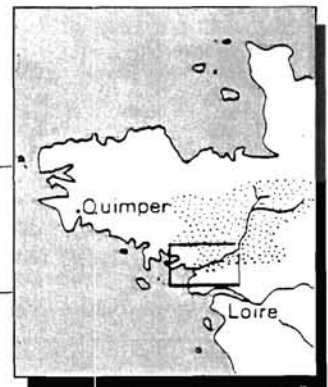


baie de Vilaine : juillet 1982 mortalité massive de poissons

l'analyse des causes et des mécanismes du phénomène, les propositions d'action...

M. MERCERON
DERO/EL
IFREMER/Brest



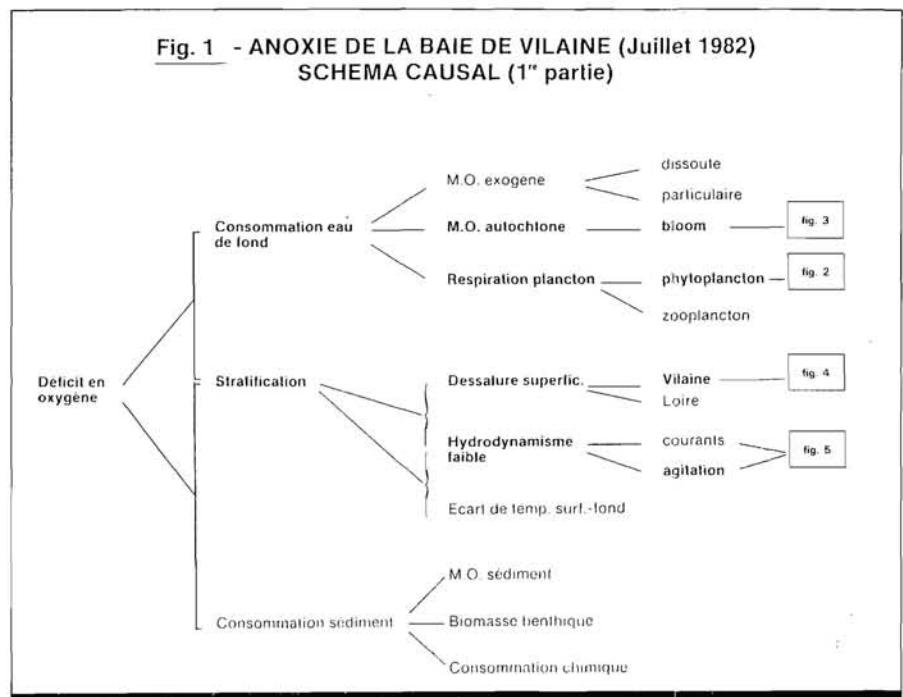
A la fin du mois de juillet 1982, une mortalité massive de poissons et d'invertébrés benthiques s'est produite en baie de Vilaine. La masse de poissons concernée a été estimée à plusieurs dizaines de tonnes. L'analyse des modalités de l'événement indique qu'il s'agit d'une asphyxie provoquée par un déficit très prononcé en oxygène dissous des eaux de fond de la baie. L'apparition de phytoplancton toxique lors des années suivantes (*Dinophysis*) fait l'objet de travaux séparés de la part de l'IFREMER.

Les observations contemporaines des mortalités dont nous disposons ne concernent que les débits de la Loire et de la Vilaine et la météorologie. L'absence de données d'hydrologie marine pour cette période nous a incité à adopter une démarche inductive. Celle-ci a consisté,

à partir de l'hypothèse de l'anoxie des eaux de fonds, à remonter des effets aux causes par paliers successifs jusqu'aux causes premières, et à sélectionner à chaque niveau de causalité le ou les facteurs dont l'influence a été probablement la plus déterminante (c.f. figures 1 à 5).

Concernant la mortalité précitée, l'IFREMER a réalisé de nombreuses études sur des aspects particuliers de cette question (cf. tableau). Le présent rapport en constitue la synthèse. Celle-ci s'appuie également sur les travaux sectoriels effectués par d'autres organismes tant en baie que sur le bassin versant du fleuve Vilaine.

Ce fleuve est de loin de plus important de Bretagne (il draine le tiers de sa superficie), et il ne débouche qu'à une trentaine de kilomètres au nord de la Loire.



Ces choix ont été étayés par les données de l'époque quand c'était possible, mais souvent nous avons recouru aux très nombreuses observations hydrologiques qui ont pu être effectuées sur le terrain depuis 1983. Bien qu'en toute rigueur nous ne puissions pas faire état d'observations hydrologiques contemporaines de l'anoxie, donc de certitudes, l'abondance de nos observations, en particulier au moment des déficits partiels d'oxygène dissous, nous donne un degré de confiance élevé dans la détermination de causes et des processus à laquelle nous sommes parvenus. L'argumentation des choix successifs constitue la majeure partie de ce rapport.

Les résultats de cette démarche sont résumés dans le scénario des événements ayant la probabilité maximum (fig. 7).

le rappel des faits...

Les premières mortalités ont été constatées le 27 juillet 1982. Douze jours auparavant (le 15.7), le débit de la Vilaine était passé de 3 à 73 m³.s⁻¹ à la suite d'importantes précipitations sur le bassin versant (débit moyen annuel : 68 m³.s⁻¹). Le débit s'est ensuite stabilisé à 25 m³.s⁻¹ durant quelques jours. Au cours de cet épisode la mer est restée très faiblement agitée durant deux jours, et une stratification verticale de densité a dû alors s'instaurer. L'éclairement important et la température de surface de cette époque, ainsi que la stratification et les apports nutritifs dus à ces débits ont probablement provoqué un développement phytoplanctonique intense ("bloom") en surface. L'augmentation de l'agitation de la mer qui a suivi aura provoqué un mélange vertical de la masse d'eau, augmentant sans doute la teneur en phytoplancton du fond. Puis le débit de la Vilaine a repris une valeur d'étiage (1 m³.s⁻¹) tandis que la mer est redevenue très faiblement agitée (état 2 à Belle-Ile).

Puis, le 22.7, le débit de la Vilaine augmente considérablement, à la suite de précipitations orageuses particulièrement intenses. Ces débits très élevés pour la saison persisteront durant cinq jours (77 m³.s⁻¹ en moyenne). La mer était très faiblement agitée et cet état, qui a persisté jusqu'au 4 août, a dû permettre l'instauration et la persistance d'une stratification très marquée. Celle-ci aura empêché la réoxygénation des eaux de fond à partir de la surface. Les conditions étaient à nouveau réunies pour qu'un "bloom" phytoplanctonique superficiel se déclenche, mais cette fois avec une ampleur et une intensité supérieure, vu la qualité d'apports nutritifs en jeu et la présence d'un inoculum important de cellules phytoplanctoniques. L'observation

Fig. 2 - ANOXIE DE LA BAIE DE VILAINE (Juillet 1982) SCHEMA CAUSAL (2^e partie)

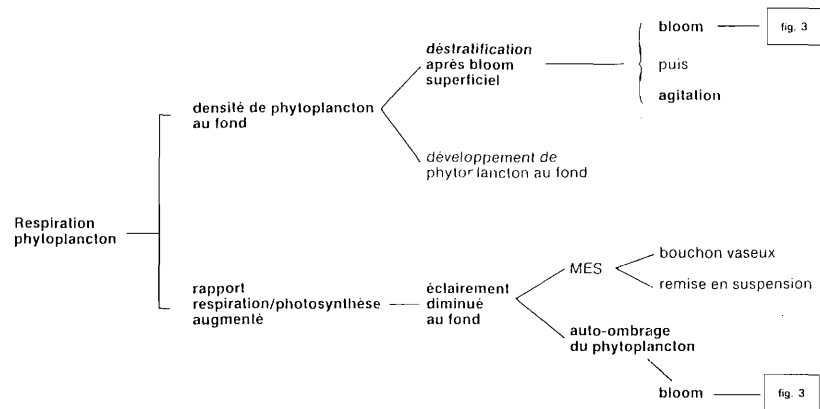


Fig. 3 - ANOXIE DE LA BAIE DE VILAINE (Juillet 1982) SCHEMA CAUSAL (3^e partie)

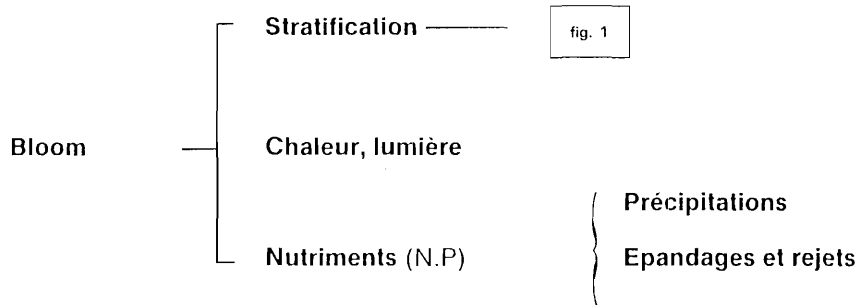
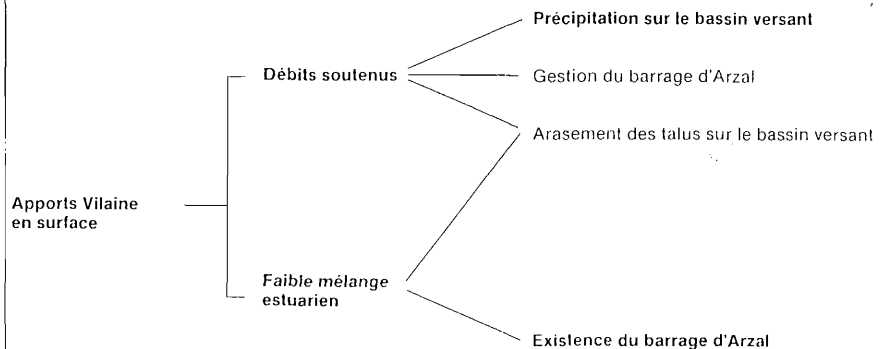


Fig. 4 - ANOXIE DE LA BAIE DE VILAINE (Juillet 1982) SCHEMA CAUSAL (4^e partie)

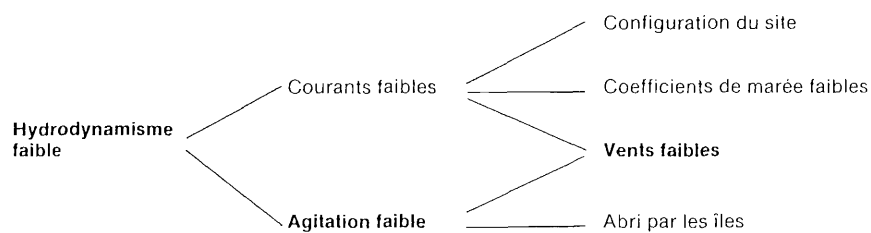


visuelle d'eau colorée en baie de Vilaine le 25.7 conforte cette hypothèse.

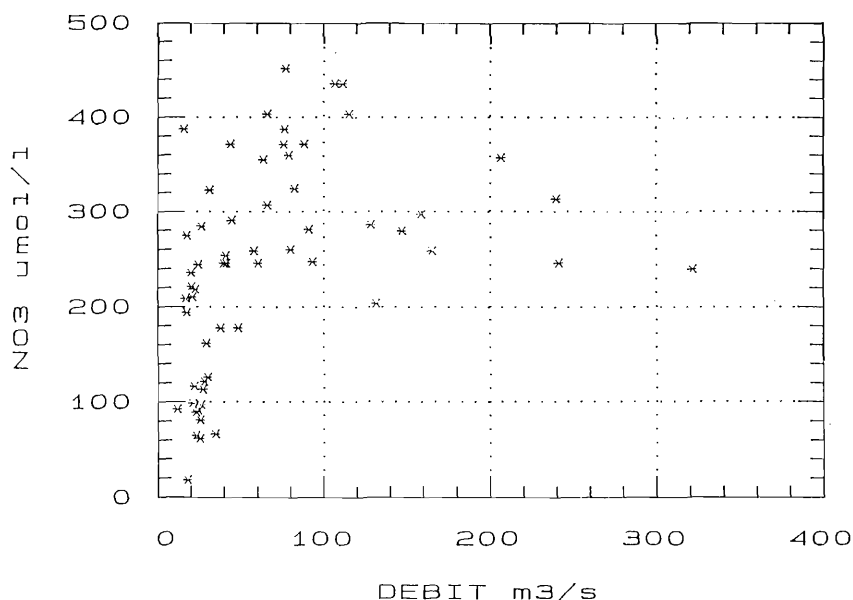
Cette deuxième prolifération superficielle particulièrement intense et brutale aurait fortement limité l'éclairement de la colonne d'eau, au point de faire remonter le niveau de compensation* au-

dessus de la pycnocline**. De ce fait, le phytoplancton issu du premier bloom et situé au fond se serait trouvé dans l'incapacité de produire de l'oxygène par photosynthèse et aurait au contraire consommé très rapidement l'oxygène par sa respiration. Il est également possible que la consommation d'oxygène au fond ait

**Fig. 5 - ANOXIE DE LA BAIE DE VILAINE (Juillet 1982)
SCHEMA CAUSAL (5^e partie)**



**Fig. 6 - RELATION DEBIT - NO3
ARZAL 1984**



été due en partie à un début de dégradation de cellules phytoplanctoniques d'origine superficielle ou locale. La consommation d'oxygène au niveau du sédiment, quant à elle, n'aurait été que marginale. Ce processus se serait déroulé durant plusieurs jours et aurait été amplifié par la décomposition des premiers organismes morts. Le 4 août, le forçage de l'état de la mer a dû détruire la stratification et permettre le réapprovisionnement en oxygène du fond à partir de la surface.

En 1984, nous avons pu enregistrer dans la baie le déroulement de ce processus qui heureusement n'atteignit pas l'intensité de 1982 (fig. 6). Il se caractérise par une évolution contraire des teneurs en oxygène dissous de part et d'autre de la pycnocline. Selon le sens d'évolution, ceci traduit une abondance plus ou moins grande de phytoplancton en surface, et un éclaircissement suffisant ou non du phytoplancton présent au fond.

L'examen des causes premières de cette anoxie et des déficits partiels d'oxygène que nous avons pu constater postérieurement fait ressortir plusieurs points. Le premier est une fragilité naturelle du milieu. Celle-ci est due au confinement trop important du milieu récepteur et à ses trop faibles capacités dispersives, par rapport à l'importance du bassin versant. Dans la baie de Vilaine, la vitesse des courants est faible (0,5 m.s⁻¹ au maximum) ; leur résiduelle est également faible et dépend principalement du vent.

Ceci induit des temps de séjour minimum de quelques jours, qui peuvent être beaucoup plus longs. De plus, les îles et les hauts fonds situés au large constituent des écrans hydrodynamiques qui contribuent à allonger la durée de vie des situations générées par les apports d'eau douce. La nature schisteuse du sous-sol du bassin versant tend à augmenter la brutalité des crues et par conséquent la stratification en estuaire et en baie.

Cette fragilité intrinsèque du milieu a été accrue par des modifications induites par l'homme. L'intensification des apports azotés et l'augmentation de l'écoulement superficiel due aux drainages de prairies humides, aux suppressions de talus et à différentes compactations lors des labours, contribuent à l'augmentation de la production primaire et à la stratification en mer. Par ailleurs, il est indéniable que l'existence même du barrage d'Arzal est un facteur de fragilisation. En réduisant l'estuaire au cinquième de sa longueur primitive, ce barrage a provoqué le déplacement en baie des fonctions estuariennes consommatrices d'oxygène (minéralisation de la matière organique et nitrification) ; il a également contribué à renforcer le caractère naturellement stratifié de l'estuaire, et à favoriser le confinement en surface des blooms de phytoplancton dans la baie. Enfin, il est probable que l'augmentation de l'urbanisation depuis plusieurs décennies a contribué à accroître les apports de phosphore (évolution des habitudes d'hygiène, augmentation du nombre de machines à laver, augmentation des raccordements au réseau de collecte des eaux usées, etc).

A ces facteurs d'ordre structurels, s'ajoute l'impact de facteurs météorologiques, dont l'importance est déterminante : fortes précipitations estivales, faiblesse des vents et, plus accessoirement, faiblesse des coefficients de marée. Le déclenchement du phénomène d'anoxie de juillet 1982 a été très probablement provoqué par une séquence météorologique très inhabituelle, c'est-à-dire des précipitations orageuses très importantes associées à - et suivies de - une période de très faible agitation de la mer.

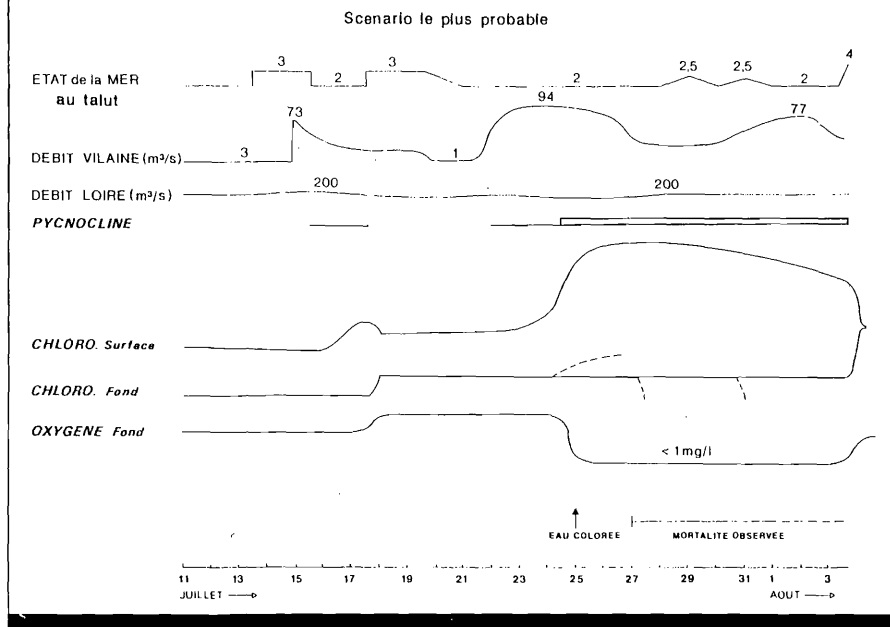
L'éventualité de l'influence de deux autres facteurs a été fréquemment évoquée peu après l'anoxie de 1982, respectivement, par des professionnels de la pêche et par des élus. Il s'agissait du barrage d'Arzal en général (un terme impliquant à la fois son existence et son mode de fonctionnement), et d'autre part des intrusions possibles en baie de Vilaine d'eau douce en provenance de la Loire.

En ce qui concerne le barrage d'Arzal, nous venons de voir que sa présence constitue indubitablement un des facteurs de fragilisation du système. En revanche, sa gestion lors des événe-

* Niveau de compensation : celui où l'éclaircissement est diminué au point que l'oxygène produit par la photosynthèse ne fait que "compenser" l'oxygène consommé par la respiration.

** Pycnocline : couche assez mince ayant un gradient de densité important et qui marque la séparation entre la couche supérieure en relation avec l'atmosphère et la couche inférieure ainsi isolée.

Fig. 7 - ANOXIE EN BAIE DE VILAINE (Juillet 1982)
Scenario le plus probable



des eaux de Loire en baie de Vilaine peut être considérée comme fréquente sur un cycle annuel, même s'il n'est pas sûr que ces eaux atteignent le fond de baie. Cependant, il est pour ainsi dire certain que cette pénétration n'a pas eu lieu lors de l'événement anoxique de juillet 1982.

C'est la première fois de mémoire d'homme qu'une mortalité massive de poissons par anoxie se produit en baie de Vilaine. Des désoxygénations partielles ont été observées à plusieurs reprises depuis 1983 dans les eaux de fond de baie. Leur amplitude a été très diverse, et des séquences potentiellement critiques ont pu être enregistrées (fig. 8) La baie est en fait le lieu de déficits récurrents en oxygène dissous. L'examen de la littérature scientifique montre que de tels déficits partiels ont un effet négatif réel sur tous les stades de la vie des poissons. Nous sommes donc conduits à penser que les populations locales de poissons subissent une diminution chronique de leur recrutement. Ainsi, la question est posée de savoir ce qui, d'une mortalité spectaculaire mais à faible probabilité ou d'une réduction des taux de recrutement de type chronique, représente le préjudice économique le plus important pour le monde de la pêche.

Les hypoxies étant dues à des causes structurelles associées à des facteurs déclenchants météorologiques, les actions de prévention envisageables ne sont pas très nombreuses.

Une réduction significative de la stratification en baie semble relativement difficile à atteindre ; efficacité réduite d'un

ments ne nous semble pas devoir être mise en cause. Les contraintes techniques de la gestion de la retenue et des vannes ne laissent qu'une liberté de manœuvre très restreinte lors des débits soutenus. La très faible capacité de rétention de l'ouvrage implique la nécessité de lâcher rapidement, en cas de débits naturels élevés, pour éviter les inondations de certains quartiers de Redon et des marais de la région, récemment récupérés par l'agriculture. Une modulation optimisée des lâchers, à supposer qu'elle eût été possible à l'époque, n'aurait sans doute apporté qu'un bénéfice très limité à la situation du moment, en comparaison de l'impact des autres facteurs.

La question de l'intrusion des eaux de la Loire en baie de Vilaine a fait également l'objet d'investigations. Il en ressort les points suivants :

- des eaux dessalées par les apports de la Loire ont été observées à plusieurs reprises en baie de Vilaine, mais seulement à l'ouest du méridien passant par Pénerf ;

- différentes observations incitent à penser que les eaux de la Loire concernées sortent de l'estuaire en direction du nord-ouest vers le large, puis qu'à partir de la zone des îles d'Houat et d'Hoëdic elles sont susceptibles de s'orienter vers l'est et le nord-est pour rentrer en baie de Vilaine ;

- le chenal de l'estuaire de la Loire où transitent ces eaux n'est alimenté de façon significative que pour des débits

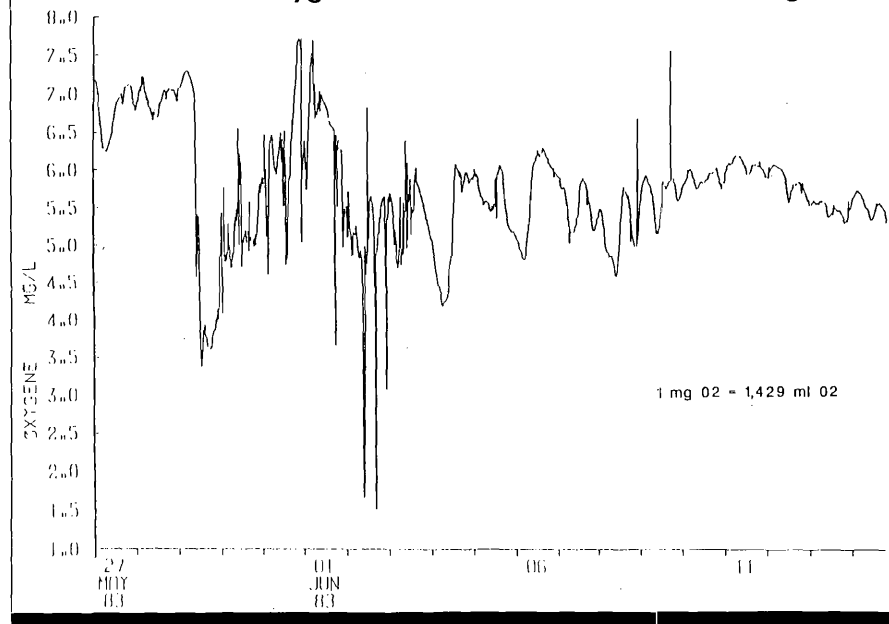
naturels de la Loire de plus de $500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$;

- de tels débits sont habituels en dehors de la période d'étiage (débit annuel moyen = $915 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) ;

- en juillet 1982, les débits de la Loire ont été inférieurs à $300 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ($< 200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ lors de la période critique).

En bref, l'occurrence d'une pénétration

Fig. 8 - OXYMOR 1 (1983)
Concentration d'oxygène dissous de l'eau de fond (mg l⁻¹)



aménagement de la gestion du barrage d'Arzal, difficulté d'envisager son déplacement vers l'amont ou sa suppression, difficulté d'envisager le rétablissement des talus sur le bassin versant, etc.

En revanche, la réduction de la quantité de phytoplancton superficiel présent dans la baie offre des possibilités. L'utilisation de la forte production planctonique par des élevages de mollusques filtreurs commerciaux nous paraît *a priori* intéressante. Paradoxalement, la moule dont la consommation est actuellement souvent entravée par le phytoplancton toxique *Dinophysis sp.*, pourrait constituer une espèce intéressante. L'élevage en suspension semble le mieux adapté pour extraire le phytoplancton de surface. Il induirait sans doute une croissance plus rapide, permettant de commercialiser avant la période critique. La bonne qualité des produits obtenus faciliterait leur écoulement. C'est en tout cas ce que semblent indiquer les essais menés dans la baie depuis plusieurs années par des particuliers.

Néanmoins, l'extension à très grande échelle de ce type d'élevage, si elle était mal maîtrisée, pourrait éventuellement générer autant d'inconvénients qu'elle n'est censée en supprimer. La multiplication excessive des structures d'élevage pourrait constituer un frein aux courants naturellement faibles et favoriser la stratification. Elle pourrait également, par l'ombre produite, contribuer à faire remonter la profondeur de compensation, et donc diminuer l'oxygène au fond. Par ailleurs, la biomasse en élevage tendrait à augmenter l'éclairement du fond en consommant le phytoplancton superficiel, mais également à concentrer la matière organique des fèces et des pseudofèces sur le fond, etc. **Cette proposition devrait, à notre avis, faire l'objet d'une étude approfondie, si elle recueillait un accord de principe.**

La multiplication par 2,5 des flux de nitrates délivrés par la Vilaine depuis une dizaine d'années est un facteur d'accroissement de la production de phytoplancton marin. Cette augmentation est en relation avec l'utilisation croissante de fertilisants azotés par l'agriculture. Elle constitue un problème à l'échelle nationale. Les pertes de nitrates qui en résultent créent un problème majeur pour la potabilité des eaux. Les élevages agricoles en subissent eux-mêmes les effets

sous la forme d'une plus grande sensibilité des animaux aux maladies. L'abaissement des flux de nitrates de la Vilaine suppose une modification des pratiques agricoles sur le bassin versant.

Depuis plusieurs décennies, la très grande majorité des exploitants cherche à obtenir les rendements pondéraux les plus élevés possibles. Cependant, un petit nombre d'exploitants se tourne vers une forme d'agriculture moins consommatrice de biens intermédiaires (d'engrais minéraux, en particulier), fut-ce au prix de rendements pondéraux inférieurs. Une telle orientation va, *a priori*, dans le sens d'une diminution des pertes azotées dans l'environnement.

Localement, et à plus court terme, l'attention du CORPEN* et de la Mission "Eaux-Nitrates" devrait être attirée sur les problèmes rencontrés sur le bassin versant de la Vilaine. Des recommandations à ce propos ont été définies à l'échelon national par ceux-ci en 1986. Pour les faire appliquer dans la zone concernée, il sera probablement nécessaire de réaliser un effort beaucoup plus important que ce qui est consacré actuellement à la mise en place des périmètres de protection des captages d'eau. Une action de sensibilisation et d'information sur les inconvénients d'une fertilisation excessive des terres agricoles pourrait être lancée auprès du monde agricole, à l'image de ce qu'il est proposé de réaliser sur les bassins versants de la baie de Saint-Brieuc (DDA 22), c'est-à-dire avec des moyens humains et financiers significatifs.

La très forte augmentation des flux d'azote contribue à faire du phosphore l'élément dont la disponibilité limite la production phytoplanctonique dans la baie. Sa teneur disponible dans l'eau présente la particularité d'être régulée par un processus réversible d'absorption sur les particules sédimentaires fines.

Le cours du fleuve Vilaine est en situation chronique d'eutrophie. Une réduction des apports de phosphore au cours d'eau irait dans le sens d'une restauration de la qualité des eaux. Les apports proviennent environ pour moitié de l'agriculture et pour moitié des effluents urbains. Il est envisagé d'opérer une déphosphatation des effluents de certaines stations d'épuration. Cette action irait assurément dans le bon sens. Mais son impact sur la production primaire de la baie serait-il signi-

ficatif ? C'est loin d'être prouvé dans l'état actuel des données disponibles. En effet, les réserves mobilisables de phosphore des sédiments fluviaux et marins semblent considérables. Elles sont susceptibles de compenser le déficit des flux de la Vilaine durant une période forcément longue, et dont le terme reste à déterminer. Pour conclure sur ce point, un bilan du phosphore dans le système fleuve-baie serait nécessaire, et il reste à faire.

A côté des actions de prévention, des systèmes d'alerte pourraient éventuellement être nécessaires. Dans cette optique, la surveillance des débits de la Vilaine à la belle saison constitue un moyen simple et efficace. Une alerte pourrait être déclenchée automatiquement par le dépassement d'un débit prédéterminé. Il conviendrait alors de surveiller les conditions de vent et d'agitation de la mer.

De plus, une surveillance de la teneur en oxygène dissous au fond, en temps réel et à terre pourrait être envisagée. Elle permettrait d'évaluer les déficits moyens auxquels la baie est soumise, et éventuellement d'estimer le déficit de recrutement subi par les espèces commerciales de poissons. Par ailleurs, la surveillance des teneurs élevées de chlorophylle superficielle par des capteurs satellisés constitue sans doute une solution du futur. Cette solution permettrait d'élargir le champ spatial des investigations, mais son développement n'est pas prévisible à court terme.

En ce qui concerne les différents systèmes d'alerte, la détermination de leur utilité devrait prendre en compte une analyse de type coût-bénéfice.

A partir de 1988, l'IFREMER entreprendra la modélisation de la production primaire, puisque la plupart des problèmes écologiques posés se rapportent à ce paramètre. Par ailleurs, il est envisagé de réaliser un modèle numérique de la circulation des masses d'eau de la région comprenant le Mor-Bras et la zone au large de la Loire.

La baie de Vilaine est le siège d'un certain nombre de conflits, et la réalisation d'un Schéma de Mise en Valeur de la Mer pourrait se révéler opportune.

* Comité d'Orientation pour la Réduction de la Pollution des Eaux par les Nitrates (organe dépendant des Ministères de l'Agriculture et de l'Environnement).

Les principales études sectorielles réalisées sur l'estuaire et la baie de Vilaine sont listées dans le tableau . D'autres études ont été réalisées sur le bassin versant, la retenue d'Arzal et les flux délivrés par la Vilaine, par d'autres organismes : Service Régional de l'Aménagement des Eaux (SRAE), Association Halieutique du Mor-Bras (AHMB), SAUNIER Eau et Environnement. D'autres encore, comme la modélisation de l'eutrophisation de la Vilaine par BETURE-SETAME, sont en cours.

TABLEAU - ETUDES SECTORIELLES SUR LA BAIE DE VILAINE

ORGANISME	AUTEUR - DATE	TITRE
IFREMER	THOUVENIN B. - 1984	Evolution de l'oxygène dissous au fond - Modèle mathématique vertical - OXYMOR juillet 1983 - Baie de Vilaine.
IFREMER	MAGGI P. et al - 1985	Analyse des facteurs climatiques susceptibles de jouer un rôle dans les apparitions d'eaux colorées en baie de Vilaine, durant l'année 1982.
AHMB*	CLEMENT J.C. - 1985	Etude de la qualité des eaux du Mor-Bras - Synthèse des données acquises en 1983.
IFREMER	MERCERON M. - 1985	Impact du barrage d'Arzal sur la qualité des eaux de l'estuaire et de la baie de la Vilaine.
IFREMER**	NADAILLAC G. de et BRETON M. - 1985	Les courants en baie de Vilaine - Présentation et interprétation des données.
IFREMER**	NADAILLAC G. de et BRETON M. - 1986	Les courants en baie de Vilaine - Synthèse des résultats.
AHMB*	CLEMENT J.C. - 1986	Hydrologie et production primaire en baie de Vilaine en 1984 : conditions nutritionnelles et évolution de la productivité de l'écosystème.
IFREMER	MERCERON M. - 1986	Etude de la matière organique et demande en oxygène des sédiments en baie de Vilaine.
IFREMER	MAGGI P. et al - 1986	Facteurs hydroclimatiques et apparitions d'eaux colorées, en baie de Vilaine, durant l'année 1984.
IFREMER	MAGGI P. et al - 1986	Suivi des facteurs climatiques, susceptibles de jouer un rôle dans les apparitions d'eaux colorées, en baie de Vilaine, durant l'année 1985
IFREMER	KERDREUX M. et al - 1986	Suivi de flotteurs dans la zone Loire-Vilaine
UBO***	LE BRIS H. - 1986	Evolution de la macrofaune benthique en baie de Vilaine et en rade du Croisic.
UBO***	QUEGUINER B. et al - 1986	Mise en évidence des facteurs limitant la production de phytoplancton dans le Mor-Bras.
IFREMER	LE HIR P. et al - 1986	Impact du régime du barrage d'Arzal sur la stratification à l'embouchure de la Vilaine. Etude par modélisation numérique.
IFREMER	PERSON-LE RUYET J. - 1986	Les besoins en oxygène des poissons marins et leur comportement en conditions hypoxiques - Revue bibliographique.
IFREMER****	JECOUCO A.M.	(Etude par télédétection de la zone maritime Loire-Vilaine).

* Etude réalisée à partir des données hydrologiques acquises par l'IFREMER.

** Etude réalisée à partir des données courantologiques acquises par le Service hydrographique et océanographique de la Marine (SHOM).

*** Université de Bretagne Occidentale (Brest).

**** Etude à paraître en 1987.