

INSTITUT SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE
DES PECHES MARITIMES
La Noë - Route de la Jonelière

B. P. n° 1049

44037 NANTES CEDEX

IPM.3 Pollutions



ETUDE DE LA TOXICITE DE L'EFFLUENT TIOXIDE

VIS-A-VIS D'ORGANISMES MARINS

par

Patrick LASSUS et Pierre MAGGI

Nantes, le 19 décembre 1973

INSTITUT SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE
DES PECHES MARITIMES

La Noë - Route de la Jonelière

B. P. n° 1049

44037 NANTES CEDEX

IPM.3 Pollutions

ETUDE DE LA TOXICITE DE L'EFFLUENT TIOXIDE

VIS-A-VIS D'ORGANISMES MARINS

par

Patrick LASSUS et Pierre MAGGI

Nantes, le 19 décembre 1973

S O M M A I R E

ETUDE DE LA TOXICITE DE L'EFFLUENT TIOXIDE VIS-A-VIS D'ORGANISMES MARINS

I - GENERALITES.....	1
II - ETUDE DE LA TOXICITE AIGUE.....	5
A - Toxicité directe sur différents organismes benthiques et nectoniques	5
1 - Méthode expérimentale	5
2 - Résultats et discussion	6
a) Mollusques	6
b) Crustacés et poissons	6
B - Toxicité directe sur différents organismes plancto- niques	8
1 - Artemia salina	8
2 - Espèces phytoplanctoniques	10
a) Choix des espèces	11
b) Résultats et discussion	11
c) Conclusion	14
III - ETUDE DE LA TOXICITE INDUITE	17
1 - Méthodes de dosage	18
2 - Résultats généraux	18
a) Pesées des épinoches	18
b) Teneurs en métaux	19
3 - Discussion et résultats	19
IV - ETUDE D'ECHANTILLONS PRELEVES A UNE DISTANCE VARIABLE DE LA SORTIE DE L'EMISSAIRE.....	20
V - CONCLUSIONS GENERALES	22

ETUDE DE LA TOXICITE DE L'EFFLUENT TIOXIDE

VIS-A-VIS D'ORGANISMES MARINS

par

Patrick LASSUS et Pierre MAGGI

- - - - -

I - GENERALITES

Nous avons reçu au mois de mai 1973 un échantillon du rejet sous sa forme brute.

Cet échantillon est séparé en deux phases : un surnageant limpide de couleur verte et un fin précipité blanc. Rendu homogène, il laisse décanter le précipité en 30 minutes environ.

Les tests ont été réalisés à partir du surnageant acide, dont le pH est voisin de 0,4.

Nous avons dosé, par colorimétrie, la teneur en titane de ce surnageant ; les concentrations en fer, zinc, cuivre, cadmium, mercure et plomb ont été déterminées par dosage spectrophotométrique d'absorption atomique. Les résultats sont donnés dans le tableau 1.

Nous avons réalisé, pour chaque test, une série de dilutions ; elles sont reproduites dans le tableau 2 accompagnées des pH et des teneurs en fer correspondantes.

./.....

Fer	4350	ppm
Titane	575	ppm
Zinc	4,5	ppm
Plomb	3,3	ppm
Cuivre	0,35	ppm
Cadmium	0,20	ppm
Mercure	< 0,0005	ppm

Tableau 1 : Composition de l'effluent Tioxide d'après nos dosages.

DILUTIONS	TENEURS EN FER (mg/l)	pH AU TEMPS 0
1/10 000	0,45	7,4
1/ 5 000	0,85	7,0
1/ 3 000	1,40	6,8
1/ 2 000	2,05	6,6
1/ 1 000	4,35	6,1
1/ 500	8,75	4,9
1/ 250	17,50	2,8

Tableau 2 : Teneurs en fer et pH correspondants des dilutions en eau de mer de l'effluent.

./.....

Afin de faire la part entre la toxicité propre au pH bas et celle pouvant être attribuée à la charge en métaux, nous avons testé lorsque c'était possible les effets d'une solution acide de référence aux mêmes pH que l'effluent dilué.

Nous avons évalué la neutralisation progressive de l'effluent et d'une solution d'acide sulfurique diluée dans l'eau de mer. Ces résultats sont exprimés dans les tableaux 3 et 4.

		DILUTIONS DE L'EFFLUENT				
		1/250	1/500	1/1000	1/3000	1/5000
EVOLUTION DU pH EN 4 JOURS	0	2,8	4,9	6,1	6,6	6,8
	1	2,8	5,7	7,0	7,4	7,6
	2	2,8	6,0	7,5	7,8	7,9
	3	2,8	6,1	7,7	7,9	7,9
	4	2,8	6,2	7,7	7,9	7,9

Tableau 3 : Evolution du pH au cours du temps pour les différentes dilutions de l'effluent en eau de mer.

		DILUTIONS D'UNE SOLUTION N DE H ₂ SO ₄				
		N/100	N/200	N/300	N/400	N/500
EVOLUTION DU pH EN 4 JOURS	0	2,5	3,4	5,5	5,8	6,1
	1	2,5	3,4	6,5	6,8	7,2
	2	2,5	3,4	7,3	7,4	7,6
	3	2,5	3,4	7,4	7,6	7,7
	4	2,5	3,4	7,5	7,7	7,8

Tableau 4 : Evolution du pH au cours du temps pour les différentes dilutions d'une solution d'acide sulfurique 1 N, en eau de mer.

./.....

Les organismes testés sont issus de divers biotopes marins, tels que le benthos et le pelagos, ce dernier comprenant des individus représentant le plancton et le necton.

Nous avons ainsi utilisé :

- des mollusques : Mytilus edulis (moule)
Cardium edule (coque)
Gibbula umbilicalis (gibbule)
Purpura lapillus (pourpre)
Littorina littorea (bigorneau)

- des crustacés : Palaemonetes varians (crevette)
Clinabarius misanthropus (bernard l'ermite)

- des poissons : Gasterosteus aculeatus (épineche)
Anguilla anguilla (anguille)

- un organisme zooplanctonique : Artemia salina (artémie)

- des espèces phytoplanctoniques : Phaeodactylum tricornutum
Gyrosigma spencerii
Dunaliella tertiolecta
Isochrysis galbana

•/.....

A priori on peut envisager 3 causes de toxicité de l'effluent :

- l'acidité initiale dont la neutralisation est plus ou moins rapide,
- la charge en sulfate ferreux,
- la teneur en autres métaux.

L'ensemble de notre travail se décompose en 3 parties :

L'étude de la toxicité aiguë

- Toxicité directe sur différents organismes benthiques et nectoniques,
- Toxicité directe sur Artemia salina,
- Toxicité directe sur des cultures d'espèces phytoplanctoniques.

L'étude de la toxicité induite

- Accumulation de métaux par le phytoplancton,
- Accumulation de métaux par l'intermédiaire d'une chaîne pélagique.

L'étude d'échantillons prélevés à une distance variable de la sortie de l'émissaire.

II - ETUDE DE LA TOXICITE AIGUE

A - Toxicité directe sur différents organismes benthiques et nectoniques

1 - Méthode expérimentale

Les animaux testés ont été récoltés dans le milieu marin en des endroits non pollués. Ils ont été utilisés après 24 heures de stabulation.

Pour chaque dilution d'effluent nous avons utilisé 10 animaux placés dans 2 l de milieu contenu dans des cristallisoirs en verre de 4 l. Aucune nourriture n'était ajoutée au milieu, pendant les 4 jours d'expérience.

Une aération constante était assurée en permanence à l'intérieur des cristallisoirs.

Chaque jour, les individus morts étaient prélevés et comptabilisés après 48 et 96 heures.

./....

2 - Résultats et discussion

a) Mollusques :

Les pourcentages de mortalité, exprimés après 48 et 96 heures, sont réunis dans les tableaux 5 pour les dilutions de l'effluent et 6 pour l'acide sulfurique dilué.

Dans l'un et l'autre cas, les mollusques résistent bien à l'acidification du milieu sauf pour les valeurs les plus basses où se manifeste une certaine mortalité.

Des pH aussi bas que 2,5 , 2,8 et 3,4 ne montrent pas de nocivité importante. Il faut cependant remarquer que si ces valeurs de pH restent stables en eau de mer (cf. tableaux 3 et 4) ce n'est pas le cas lorsqu'on y ajoute des mollusques : on constate alors, en 4 jours, une évolution vers des valeurs voisines de 7,6. On comprend alors que ces animaux, qui peuvent s'isoler momentanément d'un milieu hostile, puissent supporter de telles conditions de milieu. Nous verrons que ce n'est pas le cas des crustacés et des poissons qui, à l'opposé, sont très sensibles à l'acidité du milieu.

b) Crustacés et poissons :

Le protocole expérimental reste identique, de même que l'expression des résultats. Nous avons groupés dans le tableau 7 les pourcentages de mortalité obtenus tant pour l'effluent dilué que pour la référence acide.

L'examen de ces résultats nous permet de constater tout d'abord que les résultats sont identiques pour l'effluent ou pour la référence acide : la mortalité est totale pour un pH de 2,8 (effluent) ou de 3,4 (acidité). Le pH initial de 4,9 , pour la dilution 1/500 de l'effluent, ne fait apparaître aucune mortalité et remonte progressivement à la valeur de 6,2 le 4ème jour (cf. tableau 3).

./.....

Espèces	Temps	1/5000	1/3000	1/2000	1/1000	1/500	1/250
Mytilus edulis	48 h	0	0	0	0	0	10
	96 h	0	0	0	0	0	90
Cardium edule	48 h	0	0	0	0	0	0
	96 h	0	0	0	0	0	50
Gibbula umbilicalis	48 h	0	0	0	0	0	100
	96 h	0	0	0	0	0	100
Purpura lapillus	48 h	0	0	0	0	0	100
	96 h	0	0	0	0	0	100
Littorina littorea	48 h	0	0	0	0	0	0
	96 h	0	0	0	0	0	0

Tableau 5 : Pourcentages de mortalité à 48 et 96 h pour différents mollusques exposés à des dilutions de l'effluent.

Espèces	Temps	DILUTIONS D'UNE SOLUTION N DE H ₂ SO ₄				
		N/500	N/400	N/300	N/200	N/100
Mytilus edulis	48 h	0	0	0	0	0
	96 h	0	0	0	0	0
Cardium edule	48 h	0	0	0	0	30
	96 h	0	0	0	20	60
Gibbula umbilicalis	48 h	0	0	0	0	0
	96 h	0	0	0	0	10
Purpura lapillus	48 h	0	0	0	0	0
	96 h	0	0	0	0	20
Littorina littorea	48 h	0	0	0	0	0
	96 h	0	0	0	0	0

Tableau 6 : Pourcentages de mortalité à 48 et 96 h pour différents mollusques exposés à des dilutions d'une solution 1 N d'acide sulfurique.

		E S P E C E S T E S T E E S							
		Palaemonetes		Clinabarius		Gasterosteus		Anguilla	
		varians		misanthropus		aculeatus		anguilla	
		48 h	96 h	48 h	96 h	48 h	96 h	48 h	96 h
TIOXIDE	1/5000	0	0	0	0	0	0	0	0
	1/3000	0	0	0	0	0	0	0	0
	1/2000	0	0	0	0	0	0	0	0
	1/1000	0	0	0	0	0	0	0	0
	1/500	0	0	0	0	0	0	0	0
	1/250	100	100	0	0	100	100	100	100
H ₂ SO ₄ 1 N	N/500	0	0	0	0	0	0	0	0
	N/400	0	0	0	0	0	0	0	0
	N/300	0	0	0	0	0	0	0	0
	N/200	100	100	0	0	100	100	100	100

Tableau 7 : Pourcentages de mortalité à 48 h et 96 h pour 2 crustacés et 2 poissons exposés à des dilutions de l'effluent et d'une référence acide.

Il ressort de tout ceci que, pour les poissons et les crustacés testés, le seuil faisant apparaître 50 % de mortalité est compris entre les dilutions 1/500 et 1/250 de l'effluent et est induit de façon prépondérante par l'acidité.

Notons que l'on observe aucune mortalité chez le bernard l'ermite qui se montre une espèce particulièrement résistante.

B - Toxicité directe sur différents organismes planctoniques.

1 - Artemia salina :

Le processus expérimental reste le même, excepté le volume des récipients : on comptait 2 récipients contenant 500 ml de milieu contaminé par dilution et 12 artémies adultes chacun.

./.....

Les résultats sont exprimés à la fois pour l'effluent dilué et pour la référence-acide, en pourcentages de mortalité à 48 et 96 h. C'est ce qui est représenté sur le tableau 8.

		E F F L U E N T D I L U E				
		1/250	1/500	1/1000	1/2000	1/3000
Teneur en fer (mg/l)		17,5	8,7	4,3	2,1	1,4
pH initial		2,8	4,9	6,1	6,6	6,8
Pourc. de mort.	48 h	100	71	20	5	5
	96 h	100	96	24	15	5
		S O L U T I O N H ₂ SO ₄ N D I L U E E				
		N/100	N/200	N/300	N/400	N/500
pH initial		2,5	3,4	5,5	5,8	6,1
Pourc. de mort.	48 h	100	100	25	0	0
	96 h	100	100	34	0	0

Tableau 8 : Pourcentages de mortalité à 48 et 96 heures d'*Artemia salina* pour différentes dilutions de l'effluent et de sa référence acide.

On constate que les dilutions minimales pour lesquelles aucune nocivité notable n'est observée correspondent au 1/3000 (pH 6,8 au temps 0 et 7,9 au 4ème jour) et N/400 (pH 5,8 au temps 0 et 7,7 au 4ème jour).

Par ailleurs en ce qui concerne l'effluent dilué, pour un pH initial égal à 6,1, nous observons 24 % de mortalité à 96 heures alors que pour des pH similaires (5,8 et 6,1) nous ne notons pas de toxicité de la solution diluée d'acide sulfurique.

Il semble donc que l'acidité seule est moins néfaste pour la survie d'A. salina que la même acidité obtenue par dilution de l'effluent.

./.....

Ainsi donc, l'examen de ces résultats démontrerait l'intervention d'un facteur supplémentaire dans les mortalités constatées ; en effet l'acidité ne semble pas être seule mise en cause. Ce facteur pourrait être le fer particulaire présent dans le milieu ; le rôle du fer en tant que gêne physique est confirmé par l'examen des individus morts qui présentent des particules ferriques sur leurs appendices ainsi que dans leur tractus digestif.

Par ailleurs, des tests de toxicité sur A. salina réalisés par WISELY et BLICK (1967) tendent à montrer d'une part une certaine tolérance aux pH bas (5,0) et, d'autre part une grande résistance à des métaux lourds (mercure, cuivre et zinc).

Notons que les teneurs correspondant aux DL_{50} trouvées par ces auteurs, pour ces différents éléments, sont très supérieures à celles que nous obtenons dans les dilutions les plus faibles de l'effluent testé.

Il semble donc que, dans l'état actuel de nos travaux, nous ne puissions pas affirmer l'influence des métaux lourds dans les mortalités d'A. salina et que nous soyons conduits à envisager une certaine importance du fer particulaire en tant que gêne physique.

Par ailleurs des effets synergiques, entre les divers métaux et l'acidité de l'effluent, ne sont pas à écarter.

2 - Espèces phytoplanctoniques :

Nous avons suivi la multiplication cellulaire de cultures entremises dans une salle isotherme dont la température ambiante est $20^{\circ} \pm 1^{\circ} C.$

Elles sont soumises à des périodes alternées, d'éclairement et d'obscurité, égales à 12 heures.

Les dilutions sont effectuées en eau de mer filtrée sur membrane Millipore de $0,22 \mu$ et enrichie en milieu E. S. PROVASOLI.

./.....

On ensemence 10 ml de dilution d'effluent par 0,5 ml d'un inoculum prélevé en cours de croissance exponentielle sur une souche stérile.

Le nombre de cellules présentes dans le milieu après ensemencement est voisin de 250 000 par ml.

Pour chaque expérimentation, on prépare 4 tubes par dilution et 6 tubes témoins.

La densité optique des cultures est mesurée, à 530 nm, tous les deux jours pendant huit jours.

La croissance cellulaire est exprimée par l'augmentation de la densité optique des cultures en fonction du temps.

On en déduit, pour les différentes dilutions d'effluent, les pourcentages de réduction de croissance par rapport aux cultures témoins, au bout de huit jours.

a) Choix des espèces.

Les quatre espèces phytoplanctoniques testées ont des caractères biologiques communs. Elles sont généralement euryhalines, thermophiles, et présentent une aire de répartition assez large. Nous avons retenu :

2 flagellés :

- Isocrysis galbana (4 x 8 μ) : classe des Haptophyceae, ordre des Isochrysidales ;
- Dunaliella tertiolecta : classe des Chlorophyceae, ordre des Volvocales ;

2 diatomées :

- Phaeodactylum tricornutum (13,2 x 29 μ) : classe des Bacillariophyceae, ordre des Bacillariales ;
- Gyrosigma spencerii : classe des Bacillariophyceae.

b) Résultats et discussion.

Les dilutions testées étaient de : 1/5000 - 1/3000 - 1/2000 - 1/1000 et 1/500.

•/.....

Les deux dernières dilutions, 1/1000 et 1/500, contenaient des teneurs en fer, respectivement de 4,35 et 8,75 mg/l, suffisantes pour entraîner la formation d'un faible précipité d'hydroxyde ferrique.

Des dilutions en eau de mer enrichie, mais sans inoculum, ont été effectuées, parallèlement aux mesures de densité optique des cultures, afin de corriger les excès de turbidité dus au précipité d'hydroxyde ferrique.

Après 8 jours de culture, les résultats obtenus sont rapportés dans la figure 1.

Nous constatons :

Phaeodactylum tricornutum :

Pas de différence significative dans la croissance entre le témoin et les dilutions : 1/5000 - 1/3000 et 1/2000.

Au 1/1000, on trouve une réduction de croissance de 26 % et au 1/500 de 71 %. La LD₅₀ est comprise entre 1/500 et 1/1000.

Gyrosigma spenceri :

De même, on ne trouve pas de différence significative entre le témoin et les dilutions : 1/5000 - 1/3000 et 1/2000.

En revanche, on note une diminution de croissance de 18 % au 1/1000 et 58 % au 1/500. Dans ce cas, la LD₅₀ serait voisine de 1/500.

Dunaliella tertiolecta :

Là encore, les réductions de croissance n'ont lieu qu'au 1/1000 = 19 % et au 1/500 = 50 %, dilution correspondant à la LD₅₀.

Isochrysis galbana :

Pas de différences significatives dans la croissance pour des dilutions du rejet plus grandes que 1/500. Cette dernière dilution provoque une réduction de 62 % par rapport à la croissance du témoin.

./.....

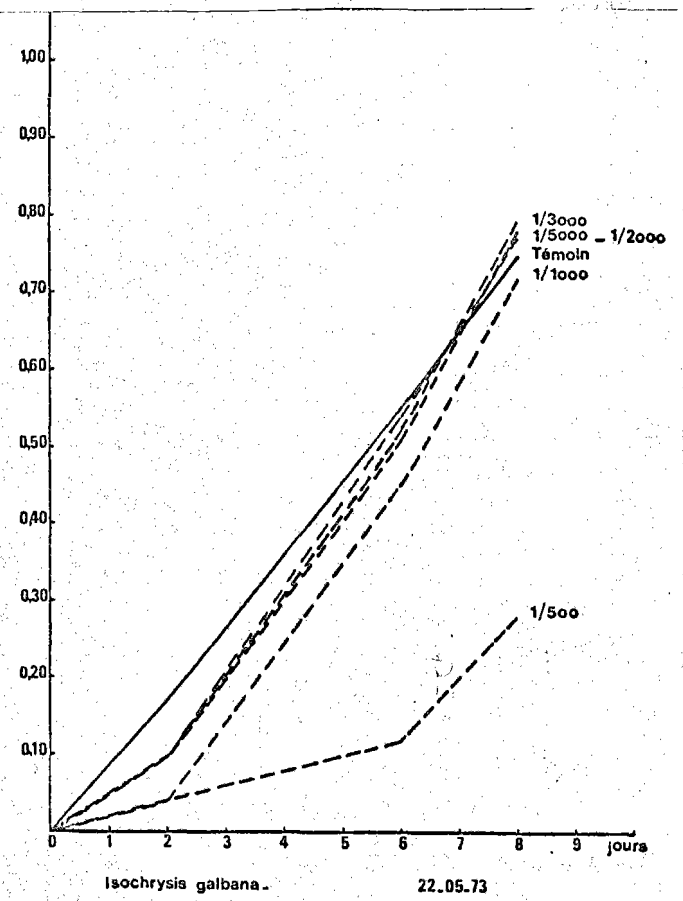
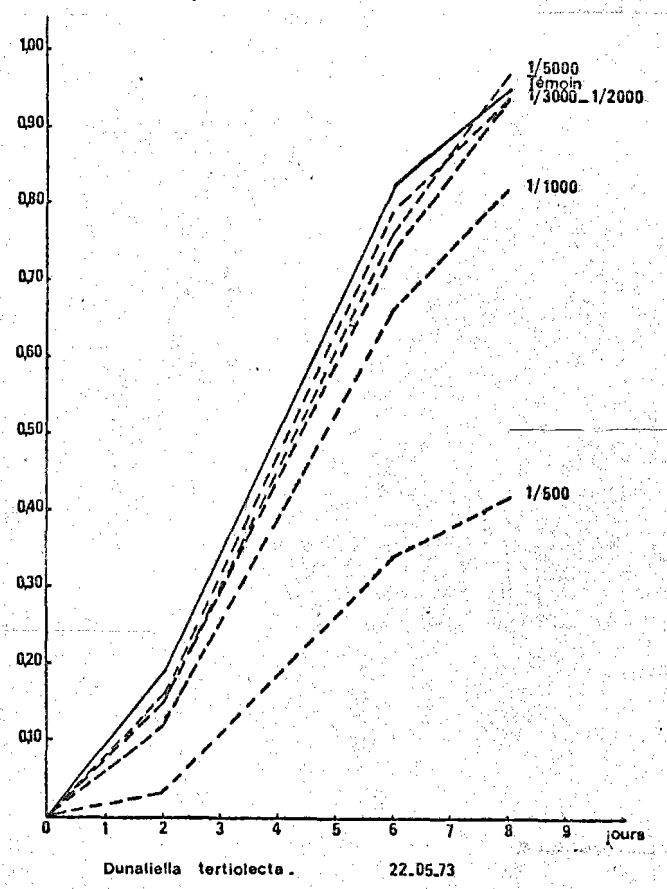
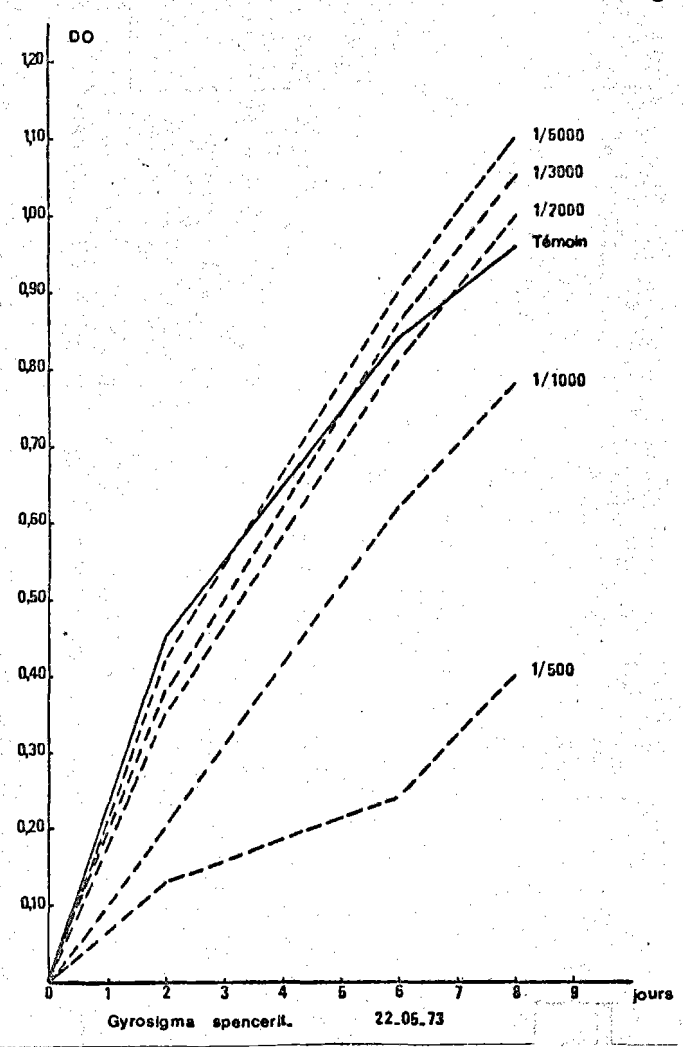
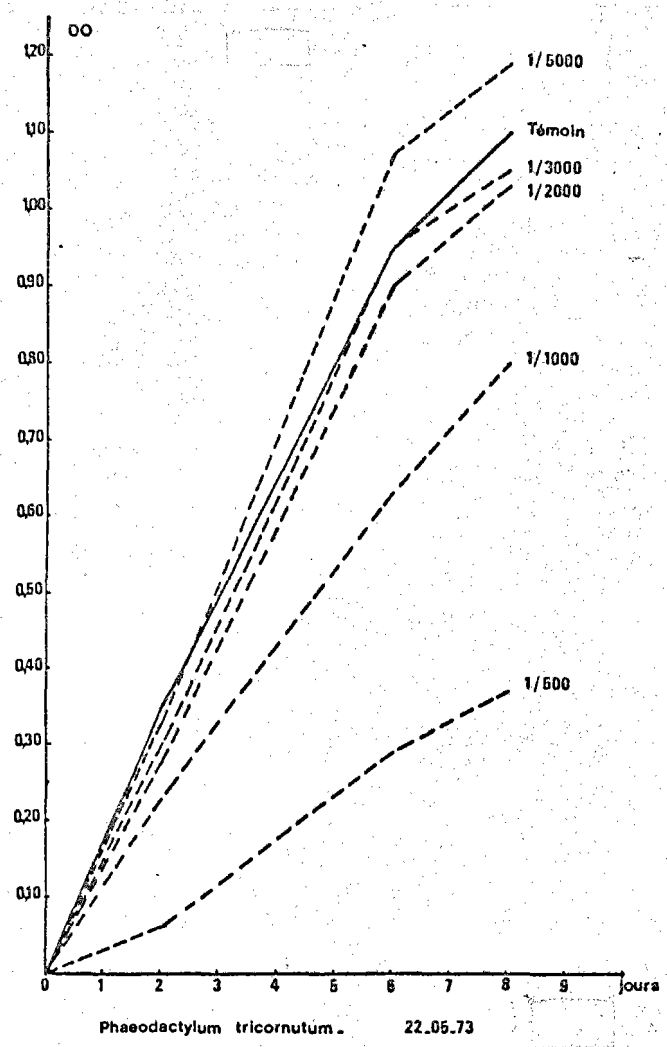


Fig. 1 : Courbes de croissance de 4 espèces phytoplanctoniques, aux différentes dilutions de l'effluent Tioxide testées.

On peut remarquer une légère amélioration de la croissance cellulaire aux dilutions les plus élevées : 1/5000 et 1/3000. En particulier pour Phaeodactylum tricornutum et Gyrosigma spenceri.

Cela tient au fait que le fer sous forme d'hydroxyde est assimilable par un grand nombre de diatomées pour lesquelles il joue le rôle de facteur limitant dans le milieu marin.

Les réductions de croissance observées correspondent généralement aux abaissements de pH rencontrés au 1/500 et au 1/1000. Notons à ce sujet que la croissance de Phaeodactylum tricornutum en eau de mer enrichie, à différents pH, présente une réduction de croissance de 27 % pour un pH de 6,6, et de 54 % pour un pH de 5,6 (fig.2).

Nous avons présenté, sur la figure 3, les pourcentages de réduction de croissance et les valeurs correspondantes du pH au temps 0 pour les différentes teneurs en fer de l'effluent dilué. Il apparaît ainsi que la DL est atteinte pour un pH très voisin de 6.

c) Conclusion.

Il semble donc que du 1/2000 au 1/5000 les dilutions du rejet considéré ne présentent pas d'influence néfaste décelable pour les espèces testées.

Les seuls effets toxiques enregistrés seraient dûs en partie à l'abaissement du pH du milieu.

Il se peut néanmoins que les cellules phytoplanctoniques accumulent à long terme des métaux contenus en faibles doses dans l'effluent.

C'est ce que nous étudierons dans le chapitre suivant.

./.....

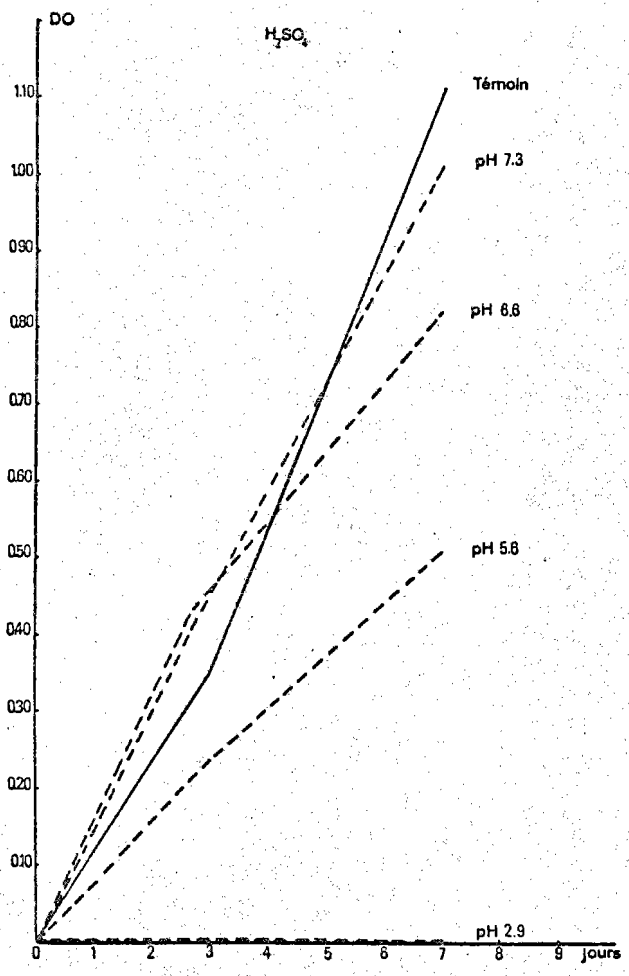


Fig. 2 : Courbe de croissance de P. tricornutum à différents pH en eau de mer enrichie en E. S. de PROVASOLI.

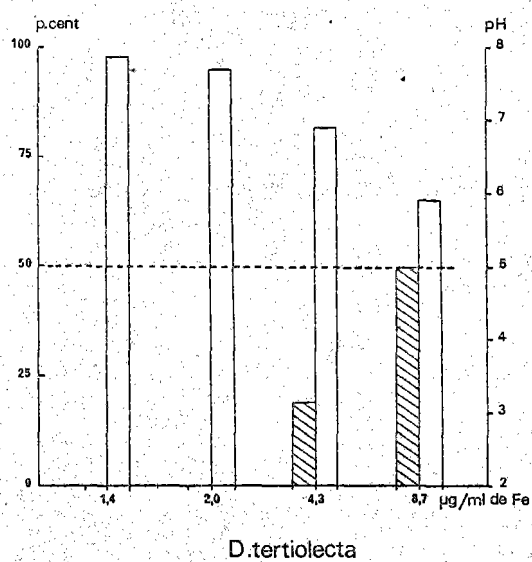
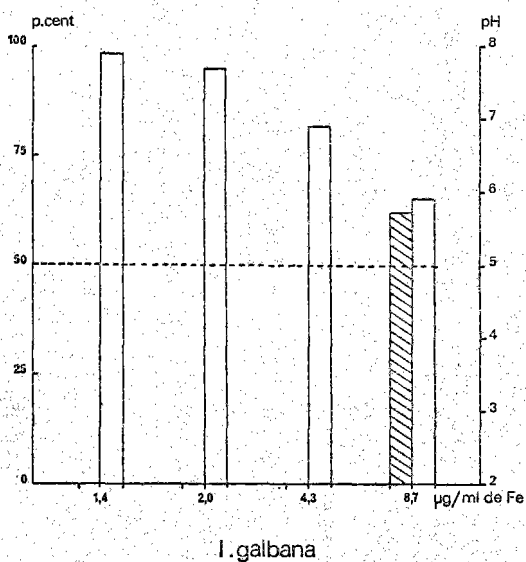
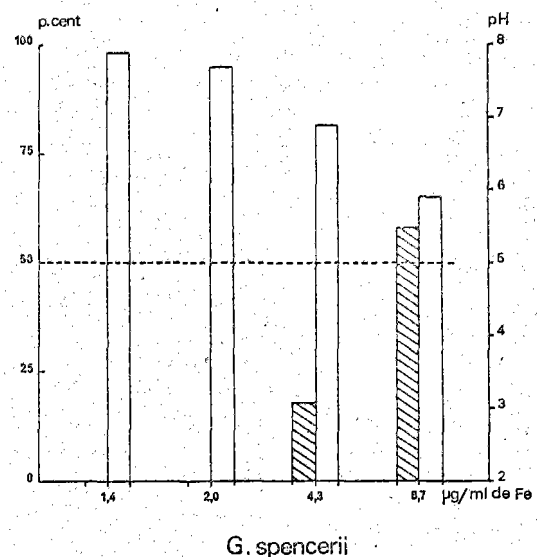
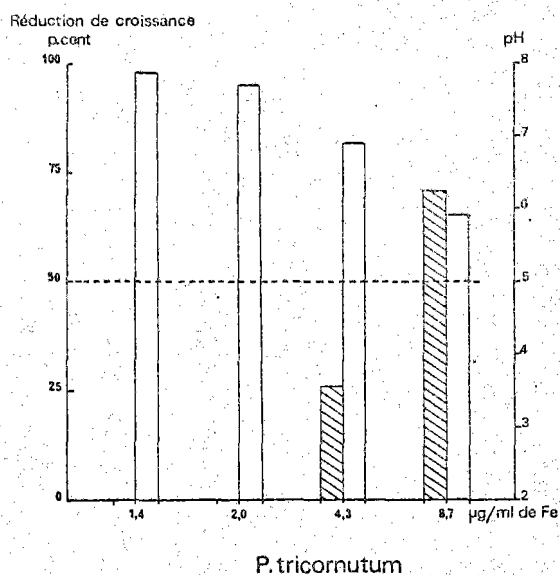


Fig. 3 : TIOXIDE. Pourcentages de réduction de croissance (hachures) et valeurs du pH au temps 0 (blanc) correspondants aux différentes teneurs en fer de l'effluent dilué. La DL₅₀ est indiquée en pointillés.

III - ETUDE DE LA TOXICITE INDUITE

Nous avons réalisé une chaîne alimentaire de type pélagique composée de trois échelons :

- phytoplancton : des cultures de diatomées en eau de mer enrichie par un milieu E. S. de PROVASOLI, diluaient l'effluent au 1/1000. Dans ces conditions la teneur en fer était de 4,4 µg/ml. Le pH était partiellement neutralisé.

- zooplancton : les cultures contaminées ont servi de base alimentaire à un petit crustacé de l'ordre des anostracés sous-classe des branchiopodes : Artemia salina.

- poissons : l'échelon nectonique était représenté par un petit poisson côtier : l'épinoche (Gasterosteus aculeatus).

Etant donné la progression géométrique de la pyramide alimentaire, il fallait pourvoir à la nutrition des artémies par de grandes quantités de cultures.

Celles-ci ont été réalisées dans ce but dans des barils en verre d'une contenance de 25 l. Une aération constante était fournie.

Les espèces se prêtant le mieux à des développements intensifs dans ces volumes ont été :

- Dunaliella tertiolecta
- Gyrosigma spenceri
- Phaeodactylum tricornutum

Le maximum de croissance était obtenu au bout de 10 jours. Après ce délai, on alimentait journalièrement par 1 à 2 l de culture des aquariums contenant des artémies, à raison de 1500 à 2000 individus pour 20 l d'eau de mer. L'ensemble du développement d'Artemia salina se faisait en milieu contaminé. La durée nécessaire pour obtenir des adultes était environ de 1 mois.

./.....

Les épinoches étaient partagées en 2 lots de 60 individus, témoins et contaminés, qui recevaient chaque jour 180 artémies ainsi que quelques grammes de daphnies séchées afin d'éviter une carence alimentaire.

Après un délai de 30 jours, les épinoches étaient récupérées pour être minéralisées. On évaluait la perte ou le gain de poids total par rapport au poids mesuré en début d'expérience.

1 - Méthodes de dosage :

Tous les dosages ont été effectués au spectrophotomètre d'absorption atomique PERKIN-ELMER. Nous avons pu évaluer avec une sensibilité satisfaisante les teneurs en fer, zinc, cuivre, cadmium.

Les résultats sont exprimés en ppm (mg/kg) du poids sec des organismes.

Les artémies étaient prélevées une fois parvenues au stade adulte, lavées, et desséchées à 80° C pendant 4 heures.

Elles étaient ensuite pesées, minéralisées dans un mélange nitro-perchlorique et analysées directement au spectrophotomètre.

Les épinoches subissaient un traitement identique, mais étaient broyées à l'Ultra-Turrax avant passage à l'étuve, afin d'éviter une répartition hétérogène des métaux, due aux différences de comportement alimentaire entre individus.

2 - Résultats généraux :

a) Pesées des épinoches :

	Témoins	Tioxyde 1/1000
Poids total en début d'expérience	12,80 g	13,88 g
Perte ou gain de poids après 30 jours	+ 15 mg	- 176 mg

b) Teneurs en métaux :

	Fer	Zinc	Cuivre	Cadmium
Artémies témoins	760	108	34,7	13,0
Artémies contaminées	1355	59	13,5	23,7
Epinoches témoins	209	188	6,8	2,5
	231	189	12,5	
Epinoches contaminées	234	219	9,7	2,9
	293	212	5,7	

3 - Discussion et résultats :

Pendant la durée de l'expérience, il n'a pas été noté de mortalité plus grande chez les épinoches contaminées que chez les témoins.

En revanche l'alimentation des individus contaminés semble défavorisée par rapport aux témoins.

On remarque une teneur en fer plus importante chez les artémies contaminées : 1355 ppm contre 760 chez les témoins. Des résultats similaires ont été obtenus dans d'autres tests comportant des concentrations comparables en hydroxyde ferrique.

En fait, si on remet dans un milieu sain les artémies contaminées, elles se "purgent" rapidement et les dosages révèlent des teneurs plus faibles en fer, bien que toujours légèrement supérieures aux témoins.

Les teneurs évaluées sont donc principalement dues au contenu du tube digestif des artémies, dont la nutrition est continue. L'assimilation de fer dans les tissus reste très faible ou inexistante.

./....

Les épinoches ne montrent pas d'accumulation en fer. De même, on ne note pas de concentrations significatives des autres métaux.

Il ressort de l'ensemble de ces résultats que, dans les conditions d'élevages et de cultures utilisées, et avec la méthode de dosage employée, on ne constate pas de facteurs de concentration significatifs après un délai de 30 jours dans deux échelons de la chaîne alimentaire considérée, à savoir : zooplancton et poissons littoraux.

IV - ETUDE D'ECHANTILLONS PRELEVES A UNE DISTANCE VARIABLE DE LA SORTIE DE L'EMISSAIRE.

Nous avons reçu un certain nombre d'échantillons d'eau de mer prélevés à proximité de la sortie de l'émissaire, à des distances variables : 300 m, 700 m, 1200 m et 2000 m ainsi qu'un échantillon témoin.

Des cultures de Phaeodactylum tricornutum réalisées à partir d'1 l de chacun de ces échantillons enrichies en E. S. de PROVASOLI, ont montré qu'il n'y avait pas de différences de croissance de la diatomée que ce soit pour l'échantillon témoin et pour tous les autres échantillons contaminés.

Par ailleurs, l'examen microscopique des algues unicellulaires contenues dans les échantillons nous a permis de dresser un tableau sommaire des différents genres phytoplanctoniques rencontrés. C'est ce qui est représenté dans le tableau 9, avec une indication grossière de l'abondance des individus.

On ne remarque guère de disparité, à première vue, sur la composition en genres et l'importance des individus, pour ces divers échantillons.

Il semble donc que le rejet n'ait pas affecté de façon notable les peuplements phytoplanctoniques à proximité de la zone de déversement.

./...

	300 m		700 m		1200 m		2000m
	F	MP	F	MP	F	MP	F
Chaetoceros sp.	A	A	A	A	A	A	A
Asterionella japonica		A	A	A	A	A	A
Rhizosolenia sp.	A	A	A			A	
Biddulphia sp.		PA				A	A
Coscinodiscus sp.	PA					PA	PA
Leptocylindrus sp.				A		A	A
Amphora sp.						PA	PA
Synedra sp.	A		PA				
Eucampia zodiacus	PA						A
Navicula sp.			PA			PA	
Streptotheca sp.	PA						
Pleurosigma sp.							PA
Skeletonema sp.							A

Tableau 9 : Différents genres phytoplanctoniques rencontrés en 4 points au fond (F) et à mi-profondeur (M P).

A ● individus abondants ;

PA = Individus peu abondants.

./.....

V - CONCLUSIONS GENERALES

En ce qui concerne les effets à court terme de l'effluent acide Tioxide, nous constatons que pratiquement il n'y a que l'acidité qui manifeste une nocivité certaine. Pour les mollusques, dans nos conditions expérimentales, la toxicité apparaît à la dilution 1/250 seulement ; le pH reste alors constant à 2,8 tandis que pour les dilutions supérieures les différentes valeurs du pH évoluent vers la neutralisation. Dans le cas d'une solution acide, exception faite pour les ~~mollusques~~^{coques}, on ne note pas de mortalité jusqu'à la dilution au 1/200 d'une solution normale d'acide sulfurique.

Palaemonetes varians et les deux poissons testés montrent pratiquement les mêmes sensibilités à l'égard de l'effluent. Les dilutions acides de référence ne montrent plus de nocivité dès que les valeurs du pH évoluent vers la neutralisation. Clinabarius misanthopus, quant à lui se montre particulièrement résistant.

Au niveau des organismes planctoniques, Artemia salina montre une extrême sensibilité à l'effluent. L'acidité ne semble pas seule être la cause des mortalités enregistrées et le fer particulaire pourrait être un facteur important ; on constate en effet une forte adsorption, des particules d'hydroxyde ferrique, sur les appendices des artémies.

Les quatre espèces phytoplanctoniques testées semblent montrer une sensibilité à l'abaissement de pH du milieu. Lorsque l'on est au voisinage de la neutralité les cultures montrent une densité normale.

Pour ce qui est de la toxicité induite nous n'avons pas décelé d'accumulation significative du fer, du zinc, du cuivre et du cadmium au niveau du dernier maillon de la chaîne alimentaire de type pélagique :

- Dunaliella tertiolecta, Gyrosigma spencerii et Phaeodactylum tricornutum ;
- Artemia salina ;
- Gasterosteus aculeatus.

•/.....

Mais notre étude a porté sur des durées relativement courtes :

- 15 à 20 jours pour le phytoplancton,
- 1 à 2 mois pour les artémies,
- 1 mois pour les épinoches.

Enfin l'examen d'échantillons d'eau, prélevés au voisinage du rejet de l'effluent, a montré la présence de populations phytoplanctoniques apparemment normales.

Ainsi donc l'effluent Tioxide ne semble plus manifester une toxicité décelable dès qu'une dilution suffisante est réalisée. La toxicité aiguë paraît due essentiellement à l'acidité mais, dans le cas d'Artemia salina un autre facteur semble jouer ; les particules d'hydroxyde ferrique pourraient avoir une certaine importance du fait de leur adsorption sur les téguments des organismes. Il serait donc souhaitable d'étudier les effets de cet effluent sur le développement de larves planctoniques susceptibles d'être gênées par ce type de rejet ; les larves de crustacés du fait de leur écologie et de leur importance économique pourraient être retenues pour cette étude.
