

ETUDE OcéANOGRAPHIQUE APPLIQUÉE
AU S.A.U.M. DE LA RADE DE BREST

par

M. POMMEPUY, F. MANAUD, Y. MONBET, G. ALLEN, J.C. SALOMON, P. GENTHEN, J. L'YAVANG

*Centre Océanologique de Bretagne
B.P. 337-29273 BREST Cédex*

R E S U M E

-Une étude océanographique de la rade de Brest (France) a été effectuée en 1977 en même temps que l'étude hydrologique des cours d'eaux affluents.

L'analyse des échantillons prélevés dans les rivières a porté sur les sels nutritifs dissous (nitrate, phosphate, ammonium, silicate). Un double bilan (calculé et observé) des apports annuels en azote et phosphore a ainsi pu être obtenu.-

Simultanément des mesures détaillées de sels nutritifs, salinité et trajectoire de courants ont été menées dans la rade pour définir les phénomènes responsables de la répartition spatiale des masses d'eaux.

Ces résultats ont rendu possible l'identification de masses d'eaux bien caractérisées dépendant directement des différents bassins versants et la matérialisation de leurs mouvements et de leur schéma de dispersion.

A B S T R A C T

-An oceanographic survey of the bay of Brest (France) was conducted in 1977, together with an hydrological study of the rivers entering the bay.

Samples were collected from rivers. Analysis of dissolved nutrients (nitrate, phosphate, ammonium, reactive silicate) and tentative solute budgets (observed and calculated) for nitrogen and phosphorous in drainage basin were performed.-

At the same time, detailed measurements of nutrients, salinity and current patterns were conducted in the bay to investigate the processes controlling the distribution of water bodies. Results enabled the identification of distinct water masses originating from different fluvial drainage basins and to materialize their movement and their dispersion patterns.

M O T S - C L E S : estuaire - courants - sels nutritifs - aménagement côtier

K E Y W O R D S : estuary - current patterns - nutrients - coastal management

INTRODUCTION

L'objet principal de l'étude océanographique de la rade de Brest a été d'essayer d'utiliser les éléments dissous pour mettre en évidence les incidences sur le milieu marin des activités humaines qui se développent autour du plan d'eau et dans les bassins versants. Les sels nutritifs sont en effet de bons marqueurs des activités agricoles, ainsi que des rejets d'eaux résiduaires domestiques et industrielles.

Les principaux objectifs de l'étude ont donc été centrés sur les points suivants :

1 - identifier les sources et les caractéristiques des sels nutritifs (essentiellement nitrates et phosphates) apportés à la rade de Brest et utilisés comme marqueurs des activités humaines.

2 - caractériser les mécanismes de transport de ces sels en étudiant leurs variations dans l'espace et dans le temps, en fonction des conditions hydrodynamiques de la rade.

3 - utiliser les sels nutritifs pour établir un zonage de la rade, fondé sur les caractéristiques chimiques des masses d'eaux.

I. LES APPORTS DE SELS NUTRITIFS EN PROVENANCE DES BASSINS VERSANTS

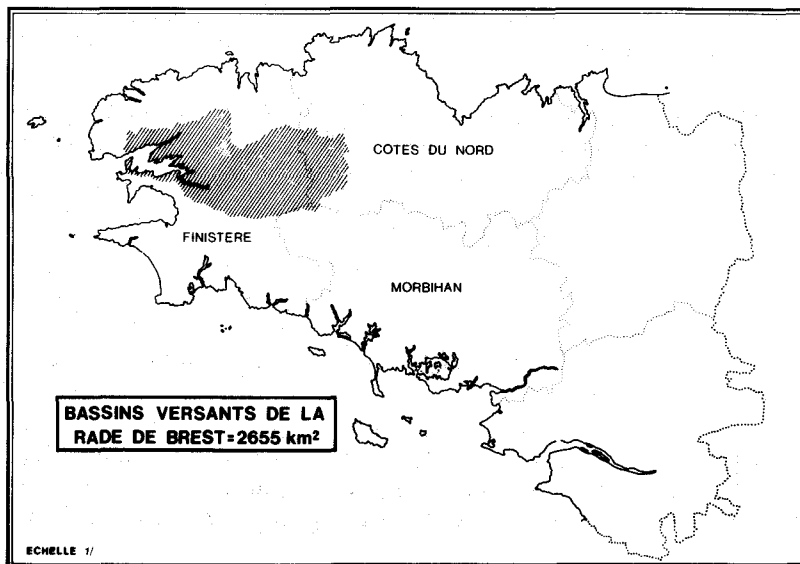


Fig. 1

Elorn (402 km² - 200 Mm³), bassins intermédiaires (288 km² - 150 Mm³), Aulne (1842 km² - 870 Mm³) et sud rade (30 km²).

Le régime des rivières de la rade de Brest se caractérise par :

- de forts coefficients d'écoulement dus aux températures modérées, au relief accusé et à la faible extension des aquifères.

L'étude a porté sur l'azote sous ses formes inorganiques dissoutes (nitrate NO₃, nitrite NO₂, ammonium (NH₄)³) et sur le phosphore (phosphate PO₄).

1. HYDROLOGIE

Les bassins versants couvrent 2655 km² (Finistère : 6785 km²) et se subdivisent en cinq bassins dont les surfaces et les écoulements annuels moyens sont les suivants :

- nord-rade (93 km² - 50Mm³),

- une faible pondération : on trouve un rapport de 1 à 5 pour la Penfeld entre le débit moyen le plus abondant (le plus souvent février) et le débit moyen mensuel le plus faible (en général août). Ce rapport augmente vers le sud et atteint 1 à 18 pour l'Aulne.

- une grande irrégularité : des différences très importantes des volumes écoulés interviennent pratiquement chaque année par rapport à la précédente, avec de notables décalages des mois les plus abondants.

2. BILANS DES APPORTS

Deux bilans ont été menés conjointement :

- l'un théorique (ou calculé), destiné à fournir la *proportion des apports* selon les diverses sources géographiques (bassins versants) et les divers domaines d'activité (agriculture, élevage, agglomérations, industries),

- l'autre observé, destiné à préciser la *quantité d'apports* fournis par les différents cours d'eaux, annuellement et par trimestre, en azote et phosphore.

2.1. Le bilan théorique est basé sur les données statistiques et les chiffres de pertes par unité de surface agricole (S.A.Ut), par tête de bétail, par habitant et équivalent-habitant tirées de la littérature scientifique spécialisée :

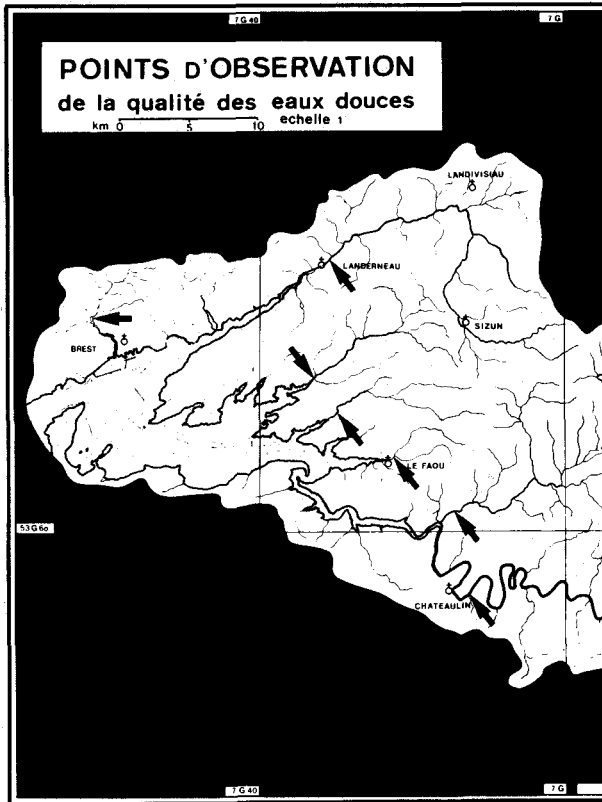
- par hectare de surface agricole utilisée des pertes moyennes de 24 kg d'azote et 0,8 kg de phosphore,
- par tête de bétail, 10 % des rejets totaux excrétés.

On obtient pour l'agriculture et l'élevage combinés des pertes et rejets variant de 39,6 kg N et 3,4 kg P/ha/an (Aulne) et 52 kg N et 6 kg P/ha/an (Elorn).

- par habitant un apport journalier de 12 g N et 2,25 g P/habitant,
- par équivalent-habitant (pour l'évaluation de l'apport industriel) selon les mêmes barèmes :

Apports totaux annuels en tonnes		pourcentage des apports totaux à la rade							
		par bassin				par activité			
		Aulne		nord rade + Elorn		Agriculture + élevage		Industrie + urbanisation	
P	N	P	N	P	N	P	N	P	N
500	9 500	50 %	60 %	43 %	30 %	48 %	74 %	50 %	23%

2.2. Le bilan observé des sels nutritifs apportés effectivement à la rade de Brest par les cours d'eaux et effluents a été apprécié en multipliant les débits réels par les teneurs mesurées pendant une année à partir d'octobre 1977 en des points situés à la limite entre le domaine fluvial et le domaine marin (fig. p. suivante).



L'étude des corrélations teneurs/débits donne des indications sur l'origine des apports. Dans l'Aulne, les teneurs en nitrate varient en fonction directe des débits fluviaux (fig. ci-dessous), mais ce caractère est beaucoup moins net pour l'Elorn. Ceci s'explique par la proportion différente d'apports d'origine agricole liée au ruissellement : 50 % pour l'Aulne et seulement 30 % pour l'Elorn.

Le bilan observé apporte ou confirme les éléments généraux suivants :

- l'apport principal d'azote qui provient de l'Aulne (66 % de l'apport total) est très irrégulier (70 % de l'apport annuel en trois mois d'hiver),

- l'apport principal de phosphore qui provient du nord de la rade et de l'Elorn (70 %) est plus régulier que l'apport d'azote.

Fig. 2

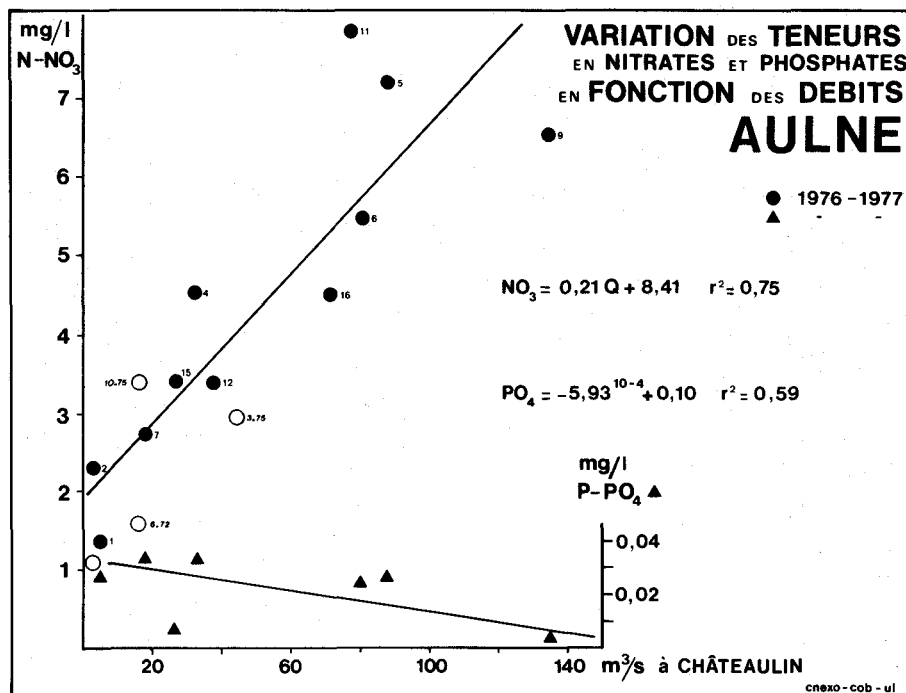


Fig. 3

Les bilans théoriques et observés concordent assez bien pour le tonnage d'azote.

Pour le phosphore, le bilan observé présente un déficit d'autant plus grand que les activités agricoles dominent, soit du fait d'une surestimation des pertes agricoles, soit de l'adsorption du phosphore sur les matières en suspension minérales et organiques.

bilan observé	tonnes (1977)	
	N	P
Nord rade	526	47
Elorn	1684	34
Bassins inter.	578	1
Aulne	5493	27
Sud rade	18	2

Fig. 4

3. INFLUENCE DES APPORTS

Si l'on rapproche les chiffres des apports observés de chaque bassin versant et que l'on regroupe géographiquement ces bassins en deux secteurs; nord et sud, on constate que le groupe nord fournit 70 % du phosphore entrant dans la rade.

Il est intéressant de remarquer que cette dissymétrie des apports se traduit par des différences de teneurs en phosphates dans les eaux du nord et du sud de la rade elle-même : deux points du réseau national d'observation de la qualité du milieu marin sont situés, l'un dans le chenal de l'Elorn (point n° 4), l'autre au sud (point n° 6) dans le chenal de l'Aulne. En considérant plus particulièrement les périodes hivernales où la consommation des sels nutritifs par le phytoplancton est faible, on constate une prépondérance générale des teneurs en phosphate et ammoniac au point 4 (nord).

Les caractéristiques des apports prédéfinies, influent donc directement sur les teneurs mesurées sur le plan d'eau. La rade ne peut être considérée comme un tout. La qualité des eaux de chaque zone apparaît directement influencée par les activités du bassin versant dont elle dépend. Cette notion ne se limite pas aux sels nutritifs, mais s'applique également aux autres facteurs d'origine tellurique modifiant les caractéristiques physico-chimiques des eaux, notamment les matières organiques et les métaux lourds.

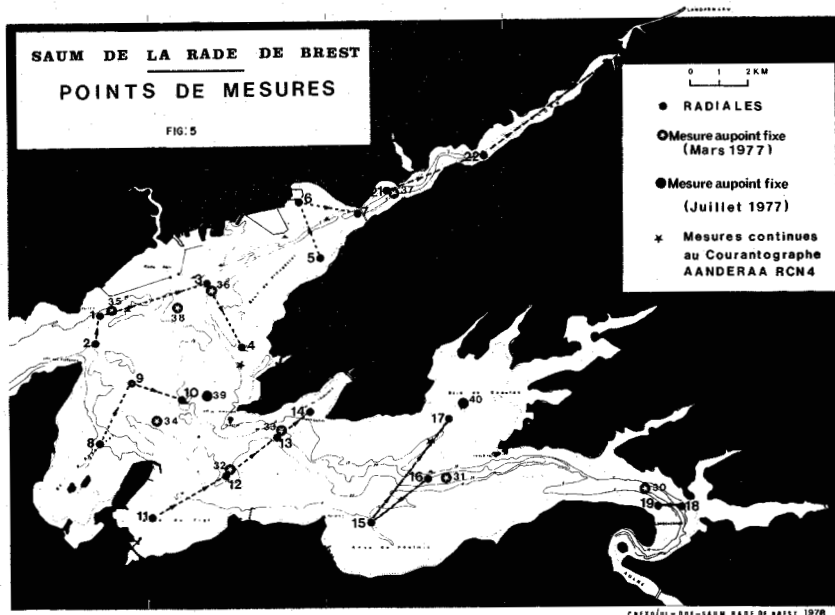
En conclusion et avant l'examen plus détaillé de la rade de Brest, on peut dire, d'une manière générale, que la quantité de sels nutritifs apportée par les cours d'eaux est très variable selon les saisons avec une forte prédominance en hiver (60 %) et une accentuation des apports en années humides (1974 et 1977) succédant à des années sèches (1973 et 1976) selon un facteur de 1 à 3.

II - LES COURANTS DE LA RADE REPARTISSENT LES APPORTS DES BASSINS VERSANTS

1. GENERALITES ET METHODES

Le degré et la répartition de l'impact des activités sur la qualité du milieu sont avant tout liés au mouvement de l'eau et des suspensions qui assurent le transport des polluants. Ce transport est régi par les mécanismes hydrodynamiques qui sont l'advection, la dilution et la sédimentation.

L'étude porte sur la mise en évidence de ces mécanismes selon les différentes conditions hydrodynamiques (crue et étiage lors des vives eaux et des mortes eaux). Elle s'est en outre appuyée sur les données antérieures (SHOM, MARINE NATIONALE, EDF, AUFFRET G. et BERTHOIS L.) qui ont permis une informatisation des mesures de courants de surface en rade.



Les points de mesures sont indiqués sur la figure ci-contre.

Deux approches ont été adoptées :

- Mesures synoptiques à basse mer et pleine mer lors des périodes d'étiage ou de crues de rivières (coefficients de mortes eaux et vives eaux) portant sur les paramètres suivants : température, salinité, matières en suspension et sels nutritifs.

Fig. 5

- Mesures à poste fixe lors d'une période de vives eaux et de débit moyen des rivières au cours desquelles, outre les paramètres précédemment cités, des mesures de courants ont été effectuées à différents niveaux pendant un cycle de marée.

Les principales conclusions sont exposées ci-après :

2. LE TEMPS MOYEN D'EVACUATION DES EAUX FLUVIALES ET DES APPORTS DES BASSINS VERSANTS VARIE SAISONNIEREMENT EN FONCTION DES DEBITS FLUVIAUX

Le débit des rivières de la Rade varie selon les saisons dans de très fortes proportions.

Pendant la période de crue (3-4 mois par an) le débit moyen mensuel total est supérieur à 50 m³/s avec des valeurs instantanées pouvant atteindre 200 à 300 m³/s. Le reste du temps les débits restent limités (20 à 30 m³/s) et peuvent descendre l'été à 5 ou 10 m³/s. Le régime des rivières influe sur la quantité d'eau douce que l'on trouve en rade et provoque des variations saisonnières importantes de salinité. Au fond ces fluctuations sont limitées sur l'ensemble de la rade à 3‰ mais peuvent dépasser plus de 15‰ en surface entre l'été et l'hiver. Pendant les crues on observe des stratifications verticales importantes, ainsi que des gradients latéraux et longitudinaux de salinité.

Les quantités d'eau douce piégées en rade de Brest en 1977 ont été évaluées à 100 ou 150 millions de m³ en hiver et à 10 ou 20 millions de m³ l'été.

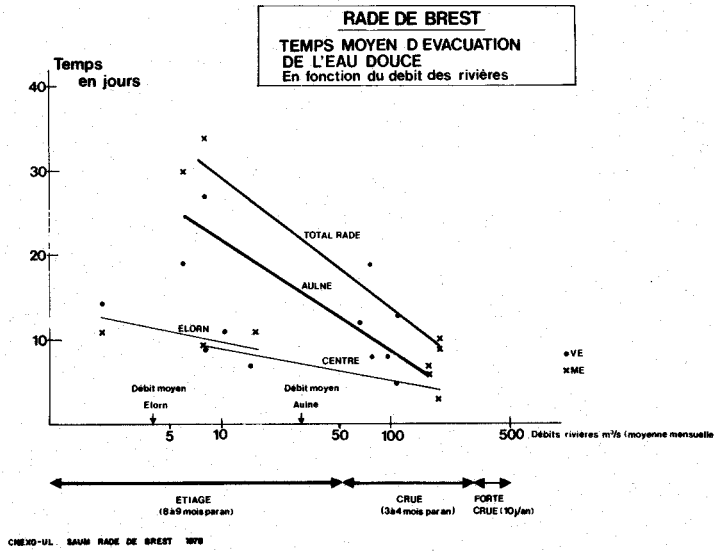


Fig. 6

Sur la figure ci-contre sont portés les temps moyen d'évacuation de l'eau douce (calculés en considérant le débit des rivières constant sur plusieurs cycles de marée).

Pour l'ensemble de la rade ce temps varie en fonction du débit des rivières (environ 10 jours pour les périodes de crue à 30 jours pour les périodes d'étiage).

3. LA STRATIFICATION VERTICALE DES EAUX INDUIT UN MOUVEMENT RESIDUEL DES MASSES D'EAUX DIRIGE VERS L'AVAL EN SURFACE ET VERS L'AMONT AU FOND ET LIMITE LES ECHANGES DES EAUX DE SURFACE ET DU FOND

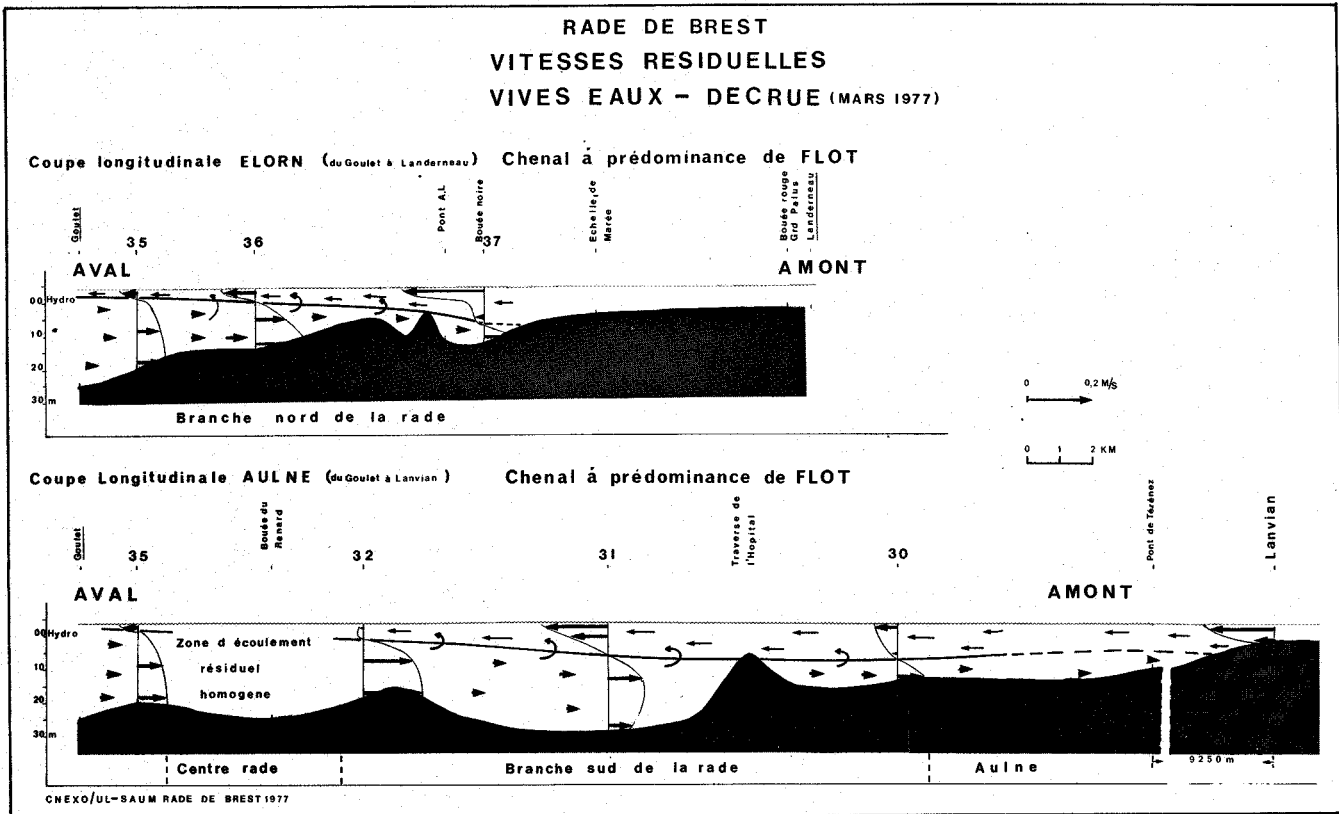


Fig. 7

La rade est, en hiver, le siège d'une circulation typiquement estuarienne caractérisée par des écoulements résiduels en surface vers l'aval et au fond vers l'amont dans les branches nord et est. Seul le centre de la rade est homogène, c'est à dire que de la surface au fond, le mouvement de la masse d'eau se fait dans le même sens.

4. LE VORTEX CENTRAL DE LA RADE PROVOQUE UNE DERIVE VERS LE SUD DES EAUX DU NORD

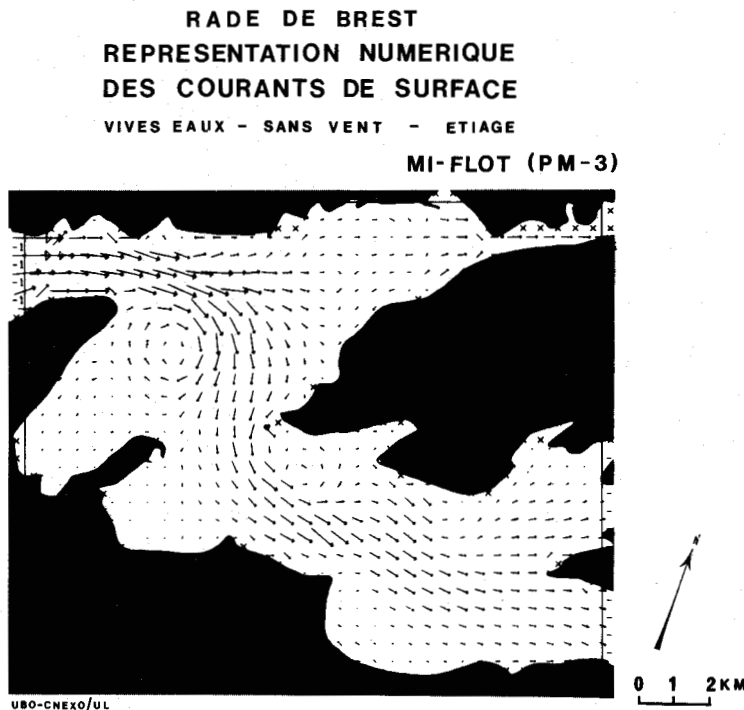


Fig. 8

La circulation de surface en vives eaux est essentiellement commandée par la présence au centre de la rade et pendant plusieurs heures d'un tourbillon orienté dans le sens des aiguilles d'une montre.

Cette circulation revêt une importance capitale en ce qui concerne la dispersion des eaux et des rejets. Ainsi les eaux de l'Elorn lorsqu'elles ne sont pas directement évacuées par le goulet sont prises dans ce mouvement giratoire dès sa formation et entraînées vers le sud-est de la rade.

5. LE MOUVEMENT DES MASSES D'EAUX EN SURFACE AU COURS D'UN CYCLE DE MAREE PERMET L'ETABLISSEMENT D'UN "ZONAGE" HYDROLOGIQUE DE LA RADE

Les résultats de ces études permettent d'aboutir à un zonage hydrologique de la rade, basé d'une part sur les caractères hydrologiques et d'autre part sur le mouvement des masses d'eaux au cours d'une marée.

La rade peut être schématiquement divisée en trois grandes régions ; les deux premières les branches nord-est et sud-est dont le caractère estuarien résulte des apports fluviaux de l'Elorn et de l'Aulne, la troisième (le centre-rade) constituant une zone de mélange et d'échanges entre les eaux estuariennes et marines.

Ces trois régions peuvent s'influencer mutuellement à des degrés divers. L'étude du mouvement des masses d'eaux au cours d'une marée permet de les appréhender et d'établir un zonage des eaux de surface de la rade. (cf figure p. suivante).

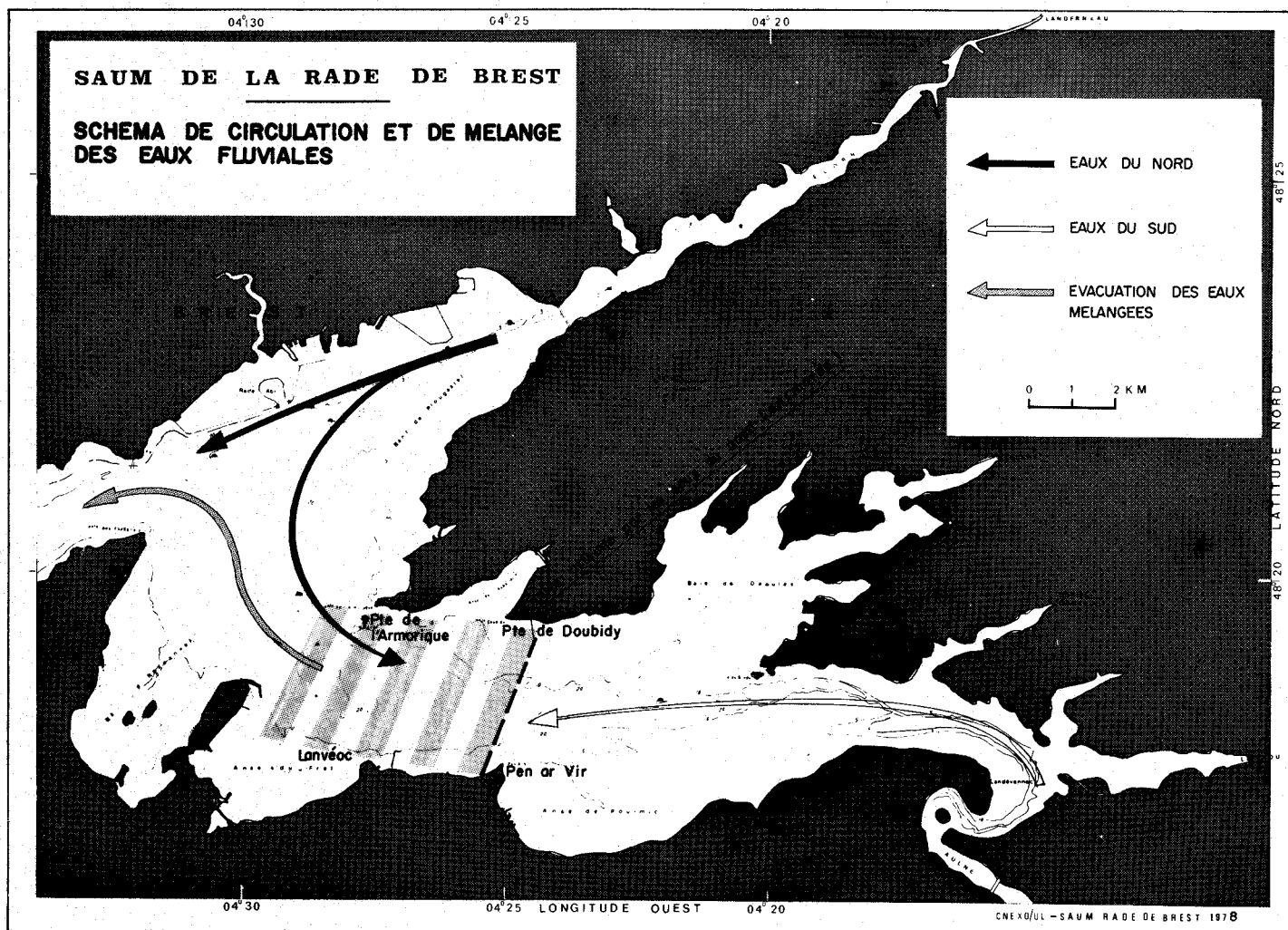


Fig. 9

III - REPARTITION DES SELS NUTRITIFS DANS LA RADE DE BREST EN PERIODE HIVERNALE

Des mesures de la concentration en sels nutritifs des eaux de la rade de Brest (nitrates, phosphates, silicates) ont été effectuées au cours des mois de janvier et février 1977, c'est à dire durant la période de crue des rivières. Ces mesures avaient pour but de préciser les modalités de la répartition de ces éléments dans la rade, de mettre en évidence leur comportement vis-à-vis d'un paramètre conservatif tel que la salinité et de tenter de les utiliser comme marqueurs chimiques des masses d'eau, afin de déterminer un zonage hydrologique du plan d'eau.

1. VARIATIONS SPATIALES DES NITRATES ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2$)

A basse mer, en surface, les valeurs des concentrations en nitrates diminuent au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'embouchure des rivières. Dans la zone nord de la rade, les valeurs enregistrées varient entre $79,3 \mu\text{atg/l}$ et $17,8 \mu\text{atg/l}$. Dans la zone sud-est, les concentrations sont plus élevées (100 à $200 \mu\text{atg/l}$) et sont associées à des salinités plus faibles ($18,6$ à 12‰).

Les points de mesure situés plus à l'ouest, à proximité du Goulet, présentent des teneurs voisines de 20 $\mu\text{atg/l}$. Au cours de l'étale de pleine mer, les concentrations en nitrate sont du même ordre de grandeur que celles observées à basse mer. Dans la partie sud-est, on constate cependant un très net recul de la ligne d'isoconcentration 100 $\mu\text{atg/l}$ vers l'est. Cela semble indiquer une pénétration de l'onde de marée par le sud de la rade. Dans la région nord, on retrouve sensiblement les mêmes concentrations qu'à marée basse (20 à 75 $\mu\text{atg/l}$).

La relation qui existe entre les concentrations en nitrates et les valeurs de la salinité aux mêmes stations (figure 10) montrent que les points s'alignent sur une même droite pour des salinités comprises entre 12 ‰ et 33 ‰. Ils tendent à s'écarter d'autant plus de la droite de régression que les salinités sont plus faibles. Pour 15 couples de données, les équations des droites sont :

$$\text{- basse mer : } \text{NO}_3 = - 8,725 \text{ ‰} + 316,20 \quad r = - 0,911$$

$$\text{- pleine mer : } \text{NO}_3 = - 8,555 \text{ ‰} + 312,63 \quad r = - 0,974$$

On constate que les concentrations en nitrates extrapolées au zéro de salinité sont les mêmes pour les deux rivières, mais que les coefficients de corrélation varient légèrement entre les situations de pleine mer et de basse mer. Les apports diffus de nitrates semblent prépondérants sur les apports ponctuels, mais ces derniers prennent d'avantage d'importance à basse mer.

2. VARIATIONS SPATIALES DES PHOSPHATES

Les concentrations en PO_4 dans les eaux de surface au cours de la basse mer s'échelonnent entre 0,5 $\mu\text{atg/l}$ et 1,14 $\mu\text{atg/l}$, sans que l'on observe de véritable gradient entre les stations situées en amont et celles situées en aval. Par contre, on remarque que les concentrations sont plus élevées dans la partie nord de la rade que dans la partie sud.

Si la droite de régression entre les nitrates et la salinité peut être assimilée à une droite de dilution, les points correspondant à la relation phosphates-salinité ne présentent pas une distribution simple. En effet, les points sont très dispersés et il est impossible de mettre en évidence une relation simple entre ces deux paramètres. Il faut se rappeler que dans certaines conditions les phosphates sont soumis à des phénomènes d'adsorption - désorption réversibles sur les particules en suspension dans l'eau et que la période à laquelle ont été faites les mesures (crue) est caractérisée par un apport important de sédiments en suspension en provenance des rivières. A partir des résultats obtenus, il est important de retenir que pour les points de la zone nord on obtient un rapport $\frac{\Delta \text{PO}_4}{\Delta S \text{ ‰}}$ plus élevé que pour la zone sud, ce qui

montre que les apports en PO_4 sont plus importants dans la zone nord que dans la zone sud et corrobore les résultats décrits paragraphe I.3.

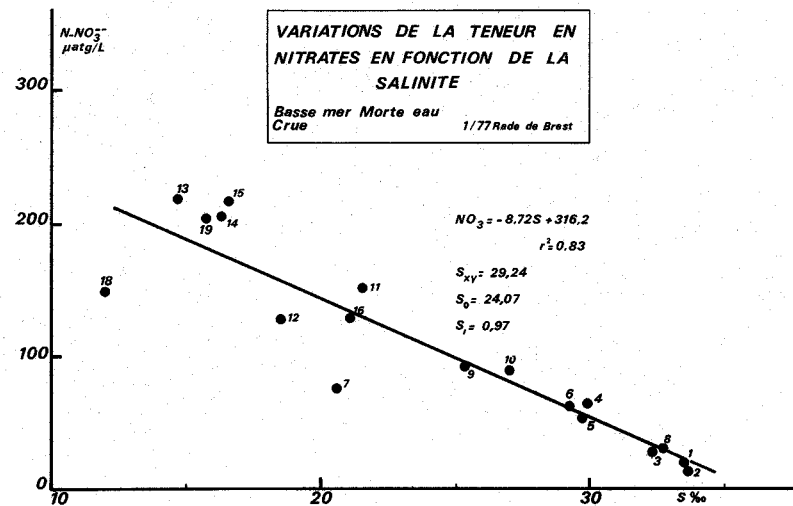


Fig. 10

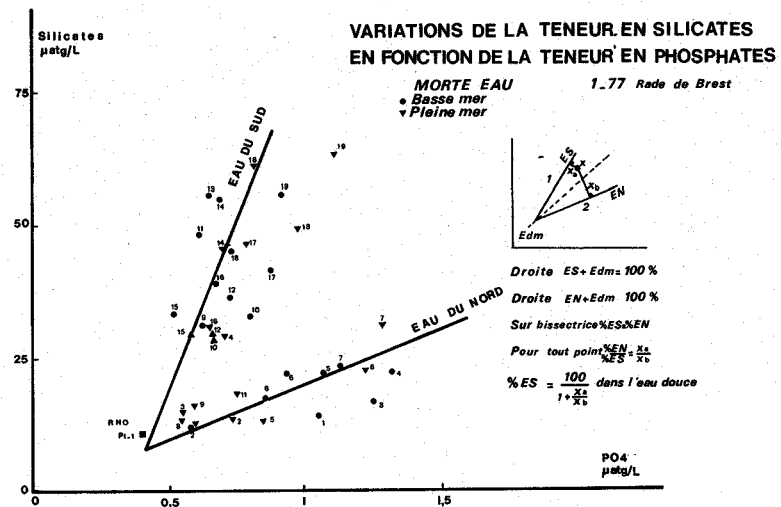


Fig. 11

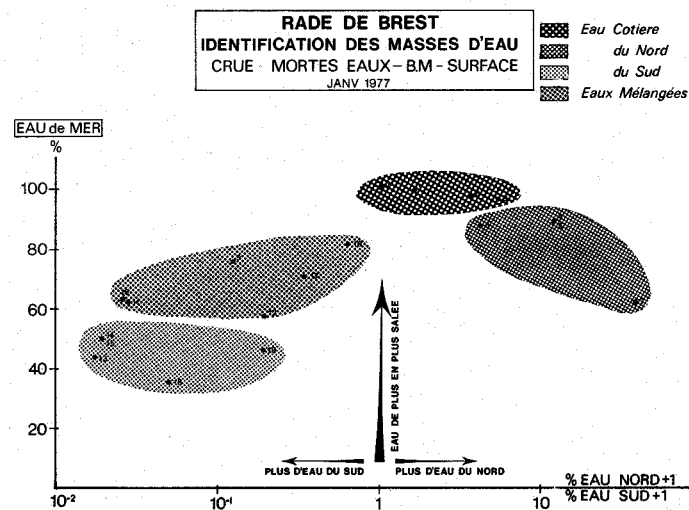


Fig. 12

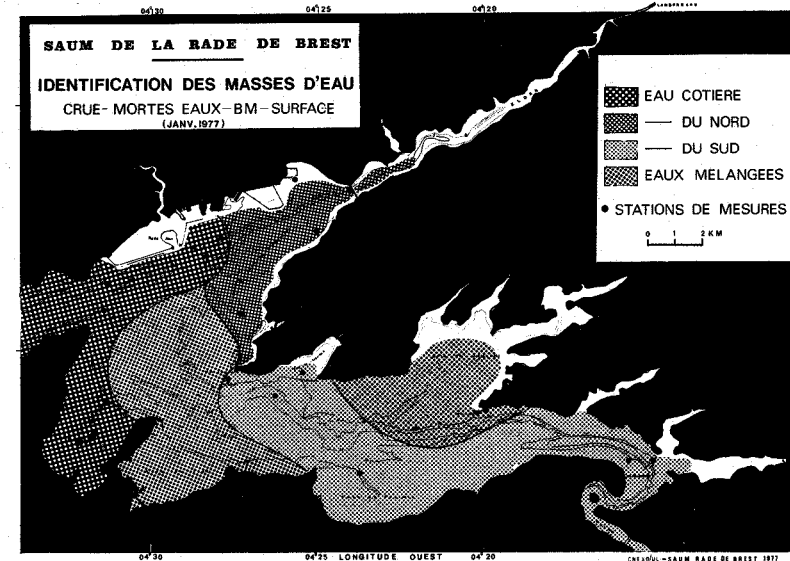


Fig. 13

3. VARIATIONS SPATIALES DES SILICATES

Les observations des silicates dans la rade de Brest, au cours de la même période, montrent qu'au cours de la basse mer les concentrations sont comprises entre 12,5 $\mu\text{atg/lSi}$ pour le point situé à l'entrée de la rade et 50 $\mu\text{atg/lSi}$ pour la station localisée à l'embouchure de l'Aulne. Les concentrations sont généralement plus élevées dans la branche Aulne que dans la zone nord.

A pleine mer, les concentrations en silicates sont du même ordre de grandeur que celles observées au cours de l'étale de basse mer, avec cependant un léger recul de l'isoconcentration 30 $\mu\text{atg/lSi}$ vers la branche sud-est de la rade.

Les relations entre les silicates et la salinité à pleine mer et basse mer sont linéaires dans l'intervalle de salinité compris entre 12 ‰ et 33 ‰ :

$$\text{- basse mer : Si (OH)}_4 = - 1,75 S \text{ ‰} + 74,56 \quad r = - 0,867$$

$$\text{- pleine mer : Si (OH)}_4 = - 2,19 S \text{ ‰} + 89,00 \quad r = - 0,956$$

La droite est mieux ajustée durant l'étale de pleine mer. Ce phénomène pourrait résulter d'un meilleur mélange des masses d'eaux au cours du flot.

En contrepartie, dans les estuaires, pour des salinités inférieures à 12 ‰, il semble exister un déficit important en silice.

4. UTILISATION DES PHOSPHATES ET DES SILICATES COMME MARQUEURS CHIMIQUES DES MASSES D'EAU

La relation qui existe entre les phosphates et les silicates, pour les différents points étudiés (figure 11) montre très nettement une distribution des points en V. Les points de la zone nord (Penfeld-Elorn) sont alignés sur une droite de pente plus faible que ceux de la zone sud-est.

La relation qui existe entre ces deux éléments nutritifs permet donc de distinguer dans les eaux de la rade de Brest deux systèmes différents : l'un sous l'influence des eaux douces en provenance du nord de la rade, l'autre dépendant des eaux douces de la région sud-est. En analysant plus finement cette relation et en utilisant le calcul présenté à droite de la figure 11, il est possible d'identifier des masses d'eaux de surface à un instant donné (fig.12) et de localiser géographiquement (figure 13) :

- l'eau de type nord qui provient des bassins versants du nord de la rade de Brest et qui s'écoule dans la rade par l'intermédiaire de deux rivières principales : l'Elorn et la Penfeld. L'eau de cette région se distingue grâce à une teneur en phosphates élevée, car elle subit l'influence de rejets de type urbain. La zone occupée par l'eau de type nord peut atteindre le sud de la Pointe Armorique,

- l'eau de type sud qui provient des bassins versants de l'est de la rade de Brest (Aulne principalement), baigne l'ensemble de l'estuaire de l'Aulne et se caractérise par des teneurs en phosphates plus faibles, par rapport

aux silicates. Ceci reflète le caractère plus agricole des apports fluviaux. En baie de Daoulas, elle semble se mélanger à de l'eau dont les caractéristiques seraient plus proches de celles de l'eau de type nord ; l'extension de l'eau de type sud peut atteindre la ligne Ile-Longue - Pointe d'Armorique,

- l'eau côtière baigne essentiellement la partie ouest de la rade. Cette eau a pour caractéristiques des teneurs faibles en phosphates et silicates,

- au centre de la rade, on observe la formation d'une eau issue du mélange entre les trois types d'eaux précédemment décrits.

L'étude des sels nutritifs permet donc de mettre en évidence les principales zones hydrologiques de la rade de Brest. Les limites des zones Nord et Sud sont en concordance avec celles déterminées par l'étude hydrologique et courantologique (cf. § II.5). Toutefois, la méthode décrite ci-dessus n'est applicable qu'à des conditions hivernales puisque les sels nutritifs sont presque entièrement consommés après l'apparition du bloom phytoplanctonique.

CONCLUSION

L'étude océanographique de la rade de Brest a permis :

1 - d'identifier les sources des sels nutritifs et leurs impacts sur la rade de Brest :

Dans le milieu avoisinant les *zones industrielles et urbaines*, les teneurs actuelles, bien que n'atteignant pas pour le moment des niveaux alarmants, montrent bien le caractère indubitable de l'impact des rejets sur le milieu. Malgré toutes les précautions, il existe toujours des risques de caractère accidentel et des rejets diffus non contrôlables (ruissellement de surface, par exemple). C'est pourquoi le développement prévisible de ces activités risque vraisemblablement d'entraîner un accroissement des impacts.

Les *activités agricoles* influent plus globalement sur les eaux de la rade, en particulier par l'intermédiaire des eaux du bassin de l'Aulne. Un accroissement de ces activités sur les bassins versants doit également entraîner une augmentation de ces impacts sur l'ensemble des eaux de la rade.

2 - de caractériser les mécanismes de transport dans l'estuaire en étudiant les variations dans le temps et dans l'espace des paramètres physico-chimiques des eaux de la rade en fonction de différentes conditions hydrodynamiques.

L'étude courantologique montre que, dans certaines conditions, les eaux provenant de la zone de l'embouchure de l'Elorn et avoisinant l'agglomération brestoise peuvent en quelques heures atteindre la branche sud de la rade.

Cependant, l'examen des paramètres de qualité de l'eau indique qu'à l'heure actuelle, la dilution s'effectuant durant ces transits est suffisante pour assurer une bonne qualité dans le secteur sud.

3 - La synthèse des études permet d'aboutir à une zonation hydrologique de la rade de Brest. Trois grandes zones peuvent être identifiées grâce à leurs caractéristiques physico-chimiques différentes (fig. 9).

- . deux zones à caractère estuarien : le nord et le sud (Aulne)
- . une zone plus marine où se mélangent les eaux des deux premières zones et les eaux marines.

Il est possible d'établir une zonation conduisant à répartir les différentes activités en tenant compte à la fois de l'influence qu'elles ont sur la qualité des eaux et de l'aptitude des masses d'eaux à amortir les nuisances. On peut alors distinguer :

- . la zone nord réservée au développement des activités industrielles comprenant la rive nord de la rade,
- . la zone sud réservée au développement des activités requérant une bonne qualité de l'eau (aquaculture, conchyliculture, pêche, loisirs) couvrant la partie sud de la rade,
- . une zone intermédiaire dite "tampon", capable de diluer les apports de la zone nord, occupant le centre de la rade et l'estuaire de l'Elorn.

BIBLIOGRAPHIE

- ALLEN J.P. -1972- Etude des processus sédimentaires dans l'estuaire de la Gironde. Thèse Doctorat Es Sciences Naturelles, Bordeaux : 314 p
- AUFFRET G.A. -1976- Caractère hydrologique de la Rade de Brest (non publiée)
- BASSOULET P. -1979- Etude de la dynamique des sédiments en suspension dans l'estuaire de l'Aulne (rade de Brest) - thèse 3ème cycle - fac. Sciences 136 p.
- BERTHOIS L. et AUFFRET G.A. -1968- Contribution à l'étude des conditions de sédimentation dans la rade de Brest. Cahiers Océanographiques. n° pp 893-920 - n° 5 pp 469-485 - n° 7 pp 701-725 - n° 10 pp 981-1010.
- BURTON J.D. and P.S. LISS -1973- Processes of supply and removal of dissolved silicon in the oceans. Geochim. Cosmochim. Acta (37) : pp 1761-1773.
- EDF - Direction des Etudes et Recherches. Etude de la diffusion en rade de Brest d'un rejet pollué - 1969.
- Groupe d'Etudes Atomiques - Marine Nationale -1969- Etude de site du Port de Brest.
- HOBBIE J.E., COPELAND B.J. -1977- Effects and control of nutrients in estuarine ecosystems. Proceedings of a conference Vol. 1 U.S. environmental protection agency - Office of planning and standards. Washington D.C.
- JAWORSKI N.A., D.W. LEAR, O. VILLA Jr -1972- Nutrient management in the Potomac Estuary. Nutrient and Eutrophication. Spec. Symp. I Limnology and Oceanography : pp 246-73. Likens G.E. Ed.

- LE CORRE P. et P. TREGUER -1976- Contribution de la matière organique et des sels nutritifs dans l'eau de mer. Caractéristiques chimiques du golfe de Gascogne et upwellings côtiers de l'Afrique du nord-ouest. Thèse doctorat Etat - Fac. Sc. Brest : 490 p.
- LE MUT C. -1977- Etude des sédiments en suspension en rade de Brest - DEA 1977
- LISS P.S. -1976- Conservative and non conservative behaviour of dissolved constituents during estuarine mixing. In Estuarine Chemistry - J.D. Burton and Liss P.S. edit. : pp. 93-130. Academic Press N.Y. : 229 p.
- PROUZET P., AMINOT A. -1978- Etude de la qualité des eaux de l'Elorn - CNEOX - COB - URDA - CHIMIE.
- PARK Y.H. -1977- Etude de l'évolution du courant de marée en rade de Brest-DEA 1977
- S.E.P.N.B. -1976- Pollution de la rade de Brest. 1 rapport D.D.E. : 187 p.
- Service Hydrographique et Océanographique de la Marine - Courants de marée en rade de Brest - 1977 n° 555.
- S.R.A.E. -1976- Etude de la qualité des eaux de l'Aulne et de l'Hyères. 1 rapport 66p.
- VOLLENWEIDER R.A. -1971- Les bases scientifiques de l'eutrophisation des lacs et des eaux courantes sous l'aspect particulier du phosphore et de l'azote comme facteurs d'eutrophisation. OCDE PARIS - rapport DAS 45 L.