte mexicaine, une corrélation linéaire s'établit entre la concentration totale des dinokystes et celles des réseaux organiques de foraminifères ($R= 0.67$; Figure 9). Les réseaux organiques de foraminifères donneraient une image de la production benthique (e.g., de Vernal *et al.*, 1992).

3.2.2 Les dinokystes

3.2.2.1 Les concentrations

Les concentrations de dinokystes varient selon un gradient décroissant du Nord vers le Sud, soit de 12700 kystes/cm³ dans le Golfe de Californie à moins de 2000 kystes/cm³ dans le Golfe de Tehuantepec. On observe également un gradient de la côte vers le large dans la Baie de la Paz allant de 300-2000 kystes/cm³ près des côtes à 6800-10800 kystes/cm³ plus au large. Ce gradient n'est pas observé dans le Golfe de Tehuantepec.

3.2.2.2 Les assemblages

Les assemblages de dinokystes sont caractérisés par une diversité taxinomique élevée le long de la côte mexicaine (36 taxons). Seulement 5 taxons constituent plus de 60% des assemblages. Il s'agit de *Bitectatodinium spongium*, *Polysphaeridium zoharyi*, *Spiniferites delicatus*, *Spiniferites* spp., *Echinidinium* sp. x, *Brigantedinium* spp., *Echinidinium aculeatum* et *Echinidinium granulatum* (Figure 10; planche 1). D'une manière générale, les

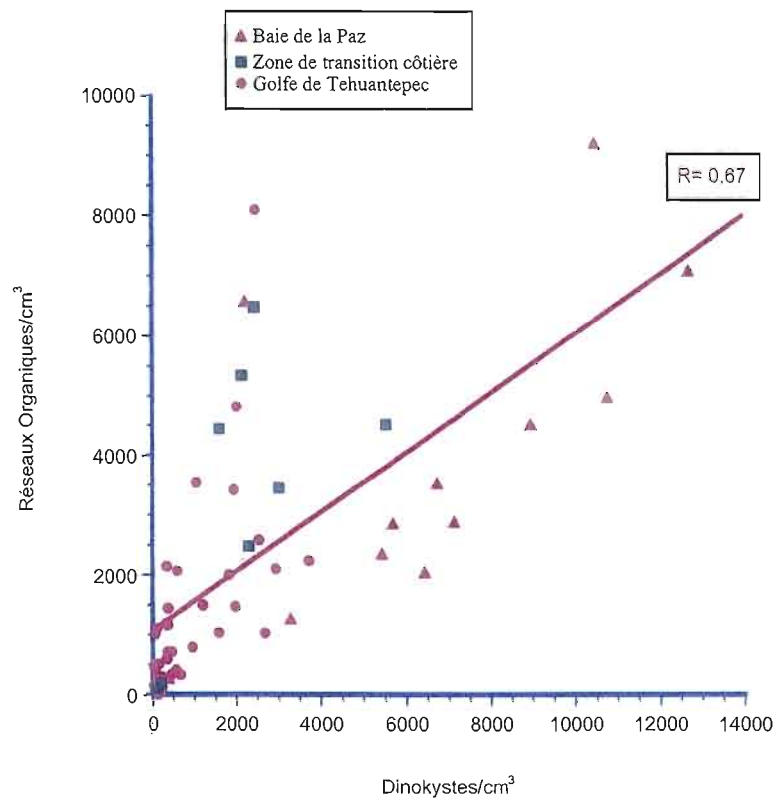


Figure 9. Relation entre la concentration des dinokystes et celle des réseaux organiques de foraminifères.

pourcentages des kystes de dinoflagellés hétérotrophes (e.g. *Brigantedinium* spp., *Quinquecuspis concreta*) dominent les assemblages du Golfe de Californie ainsi que ceux des zones d'upwellings du Golfe de Tehuantepec contrairement aux kystes de dinoflagellés autotrophes tels *Operculodinium centrocarpum* et *Spiniferites delicatus* qui dominent les assemblages de la partie Sud-Est du Golfe de Tehuantepec (i.e. zone sans upwelling). On remarque également la présence de *Polykrikos kofoidii*, *Echinidinium aculeatum* et *Echinidinium granulatum* en pourcentage plus élevé dans la Baie de la Paz comparativement à la zone d'upwelling du Golfe de Tehuantepec. *Brigantedinium* spp. est abondant dans tous les échantillons de surface à l'exception de la partie Sud-Est du Golfe de Tehuantepec où des pourcentages sont en général inférieurs à 15% (Figure 10). Le rapport entre taxons hétérotrophe et autotrophe nous montre une dominance des dinoflagellés hétérotrophes dans la Baie de la Paz, le long de la côte mexicaine et dans la partie Nord du Golfe de Tehuantepec contrairement à ceux de la partie Sud-Est du Golfe de Tehuantepec.

3.2.2.3 Résultats des analyses statistiques

Les concentrations et l'abondance relative des taxons évoquent une certaine relation entre les assemblages de dinokystes et les conditions du milieu. Une analyse de correspondance de type DCA (*Detrended Correspondance Analysis*) a été réalisée afin de déterminer la longueur du gradient de l'axe 1. La valeur de celui-ci est de 2.04 Standards déviation et illustre une distribution linéaire des pourcentages de dinokystes par rapport aux variables environnementales. Une ordination linéaire indirecte ou une analyse de redondance (RDA) est donc plus appropriée pour déterminer quels sont les facteurs de distribution des taxons au sein des assemblages de dinokystes.

Le premier axe explique 14,1% de la variance et oppose *Polysphaeridium zoharyi* à *Polykrikos kofoidii* et *Islandinium minutum* (Figure 11). *Polysphaeridium zoharyi* a la plus forte saturation négative sur le premier axe alors que *Polykrikos kofoidii* et *Islandinium minutum* montrent une plus forte saturation positive (Tableau 7). Ce premier axe illustre une

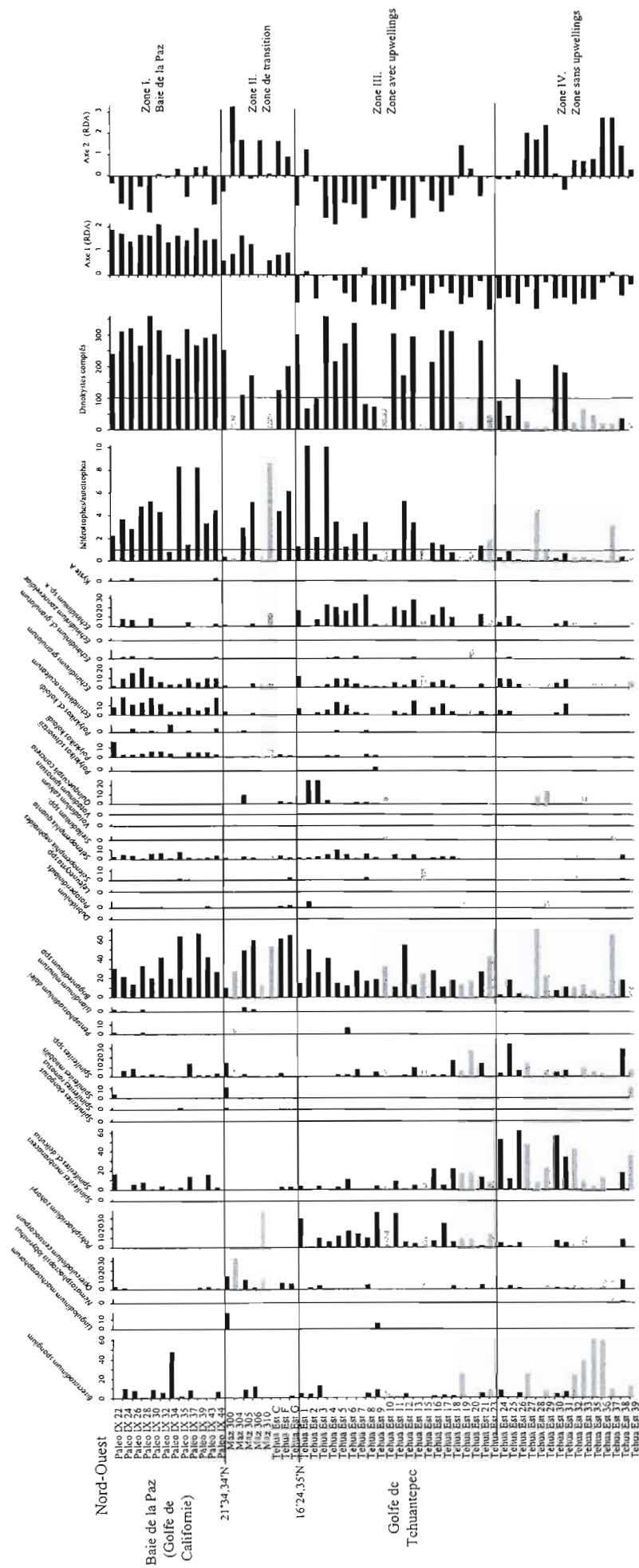


Figure 10. Diagramme des pourcentages de dinokystes. À droite, sont illustrées les concentrations des dinokystes, le nombre de dinokystes comptés et la pondération des spectres par rapport aux 2 premières composantes principales.

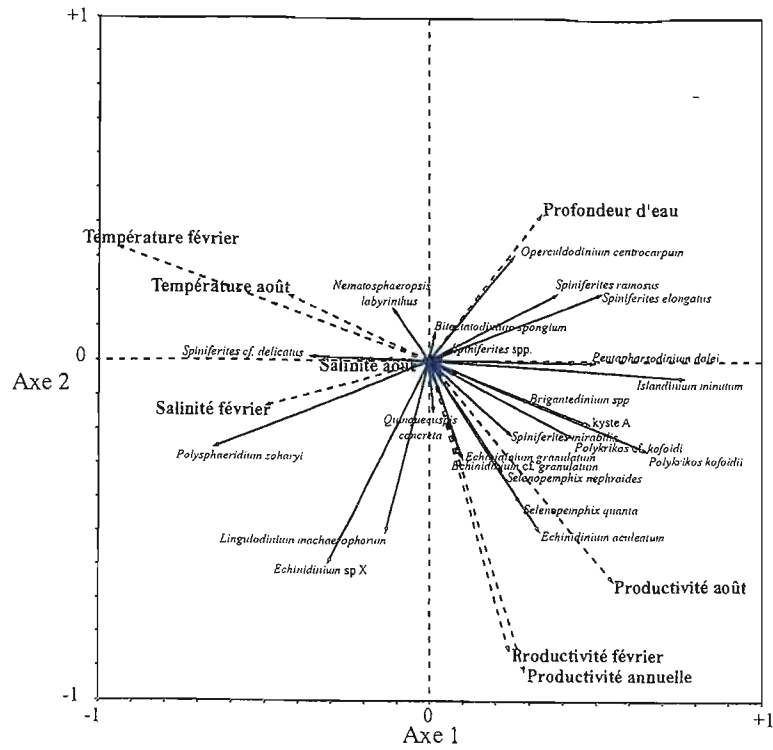


Figure 11. Pondération des taxons de dinokystes et des paramètres environnementaux par rapport aux axes 1 et 2 issue de l'analyse de redondance.

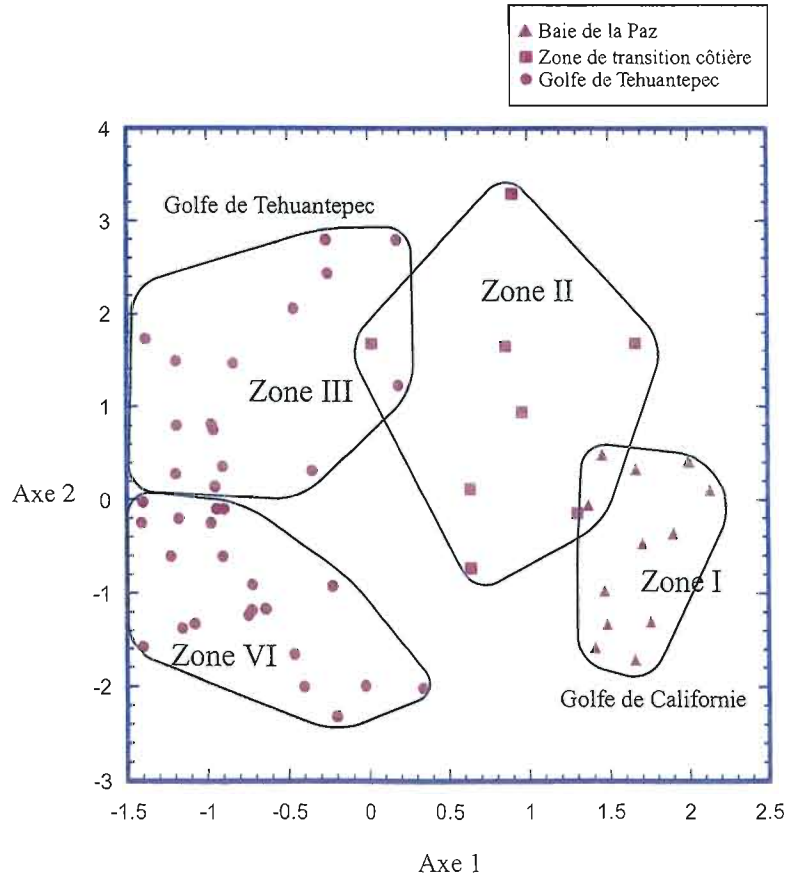


Figure 12. Distribution des assemblages de dinokystes par rapport aux axes 1 et 2 issue de l'analyse de redondance.

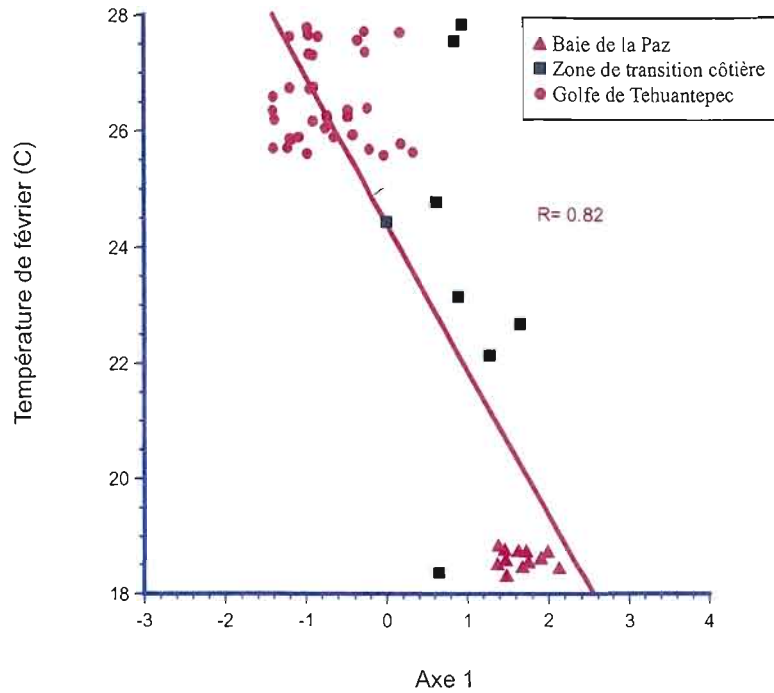


Figure 13. Corrélation entre les valeurs de l'axe 1 et la température de février pour les sites de la marge Ouest mexicaine. Les coefficients de corrélation sont calculés sur la base d'une relation linéaire.

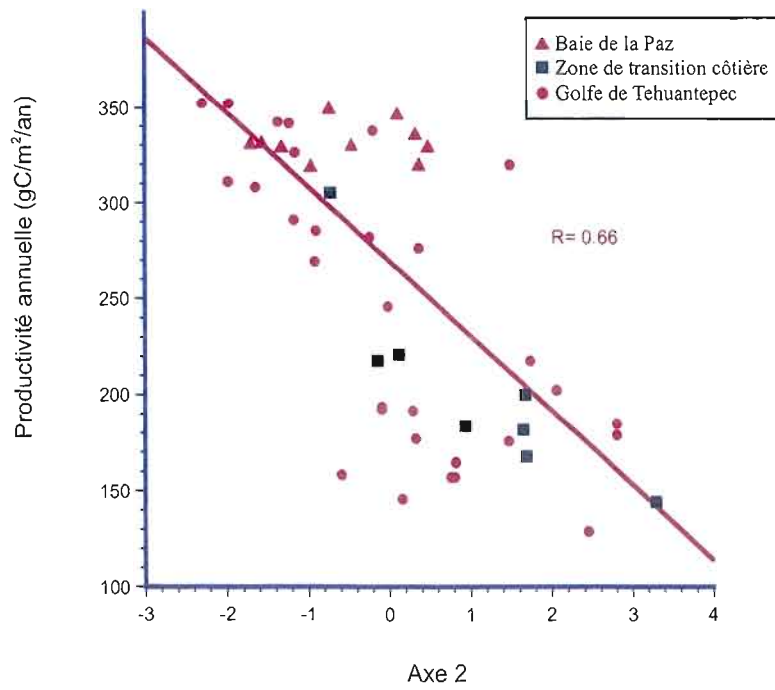


Figure 14. Corrélation entre les valeurs de l'axe 2 et la productivité annuelle pour les sites de la marge Ouest mexicaine. Le coefficient de corrélation est calculé sur la base d'une relation linéaire.

relation significative avec la température de février et la salinité de février ($R=0.86$; $R=0.73$; Figure 13). Le deuxième axe rend compte de 9,4% de la variance et met en opposition deux groupes de dinokystes. *Lingulodinium machaerophorum*, *Echinidinium* sp. x et *Echinidinium aculeatum* d'un côté et *Spiniferites ramosus* et *Operculodinium centrocarpum* de l'autre (Tableau 7). Le deuxième axe illustre une relation directe avec la productivité primaire annuelle ($R=0,66$; Figure 14).

3.2.2.4 Zonation régionale

À partir des variations des proportions relatives de différents taxons (Figure 10), ainsi que de l'analyse par redondance (Figures 11 et 12), quatre assemblages se distinguent et sont associés à quatre zones géographiques différentes le long de la marge ouest mexicaine.

La zone I est caractérisée par des concentrations élevées de dinokystes (jusqu'à 13000 kystes/cm³) et par la dominance de *Brigantedinium* spp., *Echinidinium aculeatum*, *Echinidinium granulatum* et de *Polykrikos kofoidii*. Cette zone est marquée par la dominance de taxons hétérotrophes. Elle correspond notamment à la Baie de la Paz où la productivité annuelle est élevée (319,8 à 390,1 gC/m²/an). Les températures et salinités hivernales y sont de 18,2 à 18,7°C et de 35,21 à 35,3 respectivement.

La zone II se distingue par des concentrations ne dépassant pas les 3500 kystes/cm³ et par la dominance d'*Operculodinium centrocarpum* et de *Brigantedinium* spp. Elle regroupe les sites à l'embouchure du Golfe de Californie et de la côte mexicaine où la productivité annuelle y varie de 144 à 305 gC/m²/an. Les température et salinité hivernales y sont de 18,3 à 27,8°C et 34 à 34,8 respectivement.

La zone III caractérisée par des concentrations inférieures à 4000 kystes/cm³ et des assemblages dominés par *Polysphaeridium zoharyi*, *Islandinium minutum*, *Brigantedinium* spp., *Echinidinium granulatum* et *Echinidinium aculeatum*. La présence de *Polysphaeridium zoharyi* semble être spécifique à cette partie du golfe. Cette zone correspond à la partie Nord du Golfe de Tehuantepec où les température et salinité hivernales sont de 25,5 à 26,6°C et de 29,3 à 30,1. La productivité y est de 246,1 à 367,5 gC/m²/an.

Tableau 8. Tableau récapitulatif des coefficients de corrélation de la relation entre les trois premiers axes issus de la RDA et les conditions hydrographiques le long de la côte mexicaine. Les coefficients de corrélation sont calculés à partir de relations linéaires.

	Température février	Température août	Salinité février	Salinité août	Productivité février	Productivité août	Productivité annuelle	Profondeur d'eau
Axe 1	-0.6287	-0.3708	-0.4318	-0.1020	0.2111	0.4837	0.2513	0.2948
Axe 2	0.2411	0.1363	-0.0938	0.0037	-0.6240	-0.4720	-0.6682	0.3095
Axe 3	0.1135	0.1505	-0.0468	0.2330	-0.0589	-0.0926	0.0798	0.5482

La partie sud du Golfe de Tehuantepec constitue la zone IV avec comme particularités des concentrations extrêmement faibles (<2000 kystes/cm³) et la dominance des taxons autotrophes, notamment *Spiniferites delicatus*, *Bitectatodinium spongium* et *Spiniferites* spp. La productivité annuelle y varie de 129,3 à 217,9 gC/m²/an et les températures et salinités hivernales y sont de 26,1 à 27,3°C et de 33,4 à 33,6 respectivement.

3.3 Les tests carbonatés et agglutinants de foraminifères

3.3.1 Les concentrations et les assemblages

Les concentrations de tests de foraminifères sont extrêmement variables, allant de 0 à 3500 tests/cm³. De façon générale, les tests de foraminifères sont plus abondants dans la Baie de la Paz que dans le Golfe de Tehuantepec (Figure 15). Les foraminifères planctoniques et benthiques sont quasi absents dans les échantillons de la partie nord du Golfe de Tehuantepec mais leurs concentrations varient de 30 à 25000 tests/cm³ et de 30 à 35000 tests/cm³ dans les secteurs centraux et sud, respectivement. Dans la Baie de la Paz, les concentrations sont inférieures à 3000 tests/cm³, à l'exception d'un échantillon ayant une concentration supérieure à 25000 tests/cm³.

Les échantillons des marges Ouest mexicaines sont caractérisés par une diversité élevée des foraminifères (31 taxons). Les tests agglutinants de foraminifères sont présents mais rare ($< 5\%$). Seulement 3 taxons constituent plus de 40% des assemblages. Il s'agit de *Globigerina bulloides*, *Brizalina subaenariensis*, et *Cibicides* sp. De nombreux taxons accompagnateurs constituent moins de 20% des assemblages (Figure 16).

Les foraminifères planctoniques dominent dans la Baie de la Paz sauf aux extrémités Nord et Sud. Dans le Golfe de Tehuantepec, ce sont les formes planctoniques qui dominent, excepté dans la zone d'upwelling au Nord-Ouest. Le ratio entre les tests de foraminifères planctoniques et benthiques nous montre que les formes planctoniques dominent également dans la majeure partie sud.

La dominance des tests de foraminifères benthiques et en particulier des représentants des Bolivinidae serait étroitement liée aux flux de matière organique, donc à la productivité dans les eaux superficielles (Loubere, 1996 ; Cannariato et Kennett, 1999).

À partir des assemblages des foraminifères benthiques et planctoniques deux grandes zones se distinguent. La première zone est marquée par la dominance de *Globigerina bulloides*, *Neogloboquadrina pachyderma* dextrogyre et *Brizalina subaenariensis*. La deuxième grande zone correspond au Golfe de Tehuantepec, caractérisé par la dominance de *Globigerina bulloides*, le genre *Globorotalia* et par *Cibicides* sp.

3.3.2 Réseaux organiques versus tests de foraminifères

Les proportions de réseaux organiques et de tests de foraminifères montrent que les sédiments le long de la côte mexicaine, en particulier dans la baie de la Paz sont affectés par la dissolution du carbonate de calcium (Figure 16). En effet, on retrouve des concentrations élevées de réseaux organiques dans la Baie de la Paz, généralement supérieure à 2500 réseaux/cm³ contrairement aux concentrations des tests de foraminifères qui sont inférieures à 1500 kystes/cm³. La différence entre la concentration des tests des foraminifères et celle de leurs réseaux organiques révèle une dissolution des tests carbonatés. Les réseaux organiques de foraminifères sont composés de matières organiques réfractaires et ne sont donc pas affectés à la dissolution. Le rapport entre les réseaux organiques et les tests de foraminifères benthiques peut-être utilisé comme index de dissolution lorsque le rapport est supérieur à 1 et comme index de préservation lorsque celui-ci est inférieur à 1 (*e.g.*, de Vernal *et al.*, 1992). Il indique que les sédiments de la Baie de la Paz sont affectés par la dissolution du carbonate de calcium (Figure 15). Une dissolution peut être expliquée par une pCO₂ très élevée des eaux de fond résultant d'un flux biogénique élevée de matière organique et de sa décomposition subséquente. Dans le Golfe de Tehuantepec, les concentrations de réseaux organiques sont inférieures à 3000 réseaux/cm³ et les concentrations de tests de foraminifères benthiques sont à certain endroit élevés (> 10000 cm³). Ainsi, le rapport entre les réseaux organiques et les tests de foraminifères benthiques sont inférieurs à 1, illustrant une bonne préservation des tests de foraminifères benthiques plutôt qu'une dégradation (dissolution) des réseaux organiques. D'une manière générale, les foraminifères benthiques sont mieux préservés dans le Golfe de Tehuantepec que dans la Baie de la Paz. Les concentrations des réseaux organiques sont les plus faibles dans le Golfe de Tehuantepec (< 3000 réseaux/cm³).

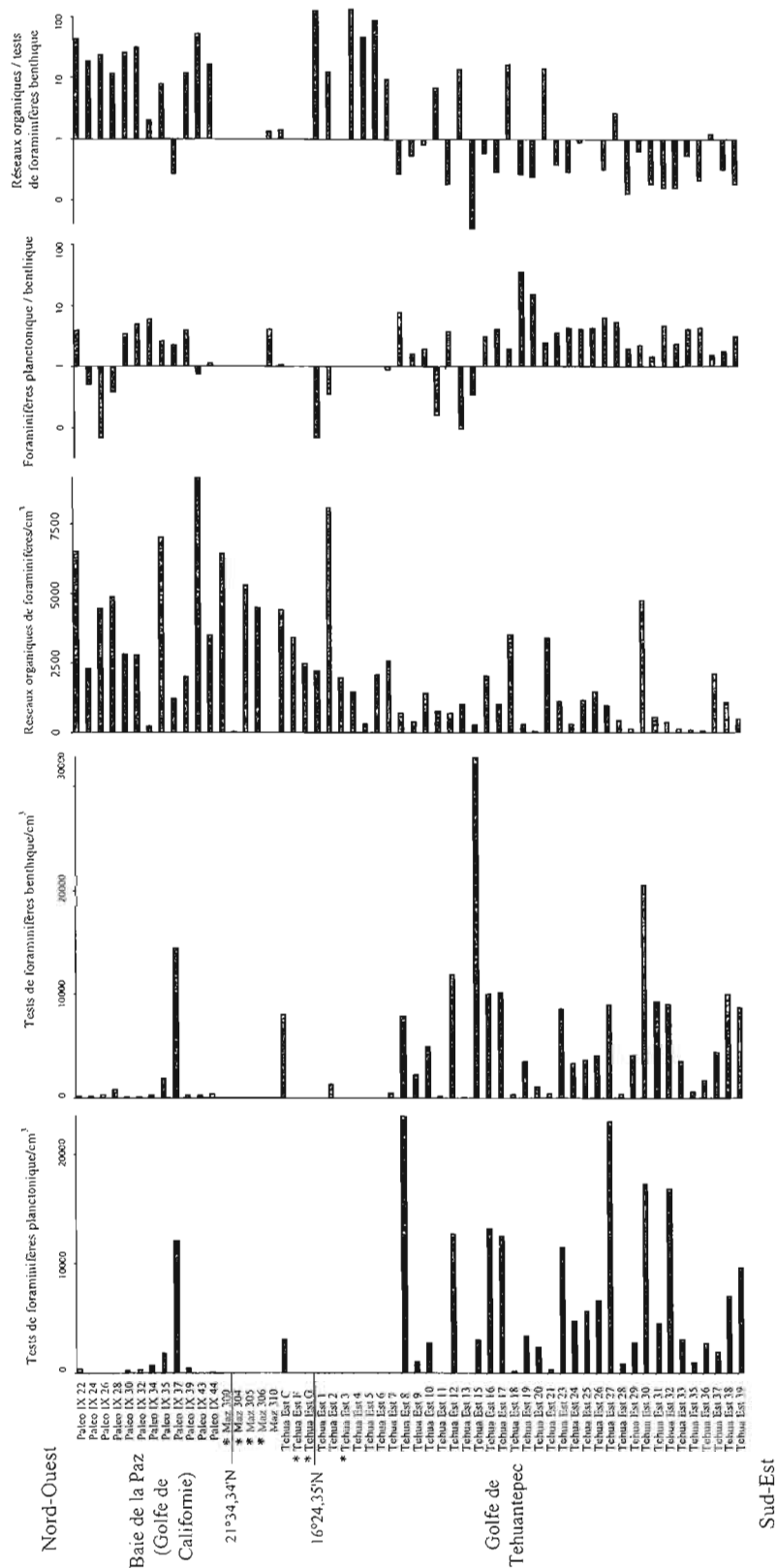


Figure 15. Diagramme de concentration des tests de foraminifères planctoniques, benthiques, et rapports entre les tests de foraminifères planctoniques et benthiques et ceux entre les réseaux organiques de foraminifères et les tests de foraminifères benthiques. Les échantillons marqués d'un astérisque n'ont pas été analysés pour leur contenu microfaunistique en raison des trop faibles quantités de sédiment disponible.

Sud-Est

CHAPITRE IV

DISCUSSION

Les grains de pollen et les spores proviennent du milieu continental adjacent et donne une image fragmentaire de la végétation. La concentration des palynomorphes terrestres, en particulier les grains de pollen et les spores, indique deux zones distinctes selon un gradient latitudinal (Figure 5). Ces observations sont confirmées par l'analyse multivariée (Figures 7 et 8). Les assemblages polliniques dans les sédiments de surface le long de la marge Ouest mexicaine se singularisent en effet, par la dominance de taxons herbacés dans la Baie de la Paz, et de taxons arbustifs et arborés le long de la côte et dans le Golfe de Tehuantepec. En tenant compte de la disposition des réseaux hydrographiques continentaux, les assemblages de pollen nous donnent une image de la végétation source qui est essentiellement de type boréal sur le continent adjacent au Golfe de Tehuantepec. La rivière Tehuantepec prend sa source dans les montagnes du Chiapas et est à l'origine des apports continentaux dans le Golfe de Tehuantepec. Les grains de pollen présents dans les sédiments de surface du Golfe de Tehuantepec reflètent davantage la végétation montagneuse adjacente au Golfe caractéristique d'une région dominée par des forêts humides riches en pin et en chêne. Les résultats nous montrent également que les assemblages de la Baie de la Paz sont dominés par des taxons herbacés qui caractérisent la région sèche de la Baie de Californie. L'absence de réseaux hydrographiques permanents dans la Basse Californie permet d'expliquer en partie les faibles concentrations polliniques continentales dans la Baie de la Paz. Cependant, lors des pluies rares d'origine orageuses, les profonds ravins de la région sud de la péninsule sont dévastés par de forts courants, transformant les cours d'eaux en torrents qui dévastent tout sur leur passage avant de se jeter dans la mer, amenant ainsi du matériel terrigène.

Les proportions relatives des différents taxons de dinokystes constituent un traceur de l'origine pélagique autochtone des apports de matières organiques (de Vernal *et al.*, 1991). Toutefois, les résultats de ce travail montrent d'étroite relation entre certains taxons particuliers et l'environnement notamment *Polysphaeridium zoharyi* et la température de

février. Également, des relations significatives ont pu être établies entre certains taxons notamment *Polykrikos kofoidii* et *Brigantedinium* spp. et la productivité primaire.

L'analyse multivariée qui prend en considération l'ensemble des taxons indique que la distribution des assemblages de dinokystes le long de la côte Ouest mexicaine est contrôlée par la température de février et la productivité primaire annuelle. Des coefficients de corrélation élevés lient en effet la température de février ($r^2=0,80$) et la productivité primaire ($r^2=0,66$) avec les axes principaux 1 et 2 issus de la RDA (Figures 12 et 13; Tableau 8). L'analyse de redondance montre également la pondération des taxons tels *Polysphaeridium zoharyi* et *Spiniferites delicatus* qui sont ordonnés positivement selon l'axe 1 et illustrent une relation avec la température de février. Par ailleurs, *Echinidinium aculeatum* et *Selenopemphix quanta* montrent une certaine relation positive avec l'axe 2 illustrant une relation avec la productivité primaire. D'autre part, *Islandinium minutum* et *Polykrikos kofoidii* sont négativement corrélés avec l'axe 1.

Les milieux de la Baie de la Paz et la partie Nord du Golfe de Tehuantepec qui se caractérisent par une productivité primaire comparable et assez élevée sont très différents d'un point de vue des assemblages. En effet, la Baie de la Paz est dominée par des taxons hétérotrophes, notamment *Brigantedinium* spp., *Echinidinium aculeatum*, *Echinidinium granulatum* et *Polykrikos kofoidii* tandis que l'assemblage du Golfe de Tehuantepec est dominé par la présence d'un taxon autotrophe, *Polysphaeridium zoharyi*. Ce taxon ne se trouve pas dans les assemblages de la partie sud du Golfe de Tehuantepec où la productivité primaire est faible. *Polysphaeridium zoharyi* dépendrait principalement, dans la zone étudiée, de la température. Ce taxon constitue un élément majeur des assemblages des zones tropicales et équatoriales. En effet, il est très abondant dans le Golfe du Mexique (>80%), dans les zones d'upwellings Ouest africaines (Zonneveld, 1997a) et dans le Golfe de Tehuantepec (cette étude).

Les assemblages de dinokystes le long de la marge Ouest mexicaine présentent des ressemblances par rapport aux milieux océaniques côtiers du Pacifique du Nord-Est (cf. Radi et de Vernal, 2004) marqués par la présence de taxons à affinités hétérotrophes. Toutefois, ils se distinguent par la présence de taxons thermophiles à affinités autotrophes, soit

Polysphaeridium zoharyi, *Spiniferites delicatus*, *Bitectatodinium spongium*, et *Lingulodinium machaerophorum*.

D'une manière générale, les assemblages de dinokystes sont dominés par des espèces hétérotrophes notamment dans la zone d'upwelling mais aussi dans le Golfe de Californie. Ces taxons incluent *Brigantedinium* spp., *Quinquecuspis concreta*, *Selenopemphix quanta*, *Echinidinium aculeatum*, *Echinidinium granulatum* et *Echinidinium* sp. x. De nombreux travaux montrent que dans les zones d'upwellings associées à des productivités primaires élevées, les assemblages de dinokystes sont dominés par les espèces hétérotrophes, principalement les Protoperidiniales, notamment dans le Golfe de Guinée (Marret, 1994), dans la zone du Benguela (Zonneveld *et al.*, 2001), dans la mer d'Arabie (Zonneveld, 1997a), le long de la côte Péruvienne (Lewis *et al.*, 1990; Powell *et al.*, 1990), à l'Ouest de la côte Ibérienne (Sprangers *et al.*, 2004) et dans le Pacifique Nord (Radi et de Vernal, 2004). L'abondance des taxons hétérotrophes a été souvent associée à l'abondance de leurs proies, notamment les diatomées (*e.g.*, Jacobson et Anderson, 1986) tandis que la faible production des dinoflagellés autotrophes serait liée à la compétition avec les populations de diatomées (*e.g.*, Matsuoka, 1999). L'augmentation de la proportion des kystes de dinoflagellés hétérotrophe peut également être associée à l'eutrophisation de milieux estuariens (Pospelova *et al.*, 2002). Ici, dans le cas du secteur étudié, l'abondance des taxons hétérotrophes serait sans doute liée à une compétition avec les diatomées dans un contexte d'upwelling.

La Baie de la Paz et le Nord du Golfe de Tehuantepec sont caractérisés par une forte productivité primaire, ce qui peut induire un flux de carbone organique important. Les différents traceurs utilisés, tels les dinokystes, les foraminifères et leurs réseaux organiques indiquent une productivité importante. En effet, la Baie de la Paz se caractérise par de fortes concentrations de dinokystes (2000-12000 kystes/cm³) et de fortes concentrations de réseaux organiques de foraminifères (100-7500 réseaux/cm³). Les flux de carbone organiques et son oxydation contribuent à l'augmentation de la P_{co2} dans les eaux de fond, augmentant ainsi la dissolution du CaCO₃. Un indice de dissolution est accessible à partir de la proportion de réseaux organiques et tests carbonatés de foraminifères benthiques. Les concentrations de foraminifères benthiques sont très faibles dans la Baie de la Paz (< 250 tests/cm³), excepté

dans 1 échantillon (1500 tests/cm³). Les concentrations de foraminifères planctoniques sont aussi peu abondantes. D'autre part, la proportion de réseaux organiques est beaucoup plus importante que la proportion de foraminifères benthiques, ce qui nous montre qu'il y a une dissolution plus marquée dans la Baie de la Paz où la productivité est particulièrement élevée. Dans le Golfe de Tehuantepec où la productivité est moindre, la dissolution est nettement moins importante surtout dans la partie Sud du Golfe où les tests de foraminifères sont mieux préservés. En effet, la proportion de foraminifères benthiques marquée par des concentrations de l'ordre de 8000 tests/cm³ est plus élevée que celle des réseaux organiques (concentrations \approx 2000 réseaux organiques/cm³). Les concentrations de foraminifères benthiques dépendent directement du flux de carbone contrairement au foraminifères planctoniques qui dépendent de la stabilité de la colonne d'eau et des nutriments présents en surface. Cependant, en terme de dissolution, il n'y a pas de corrélation entre la productivité primaire et l'indice de dissolution ($r^2=0,16$; Figure 17).

De façon générale, à partir de tous les traceurs utilisés, trois régions environnementales se distinguent. (1) La première zone correspond à la Baie de la Paz caractérisé par une productivité primaire élevée (320-390 gC/m²/an), un flux de carbone élevé, une stratification des eaux et une dissolution accrue du carbonate de calcium. (2) La deuxième zone correspondant à la partie Nord du Golfe de Tehuantepec est marquée par une plus faible productivité primaire (280-360 gC/m²/an) comparativement à la Baie de la Paz. Le flux de carbone est moins élevé dû à un mélange vertical de la colonne d'eau lié à l'upwelling. (3) La troisième zone caractérise la partie Sud du Golfe de Tehuantepec. Cette zone est peu productive (150-250 gC/m²/an), les concentrations de réseaux organiques sont faibles (< 3000 réseaux/cm³).

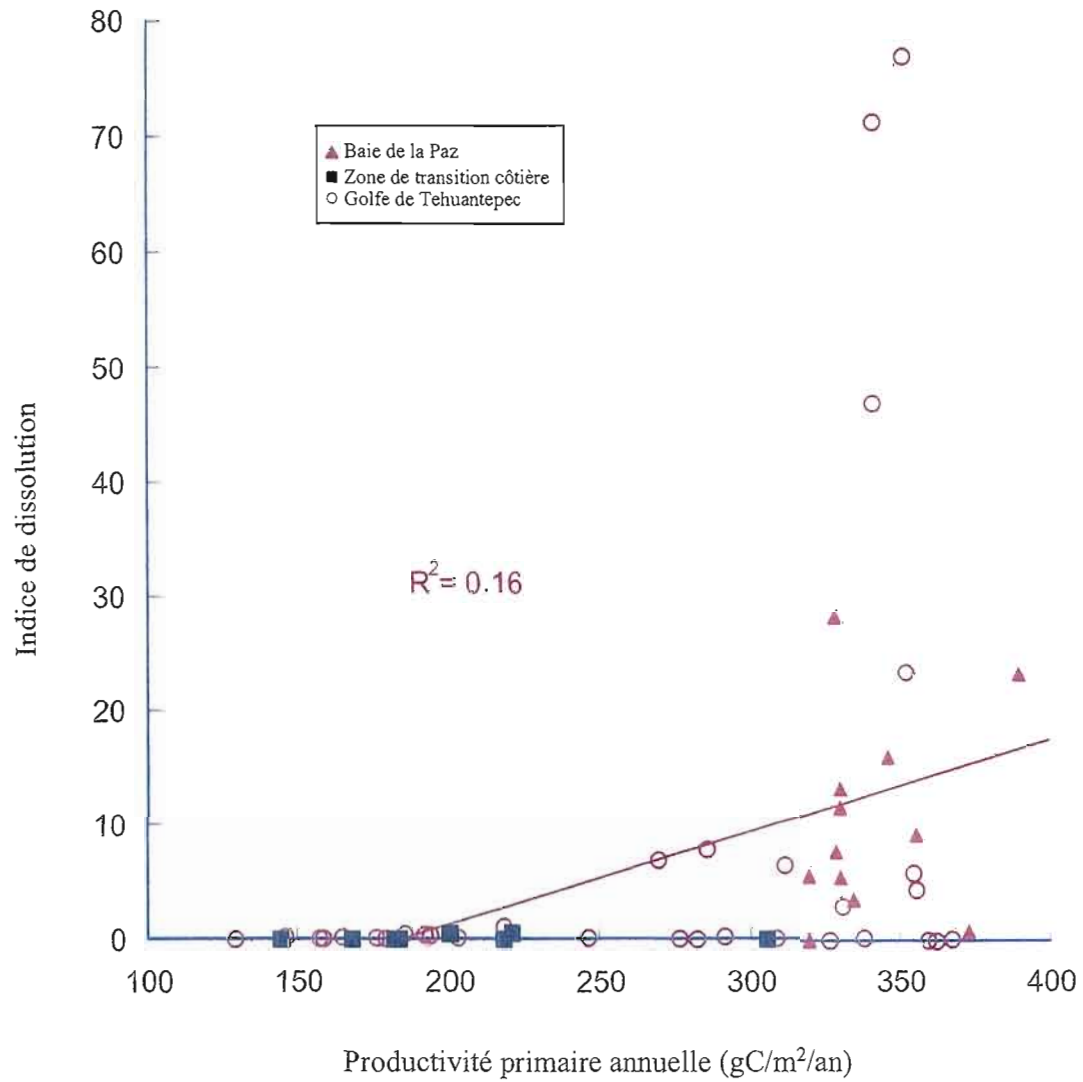


Figure 17. Relation entre la productivité primaire annuelle et l'indice de dissolution.

CONCLUSION

Les fortes concentrations de grains de pollen illustrent le caractère épicontinental du milieu sédimentaire. Les assemblages polliniques retrouvés dans les sédiments de la Baie de la Paz et dans le Golfe de Tehuantepec sont en parfaite concordance avec la végétation adjacente du milieu continental. En effet, les deux zones polliniques reflètent deux régions bio-géographiques distinctes : (1) une végétation aride de type steppique dans la basse Californie et (2) une végétation boréale dans l'isthme de Tehuantepec. Au Nord du Mexique (incluant la basse Californie), les paysages dominés par des plaines désertiques résultent d'un climat tropical sec ou aride (désert de Sonora et Sertao). Par contre, au Sud (incluant l'Isthme de Tehuantepec), la présence de la chaîne de montagne Sierra Madre Occidentale bloque les précipitations qui viennent de l'Océan Pacifique et offre des conditions atmosphériques favorisant le développement d'un climat de type tropical humide.

Nos résultats montrent que l'indice de dissolution n'est pas directement proportionnel à la productivité primaire. La dissolution n'est probablement pas contrôlée uniquement par la productivité primaire dans cette région. De plus, d'autres facteurs incluant la chimie de l'eau, l'alcalinité, le pH ou encore la profondeur d'eau pourraient jouer un rôle dans la préservation du CaCO_3 dans la baie de la Paz et le Golfe de Tehuantepec.

Les assemblages de dinokystes de la Baie de la Paz et du Golfe de Tehuantepec présentent une distribution liée aux conditions hydrographiques et trophiques du milieu à une échelle régionale. La température de février et la productivité primaire semblent jouer un rôle déterminant dans la distribution des assemblages de dinokystes. La productivité primaire, largement contrôlée par les upwellings saisonniers constitue en effet un paramètre majeur contrôlant la distribution des assemblages de dinokystes. L'abondance des taxons hétérotrophes (par rapport aux autotrophes) dans la zone d'upwelling du Golfe de Tehuantepec est liée à la productivité primaire.

Les résultats de ce travail constituent un argument satisfaisant pour permettre d'utiliser les dinokystes comme traceur de la température de février et de la productivité primaire dans les milieux des basses latitudes du Pacifique. Les résultats peuvent être intégrés à une base de donnée plus large qui pourra être exploitée pour des reconstitutions

quantitatives en utilisant la méthode des meilleurs analogues qui est avérée la méthode la plus efficace (de Vernal *et al.*, 2001, 2005).

RÉFÉRENCES

- Alonso-Rodríguez, R., et Páez-Osuna, F. 2003. Nutrients, phytoplankton and harmful algal blooms in shrimp ponds: a review with special reference to the situation in the Gulf of California. *Aquaculture*, vol. 219, n°1-4, p. 317-336.
- Antoine, D., André, J. M., et Morel, A. 1996. Oceanic primary production. 2. Estimation at global scale from satellite (costal zone colour scanner) chlorophyll. *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 10, p. 57-69.
- Antoine, D. et Morel, A. 1996. Oceanic primary production. 1. Adaptation of a spectral light-photosynthesis model in view of application to satellite chlorophyll observations. *Global Biogeochemical. Cycles*, vol. 10, p. 43-55.
- Arellano-Torres, E., Machain-Castillo, M. L., Thunell, R., Keple, B., Mix, A., Lyle, M., et Pias, N. 2003. Glacial-Holocene changes in the upwelling regime of the Gulf of Tehuantepec, Mexico. *Geophysical Research Abstracts*, vol. 5, p. 13958.
- Badan-Dangon, A., Koblinsky, C. J., et Baumgartner, T. 1985. Spring and summer in the Gulf of California observations of thermal patterns. *Oceanographica Acta*, vol. 8, p. 13-22.
- Bakun, A. 1973. Coastal upwelling indices, west coast of North America, 1946-71, U. S. *Dep. Commer.*, NOAA Tech. Rep., NMFS SSRF-671, 103 p.
- Barron, J. A., Bukry D., et Bischoff, J. L. 2004. High resolution paleoceanography of the Guaymas Basin, Gulf of California, during the past 15000 years. *Marine Micropaleontology*, vol. 50, p. 185-207.
- Boumaggard, E. H., Gayet, J., Bobier, C., Machain-Castillo, M. L., et Aguayo-Camargo, E. 1998. Distribution of sediments on the margin of the Gulf of Tehuantepec (East Pacific) : Example of tectonic-eustatic interaction. *Oceanologica acta*, vol. 21, n°1, p. 21-31.
- Cannariato, K. G. et Kennett, J. P. 1999. Climatically related millennial-scale fluctuations in strength of California margin oxygen-minimum zone during the past 60 K. Y. *Geology*, vol. 27, n°11, p. 975-978.
- Conserva, M. E. et Byrne, R. 2002. Late Holocene Vegetation Change in the Sierra Madre Oriental of Central Mexico. *Quaternary Research*, Vol. 58, n° 2, p. 122-129
- Dale, B., et Fjellså, A. 1994. Dinoflagellate cysts as paleoproductivity indicators: state of the art, potential and limits. In: Zahn, R., Pedersen, T., Kaminski, M., Labeyrie, L. (Eds.),

Carbon Cycling in the Glacial Ocean: Constraints on the Ocean's Role in Global Change. Springer, Berlin, p. 521-537.

- Devillers, R., et de Vernal, A. 2000. Distribution of dinoflagellate cysts in surface sediments of the northern North Atlantic in relation to nutrient content and productivity in surface waters. *Marine Geology*, vol. 166, n° 1-4, p. 103-124.
- de Vernal, A., Larouche, A., et Richard, P.J.H. 1987. Evaluation of palynomorph concentrations : do the aliquot and the marker-grain methods yield comparable results? *Pollen et Spores*, vol. 29, n° 2-3, p. 291-304.
- de Vernal, A., Bilodeau, G., Hillaire-Marcel, C. et Kassou, N. 1992. Quantitative assessment of carbonate dissolution in marine sediments from foraminifer lining vs shell ratios : Davis Strait, Northwest Atlantic. *Geology*, vol. 20, p. 527-530.
- de Vernal, A., Turon, J.-L., et Guiot, J., 1994. Dinoflagellate cyst distribution in high-latitude marine environments and quantitative reconstruction of sea-surface salinity, temperature, and seasonality. *Canadian journal of Earth Science*, vol. 31, p. 48-62.
- de Vernal, A., Rochon, A., Turon, J.-L., et Matthiessen, J. 1997. Organic-walled dinoflagellate cysts : palynological tracers of sea-surface conditions in middle to high latitude marine environments. *Geobios*, vol. 30, p. 905-920.
- de Vernal, A., Henry, M., et Bilodeau, G. 1999. Techniques de préparation et d'analyse en micropaléontologie. Les Cahiers du GEOTOP, n°3. Université du Québec à Montréal, Montréal, 41 p.
- de Vernal, A., Henry, M., Matthiessen, J., Mudie, P.J., Rochon, A., Boessenkool, K., Eynaud, F., Grøsfjeld, K., Guiot, J., Hamel, D., Harland, R., Head, M. J., Kunz-Pirrung, M., Levac, E., Loucheur, V., Peyron, O., Pospelova, V., Radi, T., Turon, J.-L., et Voronina, E. 2001. Dinocyst assemblages as tracer of sea-surface conditions in the northern North Atlantic, Arctic and sub-Arctic seas: the 'n=677' database and derived transfer functions. *Journal of Quaternary Science*, vol. 16, p. 681-698.
- de Vernal, A., Eynaud, F., Henry, M., Hillaire-Marcel, C., Londeix, L., Mangin, S., Matthiessen, J., Marret, F., Radi, T., Rochon A., Solignac, S., et Turon, J.-L. 2005. Reconstruction of sea-surface conditions at middle to high latitudes of the Northern Hemisphere during the Last Glacial Maximum (LGM) based on dinoflagellate cyst assemblages. *Quaternary Science Reviews*, vol. 24, n° 7-9, p. 897-924.
- Dominguez-Vásquez, G., Islebe, G. A., et Villanueva-Guitérrez, R. 2004. Modern pollen deposition in Lacandon forest, Chiapas, Mexico. *Review of Palaeobotany and Palynology*, vol. 131, p. 105-116.

- Douglas, R., Gorsline, D., et Grippo, A. 2001. Late Holocene ocean-climate variations in Alfonso Basin, Gulf of California, Baja California, Mexico. Presented in agenda for *Eighteenth Annual Pacific Climate Workshop*, Abstract.
- Enriquez-Andradre, R., Anaya-Reyna, G., Barrera-Guevara, J. C., Carvajal-Moreno, M. d. l. A., Martinez-Delgado, M. E., Vaca-Rodriguez, J., et Valdés-Casillas, C. 2005. An analysis of critical areas for biodiversity conservation in the Gulf of California region. *Ocean and Coastal Management*, vol. 48, p. 31-50.
- Franco-Gordo, C., Godinez-Dominguez, E., Filonov, A. E., Tereshchenko, I. E., et Freire, J. 2004. Plankton biomass and larval fish abundance prior to and during the El Niño period of 1997-1998 along the central Pacific coast of México. *Progress in Oceanography*, vol. 63, p.99-123.
- García, E. 1981. Modificaniones al sistema de clasificación climática de Köppen. UNAM third Ed, p. 252.
- Gaxiola-Castro, G., Garcia-Córdoba, J., Valdez-Holguin, J. E., et Botello-Ruvalcaba, M. 1995. Spatial distribution of chlorophyll *a* and primary productivity in relation to winter physical structure in the Gulf of California. *Continental Shelf Research*, vol. 15, p. 1043-1059.
- Halfar, J., Godinez-Orta, L., Goodfirnd, G. A., Mucciarone, D. A., Ingle, J. C., Holden , P. 2001. Holocene-Pleistocene carbonate sedimentation and tectonic history of the La Paz area, Baja California Sur, Mexico. *Sedimentation Geology*, vol. 144, n°1-2, 149-177.
- Halfar, J., et Ingle, J. C. 2003. Modern warm-temperate and subtropical shallow-water benthic foraminifera of the southern Gulf of California, Mexico. *Journal of Foraminiferal Research*, vol. 33, n°4, p. 309-329.
- Halfar, J., Ingle Jr., J. C., et Godinez-Orta, L. 2004. Modern non-tropical mixed carbonate-siliciclastic sediments and environments of the southwestern Gulf of California, Mexico. *Sedimentary Geology*, vol. 165, p. 93-115.
- Haslett, S. K., 2003. Upwelling-related distribution patterns of radiolarians in Holocene surface sediments of the eastern equatorial Pacific. *Revista Española de Micropaleontología*, vol. 35, p. 345-361.
- Head, M. J. 1996. Modern dinoflagellate cysts and their biological affinities. In: Jansonius, J., McGregor, D. C. (Eds.), *Palynology: Principles and Applications*, vol. 3. AASP Foundation, Salt Lake city, UT, p. 1197-1248.
- Head, M. J. 2002. *Echinidinium zonneveldiae* sp. nov., a dinoflagellate cyst from the Late Pleistocene of the Baltic Sea, northern Europe. *Journal of Micropalaeontology*, vol. 21, p. 169-173.

- Head, M. J., Harland, R., et Matthiessen, J. 2001. Cold marine indicators of the late Quaternary : the new dinoflagellate cyst genus *Islandinium* and related morphotypes. *Journal of Quaternary Science*, vol. 16, n° 7, p. 621-636.
- Hidalgo-Gonzales, R. M., et Alvarez-Borrego, S. 2004. Total and new production in the Gulf of California estimated from ocean color data from the satellite sensor SeaWiFS. *Deep-Sea Research II*, vol. 51, p. 739-752.
- Hidalgo-gonzález, R. M., et Alvarez-Borrego, S. 2001. Chlorophyll profiles and the water column structure in the Gulf of California. *Oceanologica acta*, vol. 24, n°1.
- Jacobson, D., et Anderson, D. 1986. Thecate heterotrophic dinoflagellates: Feeding behaviour and mechanics. *Journal Phycol.*, vol. 22, p. 249-258.
- Kennett, J. P., et Srinivasan, M. S., 1983. Neogene Planktonic foraminifera, A Phylogenetic Atlas. *Hutchinson Ross. Publishing Company*.
- Kirby, D. S., Barton, E. D., Mitchelson-Jacob, E. G., et Trasvina, A. 2004. Synthetic aperture radar (SAR) remote sensing of wind-driven circulation in the Gulf of Tehuantepec, Mexico.
- León de la Luz, J. L., Pérez Navarro, J. J., et Breceda, A., 2000. A transitional xerophytic tropical plant community of the Cape Region, Baja California. *Journal of Vegetation Science*, vol. 11, p. 555-564.
- Lewis, J., Dodge, J. D., et Powell, A. J. 1990. Quaternary dinoflagellate cysts from the upwelling system offshore Peru, Hole 686B, ODP Leg 112. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, vol. 112, p. 323-327.
- Lluch-Cota, D. B. 2002. Satellite measured interannual variability of coastal phytoplankton pigment in the tropical and subtropical eastern Pacific. *Continental Shelf research*. Vol. 22, p. 803-820.
- Loeblich, Jr. A. R., et Tappan, H. 1994. Foraminifera of the sahal shelf and Timor Sea. *Cushman foundation for foraminiferal research*, special publication, n°31.
- Loubere, P. 1996. The surface ocean productivity and bottom water oxygen signals in deep water benthic foraminiferal assemblages. *Marine Micropaleontology*, vol. 28, p. 247-261.
- Marret, F., et Zonneveld, K. 2003. Atlas of modern organic-walled dinoflagellate cyst distribution. *Review of Palaeobotany and Palynology*, vol. 125, n°1-2, p. 1-200.
- Marret, F. 1994. Distribution of dinoflagellate cyst in recent marine sediments from the east Equatorial Atlantic (Gulf of Guinea). *Review of Paleobotany and Palynology*, vol. 84, p. 1-22.

- Matsuoka, K. 1999. Eutrophication process recorded in dinoflagellate cyst assemblages – a case of Yokohama Port, Tokyo Bay, Japan. *Science Total Environments*, vol. 231, p. 17-35.
- Matthews, J. 1969. The assessment of a method for the determination of absolute pollen frequencies. *New Phytologist*, vol. 68, p. 161-166.
- Matthiessen, J. 1995. Distribution patterns of dinoflagellate cysts and other organic-walled microfossils in recent Norwegian-Greenland Sea sediments. *Marine Micropaleontology*, vol. 24, p. 307-334.
- Metcalfe, S. E., O'Hara, S. L., Caballero, M., et Davies, S. J. 2000. Records of Late Pleistocene-Holocene climatic change in Mexico, a review. *Quaternary Science Reviews*, vol. 19, p. 699-721.
- Molina-Cruz, A., et Martinez-López, M. 1994. Oceanography of the Gulf of Tehuantepec, Mexico, indicated by Radiolaria remains. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 110, nº3-4, p. 179-195.
- Monreal-Gómez, M. A, et Salas-de-León, D. A. 1998. Dinámica y estructura termohalina. *El Golfo de tehuantepec : el ecosistema y sus recursos*, Vol. 2, p. 13-26.
- Monreal-Gómez, M. A., Molina-Cruz, A., et Salas-de-León, D. A. 2001. Water masses and cyclonic circulation in Bay of La Paz, Gulf of California, during June 1998. *Journal of Marine Systems*, vol. 30, p. 305-315.
- NODC. 2001. World Ocean Atlas. National Oceanic and Atmospheric Administration, Boulder, Colorado, données sur CD-Rom.
- Patterson, R. T., Burbidge, S. M., et Luternauer, J. L. 1998. Atlas of common benthic foraminiferal species for Quaternary shelf environments of western Canada. Geological Survey of Canada, Bulletin 503, 91 p.
- Pospelova, V., Chmura, L. G., Boothman, W. S., et Latimer, J. S. 2002. Dinoflagellate cyst records and human disturbance in two neighboring estuaries, New Bedford Harbor and Apponagansett Bay, Massachusetts (USA). *The Science of the Total Environment*, vol. 298, p. 81-102.
- Powell, A. J., Dodge, J. D., et Lewis, J. 1990. Late Neogene to Pleistocene palynological facies of the Peruvian continental margin upwelling, Leg 112. In: Suess, E., von Huene, R., et al. (Eds.). *Proceeding ODP Sciences Results*, vol. 112, p. 297-321.
- Radi, T., de Vernal, A., et Peyron, O. 2001. Relationships between dinoflagellate cyst assemblages in surface sediment and hydrographic conditions in the Bering and Chukchi seas. *Journal of Quaternary Science*, Vol. 16, p. 667-680.

- Radi, T., et de Vernal, A. 2004. Dinocyst distribution in surface sediments from the northeastern Pacific margin (40-60°N) in relation to hydrographic conditions, productivity and upwelling. *Review of Palaeobotany and Palynology*, vol. 128, p. 169-193.
- Ramamoorthy, T.P., and Elliott, M. 1993. Mexican Lamiaceae: diversity, distribution, endemism and evolution. In Ramamoorthy, T.P., Bye, R., Lot, A. and Fa, J.E. (eds), *Biological diversity of Mexico: origins and distribution*. Oxford University Press, New York, p. 513-539.
- Rochon, A., de Vernal, A., Turon, J. L., Matthiessen, J., et Head, M. J. 1999. Distribution of dinoflagellate cysts in surface sediments from the North Atlantic Ocean and adjacent basin and quantitative reconstruction of sea-surface parameters. *American Association of Stratigraphic Palynologists*, Dallas, Contribution Series, n° 35, 152 p.
- Ruiz-Fernández, A. C., Páez-Osuna, F., Machain-Castillo, M. L., et Arellano-Torres, E. 2004. ²¹⁰Pb geochronology and trace metal fluxes (Cd, Cu and Pb) in the Gulf of Tehuantepec, South Pacific of Mexico. *Journal of Environmental Radioactivity*, vol. 76, p. 161-175.
- Santamaria-Del-Angel, E., Alvarez-Borrego, S., Millán-Nunez, R., et Muller-Karger, F. E., 1999. Sobre el efecto de las surgencias de verano en la biomasa fitoplanctónica del Golfo de California. *Rev. Soc. Mex. Hist. Nat.*, vol. 49, p. 207-212.
- Sprangers, M., Dammers, N., Brinkhuis, H., van Weering, T C. E., et Lotter, A. F. 2004. Modern organic-walled dinoflagellate cyst distribution offshore NW Iberia; tracing the upwelling system. *Review of Palaeobotany and Palynology*, vol. 58, p. 1-10.
- Starker, A. L. 1950. Vegetation Zones of Mexico. *Ecology*, vol. 31, n° 4, p. 507-518.
- Tapa-García, M., Ramos-Santiago, E., et Ayala-Cortés, A. 1998. La actividad humana y su impacto en la zona costera, con énfasis en el Istmo de Tehuantepec. *El Golfo de Tehuantepec : el ecosistema y sus recursos*, 240 p.
- Taylor, F. J. R. 1987. *Botanical Monographs*, vol. 21: *The biology of dinoflagellates* (785 p.). Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- ter Braak, C. J.F., et Šmilauer, P. 1998. CANOCO Reference Manual and User's Guide to *Canoco for Windows*. Software for Canonical Community Ordination (version 4). Centre for Biometry Wageningen (Wageningen, NL) and Microcomputer Power (Ithaca NY, USA), 352 pp.
- Trasvina-Castro, A., G. Gutierrez de Vlasco, A. Valle-Levinson, R. González-Armas, R., A. Muhlia, M. A., et Cosío. 2003. Hydrographic observations of the flow in the vicinity of a shallow seamount top in the Gulf of California. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 57, p. 149-162.

- Thunnel, R. C. 1998. Seasonal and annual variability in particle fluxes in the Gulf of California : A response to climate forcing. *Deep-Sea Research*, vol. 45, p. 2059-2083.
- Trasvina, A., Barton, E.D., Brown, J., Velez, H. S., Kosro, P. M., et Smith, R. L. 1995. Offshore wind forcing in the Gulf of Tehuantepec, Mexico: The asymmetric circulation. *Journal of Geophysical Research*, vol. 100, p. 649-663.
- Turon, J.-L. 1984. Le palynoplancton dans l'environnement actuel de l'Atlantique nord-oriental. Évolution climatique et hydrologique depuis le dernier maximum glaciaire. Mémoire de l'Institut de Géologie du bassin d'Aquitaine, Bordeaux, vol. 17, p. 313.
- Wall, D., Dale, B., Lohman, G. P., and Smith, W. K. 1977. The environmental and climatic distribution of dinoflagellate cysts in the North and South Atlantic Oceans and adjacent seas. *Marine Micropaleontology*, vol. 2, p. 121-200.
- Wiggins, L. 1980. Flora de Baja California. *Stanford University Press*, Stanford.
- Wyrski, K. 1967. Circulation and water masses in the Eastern Equatorial Pacific Ocean. *Journal of Oceanology and Limnology*, vol. 1, n°2, p. 117-147.
- Zonneveld, K. 1997a. Dinoflagellate cyst distribution in surface sediments from the Arabian Sea (northwestern Indian Ocean) in relation to temperature and salinity gradients in the upper water column. *Deep Sea Research*, vol. 2, n°6-7, p. 1411-1443.
- Zonneveld, K. 1997b. New species of organic walled dinoflagellate cysts from modern sediments of the Arabian Sea (Indian Ocean). *Review of Palaeobotany and Palynology*, vol. 97, p. 319-337.
- Zonneveld, K., Hoek, R. P., Brinkhuis, H., et Willems, H. 2001. Geographical distribution of organic-walled dinoflagellate cysts in surficial sediments of the Benguela upwelling region and their relationship to upper ocean conditions. *Progress in Oceanography*, vol. 48, p. 25-75.

ANNEXE A

TABLEAUX DE DÉNOMBREMENT

Tableau 1. Dénombrement des palynomorphes terrestres.

Site	Pinaceae	Alnus spp.	Asteraceae	Chenopodiaceae	Brassicaceae	Caryophyllaceae	Poaceae	Indéterminées	Spore monolete	Spore trilete	Total
Pal 22	10	0	13	41	0	0	5	8	0	0	77
Pal 24	34	2	26	123	2	0	5	19	0	0	211
Pal 26	34	0	21	89	2	0	1	20	0	0	167
Pal 28	37	1	51	70	0	0	9	24	0	0	192
Pal 30	43	1	45	93	1	0	1	16	2	0	202
Pal 32	44	1	47	57	0	0	9	32	0	0	190
Pal 34	11	0	5	14	0	0	0	1	5	3	39
Pal 35	26	0	28	64	0	1	2	23	0	0	144
Pal 37	39	0	26	49	0	0	1	13	2	0	130
Pal 39	24	0	28	41	0	0	2	14	0	1	110
Pal 43	26	0	14	51	0	0	13	18	0	0	122
Pal 44	28	0	40	56	1	0	3	23	0	0	151
Maz 300	25	1	119	117	0	0	1	27	0	1	291
Maz 304	371	1	10	13	0	0	1	14	5	6	421
Maz 305	131	0	6	8	0	0	0	11	3	4	163
Maz 306	182	6	52	80	0	0	9	76	1	11	417
Maz 310	120	2	6	9	1	0	0	12	6	7	163
Est C	23	0	0	0	2	0	0	29	2	1	57
Est F	37	0	0	1	0	1	1	8	1	2	51
Est G	211	5	12	2	0	0	0	54	9	10	303
Est 1	214	10	20	17	0	0	31	103	6	6	407
Est 2	39	2	3	2	3	0	10	27	2	1	89
Est 3	258	4	13	7	7	0	1	42	6	11	349
Est 4	218	7	22	12	2	7	1	83	6	5	363
Est 5	281	1	7	5	1	5	3	47	5	4	359
Est 6	272	5	17	2	4	2	3	66	2	7	380
Est 7	171	11	21	15	7	7	5	113	2	10	362
Est 8	238	3	6	9	2	0	2	58	4	3	325
Est 9	201	5	16	6	4	4	3	54	5	8	306
Est 10	223	16	25	8	4	2	6	79	10	2	375
Est 11	298	9	17	5	7	3	1	75	4	9	428
Est 12	180	4	6	4	6	7	3	121	4	3	338
Est 13	302	3	8	2	6	2	2	51	4	2	382
Est 15	37	0	1	1	2	0	1	12	1	0	55
Est 16	279	5	17	2	4	2	9	73	1	4	396
Est 17	169	9	17	10	0	0	10	89	2	7	313
Est 18	145	10	26	6	12	3	4	155	7	8	376
Est 19	225	2	10	4	5	2	6	57	6	0	317
Est 20	64	2	6	10	1	1	4	35	1	2	126
Est 21	282	2	5	0	1	0	0	33	2	7	332
Est 23	140	3	7	3	1	3	5	76	9	3	250
Est 24	222	6	19	5	5	2	2	92	3	5	364
Est 25	188	8	17	3	3	2	3	108	2	0	334
Est 26	250	2	9	1	12	5	5	94	2	4	384
Est 27	234	3	8	5	1	2	1	61	3	1	319
Est 28	75	3	3	1	0	2	0	30	2	0	116
Est 29	130	7	13	4	8	3	3	77	2	7	254
Est 30	204	8	16	2	3	0	19	85	0	3	340
Est 31	267	7	12	3	1	4	6	110	6	6	422
Est 32	95	7	8	2	0	0	0	32	2	1	147
Est 33	243	3	12	2	5	4	2	57	5	1	334
Est 35	150	1	3	0	3	3	1	38	6	0	205
Est 36	59	2	12	0	0	0	1	25	5	2	106
Est 37	71	11	15	4	0	0	0	45	1	1	148
Est 38	202	5	15	5	2	2	3	69	5	1	309
Est 39	71	6	0	5	0	0	28	69	1	3	183

Tableau 4. Concentration des différents palynomorphes en terme de spécimens³/cm de sédiment humide.

Site	Dinokystes	Réseaux organiques de foraminifères	Grains de pollen	Spores
Pal 22	2250	6544	2507	0
Pal 24	5553	2332	3738	0
Pal 26	9294	4502	4820	0
Pal 28	10800	4935	7726	0
Pal 30	7186	2854	3972	40
Pal 32	5644	2837	7884	0
Pal 34	322	279	42	11
Pal 35	12724	7044	8180	0
Pal 37	3282	1255	1317	21
Pal 39	6388	2050	7275	67
Pal 43	10430	9173	8352	0
Pal 44	6958	3513	3490	0
Maz 300	2392	6470	18154	63
Maz 304	191	60	3074	83
Maz 305	2125	5340	7504	337
Maz 306	2416	4523	12469	377
Maz 310	129	14	1003	88
Est C	1370	4450	12014	667
Est F	2977	3455	7538	471
Est G	2498	2488	16929	1153
Est 1	3695	2248	21639	674
Est 2	798	8090	27183	971
Est 3	1799	2014	15363	796
Est 4	1941	1487	12216	389
Est 5	641	351	5324	137
Est 6	2905	2116	18436	453
Est 7	2507	2596	14197	503
Est 8	378	733	2780	62
Est 9	492	427	2197	99
Est 10	398	1458	2504	87
Est 11	932	806	8848	283
Est 12	438	732	3181	68
Est 13	2645	1041	20427	329
Est 15	206	310	696	13
Est 16	574	2074	7772	101
Est 17	1557	1050	5135	263
Est 18	1035	3550	10131	433
Est 19	92	325	965	19
Est 20	49	97	536	13
Est 21	1913	3430	20776	582
Est 23	273	1167	7376	264
Est 24	332	354	3102	71
Est 25	379	1209	5272	34
Est 26	1012	1510	5736	92
Est 27	45	1015	975	10
Est 28	20	487	296	5
Est 29	40	171	413	16
Est 30	2000	4820	9496	87
Est 31	326	605	4598	137
Est 32	55	418	502	11
Est 33	49	172	599	11
Est 35	88	126	371	11
Est 36	93	115	478	40
Est 37	325	2154	1987	30
Est 38	172	1124	2428	45
Est 39	76	524	861	21

Tableau 5. Concentration des tests carbonatés de foraminifères planctoniques et benthiques dans la fraction supérieure à 106 μm , concentration des réseaux organiques dans les lames palynologiques des échantillons de surface.

Site	Tests de foraminifères planctoniques/cm ³	Tests de foraminifères benthiques/cm ³	Réseaux Organiques de foraminifères/cm ³
Pal 22	450	282	6544
Pal 24	41	253	2332
Pal 26	6	388	4502
Pal 28	92	884	4935
Pal 30	313	215	2854
Pal 32	342	178	2837
Pal 34	743	338	279
Pal 35	1863	1928	7044
Pal 37	12138	14502	1255
Pal 39	502	361	2050
Pal 43	78	325	9173
Pal 44	173	451	3513
Maz 300	/	0	6470
Maz 304	/	0	60
Maz 305	/	0	5340
Maz 306	/	0	4523
Maz 310	18	26	14
Est C	3142	8078	4450
Est F	/	0	3455
Est G	/	0	2488
Est 1	1	32	2248
Est 2	0	1370	8090
Est 3	/	0	2014
Est 4	0	19	1487
Est 5	0	15	351
Est 6	0	45	2116
Est 7	142	583	2596
Est 8	23568	7968	733
Est 9	1064	2298	427
Est 10	2786	5044	1458
Est 11	10	268	806
Est 12	12790	11995	732
Est 13	5	161	1041
Est 15	3067	32917	310
Est 16	13272	10112	2074
Est 17	12618	10262	1050
Est 18	241	453	3550
Est 19	3493	3563	325
Est 20	2433	1167	97
Est 21	386	498	3430
Est 23	11575	8665	1167
Est 24	4833	3391	354
Est 25	5780	3670	1209
Est 26	6737	4113	1510
Est 27	23087	9029	1015
Est 28	910	434	487
Est 29	2818	4145	171
Est 30	17379	20589	4820
Est 31	4639	9321	605
Est 32	16919	9086	418
Est 33	3155	3559	172
Est 35	1039	681	126
Est 36	2784	1747	115
Est 37	1989	4451	2154
Est 38	7129	10054	1124
Est 39	9710	8752	524

/ Pas de données

Tableau 6. Pondération des spectres selon les composantes principales 1 et 2 déterminées à partir des assemblages de grains de pollen issus de l'analyse en composantes principales (ACP).

Site	CP1	CP2
Pal 22	2.1041	-1.3361
Pal 24	2.0666	-2.7109
Pal 26	1.8833	-2.6523
Pal 28	1.7018	1.2626
Pal 30	1.7720	-0.5323
Pal 32	1.4643	1.5369
Pal 34	1.3176	-0.3835
Pal 35	1.8543	-0.8331
Pal 37	1.3783	-0.3556
Pal 39	1.6393	0.7131
Pal 43	1.6426	-0.9962
Pal 44	1.7459	0.9685
Maz 300	2.1452	2.7872
Maz 304	-0.7909	-0.9860
Maz 305	-0.6288	-0.8211
Maz 306	0.5382	0.1301
Maz 310	-0.4625	-0.4837
Est C	-0.6607	-0.3410
Est F	-0.7056	-0.7301
Est G	-0.6687	-0.0975
Est 1	-0.2293	0.7924
Est 2	-0.1064	1.5908
Est 3	-0.6304	-0.2784
Est 4	-0.4247	0.1870
Est 5	-0.7949	-0.7307
Est 6	-0.7090	-0.0986
Est 7	-0.1771	0.6889
Est 8	-0.7427	-0.8694
Est 9	-0.5131	0.1933
Est 10	-0.3894	0.7037
Est 11	-0.6501	-0.1238
Est 12	-0.6231	-0.2529
Est 13	-0.8389	-0.6661
Est 15	-0.6879	-0.5242
Est 16	-0.7028	-0.0206
Est 17	-0.3641	0.5023
Est 18	-0.1406	1.5408
Est 19	-0.7015	-0.3110
Est 20	-0.1379	-0.0995
Est 21	-0.9267	-0.8645
Est 23	-0.3833	0.5570
Est 24	-0.5609	0.1911
Est 25	-0.6014	0.2617
Est 26	-0.7215	-0.2396
Est 27	-0.7977	-0.7334
Est 28	-0.7292	-0.3801
Est 29	-0.3625	0.7323
Est 30	-0.5407	0.6546
Est 31	-0.6903	-0.1680
Est 32	-0.5873	0.1981
Est 33	-0.7413	-0.3004
Est 35	-0.7885	-0.4230
Est 36	-0.6226	0.1615
Est 37	-0.2425	1.1710
Est 38	-0.6202	-0.0358
Est 39	0.1443	2.8546
Variance	93.6%	3.10%

Tableau 7. Pondération des spectres selon les axes 1, 2 et 3 déterminées à partir des assemblages de dinokystes issus de l'analyse de redondance (RDA).

Site	Axe 1	Axe 2	Axe 3
Pal 22	1.8997	-0.3582	-0.8141
Pal 24	1.7566	-1.2987	-1.6403
Pal 26	1.4079	-1.5805	-1.5123
Pal 28	1.7067	-0.4681	-1.1214
Pal 30	1.6547	-1.7072	-1.2652
Pal 32	2.1347	0.1072	-0.5865
Pal 34	1.3700	-0.0525	-0.9423
Pal 35	1.6681	0.3334	-0.2744
Pal 37	1.4674	-0.9721	-0.9888
Pal 39	1.9986	0.4131	1.4831
Pal 43	1.4547	0.4868	-1.1525
Pal 44	1.4829	-1.3192	-1.7502
Maz 300	0.6359	-0.7172	1.3232
Maz 304	0.9027	3.3006	2.6295
Maz 305	1.6655	1.6908	1.7102
Maz 306	1.2968	-0.1334	0.2129
Maz 310	0.0199	1.6833	4.0221
Est C	0.6335	0.1284	1.7434
Est F	0.8590	1.6513	1.5806
Est G	0.9599	0.9502	0.6981
Est 1	-1.1575	-1.3691	0.2292
Est 2	0.1858	1.2340	1.8306
Est 3	-0.9774	-0.2490	0.6832
Est 4	-0.0264	-1.9776	1.1739
Est 5	-0.2048	-2.3060	0.6959
Est 6	-0.7494	-1.2300	1.0687
Est 7	-1.0801	-1.3191	.9829
Est 8	0.3377	-1.9996	2.7054
Est 9	-1.2268	-0.6027	1.1317
Est 10	-1.1805	-0.1965	0.7457
Est 11	-1.4023	-1.5701	0.3613
Est 12	-0.6395	-1.1623	-0.0418
Est 13	-0.4054	-1.9864	-0.4444
Est 15	-1.4114	-0.2413	0.7502
Est 16	-0.7279	-1.1762	-0.6723
Est 17	-0.4665	-1.6477	0.5172
Est 18	-0.7249	-0.9038	0.0199
Est 19	-1.1937	1.4928	0.3730
Est 20	-0.9042	0.3637	-1.0756
Est 21	-0.2264	-0.9200	-0.9767
Est 23	-1.4036	-0.0173	-0.0130
Est 24	-0.9422	-0.0960	-1.4032
Est 25	-0.8955	-0.0959	-0.6398
Est 26	-1.1958	0.2857	-1.2151
Est 27	-0.4662	2.0639	-3.1445
Est 28	-1.3835	1.7339	1.5038
Est 29	-0.2529	2.4383	-1.1094
Est 30	-0.9510	0.1499	-1.3070
Est 31	-0.9050	-0.6011	-1.3288
Est 32	-1.1914	0.8040	-0.5438
Est 33	-0.9600	0.7525	-0.8382
Est 35	-0.9732	0.8192	-0.3945
Est 36	-0.2635	2.8031	-1.8968
Est 37	0.1784	2.8004	1.2281
Est 38	-0.8375	1.4696	1.0735
Est 39	-0.3508	0.3185	-3.3847
Variance	14.1%	9.3%	4.6%

ANNEXE B

PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES

Planche 1

L'échelle correspond à 10 μm . Le numéro de l'échantillon est suivi des coordonnées à l'England Finder. Les clichés ont été pris à partir d'un microscope en contraste interférentiel.

- 1-3. *Polysphaeridium zoharyi*. 1; Tehua Est 11, P28. 2; Tehua Est 21, W20/4. 3; Tehua Est 1, L27/1, vue des processus.
- 4-6. *Spiniferites delicatus*. Tehua Est 9, K61-2. 4; surface dorsale. 5; coupe optique. 6; surface ventrale.
- 7-9. *Polykrikos* cf. *kofoidii*. 7; Tehua Est 21, W20/4. 8; Paleo XI-28, J34. 9; Paleo XI- 34, U37/2.
- 10-11. *Bitectatodinium spongium*. 10; Tehua Est 17, Z65/4-Z66/3. 11; Tehua Est 3, R65.
12. *Quinquecuspis concreta*. Tehua Est 3, K69/1, surface ventrale.

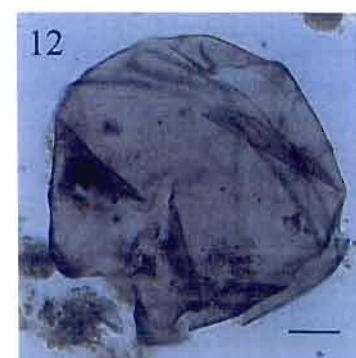
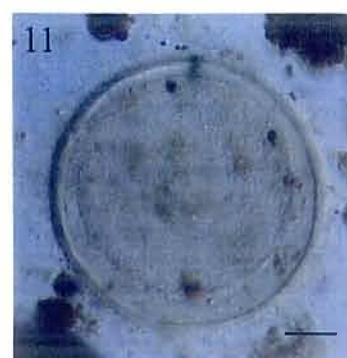
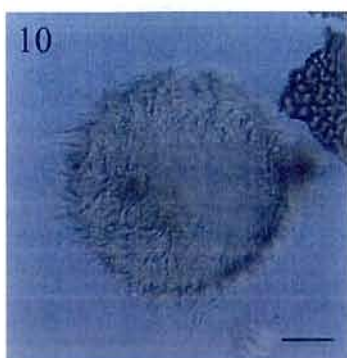
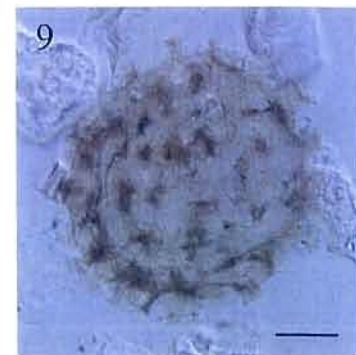
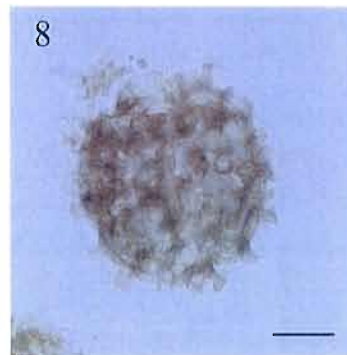
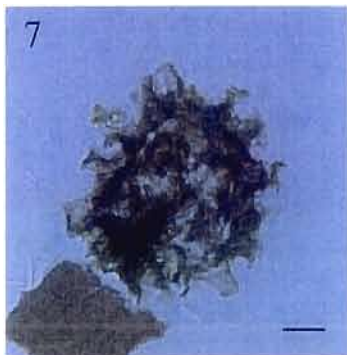
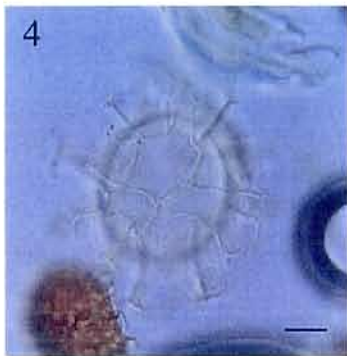
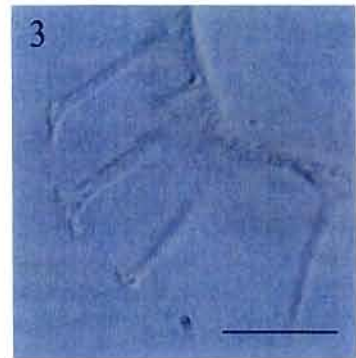
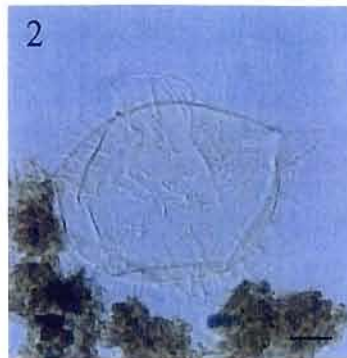
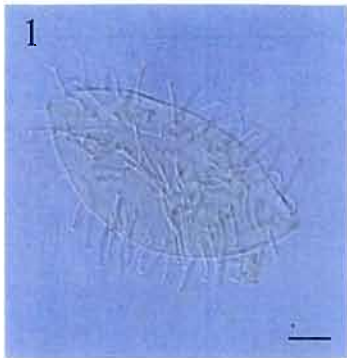
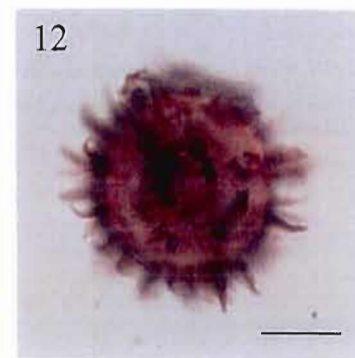
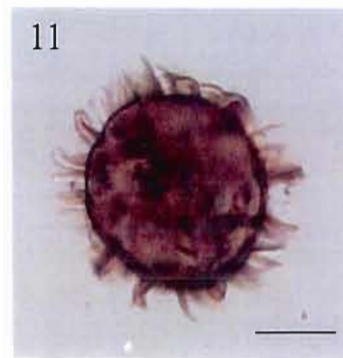
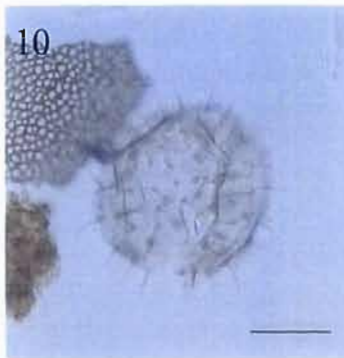
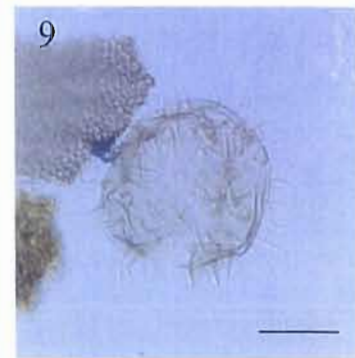
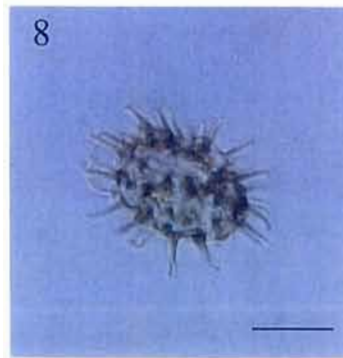
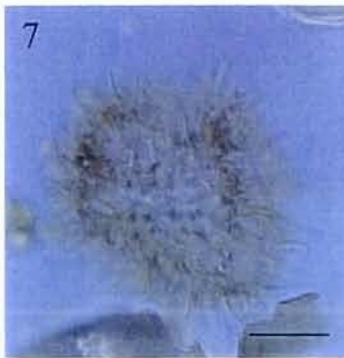
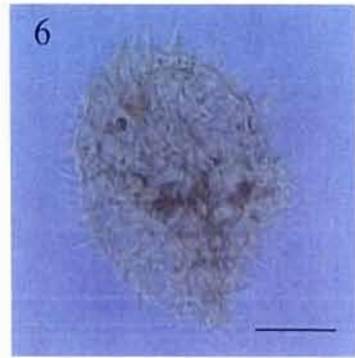
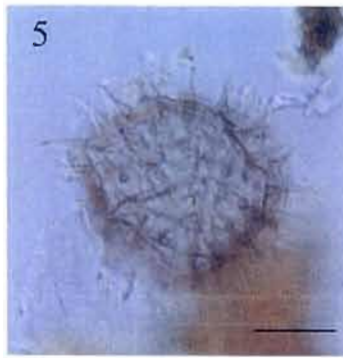
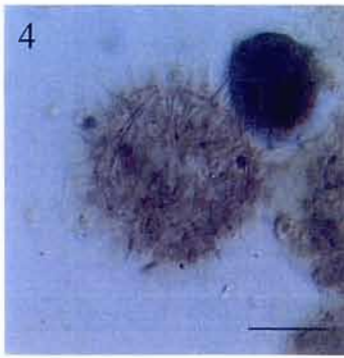
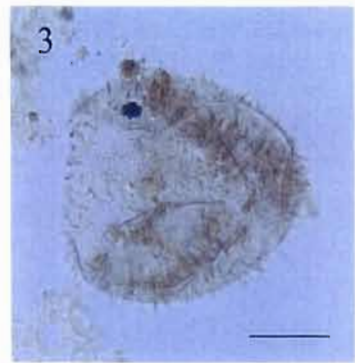


Planche 2

L'échelle correspond à 10 μm . Le numéro de l'échantillon est suivi des coordonnées à l'England Finder. Les clichés ont été pris à partir d'un microscope en contraste interférentiel.

- 1-3. *Islandinium minutum*. Paleo XI-28, Q56/4-R56/2. 1; surface dorsale. 2; coupe optique. 3; surface ventrale.
- 4-5. *Echinidinium granulatum*. 4; Tehua Est 3, J46/2. 5; Tehua Est 33, Z45/4.
- 6-7. *Echinidinium* cf. *granulatum*. 6; Tehua Est 11, Q29/4-R29/2. 7; Tehua Est 11, Q61/3-P61/1.
8. *Echinidinium aculeatum*. 8; Tehua Est 11, H42/2.
- 9-10. *Echinidinium* sp x. Tehua Est 11, G44.
- 11-12. Kyste A. Paleo XI-22, F30/3.



ANNEXE C

SYSTÉMATIQUE

Echinidinium sp. x

Description : Kyste de couleur brun pale à brun avec un corps central sphérique. La paroi du kyste est mince (1 μm) et lisse mais certains spécimens montrent une paroi microgranulaire. Les processus sont uniformément répartis sur le kyste. Ils sont acuminés et non tabulaires. Les processus sont creux à la base sur une longueur de 1/4 à 2/3 de la taille des processus. La partie la plus distale des processus est pleine. La base des processus est circulaire. L'archéopyle n'a jamais été observé.

Dimensions :

Corps central : (min :22-max :28 μm)

Longueur des processus : (5-9 μm)

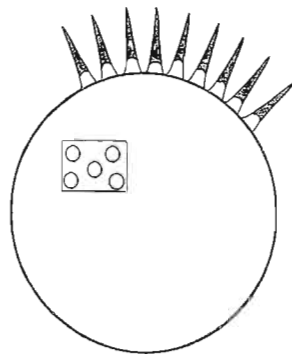
Nombre de spécimens mesurés : 6

Particularités : Ce kyste n'est pas inclus dans le genre *Islandinium* du fait de (1) sa paroi est lisse, (2) ses processus sont creux à leur base, (3) sa petite taille et (4) de son archéopyle qui est présumé non tabulaire. Exceptionnellement, des processus complètement pleins sont observés. La taille des processus est plus élevée que celles des processus d' *Islandinium minutum* (3,5-7 μm ; Head *et al.*, 2001)

Echinidinium sp. x se distingue de *Echinidinium zonneveldiae* (Head, 2002) par la taille des processus et du corps central, et de *Echinidinium transparentum* (Zonneveld, 1997b) par des processus essentiellement creux à leur base. De plus, la base des processus d'*Echinidinium zonneveldiae* (Head, 2002) et *Echinidinium transparentum* (Zonneveld, 1997b) est angulaire et différente de celle de nos spécimens.

Remarques : Le kyste *Echinidinium* sp. x (cf. Annexe C) caractérise principalement la zone III le long de la marge ouest mexicaine et correspond à la partie Nord du Golfe de Tehuantepec (>20%). Il pourrait avoir été probablement inclus dans un large groupe incluant des spécimens notés "formes épineuses" souvent identifié comme des kystes indifférenciés (e.g. Wall *et al.*, 1977; Lewis *et al.*, 1990; Dale et Fjellså, 1994).

Planche 2
Echinidium sp. x



10 μ m

Echinidinium cf. granulatum

Description : Le kyste *Echinidinium cf. granulatum* est caractérisé par un corps central sphérique et petit (<28 μm). La paroi du kyste est transparente, mince et microgranulaire. Les processus sont nombreux, courts (2-5 μm), acuminés, non tabulaires et répartis uniformément sur le kyste. La base des processus est circulaire (<1 μm de diamètre). L'archéopyle n'a pas été observé.

Dimensions :

Corps central : (min :17-max :28 μm)

Longueur des processus: (2-5 μm)

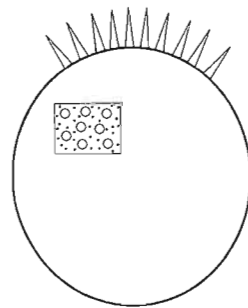
Nombre de spécimens mesurés : 3

Particularités : La morphologie et la taille du corps central et des processus de ce taxon sont comparables à ceux d'*Echinidinium delicatum* (Zonneveld, 1997b) mais diffère de celui-ci par la présence de microgranulation sur la paroi.

Bien que la taille du corps central ne correspond pas à la description originelle de *Echinidinium granulatum*, *Echinidinium cf. granulatum* lui serait apparenté et correspond sans doute à un morphotype de taille plus petite.

Planche 2

Echinidinium cf. granulatum



Kyste A

Description : Le Kyste A est caractérisé par un corps central petit et sphérique à sub-sphérique. L'endophragme est lisse et mince, de couleur marron clair à marron or. Les processus sont nombreux, creux, lisses à terminaison pointue, mais peuvent présenter à leur base des rubanements. La base des processus est circulaire à rectangulaire et varie de 1.0 à 4.0 μm . La plupart des processus sont séparés à leur base, cependant sur certain spécimen les processus peuvent être fusionnés. L'arrangement principal des processus est linéaire et parfois en courbe avec certains processus irrégulièrement distribués.

L'archéopyle n'a pas été observé.

Dimensions :

Corps central : (min :25-max :28 μm)

Longueur des processus: (4-8 μm)

Nombre de spécimens mesurés : 5

Particularités : L'arrangement des processus pourrait être une indication de tabulation.

Cependant le kyste A n'appartient pas au genre Echinidium car les paraplaques semblent être relié à la formation d'un archéopyle (Radi, communication personnelle).

Le kyste A a été retrouvé dans le sédiment de surface du détroit de Georgie (région côtière de la Colombie Britannique), dans le Golfe de Californie et au large des Côtes Californienne.