

## LES PHÉNOMÈNES D'EAUX COLORÉES DE LA BAIE DE SEINE EN 1978

par Patrick LASSUS, Pierre MAGGI<sup>(1)</sup> et Christophe BESSINETON<sup>(2)</sup>

— A la fin du printemps 1978, le littoral normand a été le siège de proliférations inhabituelles d'algues microscopiques qui donnaient une coloration anormale à l'eau de mer sur plusieurs dizaines de kilomètres. Ce phénomène, largement commenté par les moyens d'information, a eu un impact régional important du fait des risques encourus par les consommateurs d'animaux marins à l'approche de la période estivale et du manque à gagner des professionnels de la mer. Venant quelques mois après la catastrophe de l'« Amoco-Cadiz » cette « marée rouge » a sensibilisé, une fois de plus, l'opinion publique aux problèmes de la pollution des mers.

Pour toutes ces raisons il nous a paru opportun d'établir une mise au point sur les eaux colorées en baie de Seine pendant cette période. —

### *I. — Description du phénomène des eaux colorées.*

#### **1. Origine.**

Les phénomènes de coloration des eaux marines, au voisinage des côtes et des estuaires, à l'intérieur des baies, des lagunes ou des ouvrages portuaires, sont connus depuis fort longtemps. En effet, deux versets de la Bible (chapitre de l'Exode) en font déjà mention : « Et toutes les eaux qui étaient dans la rivière (le Nil) s'étaient changées en sang, et les poissons qui se trouvaient dans la rivière moururent ; et la rivière empestait et les égyptiens ne pouvaient pas boire l'eau de la rivière » (cité par Pincemin, 1969).

Par la suite, cette couleur de l'eau, souvent comparée par nos contemporains à celle du minium, n'a pas manqué d'inquiéter au fil des siècles les observateurs, d'autant qu'elle s'accompagnait parfois de mortalités subites et importantes de poissons et de coquillages.

Il convient cependant d'éviter dès maintenant la confusion généralement faite entre eaux rouges et manifestations toxiques. Nous traiterons donc séparément ces divers points.

#### **2. Situation saisonnière.**

Les eaux rouges apparaissent le plus souvent, sur nos côtes aussi bien que dans d'autres parties de l'hémisphère nord, pendant une période s'étalant des mois de mai à septembre, avec un maximum de fréquence en juin-juillet. Encore faut-il préciser que certains organismes, constituant ces eaux rouges, présentent un caractère thermophile marqué alors que d'autres sont plus caractéristiques des latitudes tempérées.

(1) Laboratoire de Toxicologie, I.S.T.P.M., B.P. n° 1049, 44 037 Nantes-Cédex.

(2) Collaborateur scientifique de la Commission chargée de contrôler l'évolution de la pollution dans l'estuaire et en baie de Seine. Direction des Affaires Maritimes, 170 Bd. Clémenceau, 76 083 Le Havre-Cédex.

### 3. Aspect et durée du phénomène.

Les eaux rouges sont plus généralement appelées « eaux colorées » car leur teinte peut varier du jaune au rouge vif en passant par des tons ocres suivant la densité et la nature des organismes responsables. En effet, on a même pu noter des eaux blanchâtres provoquées par un dinoflagellé (*Cerastium fusus*) sur la côte sud de la Bretagne (Paulmier, 1977).

Cette coloration est surtout visible en surface et elle excède rarement cinq mètres de profondeur (Margalef, 1956). La brièveté relative du phénomène, quelques heures à plusieurs jours, va de pair avec la variabilité observée le plus souvent dans les successions des populations planctoniques qui en sont la cause.

### 4. Organismes responsables de la coloration des eaux.

Les eaux colorées sont constituées par des organismes microscopiques, appartenant en majorité au règne végétal, dont la multiplication excessive permet d'enregistrer, lors de comptages dans les zones contaminées, des concentrations de l'ordre de dizaines de millions d'organismes par litre d'eau de mer.

Afin d'éviter la généralisation du phénomène aux seuls dinoflagellés, il faut rappeler qu'un grand nombre d'organismes ont, jusqu'à ce jour, été responsables de coloration des eaux côtières :

- des bactéries marines (Génovèse, 1961 ; Devèze et Fauvel, 1966, Kobayashi et Fujii, 1979),
- des cyanophycées (Graham et Coll., 1954 ; Hutton, 1960),
- des diatomées (Becking et Coll., 1927 ; Sournia et Plessis, 1974),
- des phytoflagellés, dont les dinoflagellés qui sont effectivement les plus souvent rencontrés (Rounsefell et Nelson, 1966 ; Paster, 1968 ; Adachi, 1972 ; Paulmier, 1977 ; Lassus, 1978),
- des ciliés (Hart, 1934 ; Fenchel 1968),
- des organismes zooplanctoniques très pigmentés appartenant par exemple à l'ordre des copépodes (Hutton, 1960).

En ce qui concerne les dinoflagellés, un certain nombre de familles : noctilucidés, gymnodinidés, péridinidés, gonyaulacidés et cératidés ont fait l'objet de citations fréquentes.

Jusqu'à présent, les genres *Gymnodinium* et *Gonyaulax* ont été souvent associés aux intoxications animales ou humaines mentionnées par la littérature et surtout par les journaux. Cependant, une dizaine d'espèces seulement, sur la centaine que comprennent ces genres, est reconnue comme réellement dangereuse. Autrement dit, une diagnose incertaine peut entraîner des prises de position parfois erronées.

### 5. Toxicité des dinoflagellés.

Les espèces considérées comme toxiques (tabl. 1) ont fait l'objet de nombreux travaux, en particulier quant à l'extraction et à la caractérisation de la toxine. En fait, les chimistes qui ont réussi à isoler cette toxine et à en établir la formule ont constaté que celle-ci variait quelque peu suivant les espèces. Cependant, on continue à les confondre communément sous un même vocable : paralytic shellfish poison (P.S.P.) ou poison paralysant des coquillages, du fait que l'effet toxique se manifeste ordinairement après ingestion de coquillages qui ont absorbé soit la toxine elle-même, soit l'espèce planctonique qui la synthétise.

Signalons que, d'après les travaux de Ayres et Cullum (1978), la toxicité des bivalves ayant ingéré *Gonyaulax tamarensis* excède largement la durée des eaux colorées. Autrement dit, la toxicité des mollusques - conventionnellement quantifiée par le test-souris<sup>(1)</sup> (Sommer et Meyer, 1937) - peut être à son maximum bien après la disparition du phénomène, alors que les organismes responsables sont encore présents, mais à des concentrations seulement détectables par examen microscopique.

Les symptômes décrits qui apparentent ce poison à la toxine du botulisme ou au curare, ne peuvent en aucun cas être confondus avec de simples intoxications alimentaires relevant d'une action bactérienne.

Tous les travaux se rapportant à la symptomatologie des intoxications humaines, après ingestion de moules ou d'huîtres ayant accumulé ces dinoflagellés par filtration, sont essentiellement d'origine

---

(1) Le test-souris consiste à inoculer, à une souris de 20 g, 1 ml d'un extrait acide de la chair des bivalves. Le temps écoulé entre l'injection et la mort de la souris est inversement proportionnel à la concentration de mytilotoxine présente dans l'extrait.

américaine, japonaise ou anglaise. Citons pour les ouvrages généraux : Schantz, 1970; Prakash et Coll., 1971; Ayres et Cullum, 1978.

Il arrive que ces espèces aient également des effets toxiques secondaires sur l'homme et les animaux marins :

irritations des bronches par inhalation d'aérosols marins contenant *Gymnodinium breve* (Woodcock, 1948),

mortalités de poissons souvent provoquées, non par la toxine, mais par l'appauvrissement du milieu en oxygène dissous, lors de la putréfaction de ces organismes (Connell et Cross, 1950; Reish, 1963).

Cependant, ces manifestations ont été généralisées, à tort, à l'ensemble des phénomènes d'eaux colorées.

Organismes	Distribution Géographique	Toxine
<i>Gonyaulax catenella</i>	Pacifique nord - Californie Colombie - Alaska - Japon	P.S.P.
<i>Gonyaulax tamarensis</i>	Atlantique nord - Canada - Grande-Bre- tagne - mer du Nord	P.S.P.
<i>Gonyaulax acatenella</i>	Colombie	P.S.P.
<i>Gonyaulax polyedra</i>	Sud de la Californie	P.S.P.
<i>Gonyaulax monilata</i>	Golfe du Mexique	Ichthyotoxine
<i>Pyrodinium phoneus</i>	Côtes de la mer du Nord	P.S.P.
<i>Gymnodinium breve</i>	Golfe du Mexique	Neurotoxine
<i>Gymnodinium veneficum</i>	Manche anglaise	Neurotoxine
<i>Prorocentrum mariae-Lebouriae</i>	Japon	Venerupine
<i>Protoperdinium polonicum</i>	Japon (eau douce)	Ichthyotoxine

Tabl. 1. — Liste non exhaustive des principales espèces de dinoflagellés reconnues comme toxiques.

## 6. Fréquence des eaux colorées sur les côtes françaises.

Les données répertoriées de 1975 à 1978 (tabl. 2) correspondent à des cas confirmés ou non par l'étude d'échantillons; ils sont localisés sur la figure 1.

D'emblée il apparaît que les phénomènes d'eaux colorées ont été particulièrement abondants en 1978. On pourrait penser que la spectaculaire manifestation d'eaux rouges, observée sur 70 km de la côte normande en juin, a contribué à donner de l'importance à des phénomènes très localisés qui seraient habituellement passés inaperçus. Cependant le nombre de cas répertoriés antérieurement à cette date, est nettement plus élevé que celui des années précédentes. D'autre part, la durée totale des observations (d'avril à septembre) est aussi exceptionnelle.

Certains ont voulu voir dans ces proliférations d'organismes la conséquence du naufrage de l'« Amocadiz »; dans ce cas étant donnée la dominance des courants dans la Manche ouest, les phénomènes d'eaux colorées auraient dû se manifester essentiellement sur la côte nord de la Bretagne ainsi que celle de la presqu'île du Cotentin (Le Fèvre, 1979).

Dates	Positions sur les cartes et localisations	Organismes responsables
11-21 juil. 1975 10 août 12 août	1 Estuaire de la Seine 2 Honfleur 3 Villerville	<i>Mesodinium rubrum</i> , <i>Prorocentrum sp.</i> , Indéterminés, Indéterminés.
3 juil. 1976 4 juil. 24 juil. 6 août oct.	1 Les Sables d'Olonne 2 Bassin de Marennes-Oléron 3 Concarneau 4 49°15'N - 3°15'O 5 Baie de Bourgneuf	<i>Noctiluca scintillans</i> , <i>Prorocentrum micans</i> , <i>P. micans</i> , Diatomées, <i>Gyrodinium aureolum</i> , <i>Nitzschia sp.</i>
fév.-mars 1977 16-17 mai 27 mai juil.	1 Arcachon 2 Baie du Mont-Saint-Michel 3 Estuaire de la Seine 4 Bassin de Marennes-Oléron	<i>Dinophysis ovum</i> , <i>Prorocentrum micans</i> , <i>Phaeocystis pouchetii</i> , <i>Gyrodinium sp.</i> , <i>Gonyaulax sp.</i> , <i>Mesodinium sp.</i> , <i>Prorocentrum micans</i> .
24 avril 1978 avril avril avril 3 juin 5 juin 8 juin juin 9 juin  1-20 juin 7-21 juin juin 15 juin 15 juin 20 juin 17 juil. 28-30 juil. 11 août 12 août 17 août 26 août 11 sept. 10-15 sept.  24-26 sept.	1 Belle-Ile 2 Baie d'Audierne 3 De Concarneau à Lorient 4 De Quiberon au golfe du Morbihan 5 Le Croisic 6 Port d'Antifer 7 Estuaire de la Vilaine 8 Ile de Hoëdic 9 De la baie de l'Aiguillon à la Pallice 10 De Barfleur à Grandcamp 11 De Arromanches à Honfleur 12 Du Croisic à Saint-Nazaire 13 Estuaire externe de la Loire 14 Estuaire interne de la Loire 15 Ile de Noirmoutier 16 Estuaire du Belon 17 Ile d'Ouessant 18 49°N - 4° 20' O 19 Morgat 20 Port du Havre 21 Baie de Douarnenez 22 Port de Paimpol 23 D'Antifer à Honfleur  20 Port du Havre	<i>Noctiluca scintillans</i> , <i>Noctiluca scintillans</i> , <i>Noctiluca scintillans</i> , <i>Noctiluca scintillans</i> , <i>Gonyaulax sp.</i> , <i>Gonyaulax sp.</i> , <i>Mesodinium sp.</i> , <i>Prorocentrum micans</i> , <i>Peridinium sp.</i> , <i>Noctiluca scintillans</i> ,  <i>Noctiluca scintillans</i> , <i>Phaeocystis pouchetii</i> , <i>Gonyaulax polygramma</i> , <i>Gonyaulax spinifera</i> , <i>G. polygramma</i> , <i>Gonyaulax sp.</i> , <i>Gonyaulax spinifera</i> , <i>G. sp.</i> , <i>Noctiluca scintillans</i> , <i>Nitzschia seriata</i> , <i>Noctiluca scintillans</i> , <i>Peridinium punctulatum</i> , <i>P. sp.</i> , <i>Gyrodinium aureolum</i> , <i>Noctiluca scintillans</i> , <i>Gyrodinium aureolum</i> , <i>Prorocentrum micans</i> , <i>Gyrodinium aureolum</i> , <i>Gonyaulax sp.</i> , <i>Prorocentrum sp.</i> , <i>Polykrikos schwartzii</i> , <i>Exuviaella sp.</i> , <i>Pseudopedinella pyriformis</i> , <i>Pyramimonas disomata</i> , <i>Gonyaulax spinifera</i> .

Tabl. 2. — Les eaux colorées signalées sur les côtes françaises, entre 1975 et 1978.

Enfin, il apparaît (fig. 1) que la plupart des manifestations d'eaux rouges connues se rapporte à des zones côtières très faiblement industrialisées, ce qui écarte provisoirement l'hypothèse d'une influence prépondérante des rejets polluants dans ces phénomènes.

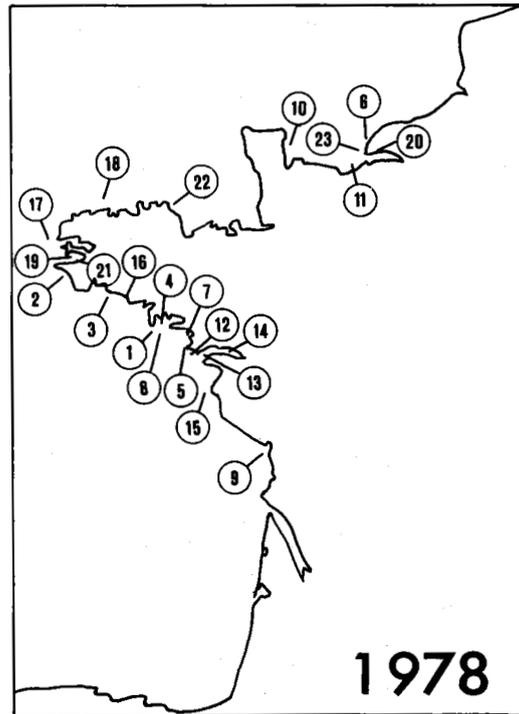
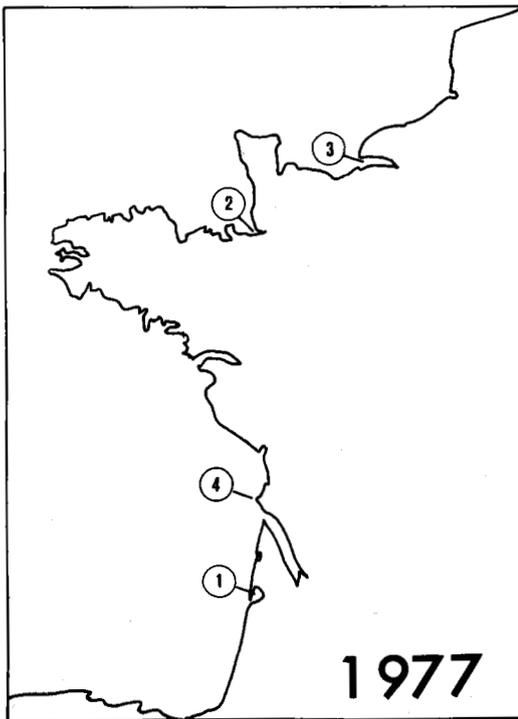
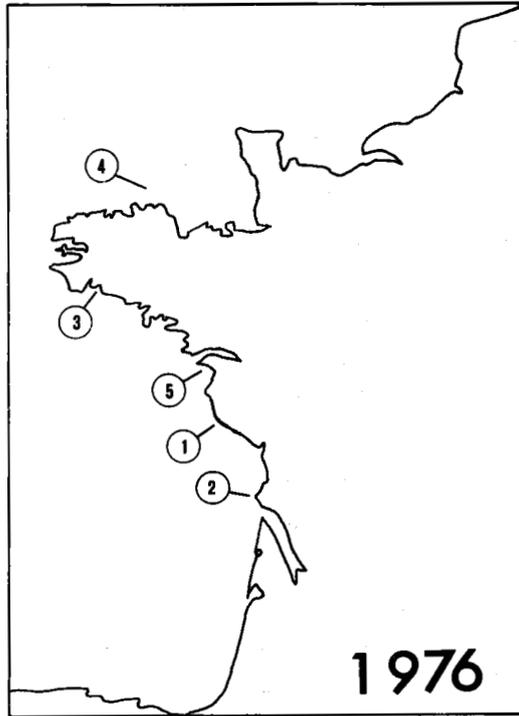
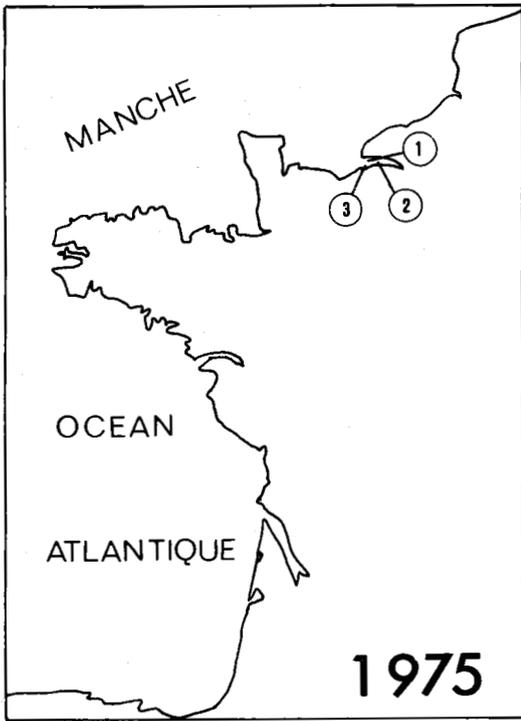


Fig. 1. — Localisation des eaux colorées signalées sur les côtes françaises de 1975 à 1978.

## II. — Causes du phénomène.

L'apparition d'eaux colorées est généralement due à deux types de mécanismes :  
une multiplication importante des organismes planctoniques favorisée par des facteurs hydrologiques, climatiques et chimiques,  
une concentration de ces organismes, généralement à la faveur de facteurs physiques, météorologiques ou hydrologiques.

### 1. Conditions générales favorisant la multiplication des organismes.

#### a) Température de l'eau.

Presque tous les observateurs s'accordent sur le fait que les eaux colorées apparaissent après une période assez prolongée de fortes températures de l'air et de l'eau, coïncidant avec l'absence d'agitation de la masse d'eau, (Hornell et Nayudu, 1923; Allen, 1946; Halim, 1960; Pincemin, 1969; Prakash et Coll., 1971).

Bien que cette élévation brusque de la température de l'eau puisse survenir parfois en hiver (Silva, 1963), c'est évidemment en début d'été que le phénomène est le plus fréquent. Elle s'accompagne même quelquefois de la formation d'une thermocline (Margalef, 1956).

Les études en laboratoire ont confirmé le caractère thermophile marqué d'un grand nombre d'espèces de dinoflagellés (Barker, 1935; Braarud et Pappas, 1951).

#### b) Salinité.

Les eaux rouges apparaissent souvent lors d'un abaissement de salinité dû à des apports d'eaux douces terrigènes ou à une forte pluviosité précédant l'eau colorée. Ainsi Slobodkin (1953) a trouvé une relation entre «eaux rouges» et chutes de pluies abondantes, sur la côte ouest de Floride. Cependant cette relation n'est pas toujours nette. Feinstein (1956), après une étude statistique portant sur de nombreuses eaux rouges en Floride, trouve qu'il n'y a pas de corrélation certaine entre les perturbations tropicales, les précipitations ou l'écoulement des rivières, et les eaux colorées; ceci n'exclut pas l'influence du facteur «eau douce» comme contribution au phénomène. D'après Fritsch (1935), les dinoflagellés nus (gymnodinidés) seraient plus abondants dans le plancton océanique alors que les dinoflagellés cuirassés (péridinidés, gonyaulacidés) seraient plus typiques des zones côtières ou des estuaires; ces derniers auraient, de ce fait, des conditions de développement optimales dans une gamme de salinités basses.

#### c) Sels nutritifs.

Les dinoflagellés ont souvent été considérés comme aptes à bien se développer à des concentrations extrêmement faibles de nitrates et de phosphates, sels nutritifs nécessaires au développement du phytoplancton (Gilson, 1937).

En effet, en zones tempérées, le maximum des dinoflagellés suit le déclin de la multiplication intense printanière des diatomées qui, elles, ont «épuisé» le stock de sels nutritifs existant. Ainsi, des populations importantes de dinoflagellés peuvent subsister en été (sans pour autant créer des eaux colorées) alors que les concentrations en sels nutritifs sont presque indétectables.

Expérimentalement, King (1950) a montré qu'en augmentant jusqu'à 200 fois les concentrations initiales en azote et en phosphore d'une eau de mer vieillie, le taux de multiplication de *Gymnodinium simplex* n'était pas amélioré.

Il apparaît, par ailleurs, que ces organismes sont de loin les plus difficiles à maintenir en culture dans un laboratoire du fait de leurs exigences complexes en oligoéléments.

De nombreux auteurs cependant s'accordent sur l'importance «in vivo» des vitamines comme facteurs de croissance indispensables, notamment la vitamine B 12, mais aussi la thiamine et la biotine (Ryther, 1955; Hutner et Mc Laughlin, 1958; Prakash, 1967). De plus, les dinoflagellés tireraient profit des acides humiques et fulviques apportés par les rivières (Ryther, 1955; Sakshaug et Coll., 1971), substances qui agissent comme des agents chélateurs et réduiraient les concentrations en métaux toxiques à des taux n'entraînant pas d'inhibition de croissance.

Un point litigieux reste à éclaircir : si les dinoflagellés utilisent les sels nutritifs disponibles, ils devraient se multiplier avant ou en même temps que les diatomées; or ils se développent après elles, alors que les concentrations en nitrates et phosphates sont souvent basses (Hickel et Coll., 1971).

Dans le cas des estuaires, souvent très riches en matières nutritives, notons que Margalef (1956) donne peu d'importance aux sels minéraux qui sont de toute façon présents en quantités élevées toute l'année.

Actuellement deux tendances existent :

les diatomées, après leur multiplication printanière, réduiraient les concentrations en sels nutritifs à des teneurs favorables aux dinoflagellés (Hutchinson, 1944),

les diatomées produiraient des métabolites externes qui seraient profitables aux dinoflagellés (Rice, 1954).

Quoi qu'il en soit, l'utilisation d'un excès de nitrates, par exemple, ne semble pas démontrée. En effet, Holmes et Coll. (1967) ont calculé que les nitrates, présents dans une eau colorée, étaient à des teneurs (de l'ordre de 40 microatomegrammes par litre) qui ne peuvent supporter plus de 1000000 de cellules au litre, alors que les concentrations cellulaires rencontrées étaient de 16000000 d'organismes au litre.

En ce qui concerne le phosphore, Ketchum et Keen (1948) éliminent après mesures « in situ », la possibilité de l'influence d'une remontée d'eaux riches en phosphates.

En conséquence, il semble que, s'il n'est pas possible d'expliquer pourquoi ces organismes peuvent se multiplier si intensément avec des concentrations aussi faibles de sels nutritifs, il faille chercher d'autres causes. Une hypothèse qui trouve actuellement plus de crédit est celle de la concentration des organismes eux-mêmes (Ryther, 1955; Pincemin, 1969).

#### d) Apports de polluants.

Les sources de pollution, particulièrement d'origines urbaines ont été souvent invoquées comme facteur amplifiant le phénomène des eaux colorées. Braarud (1945) a observé la multiplication de dinoflagellés dans les eaux très polluées du fjord d'Oslo. Plus tard, ce même auteur et Pappas (1951) ont montré que l'addition de petites quantités d'eaux résiduaires brutes, à un milieu de culture, améliore la croissance de *Peridinium triquetrum*. Il n'est pas encore aisé de savoir si les pollutions urbaines permettent par exemple de favoriser les eaux colorées en apportant du phosphore excédentaire ou en stimulant la multiplication de bactéries productrices de vitamine B 12 ou encore en apportant des agents chélateurs (cf II, 1, c).

Par ailleurs, Braarud (1969), dans une synthèse de ses études sur le fjord d'Oslo, souligne l'enrichissement apporté par les rejets urbains, traités ou non, aux eaux du fjord; il insiste cependant sur l'importance des intrusions d'organismes, amenés dans le fjord avec les masses d'eaux océaniques, dans le développement des eaux colorées qui peuvent être dangereuses (*Gonyaulax tamarensis*) ou non (*Coccolithus huxleyi*).

La charge polluante, si elle constitue un facteur favorisant, ne représente pas pour autant un élément nécessaire pour le déclenchement des eaux rouges. En effet, si tel était le cas, la fréquence d'observation des eaux rouges devrait être maximale dans les zones marines réputées polluées telles que les estuaires et la Méditerranée; or il est surprenant de constater la quasi-absence de phénomènes d'eaux rouges sur le littoral méditerranéen et leur abondance, en 1978, sur les côtes sud de la Bretagne.

## 2. Facteurs contribuant à la concentration des organismes.

### a) Mobilité des organismes.

Alors que les diatomées sont obligées de tirer parti de l'agitation de la colonne d'eau et de leur morphologie pour se maintenir dans la couche superficielle des eaux marines, les dinoflagellés, en période de calme plat, peuvent se déplacer activement vers la surface, c'est-à-dire vers l'ensoleillement maximum. Ils peuvent également, du fait de leur possibilité de déplacement, utiliser les sels nutritifs présents dans la colonne d'eau même lorsque les concentrations sont basses (Ryther, 1955).

Cependant, en dépit de leur phototactisme positif, les dinoflagellés sont inhibés par une trop forte luminosité (King, 1950); par conséquent leur regroupement se ferait par un phénomène de concentration hydrologique qui expliquerait mieux le nombre considérable de cellules observées en surface.

**b) Processus d'accumulation.**

La multiplication à grande échelle de ces organismes ayant été favorisée, à l'issue d'une période de temps calme, de réchauffement des eaux et d'ensoleillement prolongé, il faut qu'ils soient concentrés dans un volume relativement faible pour créer le phénomène d'eau colorée.

Trois processus d'accumulation (fig. 2) sont envisagés par Ryther (1955) :

un vent de mer dominant et modéré repousse les eaux superficielles vers la côte; les dinoflagellés s'accumulent le long de la zone où les eaux plongent en faible profondeur pour retourner vers le large (1),

phénomène de convergence : les dinoflagellés se concentrent le long du front séparant deux masses d'eaux de densités différentes; ce peut être le cas d'eau chaude côtière et d'eau froide du large ou bien d'eau océanique et d'eau douce apportée par les cours d'eau ou par le drainage terrigène dû aux pluies (2),

mouvements de convection sous l'action des vents, des couples de « compartiments de convection » peuvent être établis dont l'un est à mouvement cyclonique et l'autre à mouvement anticyclonique; leurs axes sont parallèles à la direction du vent dominant, ainsi des bandes parallèles d'eau de surface tendent à s'écarter ou au contraire à converger, entre B et C (3), les dinoflagellés peuvent se concentrer le long de cette ligne de convergence; ce dernier exemple serait à l'origine des bandes d'eau colorée parallèles observées parfois.

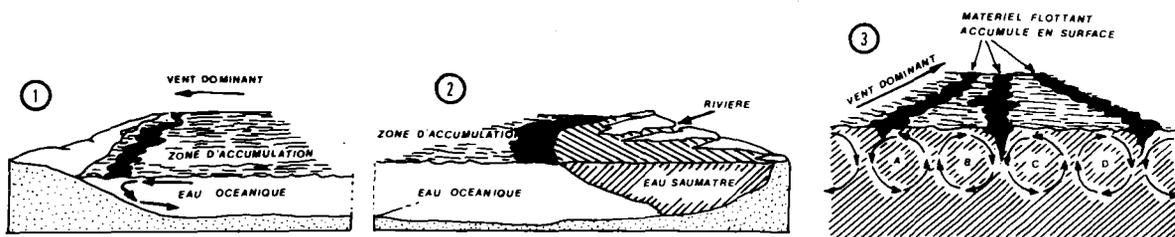


Fig. 2. — Eaux rouges pouvant résulter de l'accumulation des dinoflagellés par : 1. influence d'un vent de mer; 2. convergence; 3. convection (d'après Ryther, 1955).

**3. Facteurs limitant le phénomène dans le temps.**

Les eaux colorées sont généralement de courte durée (quelques heures à quelques jours) avec des déplacements parfois importants vers l'intérieur des estuaires ou le long des côtes. De nombreux facteurs peuvent interrompre le processus :

- insuffisance d'éléments nutritifs pour soutenir une telle densité d'organismes,
- sénescence faisant perdre aux cellules leur mobilité et provoquant ainsi leur sédimentation sur le fond,
- modifications hydrologiques ou climatiques telles que régime des vents plus perturbé, brassage des eaux, chute de la température de l'eau,
- intervention des prédateurs tels que d'autres dinoflagellés comme *Noctiluca scintillans*, *Oxyrrhis marina* et *Polykrikos schwartzii* (Margalef, 1956; Balech et Ferrando, 1964) ou bien des ciliés appartenant au groupe des tintinnidés, par exemple *Favella ehrenbergii* (Needler, 1949).

A l'inverse le phénomène peut se perpétuer en particulier dans le cas de *Gymnodinium breve* : ce dinoflagellé, provoquant des eaux rouges, tirerait profit de la décomposition des poissons qu'il aurait intoxiqués massivement (Collier, 1955, 1958). Néanmoins cette hypothèse n'a été que partiellement vérifiée.

**4. Synthèse des différents facteurs mis en cause.**

Wyatt (1973) a tenté de schématiser l'enchaînement des situations conduisant à une eau rouge. Sur la base de cette argumentation, nous avons tenté de réaliser un tableau synoptique plus complet (fig. 3). Il faut considérer que cette représentation tient compte de causes et conséquences possibles d'après les travaux consultés; cependant, la plupart du temps certains facteurs seulement interviennent réellement dans le déclenchement des eaux colorées, et les mortalités ne sont qu'une évolution possible du phénomène liée à la nature des organismes responsables.

### III. — Cas de la baie de Seine.

#### 1. Les apparitions d'eaux colorées en 1978.

a) A la fin du printemps 1978 le début d'un « bloom » phytoplanctonique a été observé en baie de Seine: la dernière semaine de mai, dans la région de Barfleur, les filtres d'une éclosérie ont été colmatés par

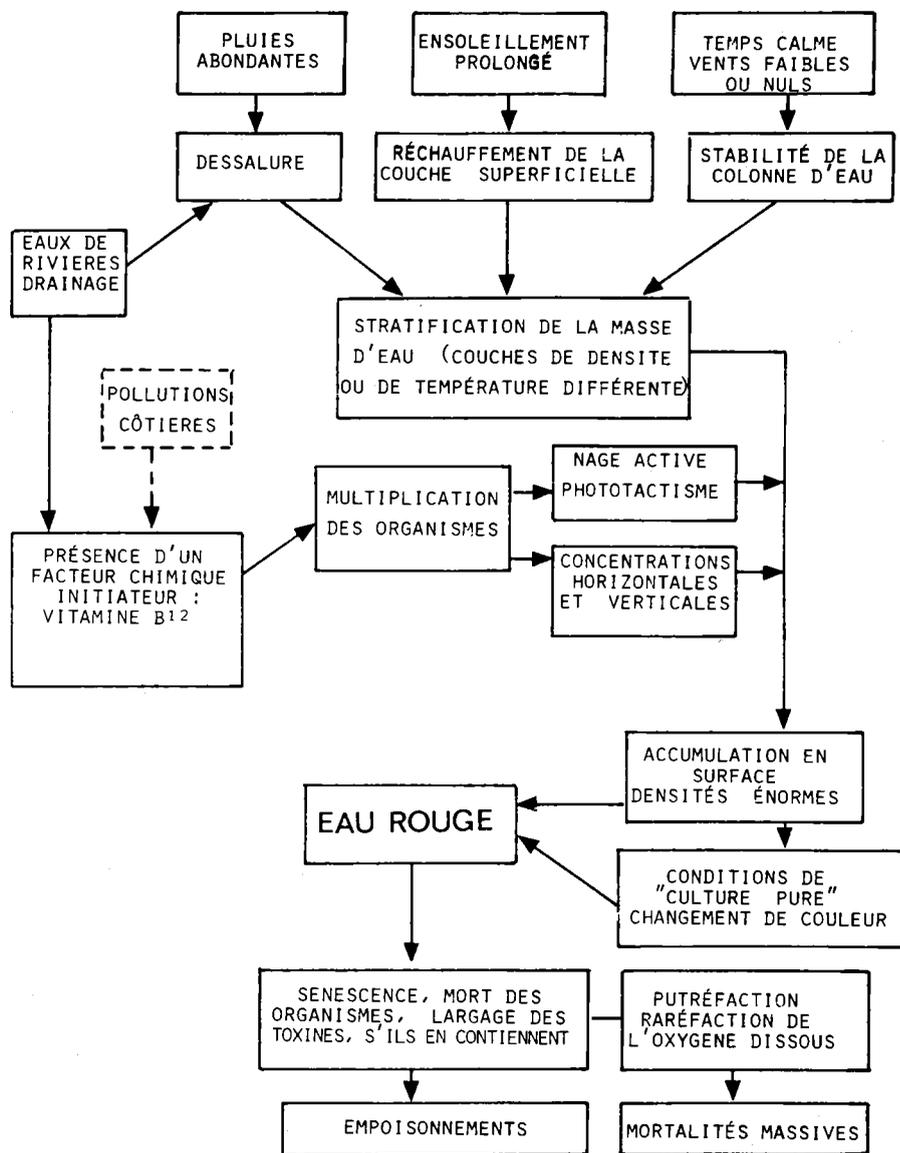


Fig. 3. — Situations provoquant une eau rouge (adapté de Wyatt, 1973).

d'abondantes colonies mucilagineuses d'une haptophycée : *Phaeocystis pouchetii* Largerheim. Cette algue planctonique ne présente aucun caractère toxique pour les animaux ou l'homme, toutefois certains auteurs ont signalé des réactions d'évitement des bancs de harengs vis-à-vis des zones de proliférations de cette microalgue qui pourrait constituer une gêne physique pour ces poissons (Hardy, 1926; Savage et Wimpenny, 1936). Cette prolifération phytoplanctonique prit une grande ampleur du 7 au 20 juin, sur près de 30 km,

entre Barfleur et Grandcamp et elle n'était pas monospécifique puisque le dinoflagellé *Gonyaulax polygramma* Stein fut observé à plusieurs reprises (1).

Pendant la même période, une autre manifestation d'eaux colorées caractérisée par deux dinoflagellés dépourvus de toxicité *Gonyaulax spinifera* (Claparède et Lachmann) Diesing et *G. polygramma* Stein se produisit sur environ 50 km entre Arronanches et Honfleur.

Devant l'ampleur du phénomène une campagne de prélèvements, dont les résultats seront analysés plus loin, fût effectuée.

b) D'autres eaux colorées se sont manifestées par la suite : le 5 juin le site du port pétrolier d'Antifer voit se développer une eau rouge à *Gonyaulax sp.* et *Mesodinium sp.* de durée et d'amplitude très limitées.

c) Le 17 août ce sont les eaux du bassin du Commerce du Havre qui se trouvent colorées par le dinoflagellé *Prorocentrum micans* Ehrenberg, (Breton et Coll., 1978).

d) Du 10 au 15 septembre les eaux, dans les bassins et l'avant-port du Havre, l'estuaire et le long de la côte jusqu'au port d'Antifer, se colorent en brun avec des zones rouges par endroit comme le bassin de Marée et le bassin de la Barre. Le dinoflagellé dominant était *Prorocentrum micans* (54 à 109 × 10<sup>6</sup> individus par litre); *Exuviaella marina* Cienkowski, *Polykrikos schwartzii* Butschli et *Dinophysis acuminata* Claparède et Lachmann étaient présents à de faibles densités.

Le bassin de Marée se trouve largement ouvert sur l'estuaire mais reçoit les eaux de refroidissement de la centrale thermique du Havre ainsi que les effluents de la station de traitement des eaux usées de l'agglomération havraise. Par contre, le bassin de la Barre constitue un cul-de-sac où le renouvellement des eaux est très faiblement assuré.

e) Un dernier cas d'eaux rouges est signalé du 24 au 26 septembre par Breton et Coll. (1978), dans le bassin du Commerce. Cette eau contenait en abondance deux phytoflagellés :

*Pseudopedinella pyriformis* Carter,

*Pyramimonas disomata* Butcher,

et un dinoflagellé moins abondant :

*Gonyaulax spinifera* (Claparède et Lachmann) Diesing.

Il est important de noter qu'aucune manifestation d'eaux colorées n'a été accompagnée de mortalités d'animaux marins. Par ailleurs, 1978 a été une année remarquable aussi bien en ce qui concerne la fréquence que la durée des eaux colorées.

## 2. Analyse des conditions hydrologiques et climatiques.

De nombreux organismes effectuent des prélèvements et des observations, plus ou moins régulièrement, en baie de Seine :

Réseau National d'Observation de la qualité du milieu marin, point d'appui de la baie de Seine (R.N.O.), Schéma d'Aptitude et d'Utilisation de la Mer de l'estuaire de la Seine (S.A.U.M.), Station météorologique du Havre, Port autonome de Rouen, I.S.T.P.M.

Les données climatiques et hydrologiques ainsi obtenues ont été analysées.

(1) A la suite de nombreuses révisions taxonomiques (Sournia, 1973 et 1978 ; Løeblich, 1979 ; Taylor, 1979) il convient de reconsidérer les terminologies utilisées dans ce rapport. D'autre part, certaines synonymies étant indifféremment utilisées dans la littérature scientifique, nous les précisons ici, la position la plus récente étant dans chaque cas la dernière citée :

*Exuviaella mariae-lebouriae* Parke et Ballantine = *Prorocentrum minimum var. mariae-lebouriae* (Parke et Ballantine) Hulbert = *Prorocentrum mariae-lebouriae* (Parke et Ballantine), A.R. Løeblich III.

*Exuviaella marina* Cienkowski = *Prorocentrum marinum* (Cienkowski), A.R. Løeblich III.

*Gonyaulax acatenella* Whedon et Kofoid = *Gessnerium acatenellum* (Whedon et Kofoid) A.R. Løeblich III et L.A. Løeblich.

*Gonyaulax catenella* Whedon et Kofoid = *Gessnerium catenellum* (Whedon et Kofoid) A.R. Løeblich III et L.A. Løeblich.

*Gonyaulax monilata* Howell = *Pyrodinium monilatum* (Howell) F.J.R. Taylor = *Gessnerium mochimaense* Halim = *Gessnerium monilatum* (Howell) A.R. Løeblich III.

*Gonyaulax tamarensis* Lebour = *Gessnerium tamarensis* (Lebour) A.R. Løeblich III et L.A. Løeblich.

*Peridinium triquetrum* (Ehrenberg) Lebour = *Heterocapsa triquetra* (Ehrenberg) Stein.

*Pyrodinium phoneus* Woloszynska et Conrad = *Gonyaulax phoneus* (Woloszynska et Conrad) F.J.R. Taylor.

*Peridinium* Ehrenberg = *Protoperidinium* Bergh.

Nous remercions, par ailleurs, Monsieur Alain Sournia du Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris pour les indications qu'il a bien voulu nous prodiguer.

a) *L'ensoleillement.*

Les valeurs de l'ensoleillement sont données en heures totales décadaires et mensuelles accompagnées des valeurs mensuelles moyennes obtenues à partir d'observations portant sur 30 ans (tabl. 3).

	Insolation décadaire			Insolation mensuelle	
	1 <sup>re</sup>	2 <sup>e</sup>	3 <sup>e</sup>	1978	moyenne
Mai	52	68	91	211	222
Juin	60	74	59	193	234
Juillet	37	79	75	191	225
Août	57	92	110	259	204
Septembre	60	80	59	199	167
Octobre	63	50	48	161	118

Tabl. 3. — *Insolations décadaires et mensuelles.*

En ce qui concerne la nébulosité, on note :

- du 1<sup>er</sup> juin au 14 août : nuageux à très nuageux,
- du 15 août au 5 septembre : beau temps anticyclonique,
- du 6 septembre au 15 septembre : nuageux à très nuageux,
- du 16 septembre au 21 septembre : clair à peu nuageux,
- du 22 septembre au 27 septembre : couvert avec brouillard,
- du 28 septembre au 30 septembre : très nuageux avec pluies.

Il ressort donc qu'une période prolongée de beau temps (15 août au 5 septembre) a précédé les eaux rouges de grande ampleur de septembre.

D'une façon générale les eaux colorées sont apparues avec des insolations décadaires égales ou supérieures à 60 heures.

b) *Les précipitations.*

Les précipitations sont exprimées en millimètres d'eau pour les mois de mai à septembre 1978 :

	1978	Moyenne sur 30 ans
Mai	43,3	49
Juin	80,4	46
Juillet	106,0	41
Août	12,2	52
Septembre	22,8	71

Notons que les précipitations de la troisième décade de juillet (56,5 mm) représentent, à elles seules, plus que la moyenne mensuelle trentenaire et qu'elles constituent plus de la moitié de la pluviosité de ce mois.

c) *Les vents.*

Leur influence directe ne peut être mise en évidence que sur les phénomènes d'eaux colorées de grande amplitude. Nous ne possédons pas de données propres à la côte du Cotentin où les eaux colorées se sont manifestées en juin. Par contre, les directions et forces des vents ont été relevées en baie de Seine au cours de la période qui a précédé les eaux colorées de septembre :

- du 18 août au 5 septembre : vents de terre faibles,
- du 16 au 17 septembre : vents de mer faibles à modérés dans l'ensemble mais forts le 11,
- du 18 au 20 septembre : vents de terre faibles,
- du 21 au 30 septembre : vents de mer faibles devenant modérés à assez forts à partir du 27.

Les vents de mer qui ont soufflé du 6 au 17 septembre (même faibles à modérés dans l'ensemble, et forts le 11) ont dû jouer un rôle non négligeable dans les manifestations d'eaux colorées du 10 au 15 septembre. Ils ont en effet maintenu à la côte une masse d'eau enrichie par les apports fertilisants de la Seine; on peut aussi penser qu'ils ont véhiculé l'inoculum de dinoflagellés qui a ensemencé la zone côtière, donnant ainsi une eau colorée.

Enfin les vents assez forts, à partir du 27 septembre ont provoqué une agitation de l'eau qui a mis un terme aux conditions favorables aux eaux rouges.

*d) L'état de la mer.*

La mer a été calme ou belle de la mi-avril au 20 juin, en baie de Seine; il est probable qu'il en a été de même sur les côtes du Cotentin. Ceci explique la durée et l'étendue exceptionnelles des eaux colorées de la fin du printemps.

Le 20 juin, la mer a été agitée mettant un terme à ces manifestations.

Par la suite on peut résumer l'état de la mer ainsi :

du 23 au 28 juin : mer peu agitée,  
 du 29 juin au 5 juillet : mer agitée à forte,  
 du 6 au 17 juillet : mer calme à peu agitée,  
 du 18 au 26 juillet : mer peu agitée dans l'ensemble,  
 du 27 juillet au 26 septembre : mer belle ou peu agitée, excepté les 2, 11 et 15 septembre où elle a été agitée,  
 du 27 au 29 septembre : mer forte.

L'agitation du 15 septembre semble avoir mis un terme aux eaux colorées de grande amplitude de la baie de Seine. On peut également penser que la mer forte du 27 a empêché une extension des eaux rouges qui apparaissent dans les bassins portuaires.

D'une façon générale, on constate que les eaux colorées n'ont lieu que par mer calme ou peu agitée (creux inférieurs à 1,20 m) et qu'elles disparaissent lorsque l'agitation de la mer devient plus importante.

*e) La température de l'eau de mer.*

Le tableau 4 donne les températures moyennes mensuelles relevées au Havre, à 12 h temps universel, entre avril et septembre, de 1975 à 1978.

	1975	1976	1977	1978
Avril (1)	8,5	8,8	8,8	8,0
Mai (1)	11,3	11,0	10,7	10,3
Juin (2)	—	17,9	17,8	15,3
Juillet (2)	—	19,8	20,0	16,8
Août (2)	—	19,7	20,3	17,9
Septembre (1)	18,3	17,6	16,2	17,0

Tabl. 4. — Températures moyennes mensuelles relevées au bateau-feu du Havre (1) et dans l'avant-port du Havre (2).

Il ressort nettement que l'année 1978 a été une année froide par rapport aux précédentes. L'examen des températures relevées, depuis 1974, aux stations du R.N.O. montre une élévation plus ou moins marquée à partir d'avril, qui se poursuit jusqu'en août, suivie d'une chute importante en septembre, octobre. Les phénomènes d'eaux colorées se produisent essentiellement entre mai et septembre, c'est-à-dire pendant la phase des eaux chaudes. On peut donc penser a priori, que les variations de températures ont une certaine importance dans leur déclenchement. C'est pourquoi nous avons examiné les valeurs trouvées, d'avril à août

pour l'ensemble des stations du R.N.O., en surface et en profondeur, entre 1975 et 1978. Ces valeurs, difficilement exploitables sous leur forme brute, ont été traitées et représentées graphiquement (fig. 4).

Parmi les phénomènes d'eaux colorées observés dans la zone estuarienne, celui du 10 au 15 septembre a été exceptionnel par son étendue (30 km de longueur environ); ainsi, si l'élévation brusque de la température de l'eau constitue un facteur important dans le déclenchement des eaux colorées, on doit pouvoir le mettre en évidence. En fait, nous constatons que l'année 78 est caractérisée par une élévation lente et régulière de la température de l'eau, aussi bien en surface qu'au fond. Il en a été de même en 1975 où il y a eu également des

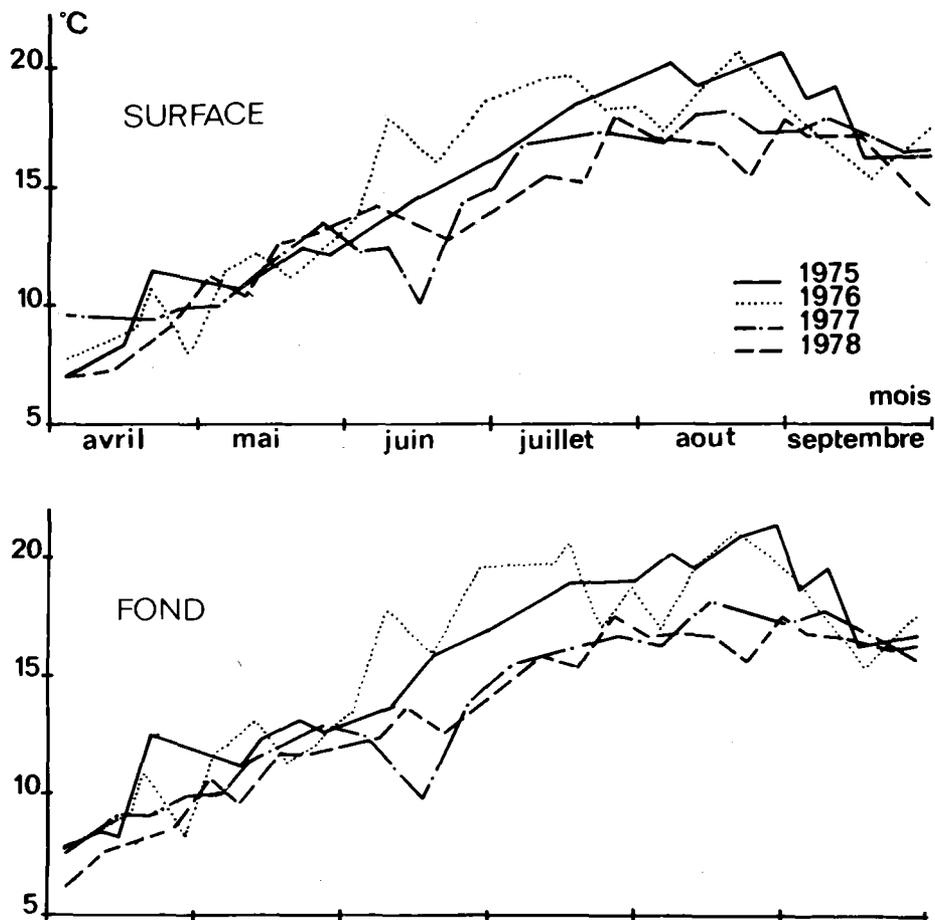


Fig. 4. — Températures moyennes des eaux de surface et de fond de l'estuaire de Seine.

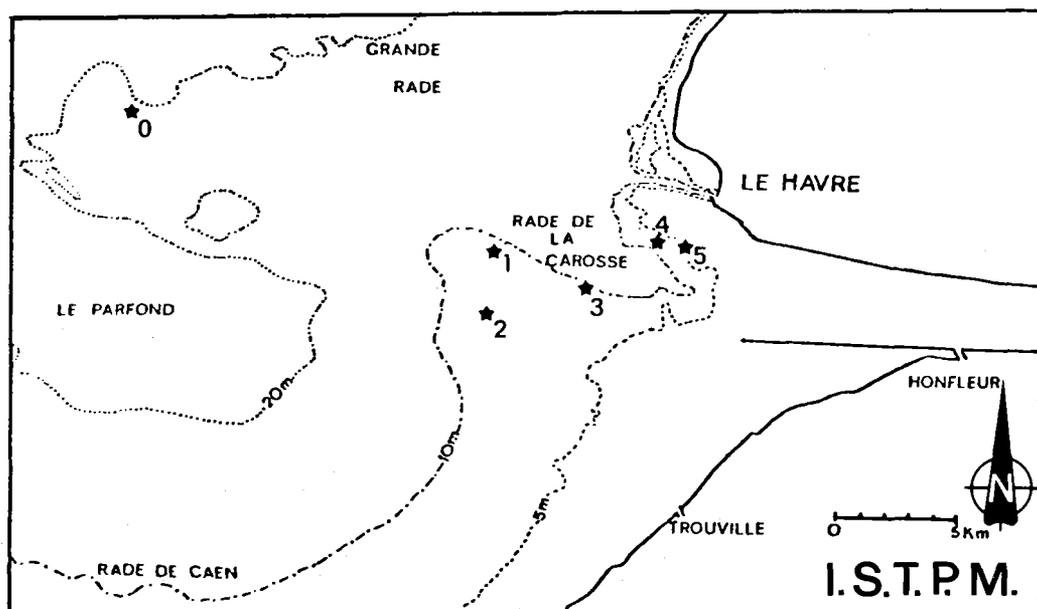
eaux colorées en baie de Seine (fig. 1 et tabl. 2). Par contre, en 1976, année exceptionnellement chaude, accusant même une élévation brutale de la température de l'eau en mai-juin, il n'y a pas eu d'eaux colorées. En juin-juillet 1977, une élévation brutale de la température de l'eau a été également constatée, sans qu'il y ait pour autant des eaux rouges, dans la période qui suivit.

Il semblerait donc que les variations brutales de températures de l'eau ne seraient pas le facteur déclenchant les différentes eaux colorées apparues. En revanche une élévation lente et régulière des températures paraît associée à la production des eaux rouges. Ce processus pourrait être la manifestation secondaire d'une période de faible agitation des eaux et d'ensoleillement important favorisant une stratification des eaux.

Par ailleurs, tous les phénomènes d'eaux colorées sont intervenus lorsque la température de l'eau de mer était égale ou supérieure à 10 °C.

Stations	0		1		2		3		4		5		
Date de prélèvement	13.09.1978		12.09.1978		12.09.1978		12.09.1978		12.09.1978		12.09.1978		
Heure de prélèvement	15 h 50		11 h 50		11 h 20		11 h 05		10 h 30		10 h 10		
Heure basse mer : coefficient	14 h 05	65	12 h 39	53									
Niveau de prélèvement	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	
Températures (°C)	17,5	17,8	17,8	17,7	17,7	17,7	17,9	17,7	17,6	17,7	17,9	17,6	
pH	8,10	8,12	8,10	8,20	8,15	8,21	8,09	8,20	7,95	8,05	7,92	8,00	
O <sub>2</sub> Dissous	(ml/l)	8,38	6,38	6,03	6,22	8,28	7,22	5,75	9,11	8,59	6,68	5,30	5,78
	(% saturation)	148,3	113,9	103,3	108,7	140,3	126,2	98,3	162,0	145,6	119,9	94,8	98,6
Salinités (p. 1000)	28,0	28,3	21,5	25,3	20,0	25,5	21,1	28,4	20,6	29,9	21,4	28,6	
Chlorures (mg/l)	15 910	16 050	12 190	14 310	11 380	14 480	11 960	16 110	11 680	16 970	12 110	16 240	
Sulfates (mg/l)	1 980	2 240	1 830	2 410	1 870	2 140	2 210	2 260	1 600	2 240	2 010	2 010	
Rapport Cl/SO <sub>4</sub>	8,04	7,17	6,66	5,94	6,09	6,85	5,41	7,13	7,30	7,57	6,02	8,08	
Phosphates (µatg P/l)	1,08	1,70	3,74	1,86	3,75	1,96	1,62	3,22	1,98	2,67	2,07	2,99	
Nitrates (µatg P/l)	3,64	1,98	13,62	1,78	13,22	1,38	16,59	2,56	32,25	16,00	30,51	18,36	

Tabl. 5. — Résultats d'analyses effectuées sur des échantillons d'eau prélevés les 12 et 13 septembre 1978, en surface et au fond, aux stations I. S. T. P. M. de surveillance des rejets de phosphogypse.



Localisation des stations du tableau 5.

f) La salinité.

Les valeurs relevées tant dans le cadre du R.N.O. (fig. 5) que lors de la campagne de surveillance des rejets de phosphogypse de septembre (tabl. 5) font apparaître des eaux superficielles côtières dessalées comparativement à celles du fond, en 1978.

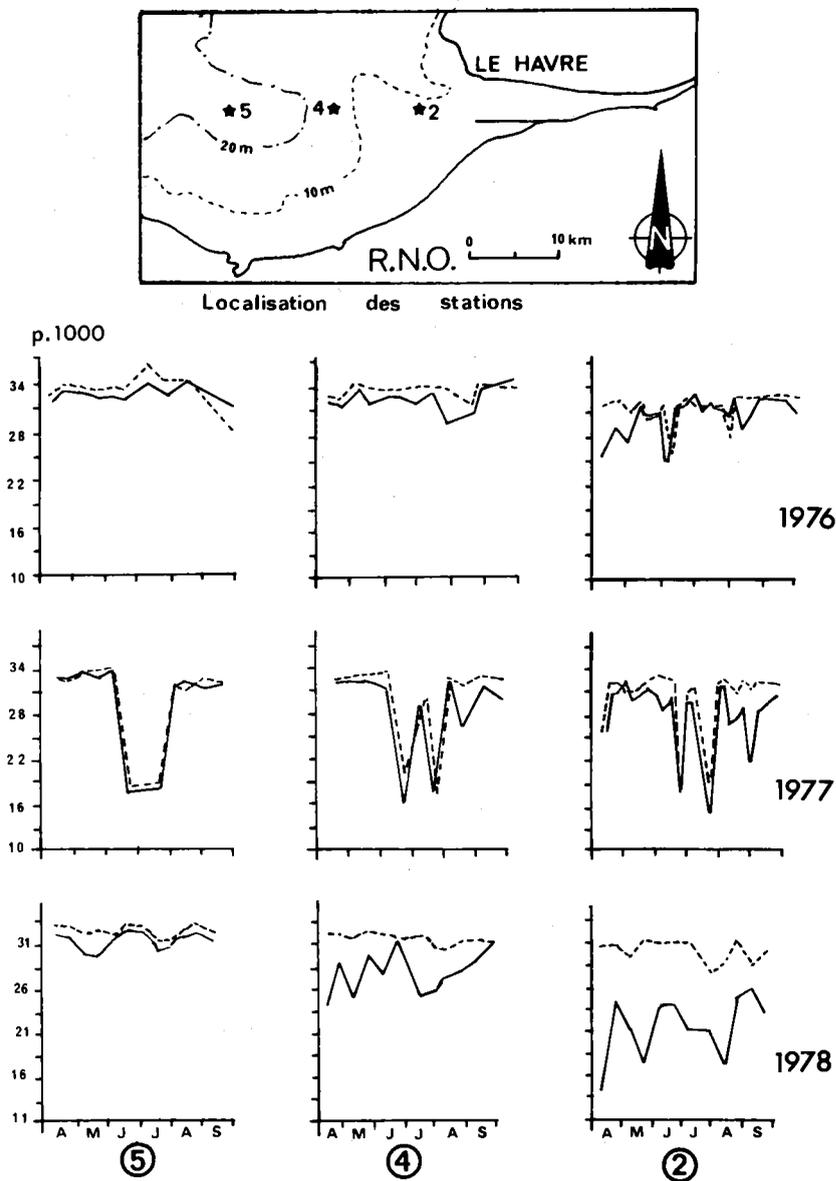


Fig. 5. — Salinité des eaux de surface (traits pleins) et de fond (pointillés), aux stations 2, 4 et 5 du R.N.O. de baie de Seine, d'avril à septembre 1976 à 1978.

Aux mois de mai, juin et juillet cette situation s'explique par des débits en Seine forts pour la saison (tabl. 6).

Les résultats de septembre mettent en évidence l'existence d'une masse d'eau superficielle directement influencée par les apports de la Seine et maintenue à la côte par les vents de mer qui ont soufflé en cette période de faible amplitude de marée.

g) Les sels nutritifs.

Les concentrations en sels nutritifs sont toujours importantes à proximité de l'estuaire de la Seine. Les résultats du S.A.U.M., comme ceux du R.N.O. (tabl. 7 et fig. 6 et 7) font apparaître des gradients de

	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre
1976	254	199	146	135	123	142
1977	451	417	334	283	281	250
1978	1049	598	403	342	245	188

Tabl. 6. — Débits de la Seine en m<sup>3</sup>/seconde.

concentration pour les phosphates et les nitrates qui décroissent de l'estuaire vers le large et montrent bien l'influence prépondérante des apports de la Seine.

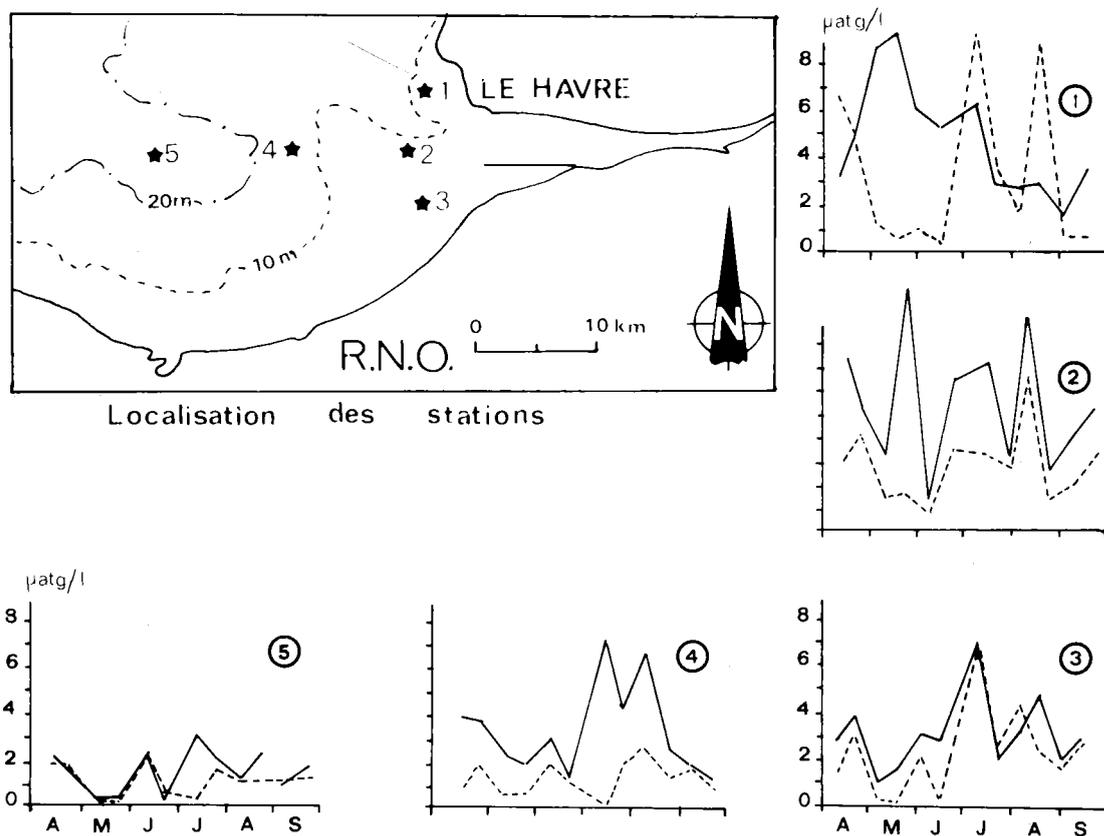
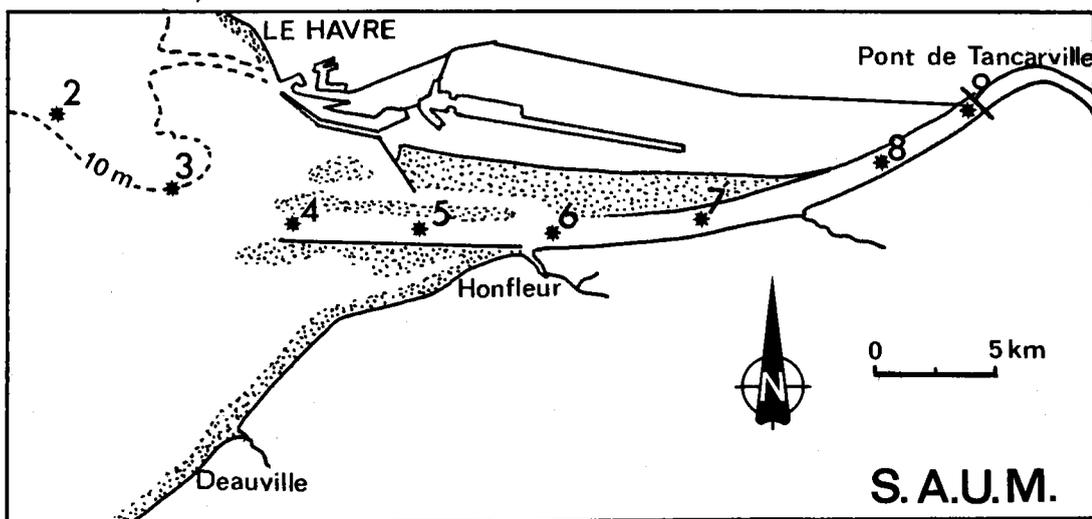


Fig. 6. — Teneurs en phosphates, en microatomegrammes par litre, aux stations du R.N.O. de baie de Seine, entre avril et septembre 1978; traits pleins : eaux de surface; pointillés : eaux de fond.

A différentes reprises, il a été observé en baie de Seine, que les eaux à dinoflagellés étaient intervenues après une poussée de diatomées; cette dernière passait le plus souvent inaperçue car aucune coloration

Stations et niveaux	Salinités ‰		Oxygène ml/l		Nitrates $\mu$ atg/l		Phosphates $\mu$ atg/l	
	14.6.78	21.7.78	14.6.78	21.7.78	14.6.78	21.7.78	14.6.78	21.7.78
2 Surface	25,27	26,67	8,62	6,61	185,5	19,5	7,13	3,14
2 Fond	29,96	29,75	7,57	7,01	57,7	16,5	3,08	2,62
3 Surface	28,78	21,11	7,73	5,48	10,4	148,0	1,71	6,20
3 Fond	29,78	27,46	7,45	4,24	4,3	22,5	4,01	3,12
4 Surface	12,58	11,07	4,93	3,79	35,5	321,0	7,65	9,71
4 Fond	27,79	12,23	6,55	2,66	20,3	313,5	7,03	15,10
5 Surface	6,23	5,35	4,10	1,80	63,8	295,5	21,70	13,85
5 Fond	22,58	4,65	6,22	1,53	78,9	330,0	10,30	15,70
6 Surface	0,85	0,86	1,62	2,60	246,5	354,5	28,90	19,25
6 Fond	10,36	1,02	3,32	1,53	207,0	352,0	20,50	20,45
7 Surface	0,16	0,41	2,52	2,77	297,0	332,0	27,70	20,30
7 Fond	0,16	0,52	2,91	2,09	274,5	358,0	27,50	20,05
8 Surface	0,16	0,48	1,34	3,22	—	349,5	—	20,05
8 Fond	0,16	0,34	2,18	1,98	—	348,5	—	19,85
9 Surface	0,16	0,23	3,58	2,71	281,0	329,5	29,40	18,20
9 Fond	0,16	0,60	2,24	2,20	239,5	354,5	8,00	22,75

Tabl. 7. — Résultats d'analyses effectuées sur des échantillons d'eau prélevés les 14 juin et 21 juillet 1978, en surface et au fond, aux stations 2 à 9 dans le cadre du S.A.U.M. de baie de Seine.



Localisation des stations du tableau 7.

anormale de l'eau ne l'accompagnait. Il est possible, comme le suppose Rice (1954), que certaines diatomées libèrent dans le milieu des métabolites qui favoriseraient la prolifération des dinoflagellés.

*h) Les apports de polluants en baie de Seine.*

Comme nous venons de le voir, l'hypothèse selon laquelle les phénomènes d'eaux rouges sont favorisés, voire déclenchés, par des apports de sels nutritifs résultant de pollutions diverses de milieux particuliers comme les estuaires et les baies, a été souvent défendue.

La Seine drainant un bassin très industrialisé et urbanisé, il était intéressant d'examiner les apports polluants susceptibles d'intervenir dans la formation des eaux colorées.

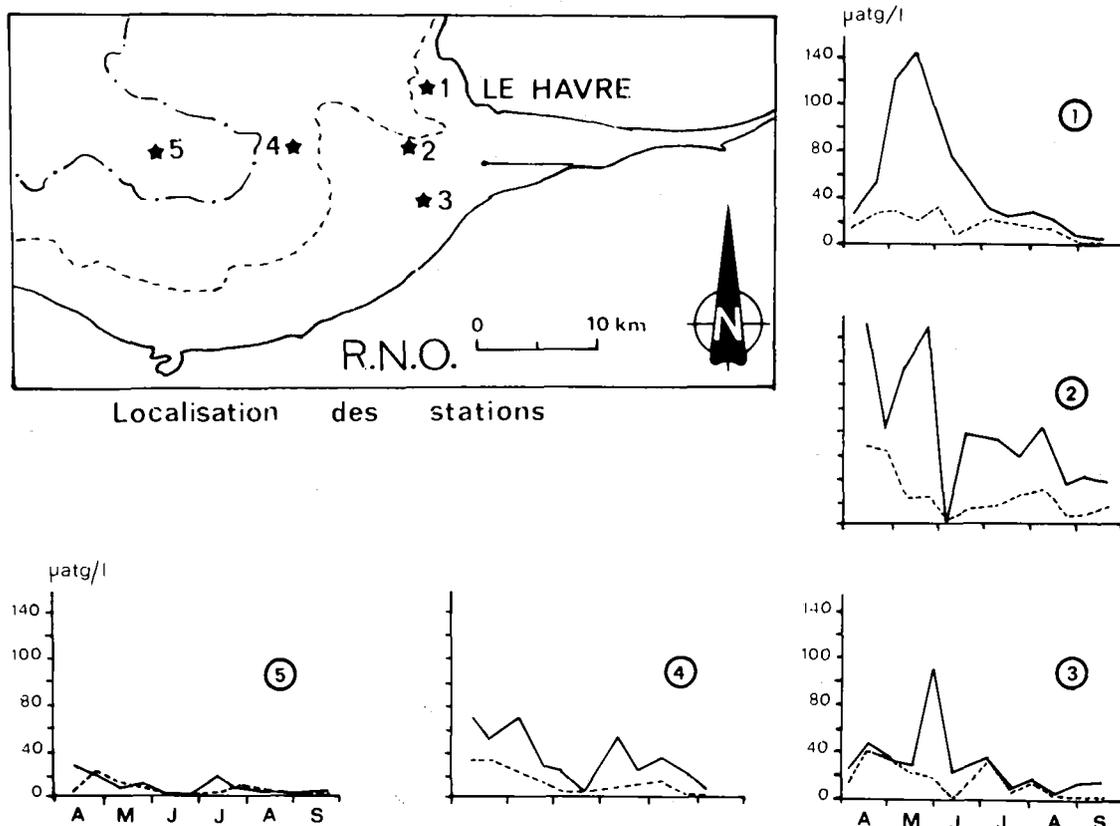


Fig. 7. — Teneurs en nitrates, en microatomegrammes par litre, aux stations du R.N.O. de baie de Seine, entre avril et septembre 1978; traits pleins : eaux de surface; pointillés: eaux de fond.

*Les apports de la Seine.*

Nous ne reviendrons pas sur la part considérable des apports de la Seine dans les tonnages de phosphates et de nitrates rejetés dans la baie. Notons cependant qu'une synthèse des travaux du R.N.O. de 1975 à 1977 fait état d'un excès de phosphate par rapport à l'azote minéral dissous, dans les apports moyens annuels de ces deux éléments (R.N.O., Bulletin trimestriel n° 9). En effet, le rapport des quantités de ces deux éléments dans l'eau des grands estuaires européens est généralement de l'ordre de 20 pour N/P, alors qu'il n'est que de 5 dans l'estuaire de la Seine.

Notons également des teneurs en matières organiques importantes d'origine naturelle, industrielle (notamment des papeteries) ou urbaine (agglomération de Rouen) et des teneurs en zinc et en cadmium plus élevées que d'ordinaire dans des sites comparables.

### *Les rejets industriels en mer.*

Il s'agit essentiellement des rejets acides de sulfate de fer et des déversements de phosphogypse.

Les rejets acides de sulfate de fer.

Ce type de rejet n'a très probablement aucune incidence sur l'apparition d'eaux colorées en baie de Seine car il n'apporte aucun élément susceptible de profiter à un développement du plancton.

Les rejets de phosphogypse.

Les trois usines d'engrais de la Basse-Seine déversent des quantités importantes de phosphogypse, en des zones bien précises, soit par navire : A.P.C. depuis mai 1974, Rhône-Poulenc depuis juillet 1974, soit par émissaire : C.O.F.A.Z. depuis août 1975.

Les tonnages rejetés sont fonction du marché des engrais qui est étroitement lié aux conditions climatiques (sécheresse de 1976) et à la crise économique qui touche particulièrement l'agriculture.

Depuis 1976 (première année où les trois usines ont fonctionné simultanément) on assiste à une nette augmentation des rejets. Le tableau 8 donne le détail de ces déversements du 1<sup>er</sup> janvier 1976 au 31 décembre 1978 : la moyenne mensuelle des déversements est passée de 99 391 t en 1976 à 132 420 t en 1977 et 166 952 en 1978.

La composition moyenne du phosphogypse déversé (tabl. 9) fait apparaître que seuls les phosphates pourraient représenter un facteur favorisant les eaux colorées.

Si l'on considère les différents rejets effectués directement en baie de Seine par les industries, les agglomérations et les zones portuaires, la quasi-totalité des phosphates déversés est le fait des usines d'engrais. Cependant, ce tonnage ne représente qu'environ 13 % des phosphates arrivant au total en baie de Seine.

Notons que les apports des autres fleuves côtiers de la baie (Risle, Touques, Dives, Orne et Vire) sont très variables et ne représentent guère en moyenne que 10 % des sels nutritifs et matières organiques rejetés en baie de Seine.

Il paraît donc difficile d'imputer aux rejets de phosphogypse les phénomènes d'eaux colorées observés épisodiquement en baie de Seine. En effet, en 1978 les eaux colorées ont été très abondantes sur toute la côte atlantique française et notamment sur la côte sud de la Bretagne où l'industrialisation est très faible. Par ailleurs, si on examine en détail le tableau 8, on constate que les déversements, en mai 1978, ont été inférieurs de plus de 50 % à la moyenne mensuelle. Or la première apparition d'eau colorée en baie de Seine, se situe le 5 juin à Antifer.

Enfin, si les déversements de phosphogypse constituaient vraiment un facteur déclenchant l'apparition d'eaux colorées, il y aurait tout lieu de penser que (lorsque tous les autres facteurs favorables sont présents) les phénomènes débuteraient par les zones de déversements et surtout par l'exutoire de la C.O.F.A.Z. qui constitue en quelque sorte un « rejet chronique et fixe ». Ce n'était pas le cas en 1978 puisque les eaux colorées ont été observées :

le 5 juin dans le port d'Antifer, le 17 août dans le port du Havre, du 10 au 15 septembre dans le port du Havre et entre la digue du Ratier et Antifer, du 24 au 26 septembre dans le port du Havre.

### **3. Discussion.**

En baie de Seine, les eaux colorées observées en 1978 se rapportent à trois configurations géographiques différentes :

- les bassins portuaires à faibles renouvellements d'eaux,
- l'avant-port du Havre et le port d'Antifer qui sont des milieux ouverts soumis à un renouvellement régulier des eaux,
- l'estuaire et la pleine mer qui sont directement sous la dépendance des variations hydrologiques et climatiques locales.

Les eaux colorées du 17 août d'une part, et des 24-26 septembre d'autre part, entrent dans le premier cas; celles du 5 juin dans le second; enfin celles de mai-juin et des 10-15 septembre se rapportent au troisième cas.

	1976				1977				1978			
	C.O.F.A.Z.	A.P.C.	RP.CM	Totaux	C.O.F.A.Z.	A.P.C.	RP.CM	Totaux	C.O.F.A.Z.	A.P.C.	RP.CM	Totaux
Janvier	9 423	33 240	43 246	85 909	36 709	15 230	72 488	124 427	60 814	73 220	56 864	190 898
Février	29 662	43 840	47 519	121 021	37 784	16 580	65 071	119 435	59 607	68 950	53 593	182 150
Mars	22 295	55 360	46 326	123 981	38 687	16 220	66 774	121 681	68 295	82 255	46 416	196 966
Avril	24 896	61 620	40 185	126 701	62 279	14 870	58 311	135 460	72 390	46 620	38 043	157 053
Mai	30 125	49 650	50 706	130 481	39 366	16 320	46 908	102 594	300	19 970	55 613	75 883
Juin	14 501	40 220	59 053	113 774	27 390	67 320	42 982	137 692	65 515	52 880	39 421	157 816
Juillet	0	2 840	20 238	23 078	0	68 780	39 690	108 470	46 823	91 410	38 355	176 588
Août	0	0	37 604	37 604	15 396	78 040	43 999	137 435	65 636	85 690	44 266	195 592
Septembre	28 255	28 100	40 910	97 265	43 645	74 000	38 530	156 175	53 301	73 460	37 262	164 023
Octobre	45 472	13 300	57 785	116 557	60 787	67 470	38 945	167 202	54 069	70 700	48 826	173 595
Novembre	15 039	15 110	43 907	74 056	52 246	65 800	36 718	154 764	11 890	67 210	52 917	132 017
Décembre	58 727	19 680	63 869	142 276	17 624	60 730	45 353	123 707	62 518	72 925	65 410	200 853
Totaux	278 395	362 960	551 348	1 192 703	431 913	561 360	595 769	1 589 042	621 158	805 290	576 986	2 003 434
Moyennes mensuelles	23 199	30 246	45 946	99 391	35 993	46 780	49 647	132 420	51 763	67 107	48 082	166 952

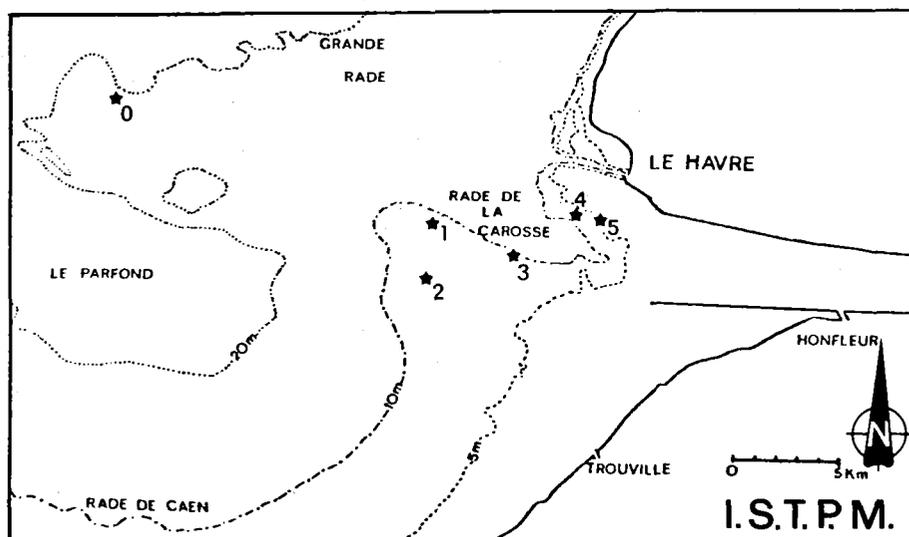
Tabl. 8. — Quantités de phosphogypse, exprimées en tonnes et en poids secs, rejetées mensuellement par les sociétés C.O.F.A.Z., A.P.C., et Rhône-Poulenc en baie de Seine, entre le 1<sup>er</sup> janvier 1976 et le 31 décembre 1978.

	Concentrations mg/kg
Sulfates	513 000
Oxyde de calcium	317 000
Insoluble	52 600
Silice	19 700
Fluorures	10 000
Phosphates	8 400
Alumine	2 800
Titane	162
Zinc	31,5
Vanadium	14
Cuivre	9
Nickel	6,9
Plomb	6,35
Chrome	4,70
Cadmium	4,17
Cobalt	0,75
Mercuré	0,12

Tabl. 9. — Composition moyenne, exprimée en mg/kg de poids sec, du phosphogypse déversé en estuaire de Seine.

Stations	0		1		2		3		4		5	
Date de prélèvement	20.6.78		20.6.78		20.6.78		20.6.78		20.6.78		20.6.78	
Heure de prélèvement	13 h 00		12 h 15		11 h 55		11 h 30		11 h 05		11 h 00	
Heure basse mer	18 h 03											
Coefficient	96		96		96		96		96		96	
Niveau prélèvement	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F
pH	8,30	8,20	8,30	8,20	8,30	8,20	8,20	8,20	8,15	8,20	8,05	8,15
Oxygène (ml/l)	7,42	6,09	7,28	5,95	7,00	5,95	6,16	5,50	5,88	5,92	6,02	6,09
Oxygène % saturation	118,0	93,4	121,7	92,0	112,4	94,4	98,6	87,9	92,2	93,4	96,5	97,3
Salinités ‰	23,0	19,5	29,5	18,7	22,0	23,7	19,5	24,0	17,0	20,7	20,0	20,0
Nitrates ( $\mu$ atg/l)	1,78	3,84	5,24	2,52	4,45	9,05	13,87	9,21	16,58	4,73	25,94	13,21
Phosphates ( $\mu$ atg/l)	0,49	0,84	1,01	0,98	1,06	1,29	2,70	2,82	3,77	1,99	4,52	3,66
Température (°C)	13,7	13,0	14,2	13,6	14,5	13,4	15,0	13,6	14,8	14,0	15,0	14,8

Tabl. 10. — Résultats obtenus aux six stations en surface (S) et au fond (F) aux stations de surveillance des rejets de phosphogypse.



Localisation des stations du tableau 10.

*a) Les eaux colorées de la fin du printemps 1978 (côtes du Cotentin et du Calvados).*

Ces eaux colorées ont été remarquables par l'amplitude du phénomène, sa durée et la succession des espèces qui a été observée.

Les concentrations en nitrate et phosphate des eaux de surface étaient plus élevées dans les stations les plus estuariennes, ce qui marque l'origine fluviale de ces apports (tabl. 10). Cependant, il faut noter que ces valeurs ont été plus faibles qu'en septembre 1977 et avril 1978; ceci est peut-être imputable à l'intense activité métabolique des organismes planctoniques au cours de la période mai-juin 1978.

Par ailleurs, l'oxygénation du milieu était normale et les valeurs du pH légèrement supérieures aux valeurs habituelles.

*b) L'eau colorée du 5 juin (Antifer).*

Elle est caractérisée par :

- une absence totale de pluviosité au cours de la dernière décade de mai,
- une durée normale d'ensoleillement pendant tout le mois précédant le phénomène,
- une mer calme et belle de la mi-avril au 20 juin,
- un vent de sud les 1<sup>er</sup> et 2 juin qui a donc favorisé l'entrée des eaux superficielles du large pouvant apporter l'inoculum nécessaire au démarrage du phénomène,
- une absence d'apports significatifs de polluants du fait de la situation d'Antifer par rapport à l'estuaire.

	Surface	Fond
pH	8,75	8,40
Température °C	19°5	18°
Oxygène dissous (mg/l)	18,5	10
% Saturation en oxygène	240	127
Salinité (‰)	27,2	27,7
Ammonium ( $\mu$ atg N/l)	0,55	2,75
Nitrites ( $\mu$ atg N/l)	1,32	1,40
Nitrates ( $\mu$ atg N/l)	17,2	33,5
Phosphates ortho ( $\mu$ atg P/l)	2,4	3,55
Silicates ( $\mu$ atg Si/l)	10	16,7
Chlorophylle a ( $\mu$ g/l)	117,9	—
Détergents anioniques (mg/l LAS)	0,055	—
Matières en suspension (mg/l)	17,2	—

Tabl. 11. — Résultats des analyses d'eau du bassin du Commerce prélevée le 17.08.1978 (Breton et Coll. 1979).

Parmi tous ces facteurs, l'état de la mer et le régime des vents sont seuls susceptibles d'avoir favorisé cette apparition d'eau colorée.

*c) L'eau colorée du 17 août (bassin portuaire du Havre).*

Elle est caractérisée par :

- une pluviosité exceptionnellement élevée en juillet et tout particulièrement au cours de la dernière décade de ce mois; cette pluviosité a par contre été très faible en août,

un ensoleillement faible en juillet et très élevé en août, des plans d'eau très calmes à l'intérieur des digues du port, des vents faibles et variables du 4 août au début septembre, un milieu portuaire chroniquement enrichi en polluants.

Parmi ces facteurs, l'ensoleillement, la stabilité des eaux et l'enrichissement du milieu sont seuls susceptibles d'avoir favorisé cette apparition d'eau colorée. La brièveté du phénomène pourrait s'expliquer par un appauvrissement rapide des ressources nutritives de ce milieu relativement confiné.

Breton et Coll. (1978) ont effectué des mesures physico-chimiques dans le bassin du Commerce, lors de ce phénomène d'eau colorée. Ils notent des valeurs élevées du pH et de l'oxygène dissous surtout dans les eaux de surface (tabl. 11). Les teneurs en sels nutritifs sont également élevées.

*d) L'eau colorée du 10 au 15 septembre (bassin et avant-port du Havre, estuaire et zone côtière jusqu'à Antifer).*

Ce cas est caractérisé par une durée et une ampleur exceptionnelles puisqu'il a concerné une zone s'étendant de l'estuaire de la Seine jusqu'au port pétrolier d'Antifer.

Divers prélèvements ont été effectués en vue d'analyses physico-chimiques (tabl. 12).

	Bassin de la Barre	Bassin de Marée
Date	14.09.79	14.09.79
Heure	10 h 45	11 h 30
Température (°C)	19,0	19,5
Salinité (‰)	28,8	28,0
Nitrates ( $\mu$ atg/l)	6,5	21,0
Phosphates ( $\mu$ atg/l)	4,6	65,2

Tabl. 12. — Résultats des analyses physico-chimiques.

Les teneurs en sels nutritifs mettent en évidence les apports des effluents urbains dans l'avant-port du Havre. Toutefois la prolifération de dinoflagellés ne semblent pas liée à l'existence de ces apports puisque les eaux plus pauvres du bassin de la Barre ont également été le siège d'eaux colorées.

Les résultats des analyses physico-chimiques effectuées les 12 et 13 septembre aux stations de surveillance des déversements de phosphogypse (tabl. 5) mettent en évidence l'absence d'une thermocline mais l'existence de deux couches d'eau de densités différentes, au niveau des 5 stations estuariennes.

On retiendra les éléments suivants :

l'élévation régulière de la température des eaux du fait de l'ensoleillement exceptionnel d'août et septembre,

des précipitations très faibles en août et septembre,

des durées d'ensoleillement très élevées en août et septembre avec une absence de nébulosité du 15 août au 5 septembre,

une mer belle à peu agitée du 27 juillet au 26 septembre; la mer a été agitée les 2, 11 et 15 septembre qui marque la fin du phénomène,

des vents de mer qui s'établissent et forcissent du 6 au 17 septembre,

un rôle possible des apports polluants venant de la Seine du fait de la localisation et de l'étendue du phénomène.

Tout ceci a pu intervenir dans la manifestation du phénomène. Cependant il semblerait que les vents de mer aient joué le plus grand rôle en piégeant la masse d'eau estuarienne le long de la côte et, peut être, en lui apportant l'inoculum de dinoflagellés nécessaire pour ensemençer cette masse d'eau.

La cessation du phénomène peut être imputée au changement de direction des vents et à l'agitation des eaux survenues les 15 et 16 septembre.

e) *L'eau colorée du 24 au 26 septembre (bassin portuaire du Havre).*

Ce phénomène était très proche du précédent mais cependant limité à un bassin du port. Les facteurs hydrologiques et climatiques sont les mêmes.

Le vent, soufflant de terre du 16 au 22 a eu peu d'influence sur l'agitation des plans d'eau portuaires bien protégés des vents modérés venant de ce secteur; par la suite de forts vents d'ouest (du 25 au 30) et une mer devenue agitée (du 27 au 29) ont mis un terme à cette eau colorée avant qu'elle ne puisse prendre une certaine ampleur.

### **Conclusion.**

Il arrive, à certaines périodes de l'année, que les organismes du plancton marin se multiplient si intensément qu'ils donnent à l'eau une coloration brune ou rouge, selon leur nature ou leur densité. Le terme d'eau colorée ou d'eau rouge a été donné à ce phénomène qui est universel et dont la fréquence semble plus grande dans la zone côtière.

Les organismes responsables appartiennent à différents groupes: bactéries, cyanophycées, diatomées, dinoflagellés, protozoaires, ciliés, crustacés planctoniques etc. Néanmoins, ce sont les dinoflagellés qui ont été le plus souvent décrits, d'une part en raison de leur fréquence, et d'autre part du fait de la haute toxicité de quelques espèces. Toutefois, la plupart des dinoflagellés constituant les eaux rouges, ne présentent aucun caractère toxique pour les animaux marins et l'homme.

Sur le littoral français, 1978 a été une année remarquable, tant par le nombre de cas d'eaux colorées signalés que par l'ampleur de certains. Il est à noter, en particulier, que les trois cas les plus importants se sont développés entre Barfleur et Antifer, ce qui permettait d'envisager le rôle des apports de polluants en baie de Seine.

En baie de Seine, les dinoflagellés appartenaient en majorité au genre *Gonyaulax*, ce qui a provoqué quelques inquiétudes du fait de l'existence de 5 à 6 espèces toxiques appartenant à ce genre. En fait, les déterminations des organismes responsables ont permis d'écarter ce risque avant confirmation par les tests biologiques (absence de toxine dans les coquillages).

Les manifestations d'eaux colorées de grande ampleur ont cependant eu des conséquences importantes sur la pêche et la conchyliculture du Calvados (Kopp, 1978):

les poissons pélagiques ont eu des réactions d'évitement vis-à-vis de ces eaux, ce qui a rendu pratiquement nul le tonnage des captures,

dans les écloséries conchylicoles, il a été constaté des mortalités importantes de naissains ainsi qu'un retard dans la maturation des géniteurs,

dans les parcs d'élevage, les huîtres ont subi un retard de croissance, dû à une baisse de l'alimentation en juin,

sur les gisements naturels de moules, le ramassage des coquillages momentanément interdit par la Direction des Affaires Maritimes, a été très fortement réduit par la suite en raison de la mévente consécutive à la publicité faite autour du phénomène,

des mortalités importantes de crustacés sont survenues par suite d'une baisse considérable du taux d'oxygène dissous dans l'eau des viviers de mareyage.

Dans tous les cas examinés ici, il n'y a pas eu d'espèces synthétisant une toxine mais cependant des dommages qui découlent de la masse énorme de matière vivante présente dans les eaux. Que ce soit par

consommation d'oxygène par le plancton vivant, la nuit, ou par l'utilisation de cet oxygène par les bactéries dégradant le plancton mort, c'est toujours la baisse de l'oxygène dissous qui a été responsable des dommages constatés.

En estuaire de Seine, le phénomène des grandes eaux colorées a été moins long et aucune mortalité d'animaux marins n'a été relevée.

La plupart des autres eaux colorées a été observée dans des bassins portuaires ; dans ce cas on peut avancer l'hypothèse que le taux de sels nutritifs (pouvant provenir d'apports polluants) est un facteur susceptible de favoriser le phénomène. néanmoins, les sels nutritifs sont toujours abondants dans ce type de milieu, et s'ils étaient le facteur dominant les phénomènes d'eaux colorées devraient y être beaucoup plus fréquents. Il faut plutôt voir dans certaines conditions climatiques particulières (eaux calmes ; ensoleillement important ; vent de mer faible apportant l'inoculum planctonique, dans des eaux côtières plus riches en sels nutritifs que les eaux du large) les facteurs déclenchant le processus.

Le cas d'eaux colorées ayant eu une grande ampleur (mai-juin et 10-15 septembre) a pu être favorisé par l'élévation lente et régulière de la température des eaux et à un ensoleillement élevé ainsi qu'à l'établissement de vents faibles avec une mer belle à peu agitée. Cependant, en septembre le facteur essentiel semble avoir été le vent, faible ou modéré, qui a soufflé vers la terre du 6 au 17, emprisonnant ainsi, dans la frange littorale, les eaux estuariennes riches en sels nutritifs. De plus ce vent a pu agir en concentrant les organismes suivant le 1<sup>er</sup> schéma de Ryther (1955) (fig. 2).

Soulignons aussi que tous ces facteurs hydrologiques ont été grandement favorisés par la période de mortes eaux qui a précédé l'apparition des eaux colorées.

En ce qui concerne le rôle supposé des rejets de phosphogypse, dans les apparitions d'eaux colorées, nous avons vu (tabl. 8) que le tonnage rejeté en 1977 était supérieur de 33 % à celui de 1976, alors qu'un seul cas avait été observé.

En 1978 l'augmentation du tonnage déversé a été supérieure de 26 % à celui de l'année précédente mais au mois de mai qui a précédé les premières manifestations d'eaux colorées, on a enregistré une chute de plus de 50 % des déversements.

De plus les phosphates (seuls constituants du phosphogypse susceptibles de favoriser les eaux colorées) ne sont pas considérés par de nombreux auteurs comme un facteur déclenchant le phénomène.

Ce n'est donc pas à priori du côté des déversements de phosphogypse qu'il faut rechercher une éventuelle intervention des pollutions mais plutôt vers les apports de ce véritable émissaire urbain et industriel que constitue la Seine.

De la même manière il faut réfuter comme Le Fèvre (1979) l'hypothèse d'une origine des abondantes eaux rouges de 1978 dans la catastrophe de l'« Amoco-Cadiz. » En effet, la localisation des cas d'eaux rouges (fig. 1 et tabl. 2) montre que c'est la côte sud de la Bretagne qui a été la plus atteinte. Si le naufrage avait eu une quelconque incidence, étant donné la dominance des courants en Manche, ce sont la côte nord de la Bretagne, et celle de la presqu'île du Cotentin, qui auraient dû être le lieu privilégié de ces apparitions.

D'ailleurs, d'une manière générale on peut se poser la question de savoir quelle est la véritable part des pollutions dans les apparitions d'eaux colorées à dinoflagellés puisque peu de cas ont été signalés sur le littoral méditerranéen, si l'on excepte les milieux lagunaires et les étangs côtiers. Ainsi Jacques et Sournia (1978) n'ont répertorié, depuis 1933, que 24 cas dont 4 seulement sur la côte française pourtant réputée polluée.

En conclusion, si certains apports polluants peuvent avoir un rôle dans ces phénomènes d'eaux colorées, il ne peut s'agir que d'une action favorisante. A notre avis le déclenchement des eaux colorées, observées en baie de Seine en 1978, résulterait plutôt d'une convergence de nombreux facteurs climatiques et hydrologiques.

Dans un premier temps ces facteurs favoriseraient le développement des organismes responsables à des concentrations ne donnant pas de coloration aux eaux,

dans une deuxième phase ces mêmes facteurs permettraient, sous l'influence primordiale du vent, une concentration des organismes dans la frange littorale,

dans un troisième temps ces conditions hydrologiques et climatiques rendraient possible une multiplication exceptionnelle des organismes dans ce milieu riche que sont les eaux côtières ou estuariennes.

## BIBLIOGRAPHIE

- ADACHI (R.), 1972. - A taxonomical study of the red tide organisms. - Journ. of faculty of fisheries, Pref. Univ. of Mie, 9 (1).
- ALLEN (W.E.), 1946. - «Red water» in La Jolla Bay in 1945. - *Trans. Amer. Microscop. Soc.*, 65 : 149-153.
- AYRES (P.A.) et CULLUM (M.), 1978. - Paralytic shellfish poisoning. - *Fish. Res. tech. Rep.*, n° 40 - Lowestoft, 23 p.
- BALECH (E.) et FERRANDO (H.J.), 1964. - Fitoplancton marino. - *Editorial Univ. Buenos Aires* : 109-113.
- BARKER (H.A.), 1935. - The culture and physiology of marine dinoflagellates. - *Arch. Mikrobiol.*, 6 : 157-181.
- BECKIN (G.), TOLMAN (C.F.), Mc MILLIN (H.C.), FIELD (J.) et HASHIMOTO (T.) 1927. - Preliminary statement regarding the diatom «epidemica» at copalis Beach, Washington, and an analysis of diatom oil. - *Econ. Geol.*, 22 (4) : 356-368.
- BRAARUD (T.), 1945. - A phytoplankton survey of the polluted waters of inner Oslo Fjord. - *Hvalradets Skrifter, Norske Videnskaps. Akad. Oslo*, n° 28.
- 1969. - Pollution effect upon the phytoplankton of the Oslo Fjord. - *I.C.E.S., C.M./L* : 15.
- BRAARUD (T.) et PAPPAS (I.), 1951. - Experimental studies on the dinoflagellate *Peridinium triquetrum* (Ehrb.) Lebour. - *Avhandl. Norske Videnskaps. Akad. Oslo Mat-Naturv.* n° 2.
- BRETON (G.), JEANNOT (R.) et PRONIEWSKI (F.), 1978. - Les phénomènes d'eaux rouges à *Prorocentrum* et à *Pseudopedinella* et *Pyramimonas* dans les bassins du port du Havre au cours de l'été 1978. - *Bulletin de la Société géologique de Normandie*, 65, 4, 105-116.
- COLLIER (A.), 1955. - Gulf fishery Investigations. - In annual Report for fiscal year 1955, Branch of Fishery Biology. - *Fish Wild. Serv.* 29 - 32.
- 1958. - Some biochemical aspects of red tides and related oceanographic problems. *Limnol. Oceanogr.* 3 (1) : 33-39.
- CONNELL (C.H.) et CROSS (J.B.), 1950 - Mass mortality of fish associated with the protozoan *Gonyaulax* in the Gulf of Mexico. - *Science* 112 (2 909) : 359 - 363.
- DEVÈZE (L.) et FAUVEL (Y.), 1966. - Un phénomène bactérien d'eaux rouges dans l'étang d'Ingril (Hérault). *Rev. Trav. Inst. Pêches Marit.*, 30 (4) : 365-374.
- FEINSTEIN (A.), 1956. - Correlations of various ambient phenomena with red tide outbreaks on the Florida West Coast. - *Bull. mar. Sc. Gulf and Caribbean*, 6 (3) : 209 - 232.
- FENCHEL (T.), 1968. - On «red water» in the Iselfjord (Inner danish waters) caused by the ciliate *Mesodinium rubrum*. - *Ophelia*, 5 : 245-253.
- FRITSCH (F.E.), 1935. - The structure and reproduction of the algae. - The University Press. Cambridge, Mass., 1.
- GÉNOVÈSE (S.), 1961. - Sur la présence d'eau rouge dans le lac de Faro (Messine). - *Comm. int. Explor. sci. Mer Médit. Rapp. et P. V.*, 16 (2) : 255-256.
- GILSON (H.C.), 1937. - The nitrogen cycle. - John Murray Exped. 2 : 21-81.
- GRAHAM (H.W.), AMISON (J.M.) et MARVIN (K.T.), 1954. - Phosphorus content of waters along the west coast of Florida. - *Fish Wild. ser. Spec. Sci. Rep. Fish.*, 122, 43 p.
- HALIM (Y.), 1960. - *Alexandrium minutum*, nov. g. nov. sp. dinoflagellé provoquant des «eaux rouges». - *Vie et Milieu*, 11 (1) : 102 - 105.

- HARDY (A.C.), 1926. - The herring in relation to its animate environment. - *Fish. Invest.*, Ser. 2,2 (7) : 130.
- HART (T.J.), 1934. - Red « water bloom » in South African Seas. - *Nature*, **134** (3 386) : 459 - 460.
- HICKEL (W.), HAGMEIER (E.) et DREBES (G.), 1971. - *Gymnodinium* blooms in the Helgoland Bight (North Sea) during august 1968. - *Helgol. Wiss. Meeres.*, **22** : 401 - 416.
- HOLMES (R.W.), WILLIAMS (P.M.) et EPPLEY (R.W.), 1967. - Red water in La Jolla Bay 1964 - 1966. - *Limnol. Oceanogr.*, **12** (3) : 503 - 512.
- HORNELL (J.) et NAYUDU (M.R.), 1923. - A contribution of the life history of the Indien sardine. - *Madras Fish. Bull.*, **17** : 129 - 197.
- HUTCHINSON (G.E.), 1944. - Limnological studies in Connecticut. VII. A critical examination of the supposed relationship between phytoplankton and chemical changes in lake waters. - *Ecology*, **25** : 3-26.
- HUTNER (S.M.) et Mc LAUGHLIN (J.J.A.), 1958. - Poisonous tides. - *Sci. Amer.*, **199** (2) : 92 - 98.
- HUTTON (R.F.), 1960. - Notes on the causes of discolored water along the southwestern coast of Florida. - *Quart. J. Fla. Acad. Sci.*, **23** (2) : 163 - 164.
- JACQUES (G.) et SOURNIA (A.), 1979. - Les « eaux rouges » dues au phytoplancton en Méditerranée. - *Vie et Milieu*, (à paraître).
- KETCHUM (B.K.) et KEEN (J.), 1948. - Unusual phosphorus concentrations in the Florida « red tide » sea water. - *J. Mar. Res.*, **7** : 17-21.
- KING (G.S.), 1950. - Production of red tide in the laboratory. - *Proc. Gulf and Carib. Fish. Inst.* 2 nd, Ann. Ser. Nov. 1949 : 107-109.
- KOBAYASHI (M.) et FUJII (K.), 1979. - Studies on Photosynthetic Bacteria in Red Tide. - *Bull. jap. Soc. sci. Fish.*, **45** (7) : 849 - 855 (en japonais; résumé en anglais).
- KOPP (J.), 1978. - Les phénomènes d'eaux colorées ayant affecté le littoral bas-normand au cours du mois de juin 1978. - Rapport I.S.T.P.M.
- LASSUS (P.), 1978. - Catalogue descriptif des principaux organismes responsables d'eaux rouges. - Rapport I.S.T.P.M.
- 1979. - Intoxication par les coquillages : les signes d'alarme. - *Le généraliste*, **193** : 12-17.
- LE FEVRE (J.), 1979. - On the hypothesis of a relationship between Dinoflagellate blooms and the Amoco-Cadiz oil spill. - *J. mar. biol. Ass. U.K.*, **59** : 525 - 528.
- LOEBLICH (A.R. III) et LOEBLICH (L.A.), 1979. - The systematics of *Gonyaulax* with special reference to the toxic species. Toxic Dinoflagellate Blooms. Taylor-Seliger Edit. Elsevier, North-Holland, 41-46.
- MARGALEF (R.), 1956. - Estructuro y dinamica de la « purga de mar » en la Ria de Vigo. - *Inv. Pesq.*, **5** : 113 - 134.
- NEEDLER (A.B.), 1949. - Paralytic shellfish poisoning and *Gonyaulax tamarensis*. - *J. Fish. Res. Bd. Can.*, **7** : 490 - 504.
- PASTER (Z.), 1968. - Prymnesin : the toxin of *Prymnesium parvum* Carter. - *Rev. intern. Oceanogr. med.*, **10** : 249 - 258.
- PAULMIER (G.), 1977. - Note sur les organismes responsables des « eaux rouges ». - Rapport I.S.T.P.M.
- PINCEMIN (J.M.), 1969. - Le problème de l'eau rouge. - *Rev. Int. Océan med.*, **13 - 14** : 181 - 203.
- PRAKASH (A.), 1967. - Growth and toxicity of a marine dinoflagellate *Gonyaulax tamarensis*. - *J. Fish. Res. Bd. Canada*. **24** : 1589-1606.
- PRAKASH (A.), MEDCOF (J.C.) et TENNANT (A.D.), 1971. - Paralytic shellfish poisoning in eastern Canada. - *Fish. Res. Bd. of Can. Bull*, **177**, 88 p.

- REISH (D.J.), 1963. - Mass mortality of marine organisms attributed to the «red tide» in Southern California. - *Calif. Fish and Game*, **49** (4) : 165 - 170.
- RICE (T.R.), 1954. - Biotic influences affecting population growth of planktonic alga. *U.S. Fish wild. serv. Fish. Bull.*, **54** : 227 - 245.
- ROUNSEFELL (G.E.) et NELSON (W.R.), 1966. - Red - tide Research summarized to 1964, including an annotated bibliography. - *Spec. Scient. Rep. Fish. Wild Serv. Fish* (535), 85 p.
- RYTHER (J.H.), 1955. - Ecology of autotrophic marine dinoflagellates with reference to red water conditions. - *Contrib. n° 72. Woods Hole Oceanographic Institution* : 387-414.
- SAKSAUG (E.), JENSEN (A.) et PRAKASH (A.), 1971. - *Gonyaulax tamarensis*, the causative organism of mussel toxicity in Trondheimsfjord. - *I.C.E.S., CM/L* : 14.
- SAVAGE (R.E.) et WIMPENNY (R.S.), 1936. - Phytoplankton and the herrings. - *Fish. invest., Ser. 2*, **15** (1) : 88.
- SCHANTZ (E.J.), 1970. - Algal toxins. - *In* J.E. Zajic Edit., properties and products of algal plenum press New-York. N.Y., 154 p.
- SILVA (E.S.), 1963. - Les « Red Waters » de la Lagune d'Obidos. Leurs causes probables et leurs rapports avec la toxicité des bivalves. - *Notas, Estudos Inst. Biol. marit.*, **27** : 265 - 275.
- SLOBODKIN (L.B.), 1953. - A possible initial condition for red tides on the coast of Florida. - *Jour. Mar. res.*, **12** : 148 - 155.
- SOMMER (H.) et MEYER (K.F.), 1937. - Paralytic shellfish poisoning. - *Arch. Pathol*, **24** : 560 - 598.
- SOURNIA (A.), 1973. - Catalogue des espèces et taxons infraspécifiques de Dinoflagellés marins actuels publiés depuis la révision de J. Schiller. I - Dinoflagellés libres. - *Beih. Nova. Hedwigia* **48** : I - XII : 1 - 92.
- 1978. - Id., III (complément). - *Revue algologique, N.S.*, **13** (1) : 3 - 40.
- SOURNIA (A.) et PLESSIS (Y.B.), 1974. - A Red-water diatom, *Aulacodiscus kittonii* var. *africanus*, in Marquesas islands, Pacific Ocean. - *Bot. mar.*, **17** (2) : 124.
- TAYLOR (F.J.R.), 1979. - The toxigenic Gonyaulacoid dinoflagellates. Toxic Dinoflagellate Blooms. - Taylor-Seliger Édité., Elsevier, North-Holland : 47-56.
- WOODCOCK (A.H.), 1948. - Note concerning human respiratory irritation associated with high concentration of plankton and mass mortality of marine organisms. - *J. Mar. Res.*, **7** : 56-62.
- WYATT (T.), 1973. - A mechanism for the origine of red tides and some note on the ecology of dinoflagellates. - *I.C.E.S., C. M/L* : 12.