



HAL
open science

**ÉLÉMENTS-TRACES DES ALGUES ET DES
PHANÉROGAMES MARINES (ZOSTÈRES) DU
CONTEXTE LAGUNO-MARIN D'ARCACHON**
**Recherche des influences de l'environnement
pédologique sur le chimisme du peuplement végétal**

J C Dumon, Y Lapaquellerie, C Latouche

► **To cite this version:**

J C Dumon, Y Lapaquellerie, C Latouche. ÉLÉMENTS-TRACES DES ALGUES ET DES PHANÉROGAMES MARINES (ZOSTÈRES) DU CONTEXTE LAGUNO-MARIN D'ARCACHON Recherche des influences de l'environnement pédologique sur le chimisme du peuplement végétal. Vie et Milieu / Life & Environment, 1994, pp.167-183. hal-03047990

HAL Id: hal-03047990

<https://hal.sorbonne-universite.fr/hal-03047990v1>

Submitted on 9 Dec 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ÉLÉMENTS-TRACES DES ALGUES ET DES PHANÉROGAMES MARINES (ZOSTÈRES) DU CONTEXTE LAGUNO-MARIN D'ARCACHON

Recherche des influences de l'environnement pédologique sur le chimisme du peuplement végétal

*Trace-elements of algae and marine-phanerogams (Zostera)
of the Arcachon marine-lagoon*

J.C. DUMON, Y. LAPAQUELLERIE, C. LATOUCHE

*Institut de Géologie du Bassin d'Aquitaine, Université de Bordeaux I,
351 cours de la libération, 33405 Talence Cédex*

ÉLÉMENTS-TRACES
MILIEU LAGUNO-MARIN
ALGUES
PHANÉROGAMES
PROLIFÉRATIONS ALGALES

RÉSUMÉ – Des Algues Chlorophycées, Phéophycées et Rhodophycées (9 genres au total) et deux espèces de Zostères, ont été récoltées, au Printemps et en Automne en contexte laguno-marin atlantique : le Bassin d'Arcachon. Les éléments mineurs et traces (22), ont été obtenus par Fluorescence X (= éléments totaux). Ce sont : 12 Lithophiles, 6 Chalcophiles, et 4 Sidérophiles. Les rapports éventuels entre composition chimique de la flore de la lagune, et de ses sédiments sont abordés. Ces concentrations sont comparées à celles des mêmes éléments dans le contexte pédologique particulier qui enserme la lagune, lui tenant d'ailleurs lieu de bassin versant. La texture sableuse, une pluviosité élevée (climat atlantique), et la qualité des litières végétales de ce contexte, y ont abouti à la formation de sols acides podzoliques. Leur aptitude à être lessivés et l'agressivité des acides fulviques (AF) et humiques (AH), caractéristiques de ce type de sol, y accentuent le processus. On peut ainsi concevoir que puissent être entraînés facilement vers les nappes divers cations, métalliques ou non, naturels, ou introduits par exemple par les fertilisants. Les nappes se mettant à terme en équilibre avec les eaux de la lagune, elles peuvent agir sur la composition de la biota. C'est pourquoi la composante pédologique a été prise en compte.

TRACE-ELEMENTS
MARINE-LAGOONAL CONTEXT
ALGAE
SEAWEEDES
ALGAL-BLOOM

Abstract – Green, Brown and Red Algae (9 kinds), and 2 *Zostera* species have been harvested, in Spring and Autumn, in the atlantic marine-lagoonal context of Arcachon Basin. Concentrations of 22 elements (minor & trace) were obtained by X-ray fluorescence, which gives the total element. These elements are : 12 lithophile, 6 chalcophile, and 4 siderophile ones. In the lagoon, possibilities of relations between mineral composition of its flora, sediments and surrounding podzolic soils are considered. This pedological context, which takes the place of its drainage basin, is the result of together, a sandy soil texture, the rainy atlantic climate, and the nature of plant litters which lead to acid soils : podzols. Their particular ability to be leached, joined to the aggressivity of fulvic (FA) and humic (HA) acids, a characteristic of such soils, increase the process. It is easy to imagine that some cations, of natural origin or not (fertilizers), metallic or not, may penetrate into phreatic waters. When in equilibrium with the lagoonal waters, this water is able to modify the normal composition of the biota, and e.g. may lead to eutrophication. It is why the pedologic aspect must, in this study, be taken into account.

INTRODUCTION

Comment juger de l'existence même et de l'intensité de la pollution éventuelle d'un milieu par

des métaux lourds ou des éléments toxiques, par exemple, si l'on ignore ce que l'on peut appeler le «bruit de fond géochimique», ou bruit de fond **naturel** du contexte environnant le plus probablement impliqué.

C'est justement pour chercher à évaluer ce paramètre dans les sédiments des milieux littoraux du contexte aquitain que nous avons été conduits, dans l'une des étapes de cette étude, à suivre le comportement des **éléments majeurs** (Dumon et Lapaquellerie, 1991), puis d'un certain nombre d'**éléments-traces** présents dans la flore du Bassin d'Arcachon (44°39 de latitude N et 1°10 de longitude W).

Il s'agit d'une végétation algale banale (Pariard 1975) et de Phanérogames marines, les Zostères. Ces dernières constituent l'essentiel, au plan biomasse. Elles ont d'ailleurs à ce titre fait l'objet de travaux spécifiques de Wasserman (1990).

Nous en tiendrons compte dans notre étude dans un but strictement comparatif.

Quant au choix du cadre géographique, plusieurs raisons l'ont motivé.

Il s'agit en premier lieu d'un contexte ostréicole important sur lequel l'impact d'éventuels polluants, de tous genres, ne peut être négligé. Pour ces raisons, cet aspect a déjà donné lieu à un certain nombre de travaux (Dumon 1972; Alzieu 1979; Alzieu *et al.*, 1982; Carruesco *et al.*, 1982; Carruesco *et al.*, 1986).

L'une des causes primordiales de pollution de ce milieu tient, au moins en partie, aux activités touristiques très importantes, mais cependant limitées à certaines périodes de l'année.

On voit tout l'intérêt qu'il y a à tenter d'apprécier leurs éventuelles incidences sur le milieu au sein duquel la flore évoquée tient une très large part.

Par ailleurs, ce vaste domaine laguno-marin (160 km²) constitue un **modèle naturel exceptionnel au plan des contacts continent-océan**, question fondamentale qui n'a pas cessé de préoccuper les géochimistes des milieux sédimentaires.

Le Bassin d'Arcachon, à cet égard, bénéficie d'une situation particulière. Il constitue en effet l'**unique exutoire** vers l'océan, d'une vaste région forestière. Rappelons que les Landes de Gascogne, constituent le plus vaste massif forestier d'Europe. Il est peuplé de résineux (*Pinus maritima*) et de divers végétaux également acidiphiles, exploitant un substrat podzolique (Dumon, 1978; Dumon, 1981).

L'arrivée de **matières organiques dissoutes** issues de cette flore très spécifique du massif forestier doit être envisagée. Elle ne peut être sans incidences sur le comportement des éléments métalliques éventuellement présents dans le système laguno-marin, que ces métaux soient d'origine marine ou continentale. L'étendue du **pouvoir chélatant** des produits issus des résineux, est en effet en général bien connue. Dans le contexte aquitain notamment, divers travaux ont illustré l'exceptionnelle intensité de leur action sur des éléments métalliques pourtant réputés peu labiles,

voire même insolubles : Juste 1965; Dumon *et al.*, 1973; Dumon 1975 a et b; Dumon 1981. L'incidence de tels produits sur la flore laguno-marine ne peut donc être négligée.

De plus, cette région constitue une vaste unité, d'une **exceptionnelle homogénéité**.

Cela est vrai aux plans physique, chimique, biologique et même climatique. C'est ce qui permet de la définir assez facilement et précisément, chose habituellement rare dans les milieux naturels.

La topographie, elle-même, de ce vaste ensemble forestier est telle, qu'elle garantit la quasi-impossibilité d'influences de contextes géologiques autres, de chimismes forcément différents. Le seul contexte à intervenir sur le « bassin versant » du dispositif lagunaire d'Arcachon, est celui des Sables éoliens des Landes.

De par une situation exceptionnelle qui en fait l'unique exutoire d'une vaste région forestière, le Bassin d'Arcachon constitue donc un passage obligé pour les produits dissous, plus ou moins directement issus de la forêt. Ceci peut donc faciliter certains contrôles des éléments transitant par le contexte landais, lors de leur cheminement vers l'Océan.

L'originalité de ce site tient en outre au fait que les matières particulaires n'ont ici guère leur place, en raison de l'importance et de la quasi-généralité du manteau végétal arboré, naturel ou implanté (généralisé depuis 1850), qui par là-même, limite toute action érosive, habituellement à l'origine des particules figurées charriées par les cours d'eau.

La pratique récente, bien qu'encore assez limitée, de la maïsiculture peut constituer un sujet d'intérêt supplémentaire de l'étude de cette zone, en raison de son éventuel impact sur un écosystème qui était parvenu à un certain état d'équilibre. Certaines substances dissoutes, par exemple issues des engrais, peuvent en effet à terme, parvenir dans le Bassin, et y prendre leur part dans l'élaboration des constituants chimiques de la flore naturelle, ou au sein des composés qui en favorisent la croissance.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les différents échantillons végétaux ont été prélevés à La Hume (Fig. 1), à marée basse, dans la zone intertidale.

Le site de La Hume a été choisi parce qu'à l'écart d'influences anthropiques, portuaires et balnéaires, trop directes, comme le serait par contre le port d'Arcachon.

Afin de saisir d'éventuels effets saisonniers naturels ou liés au tourisme – sur la composition

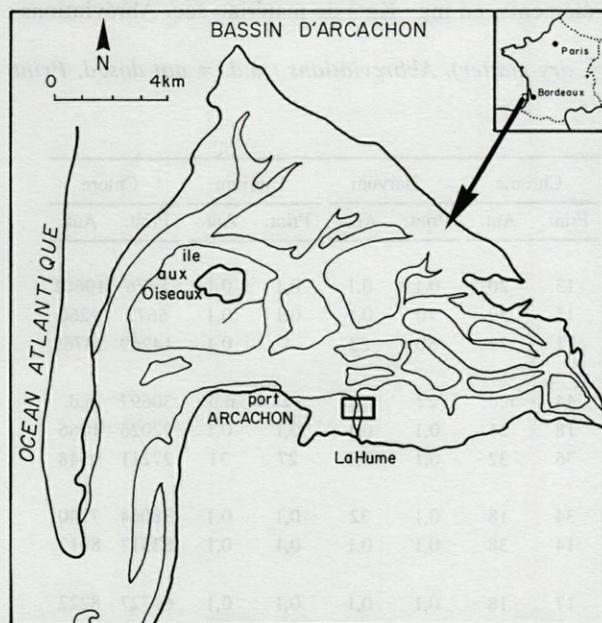


Fig. 1. – Algues et Zostères, localisation des prélèvements.

Algae and Zostera : samples location.

minérale des végétaux, l'échantillonnage a été effectué à deux périodes différentes : au printemps (mai 1987) et en automne (septembre).

Deux types de végétaux ont été récoltés :

— des **Algues** pluricellulaires, prélevées – dans l'ordre de leur émergence – algues vertes d'abord, puis algues brunes, et en dernier lieu, algues rouges.

On remarquera que les Sargasses, habituellement flottantes en pleine eau, sont ici « fixées » aux « pignots », perches verticales fixées sur le fond, en rapport avec l'ostréiculture.

— des **Phanérogames** marines photophiles que sont les Zostéracées, représentées en abondance dans le Bassin d'Arcachon par *Zostera marina* L. et surtout *Zostera noltii* Hornemann, qui constitue la forme la plus courante.

Qu'il s'agisse des Algues ou des Zostères, même si le nombre d'échantillons analysés de-

meure limité, en raison du caractère exploratoire de l'étude, **les prélèvements saisonniers ne peuvent bien sûr pas être effectués sur les mêmes appareils végétatifs**. Donc, le fait de ne pas trouver un élément donné, à telle ou telle saison, ou au contraire, celui de le trouver stable, par exemple, **montre indirectement que l'analyse reste très fiable**, même si les résultats n'ont pas bien entendu, la valeur que conférerait une étude véritablement statistique, nécessairement d'une autre ampleur.

Analyses

Elles ont été réalisées par spectrométrie de Fluorescence X. L'appareillage est du type séquentiel, automatisé par ordinateur. Pour chaque élément, le seuil de détection en Fluorescence X, en $\text{mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ de matériau sec, et l'écart-type, en %, figurent dans le Tableau I. Cela donne une idée de la précision des mesures.

La méthode utilisée pour l'analyse multi-élémentaire, résulte de l'application d'un modèle mathématique permettant d'éliminer les effets inter-éléments et les problèmes d'absorptions différentielles de la matrice.

La calibration externe est basée sur des standards synthétiques et internationaux : NBS W-1, GA, GLO, FK-N, DRN, BR.N, AN.G, SRM 1575 (Standard constitué par des pseudophylles de Pin) et SRM 1571 (Standard constitué à partir de la végétation « moyenne » de vergers).

RÉSULTATS

Ils figurent dans le Tableau II.

Éléments Lithophiles

1. Rubidium

Cet élément à la fois lithophile, donc fréquemment lié à l'oxygène (Goldschmidt, 1954; Fair-

Tabl. I. – Seuils de détection respectifs des éléments ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ M.S) en Fluorescence X, et écarts-types relatifs (en %).
Respective Fluorescence X detection thresholds for trace-elements ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, dry matter), and relative standard-deviations (in %).

Elements	Rb	Sr	Zr	Cr	Ba	Th	Cl	Br	Nb	Cs	U
Limite de détection ($\mu\text{g/g}$)	4	4	30	2	20	1	100	30	1	1	1
Ecart-type relatif en %	10	10	18	8	19	8	19	8	11	12	8
Elements	Pb	Cu	Zn	Ga	As	S	Co	Ni	Sn	P	
Limite de détection ($\mu\text{g/g}$)	4	4	2	1	2	30	1	2	1	80	
Ecart-type relatif en %	7	7	7	12	10	15	10	10	9	15	

Tabl. II. – Végétaux du Bassin d'Arcachon, Concentrations en éléments, en $\text{mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ de matériau sec. Abréviations : n.d. = non dosé ; Print. = Printemps ; Aut. = Automne.

The Arcachon-lagoon flora : element-concentrations : ($\text{mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$, dry-matter). Abbreviations : n.d. = not dosed, Print. = Spring ; Aut. = Autumn.

	Rubidium		Strontium		Zirconium		Chrome		Baryum		Thorium		Chlore	
	Print.	Aut.	Print.	Aut.	Print.	Aut.	Print.	Aut.	Print.	Aut.	Print.	Aut.	Print.	Aut.
Algues Chlorophycées														
<i>Ulva sp.</i>	66	70	673	890	5	20	13	20	0,1	0,1	0,1	0,1	8476	10601
<i>Enteromorpha sp.</i>	114	89	618	917	126	20	15	39	70	0,1	0,1	0,1	6672	9260
<i>Bryopsis sp.</i>	97	93	1753	1653	49	48	31	35	80	82	1	0,1	14269	13769
Algues Rhodophycées														
<i>Aglaothamnion sp.</i>	136	n.d.	530	n.d.	30	n.d.	44	n.d.	22	n.d.	2	n.d.	30697	n.d.
<i>Gracilaria sp.</i>	93	100	268	269	7	9	18	21	0,1	0,1	0,1	0,1	92026	1066
<i>Polysiphonia sp.</i>	174	166	286	269	13	10	36	32	0,1	0,1	27	31	27211	9548
Algues Pheophycées														
<i>Fucus sp.</i>	90	83	4143	3071	49	36	34	18	0,1	32	0,1	0,1	38064	7740
<i>Sargassum sp.</i>	89	90	2793	2701	35	45	14	38	0,1	0,1	0,1	0,1	83517	8013
Phanérogames														
<i>Zostera marina</i>	76	69	676	620	15	17	17	18	0,1	0,1	0,1	0,1	69727	8222
<i>Zostera noltii</i>	70	74	1034	753	13	18	1	18	0,1	0,1	0,1	0,1	42910	5126

	Brome		Niobium		Césium		Uranium		Iode		Plomb		Cuivre	
	Print.	Aut.	Print.	Aut.	Print.	Aut.	Print.	Aut.	Print.	Aut.	Print.	Aut.	Print.	Aut.
Algues Chlorophycées														
<i>Ulva sp.</i>	2859	3763	18	19	3	0,1	4	1	161	n.d.	0,1	17	13	29
<i>Enteromorpha sp.</i>	1926	2552	33	26	0,1	0,1	4	2	111	n.d.	26	20	12	20
<i>Bryopsis sp.</i>	3576	3536	17	17	10	4	0,1	2	172	n.d.	24	23	10	15
Algues Rhodophycées														
<i>Aglaothamnion sp.</i>	27762	n.d.	23	n.d.	0,1	n.d.	0,1	n.d.	?	n.d.	38	n.d.	9	n.d.
<i>Gracilaria sp.</i>	3117	2751	17	19	0,1	0,1	2	0,1	128	n.d.	0,1	6	0,1	0,1
<i>Polysiphonia sp.</i>	119403	116786	17	20	4	4	1	0,1	254	n.d.	0,1	0,1	24	23
Algues Pheophycées														
<i>Fucus sp.</i>	4448	3578	17	19	0,1	8	12	12	268	n.d.	0,1	5	5	12
<i>Sargassum sp.</i>	1519	1518	16	15	0,1	0,1	8	0,1	82	n.d.	0,1	0,1	0,1	0,1
Phanérogames														
<i>Zostera marina</i>	1590	2739	19	16	0,1	2	2	0,1	101	n.d.	11	4	16	3
<i>Zostera noltii</i>	1317	2291	17	19	12	0,1	6	3	87	n.d.	8	22	18	9

	Zinc		Gallium		Arsenic		Soufre		Cobalt		Nickel		Phosphore	
	Print.	Aut.	Print.	Aut.	Print.	Aut.	Print.	Aut.	Print.	Aut.	Print.	Aut.	Print.	Aut.
Algues Chlorophycées														
<i>Ulva sp.</i>	57	75	3	1	0,1	5	86323	34474	0,1	0,1	19	19	1716	2853
<i>Enteromorpha sp.</i>	114	62	10	6	11	0,1	33464	91096	0,1	0,1	25	15	1388	2703
<i>Bryopsis sp.</i>	156	82	4	6	44	47	20011	19842	2	0,1	19	24	3017	2965
Algues Rhodophycées														
<i>Aglaothamnion sp.</i>	238	n.d.	13	n.d.	50	n.d.	24338	n.d.	0,1	n.d.	25	n.d.	4061	n.d.
<i>Gracilaria sp.</i>	90	72	0,1	2	38	4	41943	62997	0,1	0,1	14	12	3702	3802
<i>Polysiphonia sp.</i>	330	328	6	9	158	162	26939	25735	6	3	24	21	3400	3265
Algues Pheophycées														
<i>Fucus sp.</i>	370	147	2	4	110	123	30644	32185	9	0,1	27	24	2562	2477
<i>Sargassum sp.</i>	66	69	1	5	258	252	18537	18885	0,1	0,1	8	18	2606	2607
Phanérogames														
<i>Zostera marina</i>	207	79	1	1	0,1	0,1	12248	18054	0,1	0,1	17	11	5018	5333
<i>Zostera noltii</i>	463	200	7	5	0,1	0,1	15941	16906	17	0,1	21	22	7645	3888

bridge, 1972) et humophile (Szalay, 1964) qui appartient au groupe des cations dits de grandes dimensions, dont le type est le Potassium (Taylor, 1964) présente effectivement un chimisme voisin de celui de K, en raison de rayons ioniques comparables. Il peuvent donc *a priori* se remplacer mutuellement (Mosser 1980, Vinogradov, 1953).

Que ce soit chez les Algues ou chez les Zostères les concentrations observées sont très significativement supérieures au seuil de détection de l'appareil qui n'est pour cet élément que de $4 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ M.S.

La concentration la plus faible est égale à $66 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ M.S. **Aucun effet saisonnier ne paraît vraiment se manifester tant pour les Algues que pour les Phanérogames.**

Les concentrations demeurent en effet tout à fait comparables au printemps et en automne.

Le Rubidium se montre, dans cette flore laguno-saumâtre, beaucoup plus concentré que chez la Luzerne – souvent prise comme modèle de plante terrestre – qui n'en renferme que $5 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ (M.S.) (Brooks and Kaplan, *in* Fairbridge, 1972).

Dans l'ensemble du règne végétal, la concentration en Rubidium est habituellement assez limitée, de l'ordre de $2 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ de M.S. simplement.

En général, les sédiments argileux marins – ou diversement affectés par ce milieu – renferment davantage de Rb que les sédiments d'eau douce (Mosser, déjà cité).

Le Rubidium serait ainsi accumulé en échange de K chez *Ulva* notamment, et ceci *sans apparente toxicité* (Eppley, *in* Lewin, 1962).

Grâce aux expérimentations en laboratoire, on sait que chez les plantes terrestres – relativement au substrat – *K et Rb sont prélevés dans le même rapport* si ce substrat est par exemple constitué d'un mélange de résine et de sable. La compétition de ces deux cations est connue en ce qui concerne leur prélèvement par les végétaux (Fried *et al.*, 1959).

D'après Vinogradov (1953), chez des plantes marines telles que les Laminaires (*Laminaria flexicaulis* Le Jolis), qui renferment du Rb, jusqu'à $300 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ de *matière fraîche*, le Rubidium y serait sous forme d'iodure de Rubidium (RbI).

Selon des travaux plus anciens (1931), antérieurs à Vinogradov, mais cités par lui, sur des côtes sableuses, chez des plantes à fleurs telles que : *Salicornia*, *Suaeda*, *Zostera*, et *Ruppia*, on trouve aussi du Rubidium.

Egalement de longue date, Wilson and Fieldes (1942) ont, en Nouvelle Zélande, trouvé $130 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ M.S., de Rubidium chez *Macrocystis pyrifera*, le Kelp géant.

Le matériau végétal que nous avons étudié à Arcachon en renferme donc dans les mêmes proportions puisque les concentrations observées se situent entre 66 et $174 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ M.S.

Le maximum est observé chez *Polysiphonia sp.*, ce qui est d'ailleurs souvent le cas, nous le verrons, pour d'autres éléments, *le Brome notamment*.

Toujours selon Vinogradov, les concentrations en Rb demeurent proches chez des végétaux pourtant aussi différents que : *Zostera sp.* ou *Ruppia sp.*, et des Algues du genre *Fucus sp.* C'est exactement ce que nous observons à Arcachon, où Zostères et *Fucus sp.* renferment entre 70 et $90 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ M.S. Rappelons que l'eau de mer en contient $65 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ (Riley and Chester, 1971).

En ce qui concerne l'environnement pédologique immédiat du Bassin d'Arcachon (Dumon, 1986), la moyenne en Rb pour les sols des Landes s'établit à $21 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ (sol sec), ce qui est faible en comparaison de la croûte terrestre dont le minimum est de $90 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$, et le maximum de 120 .

Pour l'environnement plus large que constitue le bassin versant de la Garonne (Dumon et Lapaquellerie, à paraître), si le minimum est de $21 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$, le maximum atteint $180 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ de M.S.

2. Strontium

Alcalino-terreux lithophile, le Strontium, dont les propriétés chimiques ressemblent à celles du Calcium (Horr, 1959), se situe parmi les éléments les plus abondants de la lithosphère, avec : $450 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ de matériau sec.

Il est toujours représenté dans le matériau végétal récolté à Arcachon, et très largement au-dessus du seuil de détection ($4 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ M.S. seulement).

Il varie en effet ici entre 268 et $4\,143 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ de M.S.

Ce sont les Algues brunes, *Fucus sp.*, et en second lieu *Sargassum sp.* qui en renferment le plus. Il ne semble pas qu'il y ait d'influence saisonnière, les concentrations en Strontium demeurant pratiquement du même ordre de grandeur, lors des récoltes de printemps et d'automne. La prééminence des Algues brunes quant au Sr est connue depuis longtemps dans la littérature (Haug and Smidsrod, 1967; Shaw 1960).

Le cycle biologique du Sr est, toujours selon Shaw (1960), en relation avec celui du Calcium, qui lui est chimiquement identique et qu'il accompagne tant chez les plantes que chez les animaux (Menzel and Heald, 1959), le Strontium naturel étant considéré comme non toxique.

Son cycle ressemble également à celui du Baryum. De fait, ici, il semble varier, selon les sai-

sons, dans le même sens que lui. Plus la concentration en Ba est élevée, plus il y a de Sr. Mais alors que Sr est, on l'a vu, toujours présent, ce n'est pas le cas du Baryum.

Le Strontium est réputé s'accumuler **dans les feuilles** (Horr, 1959).

Comme d'autres ions tels que : Mg^{2+} , Ca^{2+} , Be^{2+} , Mn^{2+} , Cd^{2+} , Co^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} et Cu^{2+} , selon la littérature, il peut être chélaté par des phloroglucinols de poids moléculaire élevé, non dialysables.

Ces composés sont justement souvent rencontrés chez les Algues brunes, telles que *Ascophyllum nodosum* L., Le Jolis, et *Fucus vesiculosus* L. (Ragan *et al.*, 1979).

On remarquera que si l'on ne dispose pas ici de la même espèce de *Fucus*, que Ragan, c'est cependant chez les deux Algues brunes prélevées (*Sargassum sp.* et *Fucus sp.*) que se rencontrent les concentrations en Sr les plus élevées du matériau végétal, qu'il s'agisse d'Algues ou de Zostères. Cela apparaît donc conforme aux travaux évoqués ci-dessus.

Le rapport entre concentrations en Sr dans les Algues brunes et Sr dans les Algues vertes est un peu supérieur à 4. Toutefois, au sein des Algues vertes, *Bryopsis sp.* se distingue par des concentrations en Strontium particulièrement élevées : de l'ordre de $1\,700\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ M.S., quelle que soit la saison.

Seules les Algues rouges apparaissent plutôt mal pourvues en Sr. La raison tient peut-être à une compétition entre Ca et Sr, au niveau des sites d'échange, comme cela se passe pour ces mêmes ions, dans d'autres milieux.

Ce fait est en effet connu de longue date en science du sol (Menzel, 1954; Menzel and Heald, 1959; Eide and Myklestad, 1980).

3. Zirconium

Bien que tous les végétaux renferment du Zirconium, on ne connaît pas vraiment son rôle dans le métabolisme des êtres vivants.

Cet élément lithophile est en tout cas connu comme très peu toxique pour la vie (Fairbridge 1972).

Dans le cadre de cette étude, le seuil de détection de Zr en fluorescence X est malheureusement des plus élevés ($30\text{ mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$ M.S.).

Donc, beaucoup des concentrations observées étant inférieures à ce seuil, sont de ce fait peu significatives, et nous ne les considérerons que comme seulement indicatives.

C'est notamment le cas pour les Zostères, ceci quelle que soit la saison.

Pour les Algues, il semble que le printemps soit le plus favorable à la fixation de cet élément.

Seules les Algues brunes ne varient guère entre les deux saisons.

Chez les Algues vertes, surtout chez *Enteromorpha sp.*, les concentrations en Zirconium apparaissent particulièrement élevées, au printemps. On retiendra que **cela se manifeste assez souvent chez ce végétal pour d'autres éléments.**

La minéralisation en Zr du contexte sédimentaire ambiant est de l'ordre de $126\text{ mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$ de sédiment sec. Elle est, en cela, conforme à ce qui est considéré comme normal pour des sédiments pélagiques, i-e : $120\text{ mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$ (sédiment sec). C'est en tout cas inférieur à la concentration moyenne de la croûte : $220\text{ mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$ de M.S.

L'origine de ce Zr pourrait être recherchée ici dans les zircons dont la présence a été signalée dans le cortège de minéraux lourds du contexte sableux (Simon, 1974).

Par ailleurs, le Zirconium étant utilisé dans les peintures, une part de ce qui a été dosé peut aussi avoir cette origine, compte tenu de l'importance de la flotte de plaisance du Bassin d'Arcachon.

4. Chrome

Cet élément lithophile, présent dans l'eau de mer à la concentration de $5 \times 10^{-5}\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, est ici toujours représenté. Les concentrations observées étant toujours largement supérieures au seuil de détection, sont significatives. L'exception vient de *Zostera noltii*, au printemps. Le maximum atteint $44\text{ mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$ de M.S. chez les Algues, qui se montrent enrichies, comparativement aux Zostères.

Le plus souvent, ce sont les végétaux récoltés en Automne qui sont les mieux pourvus, bien que la différence entre les deux saisons demeure limitée.

Les teneurs en Chrome rencontrées dans cette « flore lagunaire » demeurent de l'ordre de celles observées chez des végétaux terrestres, mais ayant cependant poussé sur des sols enrichis à la fois en Cr et en Ni, où ces éléments entraînaient d'ailleurs des phénomènes de toxicité (Soane and Saunderson, 1959).

Ces concentrations se montrent par contre **nettement supérieures** à celles trouvées par Gryzankova *et al.*, (1973), dans divers végétaux de la Mer du Japon, où le Chrome, chez *Ulva sp.* ne dépassait pas $3\text{ mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$ de M.S. et près de 8 chez *Zostera marina*.

Ici, la teneur en Chrome de ces mêmes végétaux, se situe en moyenne entre 13 et $18\text{ mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$ de M.S., c'est-à-dire des concentrations respectivement multipliées par 4 et par 2.

5. Baryum

Cet élément lithophile et humophile, dont l'eau de mer renferme $0,03 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, ne se rencontre dans les végétaux considérés ici, que LE PLUS SOUVENT AU-DESSOUS du seuil de détection ($20 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ M.S.).

Il est donc en général non dosable dans les végétaux du Bassin, sauf chez certaines Algues vertes.

Il est pourtant relativement élevé dans le contexte sédimentaire ambiant : $223 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ de sédiment sec, à Gujan-Mestras, par exemple.

Il en va de même dans l'environnement pédologique : 95 et $640 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ de sol sec dans les différents horizons des profils pédologiques les plus proches du Bassin d'Arcachon : Gujan-Mestras, Canauley, Montplaisir.

La moyenne en Ba de ces sols se situe autour de $278 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ de sol sec. Celle des sols des Landes est de l'ordre de $229 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ (Dumon, 1986). Plus généralement, les sols du Bassin d'Aquitaine, ne dépassent pas $288 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$, ce niveau n'étant d'ailleurs que très rarement atteint.

Dans ces sols, le Baryum est surtout lié aux horizons (A), éluviaux, qui probablement renferment encore des débris végétaux issus des plantes supérieures qui en fixent en général $30 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ M.S.

La source (primaire) du Baryum pourrait bien être ici, recherchée dans les micas. Les Biotites peuvent en effet en renfermer jusqu'à 6%, les Muscovites, sont même susceptibles d'atteindre 9%.

Baryum et Plomb ayant la même relation diadochique (Fairbridge, 1972), **pratiquement, seules les Algues qui renferment du Pb renferment aussi du Ba.**

En revanche, il n'en est cependant pas ainsi, en ce qui concerne **les Zostères chez qui le Baryum est absent**, alors qu'elles fixent du Plomb.

Quoi qu'il en soit, conformément à la littérature (Dissanayake, 1984), **seules les Algues vertes fixent Ba**, c'est en particulier le cas d'*Enteromorpha sp.* et de *Bryopsis sp.*

A l'exception de certaines Algues vertes, le Baryum, est donc très peu retenu par les végétaux vivant dans le Bassin, bien que le contexte environnant soit relativement enrichi en cet élément.

6. Thorium

Pratiquement, **seule l'Algue rouge *Polysiphonia sp.* se révèle apte à fixer cet élément lithophile**, et d'ailleurs un peu mieux semble-t-il en automne. Elle apparaît donc comme un véritable **concentrateur de cet élément**, en fixant au mi-

nimum $27 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ M.S. alors que *tous les autres végétaux étudiés en sont quasi totalement dépourvus.*

Une autre Algue rouge : *Aglaothamnium sp.* en fixe, mais vraiment à un degré moindre : $2 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ M.S. seulement.

Dans toutes les autres Algues le Thorium n'est pas dosable, ou simplement de l'ordre de la limite de détection.

Les Zostères n'en fixent pas, tout au moins au niveau des feuilles, seuls tissus que nous ayons étudiés, peut-être en va-t-il différemment pour les rhizomes ?

Selon Moore et Swami, in Fairbridge, 1972, le Thorium est capable, en solution, de former des ions complexes.

Parmi les agents susceptibles de donner avec lui des complexes solides, se trouve en particulier BrO_3^- . Ce pourrait effectivement être le cas ici, car le coefficient de corrélation entre Br et Th est de 0,99, tant au printemps qu'en automne. Chez *Polysiphonia sp.* c'est particulièrement vrai, puisque cette Algue rouge renferme, *aux deux saisons étudiées, les concentrations en Brome les plus élevées de l'ensemble des végétaux pris en compte dans cette étude (Cf. infra).*

Ces concentrations sont en effet de l'ordre de 11 à 12%, en Br, pour *Polysiphonia sp.* et 2,7% pour *Aglaothamnium sp.*

Toutes les autres Algues, ainsi que les Phanérogames étudiées ici, ne dépassent en revanche jamais 0,4% de Br.

L'origine primaire du Thorium pourrait bien être cherchée dans les minéraux lourds dans lesquels il est souvent associé à l'Uranium et au Zirconium. C'est en particulier vrai chez la Monazite, qui en constitue la source habituelle, et qui peut en renfermer de 2 à 12%.

On rencontre ici de la Monazite dans les sables du contexte environnant. Elle est habituellement associée (Dumon, 1981) à l'Ilménite, au Grenat, à la Magnétite et au Zircon. Tous ces minéraux sont présents à Arcachon.

Notons que l'ion Thorium peut aussi être transporté sous forme de complexe colloïdal ou de chélate avec les anions organiques, ce qui peut ici prendre toute sa signification, eu égard au lessivage des matières organiques issues des litières forestières.

7. Chlore

Cet élément lithophile qui représente le plus souvent l'halogène cardinal des Algues, montre une très grande **disparité des concentrations** entre printemps et automne.

Les plus élevées sont presque toujours observées au printemps.

Chez les Rhodophycées, les Phéophycées et même les Zostères, le rapport est souvent de l'ordre de 10 entre les deux saisons.

Chez les Chlorophycées, cependant, la tendance est inversée, avec maximum de chlore en automne.

8. Brome

Cet halogène lithophile intervient dans la croûte terrestre pour 1,6 à 3 mg · Kg⁻¹ de matériau sec.

Globalement, dans les végétaux étudiés ici, le Brome vient le plus souvent au 3^e rang, après Soufre et Chlore.

Pour Lewin (1962), citant Vinogradov, le brome varie chez les Algues, jusqu'à 0,2% du poids sec. C'est à peu près l'ordre de grandeur des concentrations **les plus basses** observées ici, chez les Algues, mais aussi chez les Zostères. Chez les Algues rouges, en particulier, Br peut cependant atteindre des concentrations extrêmement élevées.

Algues

Cet élément présente des **teneurs extrêmement variées**, selon la classe d'Algues à laquelle on s'adresse (de 1500 mg · Kg⁻¹ M.S., à 11,9%).

Les Algues rouges, telles que *Aglaothamnion sp.* et surtout *Polysiphonia sp.*, sont **très enrichies en Brome**. Chez *Polysiphonia sp.* la teneur est multipliée par 4 par rapport à *Aglaothamnion sp.*, qui fait pourtant partie des mieux pourvues. Ceci est assez conforme aux observations de Gschwend *et al.*, (1985), sur les algues des mers tempérées.

Le rapport entre la concentration en Brome de *Polysiphonia sp.* et celle de l'Algue brune la moins bien pourvue, *Sargassum sp.*, est de l'ordre de 80, ce qui est donc considérable.

Polysiphonia sp. renferme en effet près de 12% de Brome.

Selon Feldmann (1961) il ne s'agirait pas de Brome libre, mais de phénols bromés et aussi sulfonés. C'est également ce qu'indiquent Augier et Mastagli (1956), qui trouvent chez les Rhodomélacées (particulièrement riches en Brome, et auxquelles appartient précisément *Polysiphonia sp.*), couramment 2% de Br, incluant les phénols bromurés.

La saison ne semble pas avoir d'influence déterminante sur les concentrations, certaines Algues sont même à cet égard d'une stabilité totale, c'est le cas de *Sargassum sp.* et de *Bryopsis sp.*

Zostères

A l'inverse des Algues, les deux espèces de Zostères, montrent une **augmentation notable (de l'ordre de 70%) du Brome, en automne**. Cette

variation est donc beaucoup plus élevée que pour n'importe laquelle des Algues étudiées ici.

De manière plus générale, les **concentrations en Brome** des Zostères demeurent tout à fait comparables à celles observées chez les Algues, à condition cependant, de ne considérer ni *Polysiphonia sp.*, ni *Aglaothamnion sp.* qui constituent de réelles exceptions, en raison de leurs concentrations particulièrement élevées.

9. Niobium

Egalement lithophile, cet élément est **toujours présent, à la fois chez les Algues et chez les Zostères**.

Il se situe dans la plage de concentrations suivantes : 15 à 33 mg · Kg⁻¹ M.S. Celles-ci se trouvent très largement au-dessus du seuil de détection qui n'est que de 1 mg · Kg⁻¹ M.S. pour cet élément.

Bien que présent aux deux saisons chez les Algues, et ce **sans gros écart de concentrations**, le Niobium peut paraître cependant préférentiellement fixé en automne.

De l'ensemble des végétaux analysés, Zostères comprises, c'est l'Algue verte *Enteromorpha sp.*, qui est la mieux pourvue.

Les Algues brunes, Sargasses surtout, sont au contraire les moins minéralisées.

10. Cesium

Cet élément lithophile est assez souvent absent, tant des Algues que des Zostères et il est donc difficile de lui trouver des variations cohérentes.

Toutefois, s'il est présent, tous végétaux confondus, c'est en général au printemps que les concentrations les plus élevées sont observées.

Les Chlorophycées présentent les concentrations les plus élevées des Algues. Les Algues rouges en sont dépourvues, sauf *Polysiphonia sp.* qui ne montre aucune variation saisonnière.

Chez les Phanérogames, c'est *Zostera noltii* qui est la mieux minéralisée, au printemps.

11. Uranium

Cet élément lithophile est normalement présent dans l'eau de mer à la concentration de 3 · 10⁻³ mg · l⁻¹.

A Arcachon, le contexte pédologique renferme 3 mg · Kg⁻¹ M.S. d'Uranium. Ceci est, toutes proportions gardées, assez élevé par rapport au Bassin d'Aquitaine dans son ensemble, dont la teneur en Uranium des sols, n'excède pas le plus souvent 1 mg · Kg⁻¹ (M.S.).

On observe que **les Algues rouges ne fixent pratiquement pas cet élément**. Les autres Algues

ainsi que les Zostères, paraissent le fixer, mais plutôt au printemps. Le maximum est observé chez les Algues brunes : chez *Fucus sp.*, avec $12 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ M.S., quelle que soit la saison, et chez les Sargasses qui n'en renferment par contre pas du tout en automne. Les Chlorophycées, réputées concentrer cet élément de manière spectaculaire (facteur de concentration de l'ordre de $5 \cdot 10^3$), à partir de solutions même très diluées d'uranium (Dissanayake, 1984), ne semblent pourtant pas ici le concentrer particulièrement.

12. Iode

A Arcachon – où nous ne disposions que d'un seul prélèvement, au Printemps 1987 – l'Iode paraît bien représenté, mais surtout chez les Algues. Les termes les plus enrichis sont *Fucus sp.* et *Polysiphonia sp.* Chez les Zostères, c'est surtout *Zostera marina*, qui en fixe, mais sensiblement moins que les Algues.

Eléments Chalcophiles

13. Plomb

Bien que considéré comme non indispensable aux plantes (Walker *et al.*, 1977), ce métal lourd chalcophile, donc fréquemment associé au Soufre, est à Arcachon **toujours fixé par les Zostères**.

Si on compare ces concentrations à celles observées par Bond *et al.*, (1985) ou par Harris *et al.*, (1979) chez *Zostera muelleri*, récoltée dans 12 sites d'une baie du Sud de l'Australie, **les Zostères d'Arcachon présentent des teneurs en Pb relativement élevées**, se situant entre 4 et $22 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ M.S. Celles d'Australie ne renferment en effet, en moyenne que $3 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ M.S. Cependant, exception faite de *Zostera noltii*, chez qui le Plomb est élevé en automne, les concentrations en Plomb des Zostères, restent tout de même assez comparables à celles indiquées par Joshi *et al.*, (1987), pour diverses Angiospermes courantes de marais côtiers salinisés.

Par contre, **le plomb est très nettement moins absorbé par les Algues, ou même pas du tout**. C'est notamment le cas par ex. de *Sargassum sp.*. Ernst (*in* Huiskes *et al.*, 1987) a d'ailleurs fait la même constatation sur *Sargassum muticum*. D'après Everard and Denny (1985), pour les plantes marines s.l., l'absorption de Pb serait pour l'essentiel plus passive qu'active.

La fixation plus ou moins importante de Pb peut tenir à l'anatomie des tissus, et en particulier à des cuticules très peu épaisses, comme c'est le cas pour l'Angiosperme terrestre *Elodea canadensis*, chez qui le parenchyme est bi-assial. Cette morphologie est justement celle des Algues Vertes que nous avons étudiées. Or, elles constituent précisément presque les seuls représentants des Al-

gues à être pourvus en Plomb, et au même niveau que chez les Zostères. Toutefois, c'est l'Algue rouge *Aglaothamnium sp.* qui présente la concentration la plus élevée en Pb, avec près de $40 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ M.S.

De la flore algale, presque seules les Algues vertes fixent donc du Pb, d'ailleurs en proportions voisines, et quelle que soit la saison.

La fixation préférentielle du Pb par les Chlorophycées est un fait observé *expérimentalement*, assez anciennement, par Genaud et Genevois (1930) et Camlong et Genevois (1931), précisément sur des Ulves et des Entéromorphes du Bassin d'Arcachon. Toujours selon Everard and Denny (1985), déjà cités, l'efficacité des Chlorophycées pour fixer Pb serait maintenant bien connue. Ils citent par ailleurs le cas d'une Chromophyte qui est la Diatomée *Navicula*, associée dans un milieu enrichi en Pb, à des lentilles d'eau (Angiospermes). Malgré la faible part (5% seulement) prise dans ce contexte par cette algue brune, elle s'y révèle pourtant capable de fixer 60% du plomb présent dans le milieu.

En ce qui concerne le Bassin d'Arcachon, on notera que le contexte pédologique environnant est assez mal pourvu en Pb : $5 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ de sol sec seulement (Dumon, 1986). C'est là une concentration faible, les sols du Sud-Ouest aquitain pouvant renfermer jusqu'à $50 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ de sol sec de Pb.

Les sédiments du Bassin, eux, renferment en moyenne $32 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ de Pb. (R.N.O., Rapports 1979-1981). Selon Eide and Myklestad (1980), le plomb serait prélevé plus vite en été. Eide parle ainsi de : « little seasonal dependence ». Ceci peut sembler se vérifier plus ou moins dans le contexte arcachonnais. Une étude plus approfondie, avec un plus grand nombre d'échantillons serait indispensable pour s'en assurer.

A titre de comparaison avec les végétaux terrestres, nous citerons les travaux de Vlamiš *et al.*, (1978) relatifs aux teneurs en métaux lourds d'une orge cultivée sur des sols *très fortement enrichis en déchets urbains* (apports de 225 tonnes \cdot ha⁻¹). Les teneurs respectives en Pb, de ces apports étaient de 250 et $1090 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ de matériau sec. Cela ne s'est traduit, dans les deux cas, que par un prélèvement de Plomb de seulement $20 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ (M.S.). Il est vrai que Suess and Dean (1985) considèrent que Pb n'est pas prélevé par les plantes supérieures, même cultivées sur milieu pourtant fortement enrichi, mais que par contre, c'est le feuillage qui éventuellement, reçoit le Plomb de l'atmosphère.

15. Cuivre

Parmi les Algues étudiées, *Sargassum sp.* (Phéophycée) et *Gracilaria sp.* (Rhodophycée)

sont les SEULES à NE PAS FIXER DU TOUT DE CUIVRE, tant au printemps qu'en automne. On notera que *Gracilaria sp.* est, de l'ensemble des Algues étudiées ici, celle qui est la plus enrichie en Manganèse (Dumon et Lapaquellerie, 1991). Or, selon les observations de Harrison *et al.*, (1983), l'aptitude à fixer l'élément humophile et chalcophile que constitue le Cu, tout au moins chez certaines plantes supérieures, se trouve *réduite en présence de Manganèse*. La raison tiendrait à une interaction entre ces deux éléments. Peut-être cela peut-il se réaliser également chez certaines algues ?

En ce qui concerne *Sargassum*, Ernst (*in* Huiskes *et al.*, 1987) a également observé que **chez *Sargassum muticum*, il n'y avait pas de fixation de Cuivre**, pas plus d'ailleurs que de Plomb (cf. supra). Sur d'autres prélèvements spécifiques de Sargasses, effectués cette fois durant l'année 1988, en 8 points distincts du Bassin d'Arcachon, nous avons nous-mêmes de nouveau constaté qu'*en dépit de la présence de Cuivre dans le contexte ambiant* – de manière assez inexplicable d'ailleurs (absence notamment de pratiques viticoles proches) – cet élément n'était pas pour autant fixé par ce genre de Phéophycée. Par ailleurs, si la concentration en Cuivre de *Polysiphonia sp.* reste constante, (ce qui se révèle également vrai pour l'autre élément *chalcophile* qu'est le Zinc), aux exceptions près indiquées, **les Algues récoltées fixent le Cuivre, et semble-t-il, davantage en Automne.** Peut-être doit-on voir là l'une des incidences – à l'égard d'un élément considéré précisément comme humophile – du lessivage des litières des sols, lixiviation consécutive aux pluies d'automne, et par suite à l'intervention de **produits organiques complexants** issus de cette lixiviation des débris végétaux.

Pour les Zostères, il en va par contre tout différemment car elles montrent toujours *une meilleure fixation de Cuivre au printemps*. Le rapport entre les deux saisons varie entre 2 et 5. Si cette proportion n'est pas la même chez les Angiospermes *halophiles* étudiées par Joshi *et al.*, (1987), dans un contexte côtier de climat d'ailleurs différent (Asie des moussons), par contre, les concentrations qui y sont observées restent du même ordre de grandeur. Des deux espèces représentées à Arcachon, c'est ***Zostera noltii* qui se révèle toujours la mieux pourvue en Cu.** Chez *Zostera marina*, les concentrations que nous avons observées demeurent comparables à celles trouvées par Lyngby (1989), dans une étude réalisée sur la même espèce, prélevée entre juillet et septembre, dans un fjord danois, mais en *contexte pollué*. Toutefois, certains maxima très élevés enregistrés chez les Zostères du Danemark : $65 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1} \text{ M.S.}$, n'ont par contre jamais été atteints à Arcachon, où la teneur la plus forte n'excède pas $18 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1} \text{ M.S.}$

Prises globalement, les concentrations en Cu restent à peu près **du même ordre, chez les Algues et chez les Zostères**. Le maximum est observé chez *Ulva* : $29 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1} \text{ M.S.}$, mais on sait que cette Algue verte, responsable des « marées vertes » en Bretagne depuis 1968 (Brault *et al.*, 1988), est une Algue de pollution, très opportuniste, c'est-à-dire en général très tolérante. Justement, la tolérance au Cuivre, de certaines Chlorophycées est bien connue, puisque *Enteromorpha compressa* L., fait partie des Algues continuant de se développer sur des coques de navires, pourtant traitées aux anti-fouling à base de Cuivre (Reed and Darrig, 1983).

Si les Entéromorphes du Bassin d'Arcachon, se trouvent en effet parmi les végétaux de ce contexte les mieux pourvus en Cu, elles n'occupent toutefois que le 3^e rang derrière *Ulva sp.* puis l'Algue rouge *Polysiphonia sp.* L'ordre de grandeur des concentrations observées demeure cependant le même, soit entre 20 et $30 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1} \text{ M.S.}$

D'après El-Gohary *et al.*, (1983), les Algues vertes, microscopiques, tolèrent particulièrement bien le Cuivre au point de pouvoir être cultivées dans des bassins servant à épurer des eaux polluées (en Cuivre) y transitant. De plus, dans ce cas, les auteurs constatent un accroissement de la teneur en chlorophylle de ces Algues vertes. Le Cuivre apparaît donc là comme leur étant bénéfique.

De manière plus générale les concentrations en Cuivre observées restent malgré tout dans l'ensemble de l'ordre de $15 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1} \text{ M.S.}$, concentration citée par Mason (1956) et par Brooks and Rumsby (1965), comme représentant l'abondance moyenne en Cuivre dans la biosphère marine. Selon Myklestad *et al.*, (1978), une Phéophycée telle qu'*Ascophyllum nodosum* L. Le Jolis, a cependant pu fixer du Cuivre jusqu'à $82 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1} \text{ M.S.}$

Pour comparer à des végétaux terrestres, tels que des plantes fourragères considérées toutefois comme carencées en éléments-traces, et notamment en Cuivre, qui en renferment au maximum $13 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1} \text{ M.S.}$ (Robinson and Dever, 1956), la plupart des végétaux étudiés ici, peuvent être considérés comme « normalement » pourvus en cet élément.

De la même façon, il est intéressant de noter que de l'orge (*Hordeum vulgare* L.cv. Atlas 57), cultivée sur des déchets urbains, enrichis en métaux lourds ($600 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1} \text{ M.S.}$), ne prélève guère que 10 à $15 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1} \text{ M.S.}$, de Cu (Vlamiš *et al.*, 1978). Cette concentration paraît donc avoir une certaine généralité ! On retiendra, d'ailleurs toujours à propos de l'orge, que selon El-Shourbagy *et al.*, (1989), il y aurait chez cette Graminée une sorte d'antagonisme entre Cuivre et Chlorure de Na. Dans l'exemple cité, la présence de NaCl entraînerait donc chez l'Orge une protection contre des phénomènes de toxicité dus à un excès de Cu.

Dans le contexte laguno-marin qui nous intéresse ici, il est évident que la présence de NaCl joue peut-être un rôle !

Par ailleurs, le contexte pédologique entourant le Bassin est, toutes proportions gardées, assez bien pourvu en Cuivre.

La moyenne des sols des Landes, (acception large de ce terme géographique, Dumon 1986) est en effet de $57 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ M.S. Elle ne s'écarte donc guère de la moyenne de la croûte terrestre qui se situe, selon les auteurs, entre 45 et $55 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ de matériau sec. Une telle gamme de concentrations est par ailleurs tout à fait comparable, à celle observable en **sols viticoles** traités au sulfate de cuivre (bouillie bordelaise) durant au moins un demi-siècle, par exemple dans la région de Saint-Emilion. Les concentrations en Cuivre y sont en moyenne de l'ordre de $60 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ de sol sec (Dumon et Lapaquellerie : à paraître).

Les sols sur alluvions de la Dordogne – dont le cours inférieur draine toute la partie septentrionale du vaste contexte viticole du bordelais – étudiés par les mêmes auteurs, montrent en moyenne, $49 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ de sol sec.

Dans les deux cas évoqués, il s'agit de **moyennes** établies sur l'ensemble des horizons des profils pédologiques.

Si, par contre, l'on observe en détail la répartition dans le profil de ce Cuivre anthropique, on s'aperçoit que pour ces sols argilo-calcaires, ou argilo-sablo-calcaires, les concentrations de surface (0-20 cm) atteignent, ou dépassent même $200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ de sol sec, celles du niveau : 20-40 cm, moins de 90, et pour 40-60 cm : $59 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Dans ce cas évidemment, le Cuivre n'est pas très mobile dans les profils.

Il faut cependant souligner que ces sols de la zone viticole présentent un complexe argilo-humique (ou absorbant) digne de ce nom. Leurs potentialités de fixation des cations y sont donc très largement supérieures à celles des podzols qui environnent le Bassin. La raison tient en particulier à une texture surtout beaucoup plus équilibrée, et aussi plus fine (argile). Avec une moyenne de $60 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ de sol sec, on voit que les sols viticoles sont cependant à peine mieux pourvus que le contexte pédologique podzolique arcachonnais.

Par ailleurs, les **sédiments du Bassin d'Arcachon eux-mêmes** renferment en moyenne $35 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ de sol sec, ce qui est loin d'être négligeable.

16. Zinc

A part l'Algue rouge *Polysiphonia sp.*, chez qui la concentration en Zn est constante, et d'ailleurs très élevée, quelle que soit la saison, dans l'ensemble, c'est presque toujours au printemps que les Algues, mais aussi les Phanérogames se

montrent le plus enrichies en cet élément chalcophile. L'Algue verte *Ulva sp.* et à un degré moindre l'Algue brune *Sargassum sp.* font toutefois exception. Cette dernière – qui est probablement *Sargassum muticum* (comm. orale de I. Auby) – bien que la plus mal pourvue en Zinc de l'ensemble des Algues étudiées, se montre cependant très enrichie comparativement à *Sargassum muticum* étudiée en Hollande par Ernst (Huiskes *et al.*, 1987), et chez laquelle il n'a trouvé que $12 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ M.S. On sait que dans l'eau de mer, le Zinc ne dépasse pas $0,01 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$.

Si à titre de comparaison, on se place cette fois sur le plan général, Salomons et Förstner (1984) citent pour des Algues, toujours récoltées en Hollande, des concentrations en Zinc de l'ordre de 220 à $250 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ M.S. On voit donc que certains des genres d'Algues croissant à Arcachon entrent tout à fait dans cette gamme de concentrations.

Par ailleurs, on notera que les concentrations observables à Arcachon demeurent du même ordre de grandeur chez Algues et Phanérogames.

***Zostera noltii*, une fois encore, se révèle beaucoup mieux minéralisée que *Zostera marina*.**

Comparées aux plantes terrestres (Dixon and Wear, 1964; Joshi *et al.*, 1987), les Algues et les Phanérogames se montrent ici plutôt enrichies, voire même très enrichies en Zn, parfois d'un facteur 3 à 4, par ex. Il est vrai que si le contexte pédologique environnant le Bassin d'Arcachon est plutôt pauvre en Zn ($16 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ M.S., en moyenne; carences en Zn observées sur le maïs cultivé dans les Landes), par contre, le sédiment, non sableux, du Bassin renferme $140 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (M.S.), de cet élément (R.N.O. Rapports : 1979-1981).

Comparées aux Zostères observées en Australie – mais il est vrai chez *Zostera Mulleri* – par Harris *et al.*, (1979), les concentrations en Zn des Zostères du Bassin d'Arcachon sont très élevées (parfois dans un rapport de 10).

Il en est d'ailleurs à peu près de même pour les Algues *Polysiphonia sp.* et *Sargassum sp.*, si on les compare à ces mêmes genres étudiés à Cuba (Ramirez *et al.*, 1985).

Les différentes plantes supérieures, halophytes, de marais salés étudiées par Joshi *et al.*, (1987), que ces auteurs considèrent pourtant comme renfermant des teneurs exceptionnellement élevées en Zn, se situent cependant le plus souvent très largement en dessous des teneurs atteintes à Arcachon, par les Zostères, en particulier par *Zostera noltii*.

17. Gallium

Cet élément chalcophile, isolé pour la première fois, en 1878, par Lecocq de Boisbaudran,

(in Michel et Bénard, 1964), à partir de la blende, et qui doit son nom au bordelais, région d'origine de ce chimiste, est présent dans l'eau de mer à la concentration de $3 \cdot 10^{-5} \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Il atteint de 15 à $17 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ de matériau sec dans la croûte terrestre.

Voisin de l'Aluminium (même appartenance au groupe III, rayons ioniques et potentiels d'ionisation très proches), il est généralement concentré dans les minéraux alumineux, comme la bauxite ou le corindon. Les micas, muscovite et surtout phlogopite, en fournissent (Fairbridge 1972).

Le gallium fait aussi partie des éléments qui enrichissent les hydroxydes d'aluminium. Il peut se substituer à Al dans les argiles résultant de la destruction des silicates. Toujours d'après Fairbridge (1972) et Nicolini (1970) un enrichissement en gallium dans les sédiments va de pair avec un accroissement de la quantité de porphyrines qui se trouvent liées à des complexes organo-métalliques. Il se lie également souvent avec le Titane. Dans le contexte pédologique local, exclusivement sableux, il n'excède pas $5 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ de sol sec.

Chez les Algues étudiées ici, ainsi d'ailleurs que chez les Zostères, nous n'avons pourtant pu noter aucune liaison, ni avec l'aluminium, ni avec le titane, les rapports entre les différents éléments considérés, variant entre des limites parfois très éloignées.

Bien que dans la flore laguno-marine d'Arcachon le maximum ($13 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ M.S.) ait été observé au printemps chez l'Algue rouge *Aglaothamnion sp.*, pour laquelle nous ne disposons pas d'échantillon d'automne, le plus souvent, c'est en automne qu'il se montre le plus élevé, chez les Algues, à l'exception d'*Enteromorpha sp.*

Chez les Zostères, c'est *Zostera noltii* qui est la mieux pourvue en gallium. *Zostera marina* ne présente que des concentrations non significatives, car inférieures au seuil de détection qui est de $1 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ M.S.

18. Arsenic

Cet élément chalcophile, se rencontre normalement dissous dans l'eau de mer dans la fourchette de concentrations de 0,003 à $0,02 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$.

Les sols podzoliques des Landes qui enserrant la lagune n'en renferment que $2 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ M.S., ce qui est peu par rapport au contexte pédologique du Sud-Ouest où cet élément peut atteindre jusqu'à $14 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ M.S.

Selon Vinogradov (1953), « tous les organismes marins, algues comprises, sont plus riches en As que les organismes terrestres ». **Cependant, les Zostères ne le fixent pas du tout, et ceci quelle que soit la saison.**

Chez les Algues, l'Algue rouge *Polysiphonia sp.*, toujours bien minéralisée, et surtout les Phéophycées, en renferment des concentrations élevées, jusqu'à $260 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ M.S. pour ces dernières. Ceci représente un réel processus de concentration par l'appareil végétatif de ces Algues, qui a d'ailleurs fait l'objet d'une étude particulière (Dumon et Lapaquellerie, 1991).

19. Soufre

Il s'agit d'un élément chalcophile et biophile dont les concentrations habituelles sont de $885 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ dans l'eau de mer et de $520 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ M.S. dans la lithosphère. La « biosphère marine » (Fairbridge, 1972) en renferme $1400 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ M.S. Chez l'homme, la teneur moyenne est de l'ordre de $5400 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ M.S. Une plante terrestre comme la Luzerne par exemple, n'en contient que $1040 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ M.S.

On voit donc que **l'ensemble des végétaux d'Arcachon, tous genres confondus, se montrent infiniment plus enrichis.**

Éléments Sidérophiles

20. Cobalt

Bien que certaines Algues marines soient réputées concentrer cet élément de transition sidérophile à partir de l'eau de mer, avec des facteurs d'enrichissement de l'ordre de 2000, **le Cobalt se montre le plus souvent absent des végétaux du Bassin d'Arcachon.**

Toutefois, lorsqu'il est représenté, c'est seulement au printemps. L'Algue rouge *Polysiphonia sp.* fait exception, car elle est la seule à en renfermer aux deux saisons. De plus une fois encore, ce genre fait partie des végétaux les mieux minéralisés.

Le Cobalt demeure de toutes manières assez mal représenté chez les Algues. Toutefois sa concentration est toujours très largement supérieure à celles habituellement observées chez des plantes terrestres (fourrages), considérées, il est vrai, comme carencées, chez lesquelles le maximum observé n'atteint même pas $1 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ M.S.

Par ailleurs c'est chez *Zostera noltii* que le Cobalt est le mieux fixé. *Zostera marina* n'en renferme pas.

Le contexte pédologique ambiant, sableux, de type podzolique, n'est de toutes manières pas enrichi en cet élément, avec moins de $1 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ M.S., alors que certains sols, toutefois non exclusivement sableux du Sud-Ouest aquitain renferment $13 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ M.S. (Dumon, 1986), et que la croûte terrestre atteint, selon les auteurs, 25 à $40 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ M.S., en moyenne.

21. Nickel

Le Nickel (élément sidérophile, donc souvent lié au Fer, mais aussi humophile, rencontré dans l'eau de mer à la concentration de $0,002 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$) est présent chez tous les végétaux, tant Algues que Phanérogames, qui ont fait l'objet de cette étude.

Une fois encore, comme cela a déjà été constaté pour plusieurs autres éléments, le Nickel se situe à un **niveau comparable chez les Algues et dans les herbiers de Zostères** : entre 10 et $30 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ M.S.

Le plus souvent, il se montre à peine plus faible en automne qu'au printemps, sauf **chez l'Algue verte *Ulva sp.* et chez *Zostera noltii*, où il est constant** malgré le changement de saison.

En ce qui concerne plus précisément l'Algue rouge *Polysiphonia sp.* et l'Algue brune *Sargassum sp.*, les concentrations observées dans les Algues récoltées à Arcachon sont tout à fait du même ordre que celles trouvées en Absorption Atomique, chez les mêmes genres par Ramirez *et al.*, (1985) le long de la côte cubaine.

Chez les Phanérogames, *Zostera noltii* demeure mieux minéralisée que *Zostera marina*. Nous avons déjà observé cette tendance, qui se manifeste assez souvent pour d'autres éléments. Peut-être faut-il voir là un effet de l'exondation? Exondée longtemps, *Zostera noltii* est peut-être contrainte, pour survivre, de mieux exploiter le substrat minéral que ne le fait *Zostera marina*. Cette dernière étant toujours immergée (chenaux et flaques) peut continuer à n'exploiter chaque élément, que sous sa forme dissoute, le substrat peut n'être alors que très peu utilisé.

A Arcachon les sédiments de fond renferment en Nickel environ $32 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ de sédiment sec. Cette valeur du bruit de fond géochimique repose sur l'étude de 90 échantillons de la surface des fonds, de texture non sableuse (R.N.O. 1979-1981).

22. Etain

A Arcachon, **seule** la Rhodophycée *Gracilaria sp.* en renferme $5 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ M.S, et uniquement en automne. Cet élément n'est pas dosable dans les autres végétaux. Il semble donc qu'il n'y ait pas à craindre l'apparition de composés méthylés (Seidel *et al.*, 1980). De plus, les peintures anti-fouling des bateaux, renfermant cet élément sont désormais interdites.

23. Phosphore

Cet élément sidérophile et biophile est présent dans la lithosphère, à raison d'environ $1200 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ M.S. Chez les êtres vivants, et l'homme en particulier, sa concentration moyenne atteint $6300 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ M.S. Une plante terrestre comme la luzerne en renferme $7000 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ M.S.

A Arcachon, **les éléments de la flore les mieux pourvus sont les Zostères** : *Zostera noltii*, au printemps. Les concentrations observées sont assez voisines de celle citée pour la luzerne.

Les Algues rouges apparaissent ensuite comme les mieux pourvues, suivies des Phéophycées et finalement des Algues vertes. Prises dans leur ensemble, les teneurs en Phosphore sont moitié moindres de celles des Zostères.

CONCLUSIONS SUR LES ALGUES ET LES ZOSTÈRES D'ARCACHON

Au cours du développement, nous avons assez souvent évoqué les concentrations en éléments du contexte pédologique environnant le Bassin. Le Tableau III, dans un souci de synthèse, réunit donc ces concentrations. Il comporte en regard les fourchettes de teneurs observées chez les divers végétaux. Les limites de détection, ainsi que

Tabl. III. – Comparaison éléments-traces des végétaux du Bassin d'Arcachon-contexte pédologique correspondant (concentrations en $\text{mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ de matériau sec.)

Trace-elements in Arcachon-lagoon flora (algae & phanerogams) and in the soil-context : a comparison (Concentrations in $\text{mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$, dry matter).

Eléments	Rb	Sr	Zr	Cr	Ba	Th	Ci	Br	Nb	Cs	U
Limite de détection ($\mu\text{g/g}$)	4	4	30	2	20	1	100	30	1	1	1
SOLS LANDAIS en $\mu\text{g/g}$	21	36	56	15	229	4	*	86	8	*	3
ALGUES en $\mu\text{g/g}$	66-174	268-4143	5-126	13-44	22-82	1-31	1066-92026	1518-119403	15-33	3-10	1-12
ZOSTERES en $\mu\text{g/g}$	69-76	620-1034	13-18	1-18	0	0	5126-69727	1317-2739	16-19	2-12	2-6
Ecart-type relatif en %	10	10	18	8	19	8	19	8	11	12	8
Eléments	Pb	Cu	Zn	Ga	As	S	Co	Ni	Sn	P	*
Limite de détection ($\mu\text{g/g}$)	4	4	2	1	2	30	1	2	1	80	*
SOLS LANDAIS en $\mu\text{g/g}$	5	57	16	5	2	4	1	6	*	*	*
ALGUES en $\mu\text{g/g}$	5-38	5-29	57-330	1-13	5-258	18537-91096	2-9	8-25	5	1716-3802	*
ZOSTERES en $\mu\text{g/g}$	4-22	3-18	79-463	1-7	0	12248-18054	0-17	11-22	0	5018-7645	*
Ecart-type relatif en %	7	7	7	12	10	15	10	10	9	15	*

l'écart-type relatif, en %, pour chaque élément, y sont rappelées.

Par ailleurs, pour les différentes catégories d'éléments, il se dégage les points suivants :

1. *Eléments Lithophiles*

Rubidium : Dosage très significatif tant chez les Algues que chez les zostères. Aucun effet saisonnier n'a pu être noté. La concentration maximum est observable chez *Polysiphonia sp.*. Les végétaux du Bassin, bien qu'exploitant un substrat mal pourvu, sont plus riches (minimum $66 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ M.S.) que les plantes terrestres (environ $2 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ M.S.)

Strontium : Dosage toujours très significatif. Cet élément est très bien représenté chez les Algues brunes. Aucun effet saisonnier ne se manifeste.

Zirconium : Dosage NON significatif, donc seulement indicatif. Le Zirconium se fixe sur les Algues plutôt au printemps. Concentration assez constante chez les Algues brunes.

Chrome : Dosage très significatif. Les Algues sont sensiblement plus riches que les Zostères (assez souvent facteur 2). Les concentrations tendent à être plus élevées en automne, mais toutefois il y a peu de différences entre les deux saisons. Ces concentrations sont comparables à celles de plantes terrestres, mais poussant toutefois sur des sols enrichis en Chrome et en Nickel. Elles sont supérieures à celles observées dans la mer du Japon, où l'on trouve par exemple : $3 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ M.S. chez *Ulva* et $8 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ M.S. chez *Zostera*.

Baryum : Dosage non très significatif, le plus souvent, car les concentrations sont trop faibles, trop proches du seuil de détection, voire même assez souvent nulles. Les environnements sédimentaire et pédologique sont pourtant ici plutôt riches en Baryum, élément que les végétaux étudiés ne paraissent pas fixer.

Certaines des données sont cependant, au contraire, tout à fait significatives : c'est le cas pour les Algues vertes *Bryopsis sp.* (toute l'année), *Enteromorpha sp.* et l'Algue rouge (au printemps seulement), ainsi que *Fucus sp.* (Phéophycée) en automne. *Les Algues qui renferment du Baryum, sont les mêmes que celles bien pourvues en Plomb.* On ne note par contre pas du tout de Baryum chez les Zostères.

Thorium : Seule *Polysiphonia sp.* en renferme, et d'ailleurs un peu plus en automne. On remarquera que c'est aussi cette Algue rouge qui – de tous les végétaux étudiés ici – est la plus riche en Brome (11 à 12 %). Il faut se rappeler que le Thorium est précisément l'un des éléments capables de se complexer avec le Brome. La corrélation entre les deux éléments est justement de 0,99.

Par contre, il n'y pas du tout de Thorium chez les Zostères, tout au moins au niveau des feuilles qui sont les seules parties végétatives que nous ayons analysées.

Chlore : Les concentrations sont le plus souvent largement plus élevées au printemps. Ceci est particulièrement vrai chez les Algues brunes et rouges, ainsi que chez les Zostères. Seules les Chlorophycées, tendent à présenter des concentrations plus élevées en automne.

Brome : Tous les végétaux étudiés ici en renferment, surtout les Algues, mais les zostères aussi.

Certaines Algues rouges sont très enrichies, jusqu'à 12 % de Brome chez *Polysiphonia sp.*. Aucun effet saisonnier net n'a pu être noté, sauf chez les zostères, plus enrichies en automne.

Niobium : Les dosages sont très significatifs, puisque les concentrations se situent entre 15 et $33 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ M.S., alors que le seuil est seulement de $1 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ M.S. Cet élément est toujours présent, aux deux saisons (bien qu'un peu plus élevé en automne). Tant chez les zostères que chez les Algues, les concentrations demeurent du même ordre.

Césium : Il est assez souvent absent. Dans le cas contraire, il est difficile de trouver à cet élément des variations cohérentes. Il est présent chez les Algues vertes, plutôt au printemps. La concentration maximale (tous végétaux confondus), n'est observée qu'au printemps chez *Zostera noltii*.

Uranium : Le maximum est observé chez les Algues brunes, où la concentration demeure d'ailleurs constante chez les *Fucus sp.*. L'Uranium est pratiquement absent des Algues rouges. Les zostères ne se distinguent pas des Algues.

Iode : Les Algues sont plus enrichies que les Zostères (d'un facteur 2 à 3). Il est à noter que, des deux Phanérogames, pour la première fois, c'est *Zostera marina* qui est la plus minéralisée.

2. *Eléments Chalcophiles*

Plomb : Conformément à un fait bien connu par ailleurs, il est très peu absorbé par les Algues, ou même pas du tout, à l'exception des Algues vertes. Il est vrai qu'ici, le contexte pédologique ambiant est mal pourvu : $5 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ M.S., contre $50 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ M.S. dans l'ensemble des sols aquitains. Ce fait est sans doute à mettre en relation avec l'extrême pauvreté des sols sableux, propriété due à leur lixiviation (podzolisation). Quant au sédiment, il en renferme $32 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ M.S.

Malgré cela, les Zostères se montrent cependant capables de concentrer le Plomb, de manière tout à fait comparable aux Algues vertes.

Cuivre : Toutes les plantes étudiées en fixent, sauf *Sargassum sp.* (Algue brune), et l'Algue rouge *Gracilaria sp.*. On notera que cette dernière représente par ailleurs l'Algue la plus riche en Manganèse. Or cet élément est réputé limiter l'absorption de Cuivre. Ici, ceci semble se produire, bien que le contexte pédologique soit bien pourvu en Cuivre. C'est *Ulva sp.* qui présente la concentration la plus élevée. Si *Polysiphonia sp.* est un peu moins enrichie, par contre sa concentration en Cuivre demeure pratiquement constante aux deux saisons. Par ailleurs, les concentrations observées sont de même amplitude chez les Algues et les Zostères. Les Zostères paraissent mieux fixer le Cuivre au printemps, les Algues plutôt en automne.

Zinc : Il est constant chez *Polysiphonia sp.*, quelle que soit la saison. C'est également chez ce genre que l'on trouve l'une des concentrations les plus élevées observables chez les Algues (le maximum est observé chez *Fucus sp.*). De toutes manières, chez Algues et Zostères, c'est toujours au printemps que les concentrations sont les plus élevées. Des deux genres de Zostères récoltées, c'est une fois encore *Zostera noltii* qui est la mieux minéralisée.

Gallium : Son seuil de détection, n'étant que de $2 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ M.S., les dosages sont très significatifs, même si les concentrations ne sont cependant pas très élevées. Le maximum, $13 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ M.S., est observé chez les Algues rouges.

Arsenic : Phéophycées et Rhodophycées le concentrent, et même en assez fortes proportions, surtout en ce qui concerne les Sargasses.

Les Zostères, dans le même contexte, ne fixent par contre pas du tout d'Arsenic.

Soufre : Aucun effet saisonnier net ne se manifeste en général. Certaines Algues, tant vertes que rouges, et l'ensemble des brunes, demeurent pratiquement sans variations sensibles entre les deux saisons.

Par contre, chez les Zostères, c'est en automne que le Soufre est fixé au maximum.

3. Eléments Sidérophiles

Cobalt : Il est le plus souvent absent de la flore algale. Lorsqu'il est présent, c'est au printemps, mais en concentrations de toutes façons très limitées. Il est présent, à cette même saison, chez les Zostères, où l'on trouve le maximum observable. C'est une fois encore *Zostera noltii* qui se montre la mieux minéralisée.

Nickel : Il offre des niveaux comparables chez Algues et Zostères. Les teneurs étant assez semblables aux deux saisons, le facteur saisonnier est

donc sans influence. Des Zostères étudiées, c'est *Zostera noltii* qui le fixe le mieux.

Etain : Il n'est présent que chez une Rhodophycée, et seulement en automne.

Phosphore : Si tous les végétaux en renferment, parmi les Algues, ce sont les Rhodophycées qui se montrent les plus enrichies. Les Zostères sont très sensiblement plus riches (d'un facteur 2) que les Algues les mieux pourvues.

BIBLIOGRAPHIE

- ALZIEU C., 1979. Présence de métaux lourds dans le Bassin d'Arcachon. Teneurs trouvées dans les huîtres. In : Ministère de l'Environnement (Rédacteur), Réseau National d'Observation de la Qualité du Milieu Marin. 1979.
- ALZIEU C., M. HERAL, Y. THIBAUD, M.J. DARDIGNAC et M. FEUILLET, 1982. Influence des peintures antisalissures à base d'organostanniques sur la calcification de la coquille de l'huître *Crassostrea gigas*. *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.* **45** (2) : 101-116.
- AUGIER J. et P. MASTAGLI, 1956. Sur un composé phénolique bromé extrait de l'algue rouge *Halopitys incurvus*. *C.R. Acad. Sc. Paris* **242** : 190-192.
- BOND A.M., J.R. BRADBURY, H.A. HUDSON, J.S. GANHAM, P.J. HANNA and S. STROTHER, 1985. Kinetic studies of lead (II) uptake by the seagrass *Zostera muelleri* in water by radiotracing, atomic absorption spectrometry and electrochemical techniques. *Mar. chemist.* **16** : 1-9.
- BRAULT D., X. BRIAND et P. GOLVEN, 1988. Les marées vertes. In : Valorisation des algues et autres végétaux aquatiques (VALVA). Colloque Bombannes, 16-19 Nov. 1982 R. Delepine, J. Gaillard, Ph. Morand édit. C.N.R.S./IFREMER. Publ. Fr. : 87-90.
- BROOKS R.R. and RUMSBY M.G., 1965. The biogeochemistry of trace element uptake by some New-Zealand bivalves. *Limnol. Oceanogr.* **10** : 521-527
- BROOKS R.R. and I.R. KAPLAN, 1972. Biogeochemistry : 74-82 in Fairbridge (p. 76).
- CAMLONG S. et L. GENEVOIS, 1931. Sur la constitution minérale des chlorophycées marines. II. Université de Bordeaux et Société Scientifique d'Arcachon. *Bull. station biol. Arcachon* **27** : 209-221.
- CARRUESCO C., P.J. LABOURG, Y. LAPAQUELLE-RIE et D. PRUNIER, 1982. Impact of Zinc and Tin in the interstitial environment of a lagoon ecosystem : the Arcachon bay (France). *Int. Symp. Utilisation of coastal ecosystems : Planning, Pollution and Productivity. Rio Grande, R.S. Brazil-Atlantica (Abs.)*, **5** (2) : 23-24.
- CARRUESCO C., P.J. LABOURG, Y. LAPAQUELLE-RIE et D. PRUNIER, 1986. Impact des métaux lourds sur un environnement lagunaire : le Bassin d'Arcachon. *Bull. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine, Bordeaux* **39** : 85-93.

- DISSANAYAKE C.B., 1984. Metals in algal mats. A geochemical study from Sri-Lanka. *Chemic. Geol.* **47** (3/4) : 303-320.
- DIXON J.B. and J.I. WEAR, 1964. X-ray spectrographic analysis of Zinc, Manganese, Iron, and Copper in plant tissue. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* **28** (6) : 744-746.
- DUMON J.C., 1972. Résultats du fractionnement de la matière organique humifiée extraite de sédiments fluviaux, lagunaires et marins. *Bull. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine*, Bordeaux **12** : 15-23, 2 fig., 2 tabl.
- DUMON J.C., Y. LAPAUQUERIE, C. LATOUCHE, 1973. Sur la présence et l'origine pédologique possible des ilménites de la zone du Pyla (Gironde). *C.R. Acad. Sci. Paris*, **276** : 889-892, 1 fig., 1 tabl.
- DUMON J.C., 1975a. Action d'acides organiques divers sur un minéral titané. Comparaison de leur pouvoir d'extraction du titane avec celui d'acides minéraux. *Bull. Inst. Géol. Bassin Aquit.*, Bordeaux **17** : 95-100, 1 tabl.
- DUMON J.C., 1975b. Solubilisation du titane du rutile sous l'action de l'acide oxalique. *Bull. Inst. Géol. Bassin Aquit.*, Bordeaux **18** : 13-17, 1 fig., 1 tabl.
- DUMON J.C., 1978. Caractéristiques de quelques profils pédologiques de la Grande lande. *Bull. Inst. Géol. Bassin Aquit.*, Bordeaux **24** : 147-178, 22 fig., 15 tabl.
- DUMON J.C., 1981. Comportement du Titane dans les phénomènes d'altération et de sédimentation sous différents climats. Esquisse d'un cycle biogéochimique. Thèse Doctorat d'Etat. Université de Bordeaux I, n° 718, 296 p., 50 tabl., 63 fig., 10 pl. photos, 23 p. d'annexes.
- DUMON J.C., 1986. Environnement pédologique du Bassin d'Arcachon et des lacs landais : Eléments majeurs, mineurs et traces des podzols des Landes de Gascogne et du Médoc. Données préliminaires. *Bull. Inst. Géol. Bassin Aquit.*, Bordeaux **39** : 117-134, 7 fig., 5 tabl., h.t.
- DUMON J.C., et Y. LAPAUQUERIE, 1991. Constituants majeurs des Algues et Phanérogames marines du Bassin d'Arcachon (façade méridionale Atlantique de la France). *Vie Milieu* **41** (2/3) : 81-86.
- DUMON J.C., et Y. LAPAUQUERIE. Les éléments métalliques des divers grands types de sols du bassin versant de la Garonne. A paraître.
- EIDE I. and S. MYKLESTAD, 1980. Long-term uptake and release of heavy metals by *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jol (Phaeophyceae) *in situ*. *Environ. Pol.* (Series A) **23** : 19-28.
- EL-GOHARY A., S.A. SHEHATA and R.W. LASHEEN, 1983. Fate and effect of copper in algal pond. Heavy metals in the Environment. Internat Conf. Heidelberg **1** : 500-503.
- EL-SHOUBAGY, A. WALLACE and W.L.BERRY, 1989. Some interacting effects of sodium chloride, excess Copper, low phosphorus and polyethylene glycol on barley. *Soil Science* **147** (6) : 432-435.
- EPPLEY R.W., 1962. Major cations. Part I. : 255-266. In : LEWIN R.A. Physiology and Biochemistry of algae.
- EVERARD M. and P. DENNY, 1985. Flux of lead in submerged plants and its relevance to a freshwater system. *Aquatic Botany*. **21** : 181-193.
- FAIRBRIDGE R.W., 1972. The Encyclopedia of geochemistry and Environmental Sciences. Encyclopedia of earth sciences series. vol. IV. A, 1 321 p. R.W. Fairbridge Ed. Van Nostrand Reinhold Company, New York, Cincinnati, Toronto, London, Melbourne.
- FELDMANN J., 1961. Sur quelques problèmes biochimiques posés par l'étude cytologique des Algues rouges. Colloques internationaux du C.N.R.S. N° 103 : Chimie et physicochimie des principes immédiats tirés des algues. Dinard 20-25 Sept. 1960.
- FRIED M., G. HAWKES and W.Z.MACKIE, 1959. Rubidium-Potassium in the soil plant system. *Soil Science Soc. Proceedings* **23** (5) : 360-362.
- GENAUD P. et L.GENEVOIS, 1930. Sur la constitution minérale de quelques chlorophycées marines. Univ. Bordeaux Soc. Sci. d'Arcachon. *Bull. stat. biol. Arcachon* **27** : 21-28
- GOLDSCHMIDT V.M., 1956. Geochemistry, London, Oxford, University Press. 730 p.
- GRYZHANKOVA L.N., N.V. LAKTIONOVA, Ye.A. BOYCHENKO and A.V. KARYAKIN, 1973. Distribution of polyvalent metals in different types of algae. Oceanology of the Academy of Sciences of the USSR. **13** (4) : 502-505 (Traduction de *Okeanologia*. 611-614).
- GSCHWEND P.M., J.K. MacFARLANE and K.A. NEWMAN, 1985. Volatile halogenated organic compounds released to seawater from temperate marine Macroalgae. *Science* **227** : 1033-1035.
- HARRIS J.E., G.J. FABRIS, P.J. STATHAM and F. TAWFIK, 1979. Biogeochemistry of selected metals in Western Port, Victoria, and use of Invertebrates as indicators with emphasis on *Mytilus edulis planulatus*. *Austr. J. Mar. Freshw. Res.* **30** : 159-178.
- HARRISON S.J., N.W. LEPP and D.A. PHIPPS, 1983. Copper uptake by excised roots. III. Effect of Manganese on copper uptake. *Intern. J. Plant Physiol.* **109** (4) : 285-289.
- HAUG A. and O. SMIDSRØD, 1967. Strontium, Calcium and Magnesium in Brown Algae. *Nature* **215** : 1167-1168.
- HORR C.A., 1959. A survey of analytical methods for the determination of Strontium in natural water. *Geological Survey water supply*. Paper 1496. A. United States Government Printing Office, Washington : 7 fig., 5 tabl. h.t.
- HUISKES A.H.L., C.W.P.M. BLOM and J. ROZEMA, 1987. Vegetation between land and sea. Dr. W. Junk Publishers. Dordrecht. Boston. Lancaster. Printed in the Netherlands.
- JOSHI A.J.M., ENGERHART, M.WICKERN, and S.W. BRECKLE, 1987. Seasonal changes in the trace-metals insalt marsh Angiosperms. *J. Plant. Physiology*. **128** : 173-177.
- JUSTE C., 1965. Contribution à l'étude de la dynamique de l'aluminium dans les sols acides du Sud-Ouest atlantique : application à leur mise en valeur. Thèse Ing. Doct., Nancy n° 427, I.N.R.A., 1966, 143 p., 27 fig., 39 tabl.

- LEWIN R.A., 1962. Physiology and Biochemistry of Algae. p. 929. Academic Press. 1962. New-York, London.
- LYNGBY J.E., 1989. Biomonitoring and ecotoxicity studies of heavy metals leached from power plant cooling water systems. Heavy metals in the environment. Intern. Conf. Vol. 1, Geneva. Sept. 1989. p. 205-208.
- MASON B., 1956. Principles of Geochemistry. New-York, John Wiley and Sons.
- MENZEL R.G., 1954. Competitive uptake by plants of Potassium, Rubidium, Cesium, and Calcium, Strontium, Barium from soils. *Soil Science* **77** (6).
- MENZEL R.G. and W.R. HEALD, 1959. Strontium and Calcium contents of crop plants in relation to exchangeable Strontium and Calcium of the soil. *Soil Sci. Soc. America Proceed.* **23** : 110-112.
- MICHEL A. et J. BENARD, 1964. Gallium : p. 317-320, in Chimie Minérale-Généralités et études particulières des éléments. 730 p., 333 fig. et tableaux. Masson et Cie-Éditeurs, Paris.
- MOORE W.S. and S.K. SWAMI, 1972. Thorium : element and geochemistry. p. 1183-1188. In Fairbridge.
- MOSSER C., 1980. Etude géochimique de quelques éléments-traces dans les argiles des altérations et des sédiments. Thèse d'Etat. n° 63. Strasbourg, 229 p.
- MYKLESTAD S., I. EIDE and S.MELSON, 1978. Exchange of heavy metals in *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jol. *In situ* by means of transplanting experiments. *Environm. pollut.* **16** : 277-284.
- NICOLINI P., 1970. Gîtologie des concentrations minérales stratiformes. Gauthier-Villars Ed. Paris.
- PARRIAUD H., 1975. Recherches phytoécologiques sur le Bassin d'Arcachon : les ceintures de végétation et leur relation avec les marées. *Le Botaniste, Série* **57** : 167-312, 10 Tabl.
- RAGAN M.A., O. SMIDSRD and B. LARSEN, 1979. Chelation of divalent metal ions by brown algal polyphenols. *Mar. Chemist.* **7** : 265-271.
- RAMIREZ M., A. ARECES and H. GONZALEZ, 1985. Trace-metal concentrations in seaweeds Cuban's shores *Heavy-metals*. Vol. 2. Athens, Sept. 1985, p. 271-273.
- REED R.H. and S. DARRIG, 1983. Physiological responses of ship-fouling and non-fouling isolates of *Enteromorpha compressa* to copper. Heavy metals in the Environment. Internat Conf. Heidelberg Vol. 1 : 322-325.
- RILEY and CHESTER, 1971. Introduction to marine chemistry. Academic Press. London and New-York.
- ROBINSON W.O. and R.F.DEVER, 1956. Composition of soils, peats, and plants associated with cattle malnutrition. *Soil Science* **82** : 275-285.
- R.N.O. (Réseau National d'Observation pour la Qualité du milieu marin). Recueil d'observations : Campagnes 1979-1980-1981. Point d'appui n° 16, Bassin d'Arcachon. *Annales R.N.O.* 172 p. 151 p. et 113 p. Ministère de l'Environnement du Cadre de vie.
- SALOMONS W. and U. FÖRSTNER, 1984. Metals in the hydrocycle. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg, New-York, Tokyo.
- SEIDEL S.L., V.F. HODGE and E.D. GOLDBERG, 1980. Tin as an environmental pollutant. *Thalass. J. J. Geol.* **16** : 2-4 : 209-223.
- SHAW W.H.R., 1960. Studies in biogeochemistry-I. A biogeochemical periodic table. The data. - II. Discussion and references. *Geoch. Cosmochim. Acta*, London, **19** (3) : 196-215.
- SIMON R., 1974. Etude minéralogique de quelques formations détritiques d'Aquitaine. Thèse Univ. Bordeaux I.
- SOANE D. and D.H. SAUNDER, 1959. Nickel and Chromium toxicity of serpentine soils in Southern Rhodesia. *Soil Science* **88** : 322-330.
- SUESS M.J. and R.B. DEAN, 1985. Health risks of heavy metals in sewage sludge applied to land. *Heavy metals*. Athens **1** : 333-335.
- SZALAY A., 1964. Cation exchange properties of humic acids and their importance in the geochemical enrichment of UO_2^{++} and other cations. *Geoch. Cosmochim. Acta* : 1605-1614.
- TAYLOR S.R., 1964. Abundance of chemical elements in the continental crust : a new table. *Geoch. Cosmochim. Acta* **28** : 1273-1285.
- VINOGRADOV A.P., 1953. The elementary chemical composition of marine organisms. n° II. Memoir Sears Foundation for marine research. Yale University, New Haven, 674 p.
- VLAMIS J., D.E. WILLIAMS, K. FONG, AND J.E. COREY, 1978. Metal uptake by barley from field plots fertilized with sludge. *Soil Science* **126** (1) : 49-55.
- WALKER W.M., J.E. MILLER, and J.J. HASSETT, 1977. Effect of Lead and Cadmium, upon the Calcium, Magnesium, Potassium and Phosphorus concentration in young corn plants. *Soil Science* **124** (3) : 145-151.
- WASSERMAN J.C., 1990. Les cycles du Zn, du Cu, du Fe et du Mn dans le Bassin d'Arcachon (Côte Atlantique française) : L'importance des herbiers à *Zostera noltii*. Hornemann. Thèse Doct. Univ. Bordeaux I. 263 p.
- WILSON S.H. and M. FIELDES, 1942. Studies in spectrographic analysis. II. Minor elements in seaweed (*Macrocystis pyrifera*). *N.Z.J. Sci. Tech.* **23** B : 47.

Reçu le 3 janvier 1994 ; received January 3, 1994
 Accepté le 4 mars 1994 ; accepted March 4, 1994

CHANGEMENTS À LONG TERME DANS LES ÉCOSYSTÈMES MARINS : MÉTHODES D'ANALYSE, ÉTUDES DE CAS ET COMPARAISONS INTER-SITES

LONG-TERM CHANGES IN MARINE ECOSYSTEMS : METHODS OF ANALYSIS, CASE STUDIES AND BETWEEN-SITE COMPARISONS

Colloque International

Arcachon, France

1-3 février 1995

International Conference

Arcachon, France

1-3 February 1995

Thème : Les écosystèmes marins possèdent une variabilité qui leur est propre. Dans le domaine côtier, leur dynamique est aussi influencée par les activités humaines. Une question cruciale se pose alors : comment séparer la variabilité naturelle des écosystèmes marins des changements d'origine anthropique ? L'objectif de ce colloque est de réunir sur cette question des spécialistes de l'écologie marine et de l'analyse numérique. Il s'agira en outre de mettre en valeur des séries chronologiques existantes insuffisamment exploitées et qui pourraient apporter des éléments de réponse par l'intermédiaire de comparaisons inter-sites. Les contributions viseront 1) à déterminer, au travers d'études de cas, l'influence respective des processus biologiques, du climat, et des facteurs anthropiques sur la dynamique à long terme des communautés biologiques marines, et 2) à identifier, par des méthodes statistiques, les tendances, les périodicités, et les facteurs explicatifs de cette dynamique.

Les contributions prendront en compte les aspects suivants :

- séries chronologiques (≥ 10 ans) portant sur les populations ou les communautés naturelles appartenant au plancton, au necton ou au benthos ; comparaisons de peuplements effectuées à intervalle de plusieurs décennies
- évolution à long terme des variables abiotiques (en particulier, les données climatologiques à l'échelle locale ou régionale) dans la mesure où celles-ci permettent d'expliquer l'évolution des écosystèmes étudiés
- milieux non perturbés, milieux perturbés par action anthropique, ou milieux modifiés naturellement, qu'ils soient côtiers ou océaniques
- études intra-sites ou comparaisons inter-sites
- méthodes et outils statistiques en privilégiant les liaisons entre numériques et pratiques
- modèles explicatifs et, si possible, prédictifs.

Langue : anglais (de préférence) et français.

Colloque organisé à l'initiative du groupe « Séries à long terme » du Programme National d'Océanographie Côtière (PNOC), soutenu par l'IFREMER, l'INSU (CNRS) et par : Centre d'Océanographie et Biologie Marine, Université de Bordeaux I, Arcachon, France.

Adresse du Secrétariat Scientifique :

Dr. G. Bachelet, Dr. J. Castel, Laboratoire d'Océanographie Biologique, Centre d'Océanographie et de Biologie Marine, Université de Bordeaux I, 2 rue du Professeur Jolyet, 33120 Arcachon, France. Téléphone : +33 56 83 10 22/Fax : +33 56 83 51 04

Topics : Marine ecosystems display intrinsic variability. For several decades, however, their dynamics has also been influenced by man's activities, especially in coastal areas. A crucial question thus arises both for scientists and environmental managers alike : how can the natural variability of marine ecosystems be distinguished from man-induced changes ? The objective of the present conference is to focus attention of both marine ecologists and statisticians on this special question. Moreover, this conference will provide an opportunity to valorize some chronological series which have been so far insufficiently analysed and which could be of interest for between-site comparisons. The contributions will aim (1) through case studies, to assess the respective influence of biological processes, climate, and anthropic factors on the long-term dynamics of marine communities, and (2) to identify, by appropriate statistical methods, the trends, periodicities, and factors explaining this dynamics.

Papers are invited to deal with the following topics :

- chronological series (≥ 10 years) of data on natural populations or communities from the plankton, nekton, or benthos ; alternatively, comparisons made at intervals of several decades
- long-term evolution of abiotic variables (e.g. climatic data at a local or regional scale) in so far as they may explain the evolution of the ecosystems under study
- undisturbed as well as man-disturbed or naturally-modified, coastal or oceanic environments
- within-site studies or between-site comparisons
- statistical methods and tools
- explanatory and, if possible, predictive models.

Language : English (preferably) and French.

This Conference is organized on the initiative of the "Long-term Series" Group within the French National Programme of Coastal Oceanography (PNOC), supported by IFREMER and INSU (CNRS), and by Centre d'Océanographie et Biologie Marine, Université de Bordeaux I, Arcachon, France.

Address of the Scientific Secretariat :

Dr. G. Bachelet, Dr. J. Castel, Laboratoire d'Océanographie Biologique, Centre d'Océanographie et de Biologie Marine, Université de Bordeaux I, 2 rue du Professeur Jolyet, 33120 Arcachon, France. Telephone : +33 56 83 10 22 / Fax : +33 56 83 51 04

Organizing Committee :

Drs Guy Bachelet & Jacques Castel, CNRS, Arcachon
Dr. Jean-Claude Dauvin, MNHN, Paris
Dr. Frédéric Ibanez & Prof. Paul Nival, Université Paris 6 & Villefranche-sur-Mer