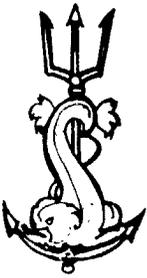


P 502/1



EXCLU DU PRÊT

27 JUIN 1978

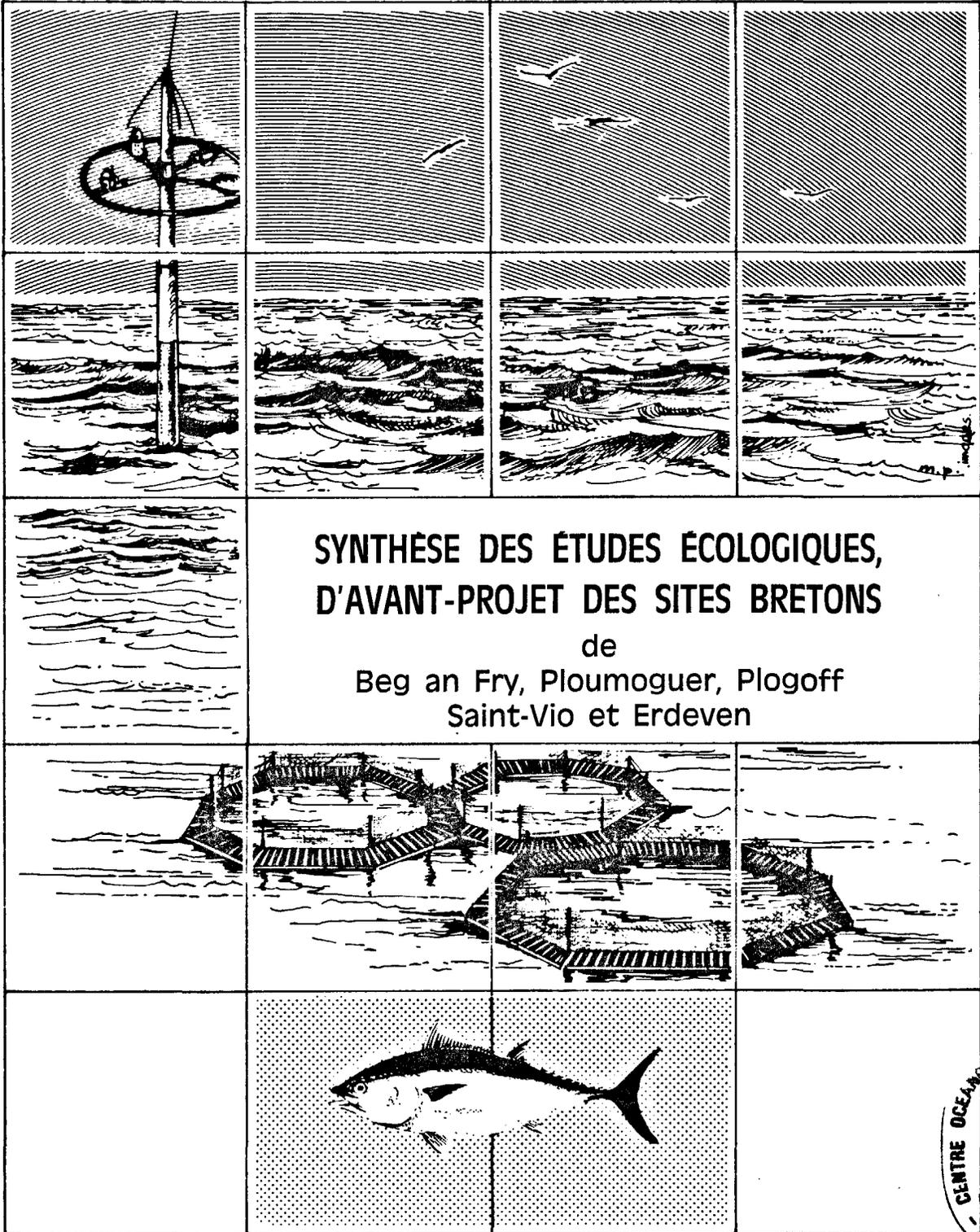
Publications du

CENTRE NATIONAL POUR L'EXPLOITATION DES OCEANS

Découvrez plus de documents
accessibles gratuitement dans [Archimer](#)



Rapports scientifiques et techniques n°38 - 1978



- Les Publications Scientifiques et Techniques du Centre National pour l'Exploitation des Océans (CNEXO) comportent les séries suivantes :

The Scientific and Technical Publications of Centre National pour l'Exploitation des Océans (CNEXO) contain the following serials :

- Rapports Scientifiques et Techniques - ISSN 0339-2899. 1971
- Rapports Economiques et Juridiques - ISSN 0339-2910. 1973
- Recueil des Travaux du Centre Océanologique de Bretagne - ISSN 0336-3112. 1972
- Résultats des Campagnes à la Mer - ISSN 0339-2902. 1971
- Actes de Colloques - ISSN 0335-8259. 1971

- Les travaux publiés dans ces séries sont analysés par :

The works published in these serials are analysed by :

- Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts
- Bibliographie Géographique Internationale
- Biological Abstracts
- Bulletin Signalétique du C.N.R.S. - Informascience
- Chemical Abstracts
- Norois - Chronique Océanographique
- Hydrographische Bibliographie
- Oceanic Abstracts
- Oceanographic Abstracts and bibliography - Deep Sea Research
- Pollution Abstracts
- Underwater Information Bulletin
- Zoological Record

- Les demandes d'information et les commandes concernant toutes les publications scientifiques et techniques du CNEXO doivent être adressées à :

The inquiries and orders which concern the whole of CNEXO scientific and technical publications have to be mailed to :

SECTION DOCUMENTATION
CENTRE OcéANOLOGIQUE DE BRETAGNE
B.P. 337
29273 BREST CEDEX

Les publications envoyées en échange doivent être expédiées à cette même adresse.

The publications sent in exchange have to be forwarded to the same address.

PUBLICATIONS DU
CENTRE NATIONAL POUR L'EXPLOITATION DES OCÉANS
(C N E X O)

Rapport Scientifique et Technique N° 38

**SYNTHESE DES ETUDES ECOLOGIQUES
D'AVANT-PROJET DES SITES BRETONS**

de

**Beg An Fry, Ploumoguier, Plogoff,
Saint-Vio et Erdeven**

CENTRE OCEANOLOGIQUE DE BRETAGNE
UNIVERSITE DE BRETAGNE OCCIDENTALE

ISSN 0339-2899

SOMMAIRE

AVANT PROPOS.	5
Chapitre I : DEVELOPPEMENT LINEAIRE DE COTE ET SUPERFICIES DES FONDS COTIERS SOU MIS AU RECHAUFFEMENT.	7
Chapitre II : FLOCCULATION ET SEDIMENT EN SUSPENSION.	15
Chapitre III : REMARQUES BIOGEOGRAPHIQUES.	18
Chapitre IV : PRODUCTION PRIMAIRE BENTHIQUE EN MILIEU ROCHEUX.	19
Chapitre V : BIOMASSE ET PRODUCTION ENDOGEE DES SABLES FINS.	27
Chapitre VI : PRODUCTION PELAGIQUE.	29
Chapitre VII : RISQUES D'EAU ROUGE.	30
Chapitre VIII : PECHE COTIERE.	41
Chapitre IX : TABLEAU DE COMPARAISON DES SITES.	52
Chapitre X : COMMENTAIRES RELATIFS AU TABLEAU DE COMPARAISON.	47
Chapitre XI : CONCLUSIONS.	53
Annexe : MODELE SCHEMATIQUE D'EVALUATION PRELIMINAIRE DES TACHES THERMIQUES EN MER A MAREE. (DOCUMENT EDF-LNH).	57

RESUME

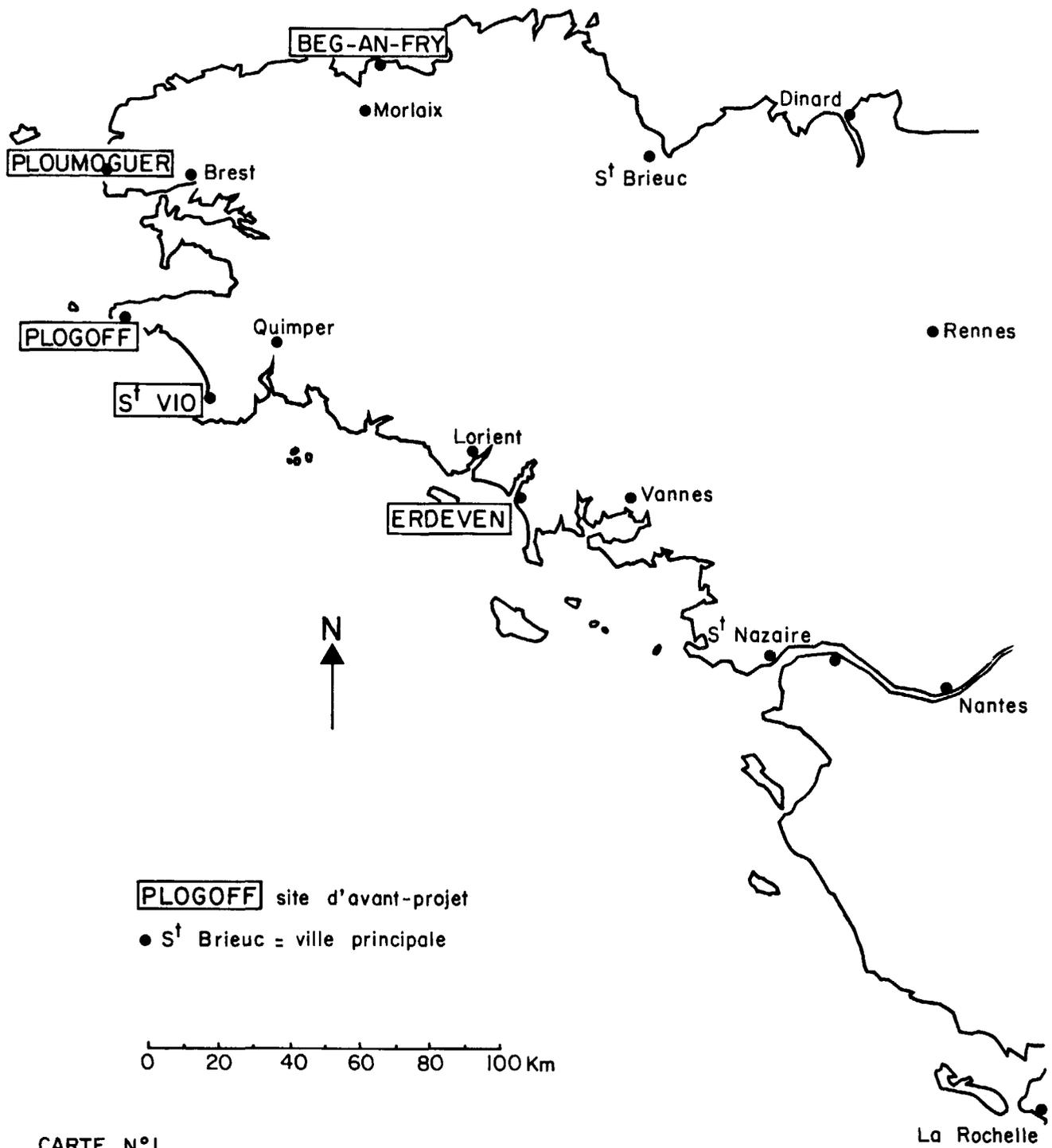
Une analyse comparative des cinq sites bretons, envisagés par E.D.F. pour l'implantation d'une centrale nucléaire sur le littoral, est présentée à partir des dossiers des avant-projets et d'une réflexion écologique élargie. L'estimation de la sensibilité écologique des sites repose sur des critères physiques, biologiques et économiques. Cette synthèse offre à la fois un classement des sites bretons et une méthode de travail adaptée au problème posé et aux connaissances disponibles.

ABSTRACT

A comparative study between five coastal zones in Brittany selected as possible location for nuclear power plant is based upon primary studies (avant-projet) and large ecological criticism. The ecological sensibility of each zone is estimated on physical, biological and economical criterion. This synthesis shows at the same time a classification of breton zones and a working method adapted to this kind of problem and also to the available data.

LISTE DES PERSONNES AYANT REALISE L'ETUDE

ALLEN, G. CNEXO - Centre Océanologique de Bretagne
BELSHER, T. CNEXO - Station Biologique de Roscoff
CHARDY, P. CNEXO - Centre Océanologique de Bretagne
CHASSE, C. CNRS - Université de Bretagne Occidentale
GLEMAREC, M. Université de Bretagne Occidentale
GUILLOU, J. Université de Bretagne Occidentale
GUILLOU, M. Université de Bretagne Occidentale
GRALL, J.R. CNRS - Station Biologique de Roscoff
LAUBIER, L. CNEXO - Centre Océanologique de Bretagne
LAUREC, A. CNEXO - Centre Océanologique de Bretagne
LE FEVRE, J. CNRS - Université de Bretagne Occidentale
MONBET, Y. CNEXO - Centre Océanologique de Bretagne
ROMANA, A. CNEXO - Centre Océanologique de Bretagne
SERET, B. CNEXO - Centre Océanologique de Bretagne



CARTE N°1

LES SITES D'AVANT-PROJET
EN BRETAGNE

AVANT PROPOS

Cette étude se situe dans le cadre de l'implantation d'une éventuelle centrale nucléaire sur le littoral de l'ouest de la France. Dans un premier temps, Electricité de France a demandé au Centre National pour l'Exploitation des Océans de mener des études écologiques, dites d'avant-projet, sur des sites présélectionnés à savoir :

- BEG AN FRY (Guimaec) Finistère
- PLOUMOGUER Finistère
- PLOGOFF Finistère
- SAINT-VIO (Tréguennec) Finistère
- ERDEVEN Morbihan

La carte 1 montre la localisation de ces sites. Pour exécuter ces études, le Centre Océanologique de Bretagne (Unité Littoral) s'est associé à l'Université de Bretagne Occidentale et à la Station Biologique de Roscoff. Ces études avaient pour objectif de rassembler les données écologiques essentielles des sites concernés, afin de permettre la prise en compte par E.D.F. des caractéristiques écologiques au niveau du choix d'un site.

Théoriquement, ces études devaient comporter un bilan des connaissances acquises à partir des données bibliographiques disponibles, complétées par des études de terrain. En pratique, les sources bibliographiques se révélant très pauvres, les dossiers d'avant-projet sont presque essentiellement constitués par des études "in situ". Celles-ci, à caractère strictement descriptif, sont loin de couvrir l'ensemble des problèmes écologiques auxquels il aurait fallu pouvoir se consacrer. Elles ont pour objectif principal de traiter de l'impact thermique et, par conséquent, les éléments de synthèse qui en découlent sont limités à cet aspect du problème, excluant notamment les aspects chimiques et radioactifs.

Cette étude repose sur des observations "in situ" mais, aussi et surtout, sur l'expérience écologique et l'acquis de connaissances générales sur les écosystèmes côtiers. Les interprétations proposées s'appuient donc à la fois sur des données objectives et sur des interpolations, dont les principes sont exposés en détail dans les chapitres 1 à 8. Les "points forts" de l'étude sont résumés dans un tableau synthétique (chapitre 9), accompagné d'un texte de commentaires sous forme de conclusions (chapitre 10).

La comparaison des sites ne peut se faire sur un critère unique, mais sur un ensemble de composantes écologiques de nature souvent très différente. Il est actuellement impossible de hiérarchiser ces paramètres, dans la mesure où les règles de l'évolution des écosystèmes marins, soumis aux effluents thermiques des centrales nucléaires, sont encore mal connues. Les critères retenus sont de trois ordres :

- physiques : brassage des eaux donné par l'étendue de la tache thermique, hydrodynamisme, particules en suspension,
- biologiques, en distinguant les trois compartiments : benthos rocheux, benthos sableux et pelagos,
- économiques : pêche, conchyliculture.

Les paramètres biologiques sont d'ordre qualitatif (eaux rouges, diversité biocénotique) ou quantitatif (biomasse et production affectables). La synthèse proposée prend en compte globalement toutes ces composantes.

Par ailleurs, toute réflexion sur le degré de sensibilité d'un site naturel à l'égard d'une intervention humaine implique un certain nombre d'hypothèses prédictives sur les lois d'équilibre du milieu, hypothèse dont le degré de vérification reste très insuffisant dans l'état actuel de nos connaissances.

CHAPITRE I

DEVELOPPEMENT LINEAIRE DE COTE ET SUPERFICIES DES FONDS TRES COTIERS SOUMIS AU RECHAUFFEMENT.

1. DEFINITION

A partir des taches thermiques fournies par le Laboratoire National d'Hydraulique (L.N.H.) de l'E.D.F., il a été mesuré :

- Le linéaire de côte compris entre les limites définies par le contact à la côte de la tache thermique d'un Δt de 1° . Ce linéaire a été mesuré au curvimètre, aux niveaux 0 m CM et - 5 m CM ; au niveau 0 m, la distinction a été faite entre les différents types de substrats.
- La superficie comprise entre 0 m CM et - 5 m CM pour les $\Delta t + 3^\circ\text{C}$ et $+ 1^\circ\text{C}$ (au planimètre). Les documents cartographiques utilisés sont les cartes IGN au 1/25 000.

2. BUT

Par la comparaison des valeurs obtenues pour chaque site, on tente de se faire une idée de l'importance respective des altérations qui pourraient être engendrées. Dans cette optique, l'intérêt des superficies calculées est évident, au moins en tant qu'élément intermédiaire pour l'évaluation des biomasses et productions benthiques affectables. Quant au développement linéaire de la côte, plus il est élevé par rapport à la longueur à vol d'oiseau entre deux points, plus le milieu naturel est diversifié en micro-milieus d'exposition, de profondeur ou de faciès différents. Du point de vue protectionniste, la "valeur" des écosystèmes concernés tendra donc à être élevée, de même que la diversité des peuplements. De plus, une côte très indentée sera plus propice qu'une côte rectiligne à une complication des systèmes de courants et des phénomènes hydrologiques, plus favorable à des phénomènes d'accumulation locale d'eaux réchauffées et plus défavorable à une bonne prévision des conditions de dispersion thermique.

3. LIMITES

Les étendues des taches thermiques ont été établies par le L.N.H. à partir de mesures de courantométrie et en utilisant un modèle mathématique, mis au point à cette fin (cf. annexe). En l'occurrence, c'est la seule base dont nous disposons actuellement.

Par définition, la nature ou la qualité des altérations ne peut pas être prise en compte.

Les différents substrats, outre leur différence de comportement possible au regard du stress, présentent des densités de matière vivante très variables.

4. RESULTATS (Tableau I)

Nous ne disposons pas de mesures précises à Beg an Fry. En ce qui concerne Erdeven, la côte, en dehors de la rivière d'Etel, est presque rectiligne. Cependant le document du L.N.H. montre que la rivière d'Etel est à inclure en totalité à l'intérieur de l'isotherme $\Delta t \geq + 3^{\circ}\text{C}$.

L'extrême morcellement des vasières, îlots, etc... y rendent les mesures de surface peu praticables ; le niveau - 5 m est très peu représenté. Reste donc le développement linéaire de côte au zéro C.M., qui atteint 95 km, entre les deux points, les limites de l'embouchure, distants à vol d'oiseau de 200 m. Il faut ajouter, en dehors de la Rivière, environ 3 km pour le $\Delta t \geq + 3^{\circ}\text{C}$, soit un total de 98 km, et environ 9 km pour le $\Delta t \geq + 1^{\circ}\text{C}$: total 104 km. Il y a donc une série décroissante très nette en ce qui concerne les longueurs développées de côte affectables par un échauffement d'au moins 1°C . De la centaine de km d'Erdeven, on passe à Ploumoguer et St Vio, à des valeurs mesurables en dizaines de km, et pour Plogoff à des chiffres de l'ordre du km.

Du point de vue des superficies comprises entre 0 et - 5 m CM, pour les $\Delta t \geq + 1^{\circ}\text{C}$ et $\geq + 3^{\circ}\text{C}$, il ne semble pas y avoir de concordance nette entre les superficies des deux taches thermiques.

Pour Plogoff, l'isotherme $\Delta t \geq + 3^{\circ}\text{C}$ n'est pas porté sur le document du L.N.H. Pour le $\Delta t \geq + 1^{\circ}\text{C}$, ce site présente une valeur nettement plus faible que les autres.

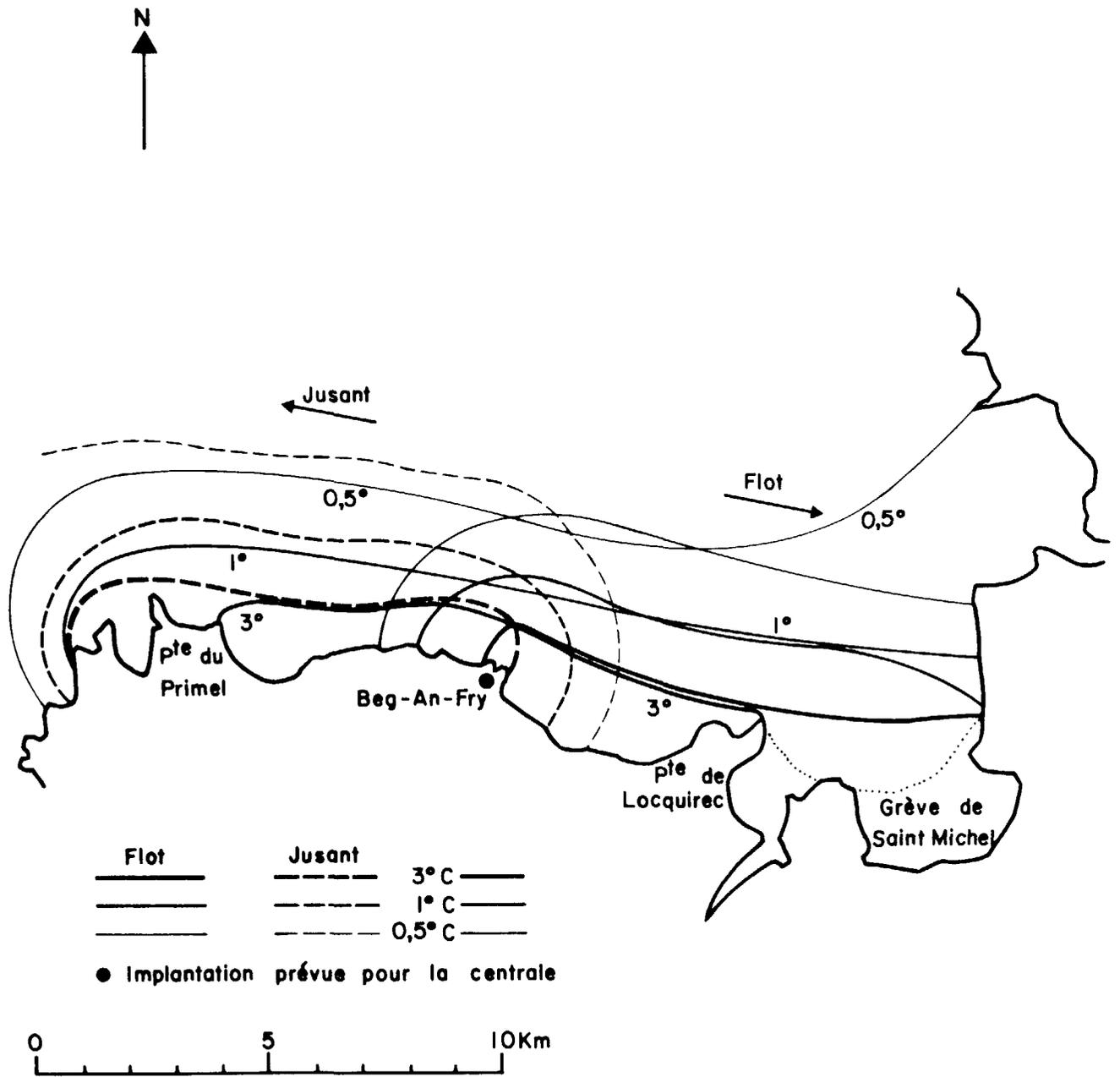
ANNEXE : LINEAIRES DE COTE ET SUPERFICIES DES FONDS TRES COTIERS SOUMIS AU RE-CHAUFFEMENT

Superficie comprise entre isobathes 0 et - 5 m CM (en hectares).

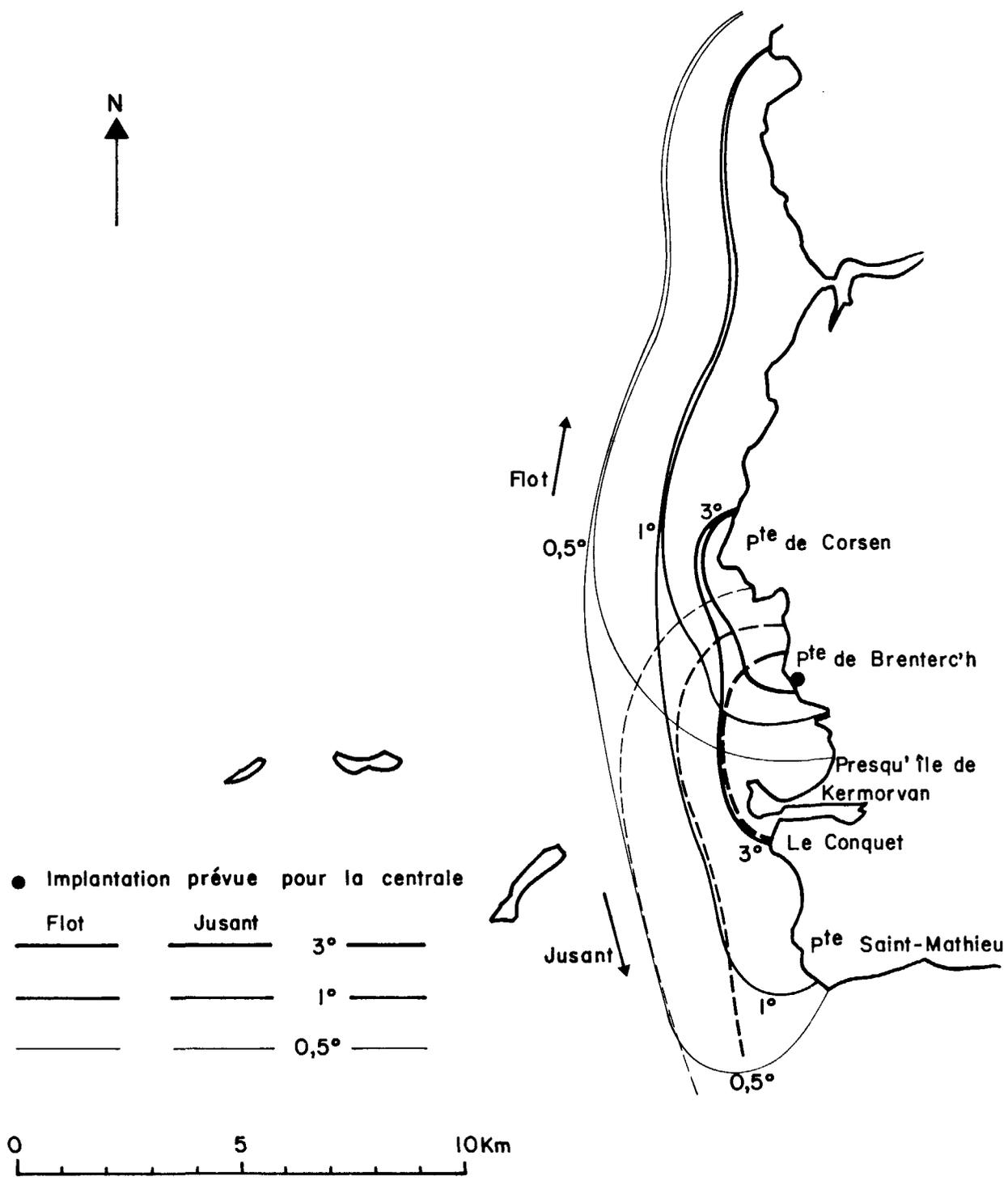
	$\Delta t + 3^{\circ}\text{C}$	$\Delta t + 1^{\circ}\text{C}$
PLOUMOGUER	1.218,1	6.813,7
PLOGOFF		735,7
SAINT VIO	220,6	5.428,9

Linéaire $\Delta t + 1^{\circ}\text{C}$ (en kilomètres).

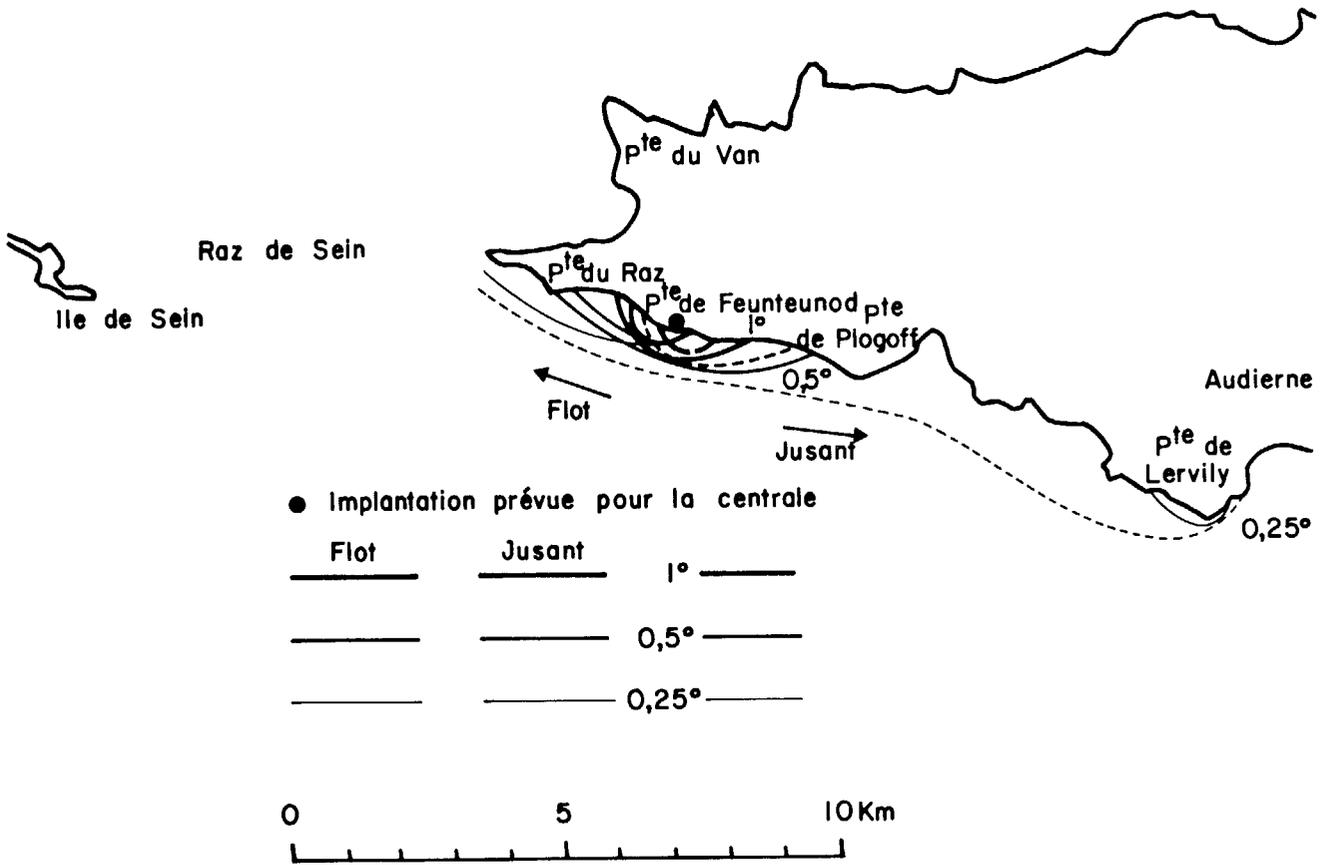
	0 m CM				- 5 m CM
	Rocher	Sable	Vase	TOTAL	
PLOUMOGUER	24	6	1,150	31,150	34,9
PLOGOFF	1,7			1,7	2
SAINT VIO	13	15		28	34
ERDEVEN	Non distingués en raison de l'extrême complication de la côte.			104	-



ISOTHERMES ESTIMEES SUR LE SITE
DE BEG-AN-FRY

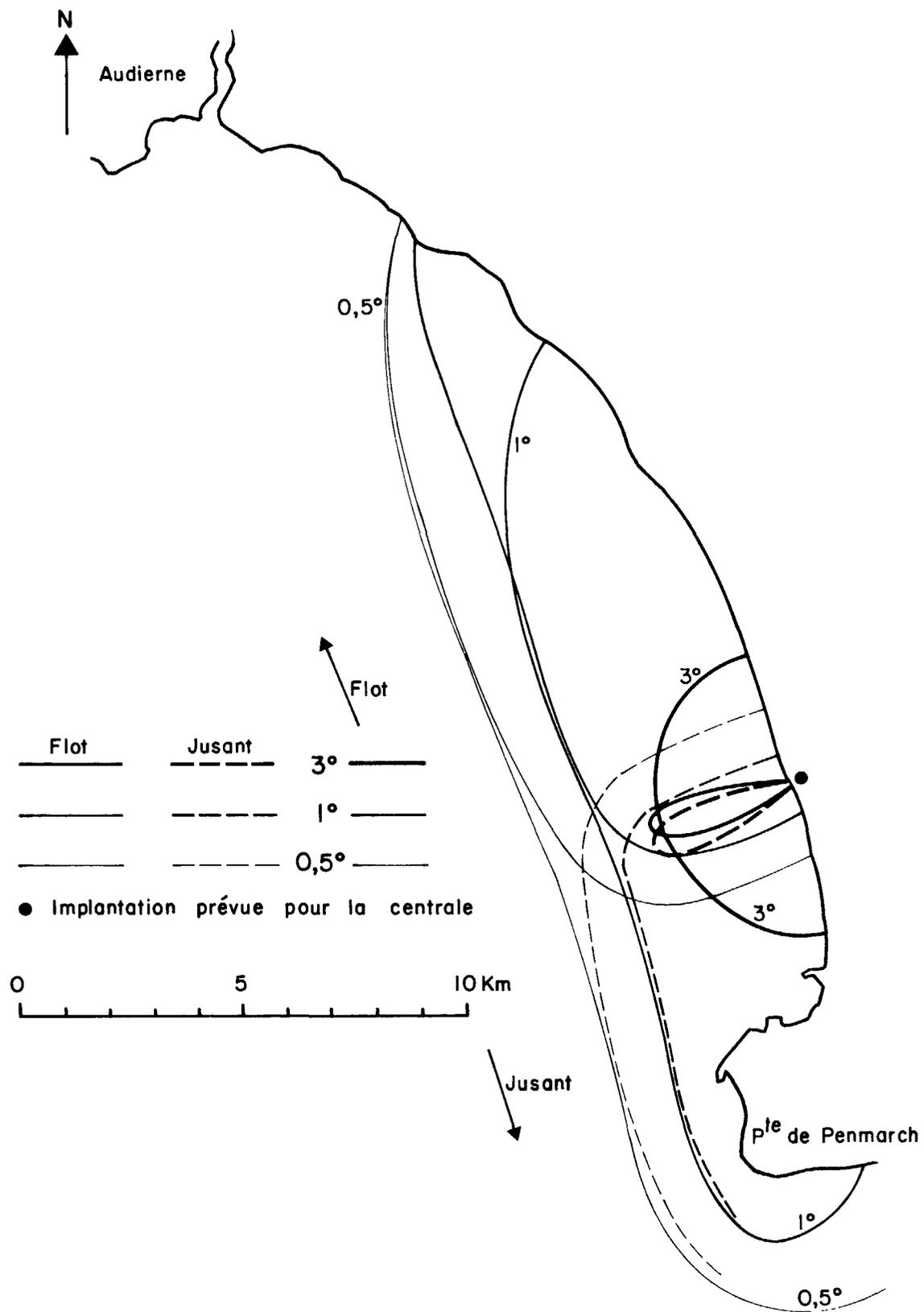


ISOTHERMES ESTIMEES SUR LE SITE
DE PLOUMOGUER

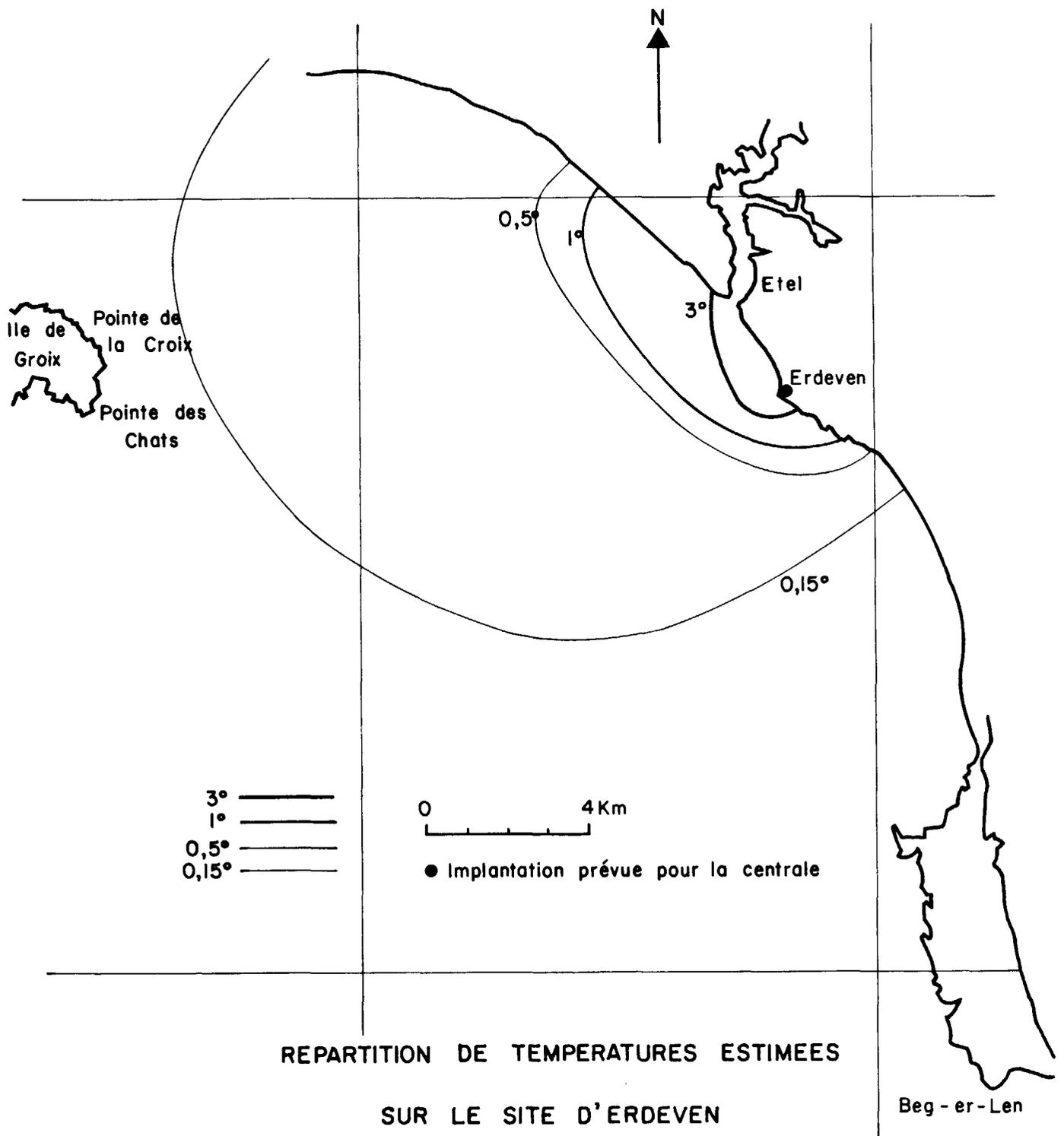


ISOTHERMES ESTIMEES SUR LE SITE

DE PLOGOFF



ISOTHERMES ESTIMEES SUR LE SITE
DE TREGENNEC



CHAPITRE II

FLOCULATION ET SEDIMENTS ARGILEUX EN SUSPENSION

1. LA FLOCULATION - SON ROLE DANS LA SEDIMENTATION

1. LA FLOCULATION

Les particules argileuses, généralement inférieures à 2μ , se caractérisent par la propriété d'être cohésives vis-à-vis d'autres particules. Cette propriété de cohésion est surtout liée à la charge ionique, qui existe à la surface de celles-ci, et qui peut créer des liens électrostatiques entre deux particules. L'existence de ces liens peut donner lieu à une agglomération de ces particules lorsque celles-ci sont transportées en suspension dans l'eau. Ce phénomène d'agglomération est appelé "floculation".

2. FACTEURS DETERMINANT LA FLOCULATION

A) FACTEURS CHIMIQUES

Le passage de l'eau douce à l'eau légèrement salée augmente la cohésion entre les particules argileuses et, de ce fait, permet l'agrégation ou la floculation des particules en suspension. Ce phénomène semble se déclencher à une salinité très faible : de 0,5 à 3 ‰ selon les auteurs.

La floculation se solde par un accroissement de la vitesse de chute des sédiments en suspension. Des études effectuées sur des sédiments en suspension dans l'eau calme ont montré l'existence d'une relation entre la salinité, la concentration de sédiments en suspension et la floculation, mesurée par l'augmentation de la vitesse de chute des sédiments.

Pour des salinités de 0,5 à 5 ‰, il y a accroissement rapide de la vitesse de chute avec la concentration des sédiments en suspension. Au-delà de ce seuil de 5 ‰, il semble s'établir un palier pour lequel la vitesse de chute devient constante, quelle que soit la concentration des suspensions.

B) FACTEURS PHYSIQUES

Des travaux récents ont montré que l'agrégation des particules argileuses était, au cours de leur transport en suspension, également liée aux phénomènes de collision entre les particules.

Ces collisions deviennent plus fréquentes avec l'augmentation des gradients de vitesse d'écoulement, comme de la concentration des sédiments en suspension. En milieu salé, ces collisions provoquent une plus grande floculation, ce qui augmente la vitesse de chute des particules en suspension, en proportion avec la vitesse de l'écoulement.

L'effet général de la floculation est d'accélérer la sédimentation des suspensions, en augmentant leur vitesse de chute. Ce phénomène est particulièrement important en milieu estuarien, car les suspensions passent d'un milieu d'eau douce à un milieu salé, où les gradients de vitesses sont élevés et suivis par des étales ; la concentration des suspensions par ailleurs y est forte.

3. SEDIMENTS EN SUSPENSION ET POLLUANTS

Les argiles sont caractérisées par un pouvoir adsorbant très important, c'est-à-dire que des ions de toute nature, en particulier des radio-isotopes, peuvent se fixer à la surface des particules élémentaires, et d'autant plus fortement que les particules sont petites.

De ce fait, une bonne partie des éléments polluants, tels que métaux lourds, organochlorés, pesticides, etc... voire même des bactéries, peuvent être véhiculés par des sédiments en suspension. En fonction de la nature du polluant et des propriétés chimiques de l'eau : pH, salinité, il peut se produire des phénomènes d'adsorption et de désorption des polluants, vis-à-vis du "vecteur" que sont les sédiments en suspension. Lorsque les rejets de polluants s'effectuent dans des zones à forte teneur en suspension, les zones de sédimentation des argiles seront les zones d'accumulation des polluants.

2. CLASSEMENT DES SITES ENVISAGES

1. RISQUES D'APPORTS DE SEDIMENTS EN SUSPENSION SUR LES SITES

A) LA PRESENCE OU LA PROXIMITE D'UNE EMBOUCHURE FLUVIALE

Les embouchures fluviales sont le site d'apports de sédiments, surtout en suspension. Ces sédiments sont concentrés dans les embouchures par les phénomènes propres aux mélanges des eaux douces et marines. Au gré du débit fluvial et des marées, des apports à la mer des sédiments en suspension peuvent se faire. D'une façon générale, ces apports s'effectuent surtout en période de crues fluviales, et en vive eau.

B) L'EROSION D'UNE COTE OU D'UN ESTRAN ARGILEUX

Elle provoque la remise en suspension de sédiments. Ce phénomène est surtout sensible en périodes de houles importantes, pendant les tempêtes.

C) LA MISE EN SUSPENSION DE SEDIMENTS DE FONDS MARINS ARGILEUX

Trois facteurs sont alors à envisager :

- les houles : les effets décroissent rapidement avec la profondeur.
- les courants : pour les zones de forts marnages.
- la nature des fonds : la facilité de mise en suspension des sédiments non-cohésifs est inversement proportionnelle à la granulométrie. Pour les sédiments cohésifs, le paramètre important est le degré de tassement des sédiments.

2. CLASSEMENT DES SITES

L'examen des sites étudiés, en fonction des trois facteurs précités, en liaison avec la bathymétrie des fonds avoisinants, de l'ampleur des courants et de la houle, permet de les classer, en ce qui concerne le risque d'apports de sédiments en suspension. Cette classification est présentée sous forme de tableau, donnant les risques d'apports liés aux trois facteurs précités. Ces risques sont mis sous forme d'échelle : 0 (pas de risque) à 3 (risque certain).

CLASSEMENT DES SITES ENVISAGES SELON LES RISQUES DECROISSANTS D'APPORTS DE SEDIMENTS EN SUSPENSION

		Proximité d'embouchure	Erosion de côtes argileuses	Remise en suspension (fonds argileux)	Concentration maximum probable à envisager (en mg/l)
——— RISQUES DECROISSANTS ——— ↓	CORSEPT	3	0	3 Fonds vaseux.	1 000
	ERDEVEN	1 à 2	0	1 Fonds sableux, vaseux à 8-10 m.	100
	BRETIGNOLLES SAINT-MARTIN	1	0	0 à 1 Sables fins, vaseux à 8 m.	50
	SAINTE-VIO- TREGUENNEC	1	1 à 2	0 à 1 Vaseux à 45 m.	50
	BEG AN FRY	1	0	?	50
	PLOUMOGUER	0	0	0 Pas de vase.	50
	PLOGOFF	0	0	0 Pas de vase.	50

CHAPITRE III

REMARQUES BIOGEOGRAPHIQUES

Les problèmes de réchauffement des eaux, liés à l'implantation des centrales nucléaires, laissent supposer que les espèces d'affinité méridionale seront, pour un site donné, favorisées dans leur extension et leur développement par rapport aux espèces plus septentrionales. De tels déplacements de frontières biogéographiques sont décrits aujourd'hui indépendamment de toute intervention humaine et seraient liés aux phases d'activité solaire, responsables de variations climatiques (lumière, température...), réfléchies ensuite sur le milieu marin.

On a parfois relevé la bonne concordance entre les variations temporelles des peuplements algaux d'Ecosse et du Portugal et les cycles undécennaux (de 11 années), décrits par l'astronome WALDMEIER. On a montré, par exemple, le développement - plus grande densité, taille plus importante, caractères morphologiques plus "bretons", extension vers le Sud - de *Fucales* et *Laminariales* d'affinité septentrionale sur les côtes du Portugal, de 1957 à 1963. Cette période correspond à la phase décroissante d'un cycle undécennal. Au cours d'un tel cycle, l'amplitude de variation de la température moyenne de l'air, étalée sur septembre et octobre, est de l'ordre de $2^{\circ} \pm 0,2$ en Bretagne. Cette amplitude, une fois réfléchi sur le milieu marin, se réduit vraisemblablement à environ 1° . Des variations de cet ordre de grandeur, pourtant très faibles, donnent donc lieu naturellement à des modifications écologiques relativement spectaculaires, puisqu'elles se traduisent par des fluctuations temporelles de limites biogéographiques de grande ampleur, phénomènes à peine appréhendés de nos jours. Si la lumière joue nécessairement un rôle, la température n'en reste pas moins le facteur maître de la distribution des espèces, par le biais de leurs possibilités de reproduction. Il n'est pas exagéré de penser que les modifications biologiques, provoquées par les effluents thermiques, seront importantes, leurs effets étant plus amples et plus brutaux que ceux résultant d'un cycle undécennal d'activité solaire. On peut donc s'attendre à des modifications des écosystèmes, dont l'ampleur est encore difficile à prévoir en l'état actuel de nos connaissances. Toutefois, les modifications climatiques s'appliquent à des surfaces ou des masses d'eau sans commune mesure avec les surfaces ou les masses d'eau affectées par les centrales. Par ailleurs, l'échauffement dû à une centrale reste localisé et les modifications éventuelles d'un écosystème benthique seront limitées à un très faible pourcentage de son aire de répartition biogéographique.

CHAPITRE IV

PRODUCTION PRIMAIRE BENTHIQUE EN MILIEU ROCHEUX.

Les fonds rocheux portent une riche végétation algale, visible dans la zone de battement des marées, et qui se poursuit jusque vers 20 mètres dans les sites étudiés de Ploumoguier, Plogoff et Erdeven. Dans le cas de ce dernier site, les surfaces rocheuses sont peu abondantes mais elles revêtent une importance particulière. Comme partout, leur production annuelle de matière végétale à l'hectare est environ 200 fois supérieure à celle des zones sableuses qui ne portent que des algues microscopiques.

En dehors de l'exploitation directe des algues par l'homme pour la fabrication d'engrais et d'alginate, la production algale joue un rôle de base dans l'économie naturelle de tout le système côtier. Bien peu d'herbivores, comme les oursins et les ormeaux, consomment les algues directement. Elles sont donc le plus souvent arrachées par les vagues, rejetées vers le littoral, broyées par les sables et les galets dans la zone de déferlement des vagues, et redistribuées sur tous les fonds marins, et particulièrement sur les fonds sableux, à tous les animaux consommateurs de détritus. Ces animaux, lorsqu'ils ne sont pas directement consommés par l'homme, le sont par les espèces carnassières de poissons et de crustacés, faisant l'objet d'une exploitation économique.

La production pélagique joue certes un rôle important dans la fertilité du monde marin. Mais, même en bordure de côte, là où la production phytoplanctonique annuelle à l'hectare est la plus élevée, elle n'est pas comparable à la production algale des fonds rocheux, dont elle n'atteint que le dixième environ.

1. METHODOLOGIE

L'importance des peuplements algaux dans le fonctionnement de l'écosystème côtier ne peut pas être exprimée par des listes d'espèces, ni par des surfaces de recouvrement, ni même par des mesures des poids d'algues présents à l'hectare (biomasse). En effet, les espèces constitutives des peuplements situés dans les hauts niveaux de la zone des marées ne grandissent que lentement. Pour *Pelvetia canaliculata*, par exemple, la croissance est de l'ordre de 1 cm/an. Compte tenu de la taille de cette algue, les biomasses observées mettent environ une dizaine d'années à se renouveler, alors que pour d'autres espèces le temps de renouvellement des peuplements peut être beaucoup plus court : 3 à 4 ans pour les *Fucus*, et moins de 1 an pour les Laminaires.

Il est donc indispensable de procéder à une étude dynamique des peuplements, en tenant compte de leur structure par âge et de la vitesse de croissance des différentes espèces, en vue d'évaluer leur production, c'est-à-dire la quantité de biomasse produite annuellement. Il n'est pas possible d'étudier la production algale sur l'ensemble des zones rocheuses. Aussi avons-nous cherché à établir des modèles de distribution qualitative et quantitative des principales espèces.

2. DISTRIBUTION QUALITATIVE

Deux principaux types de facteurs interviennent dans la distribution qualitative des différentes espèces d'algues : les facteurs liés à la profondeur et ceux liés à l'intensité des agents hydrodynamiques.

La profondeur détermine une variation verticale des conditions du milieu : lorsqu'elle augmente, la pénétration de la lumière diminue, de même que la durée de l'émersion subie par les peuplements ; les conditions de salinité et de température deviennent plus homogènes, etc... En chaque point de la côte, à l'étagement vertical des conditions de milieu correspondra un étagement vertical des espèces le long d'un profil rocheux, depuis les plus hauts niveaux atteints par la marée jusqu'à la profondeur où disparaissent les algues par manque de lumière. Cet étagement vertical se traduit, au premier coup d'oeil, par la superposition d'une série de ceintures algales, qui doivent leur aspect à la dominance d'un petit nombre d'espèces principales.

La succession verticale précise des ceintures, qui seront effectivement présentes en un point de la côte, dépend de l'intensité des agents hydrodynamiques. Si l'on se dirige d'un fond de baie vers une pointe, on observe un changement progressif dans la répartition des ceintures d'algues. En milieu battu, au voisinage du cap, les algues sont rares ou absentes dans les hauts niveaux, où elles prennent en outre des formes plus ou moins rabougries offrant peu de prise à l'arrachement ; elles n'apparaissent, ou ne deviennent abondantes, qu'au niveau des basses mers. En milieu abrité, elles sont au contraire exubérantes, et apparaissent dès le niveau des pleines mers. Cette variation, des modes abrités aux modes battus, des séries verticales de ceintures algales, est progressive et continue. Par commodité cependant, nous distinguerons six types principaux de séries verticales, appelés *lithosères*. Chaque lithosère représente la série des ceintures verticales que l'on pourrait observer sur une surface de pente et d'exposition uniforme (jetée ou balise), et correspond à une intensité type des facteurs hydrodynamiques, traduite arbitrairement par une côte de 0 à 5 depuis les modes les plus abrités vers les plus battus. Le tableau ci-contre résume les caractéristiques des lithosères présentes sur les différentes côtes rocheuses de Bretagne.

Tableau I - Principes de représentations cartographiques des peuplements rocheux intertidaux en fonction des énergies hydrodynamiques croissantes : Les "lithosères".

COTES HYDRODYNAMIQUES CORRESPONDANT A DES ENERGIES CROISSANTES	0	1	2	3	4	5
SYMBLES	■	■	■	▣	▣	□
APPELLATIONS DES LITHOSERES INTERTIDALES	"ASCOPHYLLUM"	"VESICULOSUS"	"EVESICULOSUS"	"SERRATUS"	"BIFURCARIA"	"ALARIA"
ETAGEMENTS DES ES- PECES ALGALES PRINCIPALES FORMANT DES CEINTURES	P s a S L	P - V S L	- - E S L	- - - S H+(B)	- - - - B+(H)	- - - - B+A

P = *Pelvetia canaliculata* *S* = *Fucus serratus*
s = *Fucus spiralis* *H* = *Himantalia elongata*
a = *Ascophyllum nodosum* *B* = *Bifurcaria bifurcata*
V = *Fucus vesiculosus* *A* = *Alaria esculenta*
E = *Fucus evesiculosus* * *L* = *Laminaria digitata*

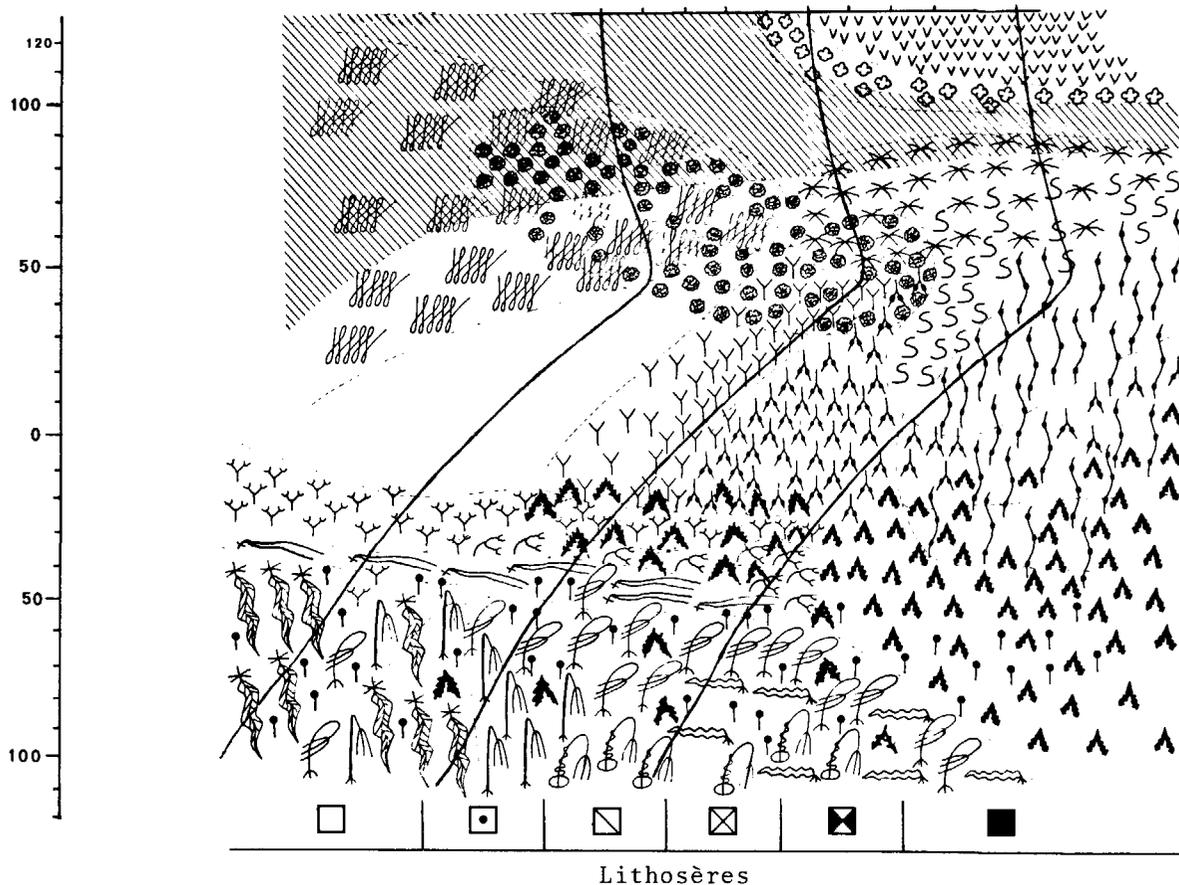
* Cette dénomination est adoptée par commodité ; elle désigne en réalité la forme caractéristique que prend *Fucus vesiculosus* dans les modes les plus battus que peut supporter l'espèce.

Dans ce tableau, chaque lithosère est dénommée d'après l'espèce algale de la ceinture la plus caractéristique, quel que soit son niveau sur la verticale.

On peut représenter plus précisément les peuplements végétaux en fonction de la profondeur et de l'hydrodynamisme. C'est ce que réalise la figure 1, où les ceintures végétales sont traduites par des symboles évoquant l'aspect de la plante correspondante. L'échelle verticale indique, symétriquement par rapport au niveau de mi-marée (0), celui des hautes mers et des basses mers pour un coefficient donné. L'échelle horizontale indique l'intensité des actions hydrodynamiques exprimée arbitrairement par la pression maximale des vagues, sans tenir compte de l'effet additionnel possible des courants, qui peut varier selon les lieux. A partir de cette échelle, ont été tracées des lignes d'égale intensité hydrodynamique, qui expriment la répartition verticale de la pression des vagues. On voit que, pour une exposition donnée, celle-ci est maximale au niveau des hautes mers de morte-eau et s'atténue faiblement au-dessus, fortement en dessous.

Au bas de la figure enfin sont indiqués les symboles des lithosères, dont la signification a été donnée ci-dessus. Dans chaque colonne verticale, on peut donc lire, de façon plus nuancée et détaillée que pour le tableau schématique, la composition et l'étagement des peuplements végétaux correspondant à une lithosère donnée.

Pression maximale des vagues, kg/cm² 2,33 1,63 1 0,40 0,18 0,12



Figurés représentant la végétation:

LICHENS :

- ∨∨∨ *Ramalina scopulorum*
- //// *Verrucaria maura*
- *Xanthoria parietina*

ALGUES :

- * ** *Pelvetia canaliculata*
- SSS *Fucus spiralis*
- *Lichina pygmaea*
- ^^^ *Fucus vesiculosus*
- YYY *Fucus vesiculosus f. evesiculosus*
- ^^^ *Fucus serratus*
- }}}} *Ascophyllum nodosum*

ALGUES (suite):

- △△△ *Palmaria palmata*
- ||||| *Porphyra linearis*
- *Himanthalia elongata*
- ⊂ ⊂ *Bifurcaria bifurcata*
- ||||| *Corallina officinalis*
- YYY *Chondrus crispus*
- ||| *Alaria esculenta*
- ~~~~~ *Laminaria saccharina*
- ⊂ *Laminaria digitata*
- ⊂ *Laminaria hyperborea*
- ⊂ *Sacchoriza polyschides*

3. DISTRIBUTION QUANTITATIVE

Pour chacun des sites envisagés, nous avons procédé à des relevés quantitatifs (recouvrements et biomasses) des principaux types de peuplements dans les conditions les plus variées. Nous avons également récolté des données sur la vitesse de croissance, la structure démographique et la production des espèces de grande taille les plus importantes, dans diverses conditions, en particulier pour :

Laminaria hyperborea

Laminaria digitata

Laminaria ochroleuca

Fucus serratus

Ascophyllum nodosum

Fucus spiralis

Pelvetia canaliculata.

L'ensemble de ces données a permis d'établir un modèle de distribution quantitative des peuplements (fig. 2). Ce modèle a été mis au point à l'occasion de l'étude d'avant-projet d'Erdeven, et quelques caractéristiques de la figure sont propres à ce site, comme l'échelle des hauteurs en mètres (par rapport au zéro des cartes marines). Le schéma reste cependant valable en gros pour l'ensemble des sites, et deux d'entre eux : Ploumoguer et Plogoff, y sont d'ailleurs repérés.

On a porté en brun la nature des peuplements algaux en fonction des conditions hydrodynamiques d'une part et de la profondeur d'autre part. Le schéma en brun est donc une simplification de la représentation des lithosères de la figure 1. Dans les portions les plus abritées du site d'Erdeven, le sable forme une pellicule sur l'ensemble de la roche, empêchant le développement des espèces de sous-strate, ce qui conduit à distinguer une septième lithosère, correspondant à un peuplement à *Ascophyllum* appauvri, où seules les espèces de grande taille se trouvent représentées (à gauche sur la figure).

On a porté en bleu, en petits caractères, les valeurs des biomasses mesurées à chaque station pour les différentes espèces d'algues aux diverses profondeurs (poids frais). Par interpolation, on a tracé des courbes d'égales biomasses pour l'ensemble du peuplement (grands chiffres bleus). Les plus fortes valeurs se rencontrent entre 0 et - 4 m pour les modes battus et entre + 2 et - 1 m pour les modes abrités, ce qu'exprime la partie hachurée de la figure. Ces hauteurs sont à corriger en fonction du marnage pour les sites autres qu'Erdeven.

Remarques :

Plusieurs dénominations peuvent se trouver dans la littérature pour désigner une même espèce. Les délais techniques d'impression de la figure n'ont pas permis une vérification de la nomenclature actuellement valide et quelques espèces sont désignées par des noms incorrects, rectifiés ci-après :

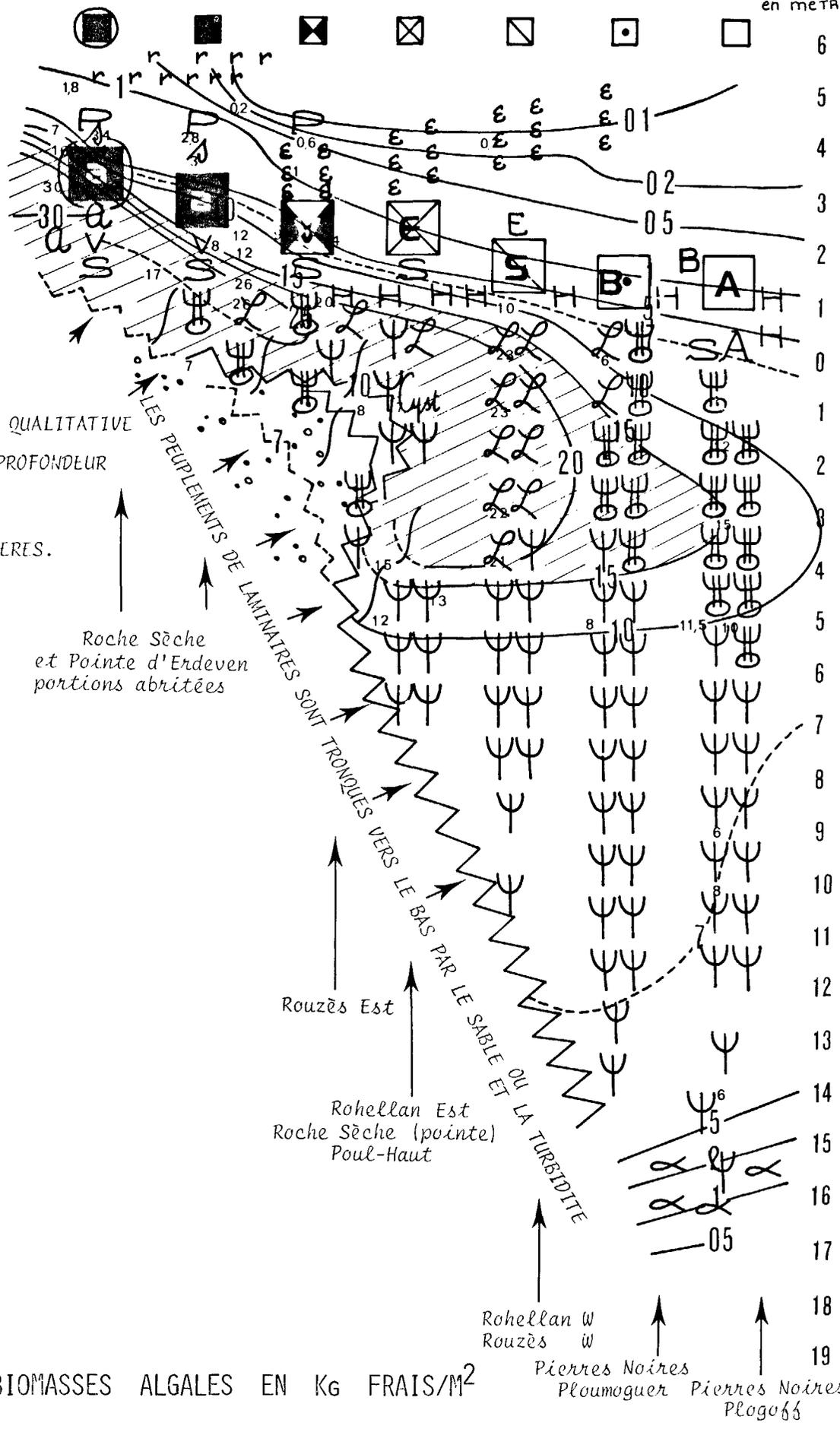
Bifurcaria rotunda = *Bifurcaria bifurcata*

Laminaria flexicaulis = *Laminaria digitata*

Sacchoriza bulbosa = *Sacchoriza polyschides*.

hauteur en mètres

PMMVE
MM
BMMVE



GRAPHE DE DISTRIBUTION QUALITATIVE
DES ESPECES SELON LA PROFONDEUR
& L'HYDRODYNAMISME
EXPRIME PAR LES LITHOSLRES.

- rr *RAMALINA scopulorum*
- ////// *VERRUCARIA maura*
- P *PFLVETIA canaliculata*
- ∆ *FUCUS spiralis*
- E E *LICHINA pygmaea*
- ∂ *ASCOPHYLLUM nodosum*
- V *FUCUS vesiculosus*
- E *FUCUS evcesiculcus*
- S *FUCUS serratus*
- B *BIFURCARIA rotunda*
- H *HIMANTHALIA elongata*
- A *ALARIA esculenta*
- L *LAMINARIA flexicaulis*
- Ψ *SACCHORHIZA bulbosa*
- Ψ *LAMINARIA hyperborea*
- ∫ *LAMINARIA saccharina*
- Cyt *CYTOSEIRA laeota*
- ∞ *DICTYOPTERIS membranacea*

Roche sèche
et Pointe d'Erdeven
portions abritées

Rouzès Est

Rohellan Est
Roche sèche (pointe)
Poul-Haut

Rohellan W
Rouzès W

Pierres Noires
Ploumoguer

Pierres Noires
Plogoff

COURBES D'ISOBIOMASSES ALGALES EN KG FRAIS/M²

Chaque station de prélèvement est repérée sur la figure par une flèche, en fonction de son exposition. Le long de la verticale qui prolonge cette flèche, on peut donc lire en brun la nature des peuplements correspondants, et en bleu leur biomasse.

RESULTATS

Par l'emploi des méthodes qui viennent d'être indiquées et, compte tenu des vitesses de croissance connues pour les différentes espèces d'algues, nous avons estimé pour chaque site la production des milieux rocheux dans la zone sous influence de la tache thermique. La surface de cette dernière a été calculée à partir des documents fournis par EDF ^{*}, pour des valeurs d'échauffement $\Delta t \geq + 3^{\circ}\text{C}$ et $\Delta t \geq + 1^{\circ}\text{C}$. Pour obtenir la production affectable à l'intérieur de cette tache thermique, on a multiplié la surface de celle-ci par des évaluations moyennes de la production à l'hectare, déduites pour chacun des sites, des observations de terrain (cf. tableau II).

Tableau II - Estimation de la production primaire du benthos rocheux aux différents sites, exprimée en tonnes de carbone/ha/an.

SITES	PRODUCTION BENTHIQUE EN MILIEU ROCHEUX			
	0 m	0 - 6 m	- 6 - 15 m	- 15 m
ERDEVEN	14	35	10	-
PLOUMOGUER	8	25	10	1
PLOGOFF	-	20	14	1
SAINT-VIO	-	20	-	-
BEG AN FRY ⁺	-	20	10	1

⁺ Par comparaison avec les lithosères des autres sites.

Cinq des sites de Bretagne-Vendée ont pu être étudiés de cette manière, à savoir Plogoff, Ploumoguier, Erdeven, St Vio et Beg an Fry, celui-ci par comparaison avec les lithosères des autres sites. Si l'on prend en compte la production affectable dans chaque cas par un échauffement sur le fond supérieur ou égal à $+ 1^{\circ}\text{C}$, on constate un écart très faible pour ce qui est des quatre derniers sites énumérés, puisque la production varie entre 16 000 et 21 500 tonnes/an. Plogoff se détache par contre nettement avec 1 100 tonnes/an (cf. tableau III).

^{*} Nous avons estimé que la tache thermique à prendre en considération pour les peuplements benthiques était double de celle concernant le milieu pélagique, en raison du déplacement de la masse d'eau chaude sous l'effet des vents et des courants de marée.

La prise en compte de la production affectable par un échauffement supérieur ou égal à 3°C permet d'affiner ce classement et fait ressortir Beg an Fry comme le site le plus défavorable du point de vue du critère étudié, avec une production affectable de 16 500 tonnes. Viennent ensuite dans l'ordre : Erdeven avec 7 300 tonnes, Ploumoguer avec 3 000 tonnes, Plogoff et St Vio, sans production primaire benthique mesurable en milieu rocheux affecté par un échauffement éventuel $\Delta t \geq + 3^\circ\text{C}$.

La production totale affectable est cependant plus importante à St Vio qu'à Plogoff : 14 000 tonnes contre 1 100 en milieu rocheux au $\Delta t \geq + 1^\circ\text{C}$; il faudrait y ajouter la production en milieu meuble qui n'a pu être mesurée. Elle est nulle à Plogoff, qui ne comporte que des fonds durs, tandis qu'à St Vio 200 hectares de fonds meubles sont affectables par un échauffement d'au moins 3°C et 9 500 par un échauffement d'au moins 1°C.

Tableau III - Etude comparative de la production primaire annuelle des divers sites bretons exprimée en T de C/ha/an.

SITES	ECHAUFFEMENT PREVU	SURFACE SOUS INFLUENCE DE LA TACHE (en ha)	PRODUCTION BENTHIQUE EN MILIEU ROCHEUX		
			Surface	%	Prod.
ERDEVEN	3°C	1 778	308	17,3	7 322
	1°C	4 928	798	16,2	15 834
BEG AN FRY	3°C	2 750	850	47,2	16 500
	1°C	5 300	1 201	22,5	21 415
SAINT-VIO	3°C	200	0	0	0
	1°C	10 200	700	6,9	14 000
PLOUMOGUER	3°C	950	205	21,5	3 066
	1°C	4 190	2 015	48	17 588
PLOGOFF	3°C	-	-	-	-
	1°C	64	64	100	1 110

CHAPITRE V

BIOMASSE ET PRODUCTION DE LA MACROFAUNE ENDOGÉE DES SABLES FINS.

1. METHODOLOGIE

Au niveau de chaque site, le secteur étudié représente un quadrilatère d'une dizaine de kilomètres de longueur de côte, s'étendant jusqu'aux profondeurs de 25 à 30 mètres. Les prélèvements quantitatifs ont été réalisés à la benne Aberdeen ($1/10 \text{ m}^2$), en août 1976 pour les sites de Saint-Vio et en septembre 1976 pour ceux d'Erdeven et de Ploumoguier. Les biomasses sont exprimées en grammes de matière organique sèche décalcifiée au mètre carré.

2. RESULTATS

L'analyse des peuplements de la macrofaune endogée (de sables fins allant jusqu'à 200μ environ) révèle au niveau de chaque site une succession qui reflète un gradient hydrodynamique décroissant de la côte vers le large. Nous distinguons ainsi :

- les sables fins à Amphipodes Haustoridés des genres *Haustorius*, *Urothoe*, *Bathyporeia*, auxquels s'associent les Polychètes *Nerine bonnieri* et *Magelona papillicornis*. Ils correspondent à une zone d'instabilité hydrodynamique et biologique, où la couche de surface est sans cesse remaniée par la houle et les vagues.
- les sables fins à *Tellina fabula*, *Cultellus pellucidus*, et surtout à Amphipodes Ampeliscidés, qui possèdent une structure d'habitat permanent, illustrent une première stabilisation de la couche de surface qui est soumise à des remaniements à chaque tempête. Il peut s'y effectuer une légère décantation péritique.
- les sables fins envasés à *Nucula turgida*, *Amphiura filiformis* : ils correspondent à une zone de stabilité biosédimentaire. Les remaniements y sont peu fréquents.

Pour chaque site, l'extension verticale des trois zones considérées est variable. La zone d'instabilité apparaît très importante au niveau de Saint-Vio. Le secteur de Ploumoguier, totalement en zone d'instabilité sédimentaire, n'est pas représenté ici, car il est composé en majorité de sédiments grossiers.

3. DONNEES QUANTITATIVES

1. BIOMASSE

Alors qu'elles ne sont pas significativement différentes dans les deux premières zones de sables fins, on observe une nette augmentation des biomasses avec la stabilité sédimentaire croissante dans la 3ème zone. Il faut cependant noter que seules les zones d'instabilité et de stabilisation sont représentées au niveau du Δt considéré ($\geq 1^\circ\text{C}$). Leurs biomasses moyennes respectives sont indiquées pour chaque site dans le tableau ci-dessous.

BIOMASSES en g/m^2	ERDEVEN	SAINT-VIO	PLOUMOGUER
Zone d'instabilité	3,3	4,5	1,9
Zone de stabilisation	4,5	-	Graviers hétérogènes propres 2

2. CALCUL DES PRODUCTIONS POUR LA TACHE THERMIQUE DE $\Delta t \geq + 1^\circ$

Les taux de production moyens, relatifs aux deux grandes catégories biosédimentaires rencontrées, ont été évalués en tenant compte des espèces dominantes précédemment citées. Nous obtenons ainsi un P/B de 2,5 pour la zone d'instabilité, peuplée en majorité d'espèces à cycle court, et de 1 pour la zone de stabilisation. Les productions correspondant au secteur de $\Delta t \geq + 1^\circ\text{C}$ sont reportées ci-dessous.

	ERDEVEN	SAINT-VIO	PLOUMOGUER
Production en tonnes de matière organique sèche pour l'aire $\Delta t \geq + 1^\circ$	260	1070	50 à 100

La valeur maximale est obtenue pour le site de Saint-Vio, où les sédiments meubles sont très instables et peuplés en majorité d'espèces à cycle court, donc à forte productivité.

Le site de Ploumoguer comporte très peu de sables fins, relégués en bas de plage. Les sédiments meubles sont représentés en majorité par des graviers hétérogènes et propres, dont la production a été estimée.

Aucune donnée ne figure pour le site de Plogoff qui est essentiellement rocheux.

CHAPITRE VI

PRODUCTION PELAGIQUE

Nous ne disposons d'aucune donnée comparative pour les sites envisagés en ce qui concerne la production secondaire. Pour ce qui est de la production primaire, des cartes générales ont été publiées, à petite échelle, et de ce fait fournissent peu de détails sur les zones côtières. Il semblerait, d'après ces cartes, que la production soit un peu plus élevée en moyenne en Manche (150 g de carbone/m²/an) que sur les côtes de l'Atlantique (de l'ordre de 100). Des variations importantes sont cependant susceptibles de se produire, en particulier dans les zones côtières, en fonction des conditions locales. Il ne servirait donc à rien de fixer un ordre de grandeur moyen de la production, à multiplier par exemple par la surface de la tache thermique pour évaluer la production affectable. Mieux vaut reconnaître l'insuffisance des données existantes et constater, en conséquence, que la production pélagique ne peut actuellement contribuer au classement des sites.

En tout état de cause, la production affectable n'est pas, à notre avis, le critère décisif dans le domaine pélagique. Les modifications structurelles éventuelles (cf. risques d'eau rouge) revêtent une importance beaucoup plus grande.

CHAPITRE VII

RISQUE D'EAU ROUGE

1. GENERALITES *

On désigne sous le nom d'*eau rouge* un phénomène dont l'aspect le plus spectaculaire est un changement, dans une zone limitée, de la couleur de la mer, qui prend le plus souvent une teinte rouge sang. D'autres couleurs, du brun au vert en passant par le jaune, peuvent aussi, plus rarement, se rencontrer.

Cette coloration est due à la présence, en rassemblement généralement monospécifique et à des densités considérables (2 à 4 millions d'individus par litre est la gamme la plus commune), d'organismes unicellulaires, le plus souvent des Dinoflagellés. L'eau rouge est en règle générale un phénomène superficiel, qui n'atteint habituellement pas une profondeur d'un mètre. Les zones d'eau à coloration anormale peuvent revêtir divers aspects, dont le plus fréquent est celui de bandes étroites et allongées, plus ou moins sinueuses. Selon les cas, on observe une bande unique ou plusieurs, parallèles. La limite des zones colorées est en général très abrupte ; la largeur des bandes est le plus souvent de l'ordre de 1 à 3 mètres, leur longueur pouvant atteindre quelques centaines de mètres, voire plus.

Beaucoup d'organismes responsables du phénomène secrètent des substances toxiques et, dans ce cas, les effets des eaux rouges varient depuis l'accumulation de toxines par des coquillages, ainsi rendus impropres à la consommation, jusqu'à des mortalités massives et catastrophiques d'organismes marins, accompagnées parfois de cas d'allergie, pouvant être fatals, chez des sujets humains exposés aux aérosols marins. Le premier cas semble bien s'être produit en 1976 en Espagne (Rias de Galice) et avoir conduit à une interdiction de la vente en France de moules de cette provenance ayant provoqué de nombreux cas d'intoxication. Il est bien

* Une grande partie des éléments qui suivent sont empruntés à un document auquel il est possible de se reporter pour plus de détails, et qui s'intitule "Report of the ICES working group on red tides and eutrophication, Lowestoft, 25-27 May 1976". Ce document a été élaboré par un groupe de travail réuni par le Conseil International pour l'Exploration de la Mer sous la présidence de D.H. CUSHING et qui comprenait en outre : Mme VAN BEVEREN, M. GILLBRICHT, V. HANSEN, Mme M. KAT, J. LE FEVRE, J.P. MOMMAERTS, T. PLATT, Melle K. STEIDINGER, D. TAYLOR, G. WEICHART, T. WYATT, Mme C. YENTSCH, C.S. YENTSCH.

connu sur les côtes anglaises du Northumberland où il est relativement fréquent. Le second cas, celui qui revêt l'ampleur d'une calamité naturelle, a été signalée épisodiquement en des lieux divers : Afrique du Sud, côtes du Pérou, etc... ; il est assez fréquent en Floride où ont été mis sur pied des réseaux d'alerte. Même les espèces non toxiques, responsables de la plupart des eaux rouges signalées sur les côtes françaises de l'Atlantique, peuvent entraîner dans certains cas des effets indésirables, en provoquant par exemple un déficit d'oxygène ou par simple colmatage mécanique des branchies d'animaux marins.

Il faut signaler pour finir que l'on tend actuellement à assimiler à des eaux rouges, et à englober sous cette dénomination, les cas où le changement de coloration de la mer n'est pas observé, mais où se produisent néanmoins des concentrations d'organismes toxiques suffisantes pour entraîner dans le milieu certains des effets nocifs caractéristiques d'une eau rouge typique.

2. CAUSES DU PHENOMENE

Les processus débouchant sur les eaux rouges ont été longtemps mystérieux, d'autant que la phase visible, celle où change la couleur de la mer, n'en est que la dernière étape. Elle apparaît soudainement, et il est alors trop tard pour étudier les étapes initiales qui fourniraient la clé de la compréhension du phénomène.

Une idée largement répandue, dans toute la littérature semi-spécialisée comme dans beaucoup de manuels d'océanographie biologique, est que l'eau rouge est le terme d'un processus d'enrichissement du milieu en sels nutritifs, poursuivi au-delà des capacités d'assimilation des peuplements normaux. L'eau rouge serait alors un des aspects des déséquilibres écologiques connus sous le nom d'eutrophisation. Cette idée n'a en réalité jamais été sérieusement mise en avant par les spécialistes ayant directement étudié le phénomène.

On sait maintenant que les fortes densités de cellules observées lors d'une eau rouge sont le résultat de l'interaction entre l'accroissement naturel des populations et deux processus de concentration, l'un dans le plan vertical, rassemblant les organismes au voisinage de la surface, l'autre dans le plan horizontal, en liaison avec le régime de circulation des eaux.

Les facteurs qui règlent l'accroissement naturel des populations de Dinoflagellés ne sont pas encore tous bien connus. Pour des unicellulaires, ces organismes ont une croissance relativement lente et, lors des phases initiales des successions phytoplanctoniques, ils sont normalement supplantés par les Diatomées, dont la productivité est beaucoup plus élevée. Les Dinoflagellés semblent avoir des besoins relativement faibles en sels nutritifs classiques (nitrates, phosphates) et sont capables d'en accumuler des stocks suffisants pour de longues périodes. Les fortes concentrations en sels nutritifs, souvent associées aux eaux rouges, sembleraient donc dues surtout à la non consommation de ces sels. Par contre, les Dinoflagellés, ou au moins certaines espèces, semblent très sensibles à la présence d'ions métalliques à l'état de traces, et auraient des tolérances étroites à l'égard de la concentration de ces éléments, qui est, en partie, sous le contrôle de processus de chélation, mettant en jeu diverses molécules organiques. Cette question est cependant encore mal connue.

Ci-contre: phénomènes d'eau rouge :

- a - Eau rouge à Noctiluques observée en 1967 au large d'Ouessant par le navire océanographique anglais "Sarsia" :

Le phénomène est localisé sur le tracé d'un front thermique; sur la photographie, on remarque des traînées brunes qui sont constituées de pétrole brut provenant de l'épave du "Torrey - Canyon". La localisation au même endroit de pétrole et d'eau rouge est due au fait qu'il s'agit dans les deux cas de matériel flottant susceptible d'être accumulé par les mêmes mécanismes physiques. Cette coïncidence avait néanmoins suffi à l'époque pour que la presse, et même certains scientifiques, établissent un lien de cause à effet entre la pollution pétrolière et l'apparition d'une eau rouge.

- b - Eau rouge en miniature dans un échantillon de plancton d'Erdeven :

Un bocal de plancton prélevé au moment du maximum de développement de la circulation de densité à deux couches séparées par une discontinuité thermique (juin), et laissé au repos, présente en surface une couche rougeâtre sur quelques millimètres d'épaisseur. Dans le reste du récipient, aucun organisme ne survit (*Photo prise à Brest le soir même de la récolte*).

- c - Détail du phénomène précédent :

Examinée à la loupe binoculaire, la couche superficielle rougeâtre se révèle constituée de Noctiluques, si concentrées qu'elles sont jointives (*Matériel vivant, x 40 environ*).

a



photo © N.A. Holme (Marine Biological Association, Plymouth)

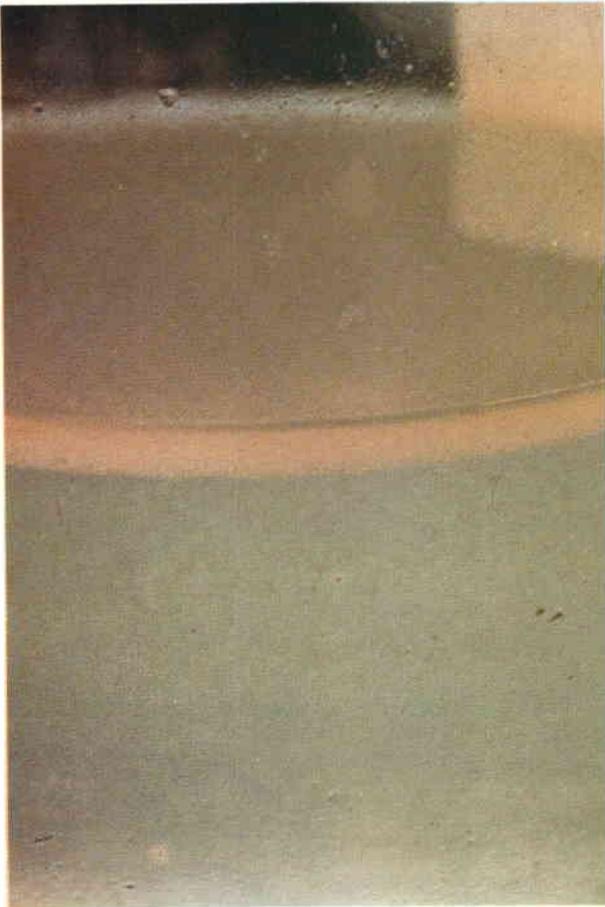


photo © J. Le Fèvre

b

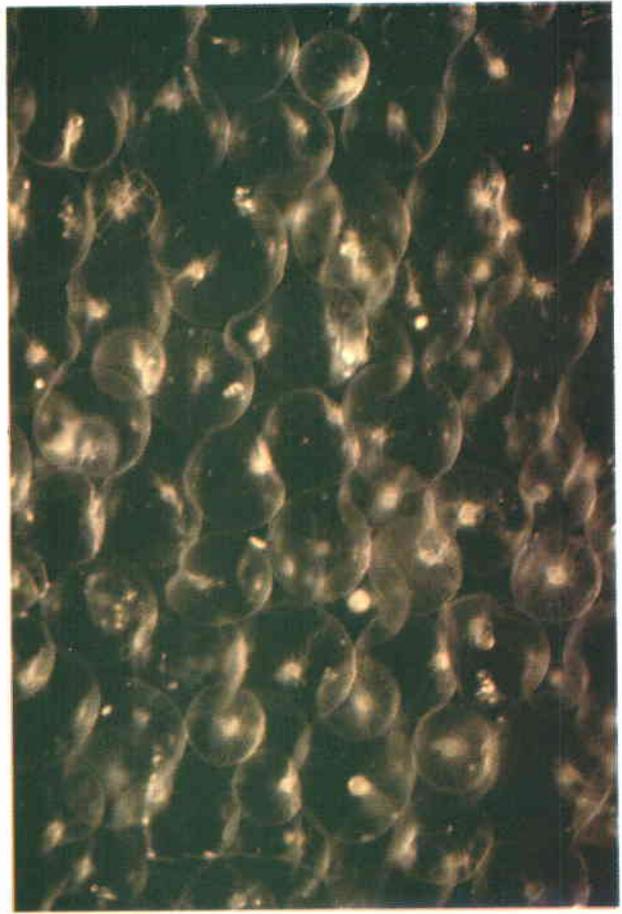


photo © J. Le Fèvre

c



photo © J. Le Fèvre

Front hydrologique : La photographie du haut met en place (flèche) le front observé à basse mer le 8 septembre 1976 à Erdeven; ci-dessous un détail à basse altitude montre l'accumulation sur le front de matériel superficiel non identifié. La largeur de la bande d'accumulation est de l'ordre de 1 à 3 mètres.



photo © J. Le Fèvre

La relation entre les Dinoflagellés et la stabilité verticale des masses d'eau est, par contre, bien établie. Ces organismes vivent en surface, où ils se maintiennent par flottaison ou en nageant activement. Lorsque la stratification des eaux s'établit, le plus souvent en été dans nos régions, les Dinoflagellés sont donc favorisés par rapport aux Diatomées, dépourvues de moyens de déplacement propres, et qui ont donc besoin de turbulence pour occuper la colonne d'eau, du moins tant que le brassage ne les entraîne pas au-dessous de la zone où les conditions de lumière leur conviennent. L'établissement d'une stratification est donc un élément important dans la genèse des eaux rouges ; il dépend de l'existence de facteurs permettant l'individualisation de masses d'eau de densité différente et des conditions météorologiques, susceptibles ou non de provoquer un brassage sur la verticale.

Les mécanismes de concentration sur le plan horizontal sont une conséquence, pour une grande part, de la capacité des Dinoflagellés à se maintenir en surface. Tout endroit où se produit localement une plongée des eaux est susceptible de concentrer sur une surface réduite un matériel quelconque en provenance d'une vaste zone, à condition que ce matériel ne suive pas le mouvement descendant des eaux, ce qui est précisément le cas des Dinoflagellés. Divers régimes de circulation des eaux sont susceptibles d'aboutir à ce résultat, parmi lesquels on peut citer notamment :

- les fronts associés à la stratification thermohaline des estuaires ;
- les fronts séparant en été une zone stratifiée au large (du fait du réchauffement par insolation des eaux de surface) d'une zone plus côtière brassée par les courants de marée ;
- l'existence de cellules de convection à axe horizontal dans une couche d'eau superficielle (circulation de Langmuir) ;
- les tourbillons engendrés par les courants de surface.

3. EAUX ROUGES ET EFFLUENTS THERMIQUES

Une situation typique, pouvant conduire au développement d'une eau rouge, est l'existence, dans une zone donnée, d'une stratification verticale (favorable aux Dinoflagellés), cette zone étant séparée par un front (constituant un mécanisme d'accumulation) d'une zone voisine d'homogénéité verticale des eaux, en raison, par exemple, d'un brassage dû aux courants de marée. Deux variables concourent en mer à produire les différences de densité donnant naissance à un tel type de circulation ; ce sont la salinité et la température.

Des rejets d'eau fortement réchauffée, surtout lorsqu'ils sont aussi importants que ceux prévus pour les centrales nucléaires du programme EDF, sont susceptibles d'affecter la circulation de densité, donc la probabilité d'eaux rouges, en facilitant le développement d'une couche superficielle plus légère parce que plus chaude. Cette eau chaude s'étalera en surface sans se mélanger à la couche sous-jacente, jusqu'à une distance suffisante pour que son individualité physique s'atténue ; elle se mélangera alors aux eaux voisines, et l'eau résultant du mélange, de densité intermédiaire, viendra plonger sous la couche superficielle de la zone stratifiée. On aura ainsi réalisé un front, se traduisant par une nette discontinuité thermique en surface. Toutefois, il faut tenir compte du fait que le rejet, par sa vitesse et son débit, au moins dans le champ proche, s'opposera à l'apparition d'une stratification verticale, ceci dans des conditions difficilement quantifiables.

Tout facteur facilitant l'établissement d'une circulation de densité : apports d'eau douce, présence d'estuaires, de baies plus ou moins fermées, indentations de la côte constituant autant d'abris, accroît le risque d'une eau rouge. Inversement, tout facteur, susceptible d'assurer un brassage vertical important, et en premier lieu l'existence d'un hydrodynamisme local intense, diminue d'autant ce risque. A cet égard, on avance quelquefois l'argument que le rejet thermique, étant donné précisément son fort débit, est suffisant pour détruire toute stratification à son voisinage. Cet argument est sans doute valide pour le champ proche ; il est cependant irréaliste de vouloir l'appliquer à l'ensemble de la zone susceptible d'être affectée par une circulation de densité, qui peut se situer dans un rayon de plusieurs milles.

Il faut enfin évoquer les espèces capables de provoquer des eaux rouges dans nos régions. La plupart des incidences observées, pour lesquelles une identification est disponible, met en cause les Noctiluques (*Noctiluca scintillans*), qui ne provoquent généralement pas d'effets nocifs. On cite cependant quelques cas d'accumulation de *Gonyaulax*, ayant provoqué des mortalités d'huîtres en particulier. Les rares mesures disponibles quant aux caractéristiques physiques du milieu semblent indiquer que ces derniers cas se produisent à des températures plus élevées que les eaux rouges à Noctiluques. Il convient donc de se demander si les effluents thermiques ne sont pas susceptibles de diminuer la fréquence relative des eaux rouges inoffensives par rapport à celles pouvant avoir des conséquences fâcheuses. Il n'est cependant pas possible, à l'heure actuelle, de trancher cette question.

4. EXAMEN DU RISQUE SELON LES SITES

Parmi les sites pris ici en considération, un seul, celui d'Erdeven, a fait l'objet d'études de terrain fournissant directement des informations sur le risque d'eau rouge. En ce qui concerne les autres sites, une estimation provisoire du risque peut être faite en fonction de certaines caractéristiques du milieu. Elle devra être révisée à la lumière d'études directes, qui restent à faire, et qui devront comporter une part importante d'océanographie physique, en liaison avec les problèmes de circulation de densité.

1. BEG AN FRY

Aucune observation d'eau rouge n'est citée à notre connaissance au voisinage du site. Dans cette zone de la Manche, les courants de marée sont intenses et il ne se développe pas de stratification estivale ; les Dinoflagellés y ont en général des densités très faibles.

Font cependant exception les estuaires proches (Léguer et surtout Rivière de Morlaix) où la circulation de densité existe pratiquement à toute saison, et où les Gymnodinides (Dinoflagellés sans plaques squelettiques) peuvent être assez abondants par période.

Le développement assez important du trait de côte, la mauvaise connaissance des courants, les échanges entre les baies de Morlaix et de Lannion, dont l'ensemble présente une unité géographique certaine, amènent à se poser quelques questions, notamment concernant les temps de résidence de l'eau sur la zone, les risques de confinement, etc... A cet égard, l'étendue de la tache thermique, prévue au document EDF, n'est pas un élément favorable.

On peut, en conclusion, imaginer par quel processus un phénomène d'eau rouge pourrait se développer sous l'influence de l'effluent thermique : celui-ci, ayant un temps de résidence élevé, s'étendrait sur une grande partie de l'ensemble Baie de Lannion - Baie de Morlaix. Dans cette zone se développerait, à une certaine distance de la centrale, une stratification favorable aux Dinoflagellés et qui pourrait, le cas échéant, être renforcée par des apports estuariens. Il s'établirait alors, à la périphérie de cette zone, un front susceptible de se maintenir et de déboucher sur une eau rouge, si le temps est suffisamment calme et les courants de marée suffisamment faibles (morte-eau). Ce schéma fait, comme on le voit, appel à diverses hypothèses circonstanciées dont la probabilité de réalisation reste à évaluer.

2. PLOUMOGUER

Le phénomène n'est pas, dans les conditions actuelles, connu sur le site à proprement parler. Le secteur marin dans lequel celui-ci se situe est cependant caractérisé par la présence d'au moins deux fronts estivaux. L'un, au large d'Ouessant, qui s'étend sur plusieurs dizaines de kilomètres, est purement thermique ; il marque la limite entre la zone stratifiée au large du fait du réchauffement des eaux superficielles (16-17°C en surface) et la zone de brassage par les courants de marée plus près de la côte (13 à 15°C sur toute la colonne). Le second front marque la limite entre cette dernière zone et celle où l'on observe une stratification thermohaline au débouché de l'ensemble Rade de Brest - Baie de Douarnenez. Des observations d'eau rouge sont connues sur ces deux fronts (Noctiluques et *Gyrodinium*).

L'hydrologie est au total très complexe dans cette région de transition entre la Manche et l'Atlantique. Elle est mal connue dans son détail à la côte, en particulier dans le secteur compris entre l'Archipel de Molène et le continent, qui est précisément l'environnement immédiat du site de Ploumoguier. On sait cependant que, dans ce secteur, une stratification estivale peut se développer en certains points malgré les forts courants de marée dans les chenaux : parages de l'Aber Ildut (stratification faible), Sud Ouessant - Ouest Molène, pointe St Mathieu. Le contraste entre zones homogènes et zones tendant à la stratification dans les conditions actuelles rend très possible le développement de fronts localisés en cas de mise en service de la centrale.

De plus, les données de sédimentologie et de courantologie rendent très probable l'existence de tourbillons dont le centre serait occupé par des lentilles d'eau à fort temps de résidence, notamment devant l'anse des Blancs Sablons. De tels systèmes tourbillonnaires ont précisément été cités plus haut parmi les mécanismes, autres que les fronts, pouvant déboucher sur des eaux rouges.

Le risque d'apparition de ce phénomène est donc a priori important à Ploumoguier. Son évaluation précise apparaît nécessaire et requiert une étude détaillée d'océanographie physique, menée conjointement avec des prélèvements planctoniques, analogues à ceux réalisés pour Erdeven.

Ce type d'étude est cependant plus difficile à réaliser à Ploumoguer qu'à Erdeven : les hypothèses relatives aux phénomènes hydrologiques étant moins aisées à construire, en particulier quant à la localisation de fronts éventuels, un réseau de stations plus dense et plus étendu serait à prévoir, au moins en ce qui concerne les mesures physiques.

3. PLOGOFF

Le très fort hydrodynamisme lié aux violents courants de marée, la côte rectiligne et abrupte, représentent des conditions a priori défavorables à l'établissement d'une circulation de densité. On ne note aucun apport estuarien notable, ni aucun réchauffement localisé en zone abritée, pouvant alimenter une quelconque stratification.

Le risque d'eau rouge apparaît donc au premier examen très faible à Plogoff. On peut objecter qu'en passant le Raz de Sein, entraîné par les courants de marée, l'effluent thermique arriverait en Iroise où deux fronts existent en été comme il a été dit plus haut. C'est cependant dans la zone brassée centrale que cet effluent serait ainsi déversé, ce qui contribuerait probablement à atténuer les contrastes hydrologiques plutôt qu'à les renforcer. Des mesures physiques, et si possible des prélèvements planctoniques, sont cependant nécessaires avant de se prononcer définitivement.

4. SAINT-VIO

Peu de données susceptibles d'éclairer le problème sont disponibles. Largement ouverte aux houles et vents dominants d'Ouest, la côte est soumise à un hydrodynamisme intense en principe défavorable à l'établissement d'une circulation de densité. L'exposition est certes comparable à celle d'Erdeven où le risque est important (cf. infra), mais le facteur de risque le plus important à Erdeven, à savoir la Rivière d'Etel, n'a pas son équivalent à St-Vio.

Il faut noter que le phénomène d'eau rouge est bien connu des pêcheurs des ports bigoudens, qui possèdent dans leur langue un nom vernaculaire pour le désigner : *Boued ruz*. Les observations qu'implique ce fait linguistique concernent cependant, selon toute probabilité, un front situé au large et analogue dans sa nature à celui qu'on observe au Nord-Ouest d'Ouesant (cf. supra).

5. ERDEVEN

Les caractéristiques du site font que le risque est ici très important. En période de temps calme, il se développe, au moins à certaines périodes de l'année, un système de circulation de densité qui conduit à l'établissement d'un front bien marqué, nettement visible sur photographies aériennes, dans un rayon de 1 à 2 milles de l'embouchure de la Rivière d'Etel, elle-même proche du site.

L'élément déterminant de l'établissement de cette circulation est le réchauffement que subit par insolation l'eau de mer séjournant sous une faible épaisseur dans la vaste étendue occupée par la Rivière d'Etel. Au jusant, cette eau sort devant l'embouchure et ne s'é-

coule qu'en surface du fait de sa faible densité. Les courants de marée, sitôt franchie en direction de la mer la passe d'Etel, sont tout à fait insuffisants pour assurer un quelconque brassage vertical, lequel ne s'établit que si la mer est agitée. L'alternance, selon les conditions météorologiques, entre régime de brassage et circulation de densité, conditionne dans une très large mesure l'évolution de l'écosystème pélagique. En période de stratification, tous les éléments sont réunis pour la genèse d'une eau rouge ; dans le plancton local on recense au moins quatre espèces susceptibles de provoquer le phénomène, un Cilié et trois Dinoflagellés, dont un toxique. Une eau rouge semblait d'ailleurs bien près de se produire au début de l'été 1976, au moment du travail sur le terrain pour l'étude d'avant-projet.

En cas de mise en service d'une centrale du type envisagé par EDF, l'effluent thermique pénétrerait pour une grande part en Rivière d'Etel, dont il ressortirait au jusant avec l'hydrodynamisme de la marée, dans les conditions mêmes qui s'appliquent actuellement à l'eau réchauffée par insolation. On ne pourrait donc aboutir ainsi qu'à un renforcement de la circulation de densité déjà existante et augmenter la probabilité d'une eau rouge. Le jet thermique serait incapable d'assurer un brassage significatif vis-à-vis des phénomènes en cause, car localisé trop loin à la fois de l'embouchure de la Rivière d'Etel (2,2 km) et de la zone où peut apparaître le front (1 à 2 milles actuellement, probablement plus en cas d'apport supplémentaire d'eau chaude). De plus, la topographie des fonds rocheux proches du site semble de nature à dissiper assez rapidement l'énergie mécanique de ce jet.

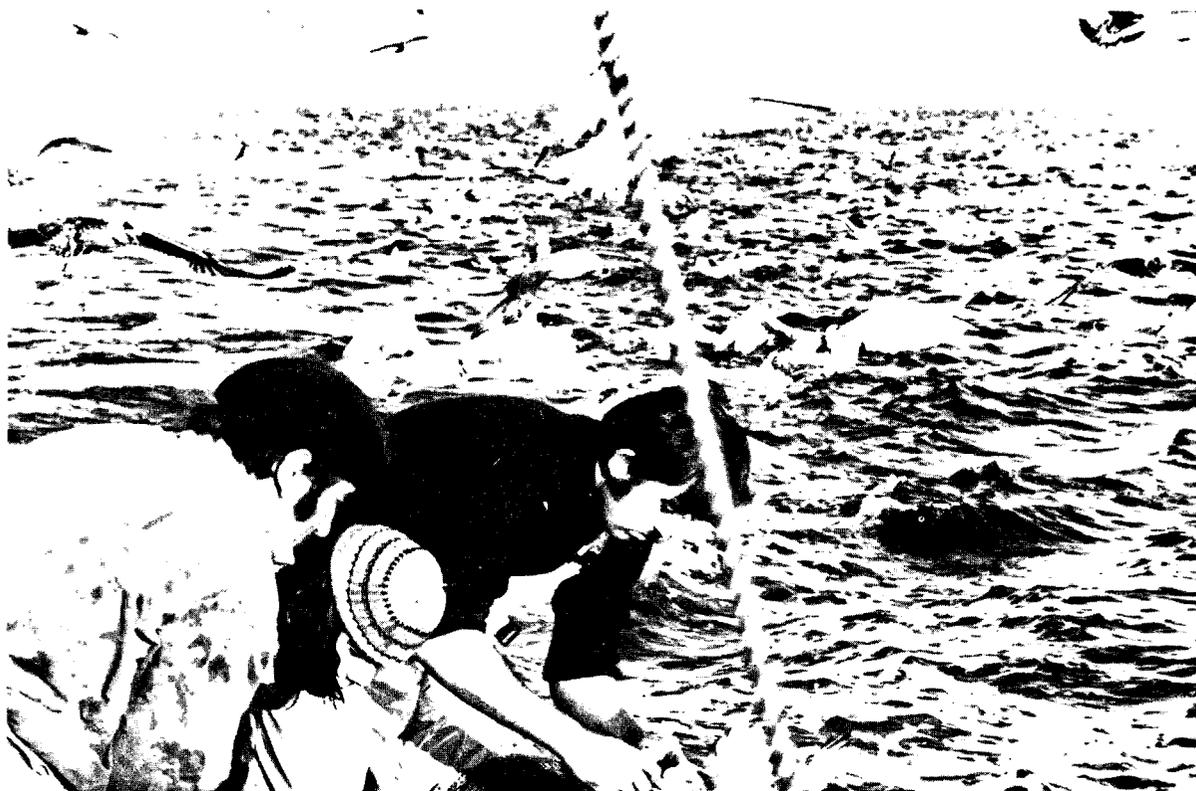
Une circonstance aggravante en cas d'eau rouge est propre à Erdeven ; c'est la proximité d'un important centre conchylicole en Rivière d'Etel. Ce type d'activités est probablement le plus vulnérable vis-à-vis de ce type de phénomène.

5. CLASSEMENT DES SITES

On trouve par ordre de risque d'eau rouge décroissant :

- ERDEVEN
- PLOUMOGUER
- BEG AN FRY
- SAINT VIO
- PLOGOFF.

Ce classement est donné sous toute réserve en l'état de l'information disponible, notamment en ce qui concerne St Vio. Ce site mériterait donc un complément d'étude s'il devait être sérieusement envisagé, de même que Beg an Fry, et surtout Ploumoguier où le risque, selon toute vraisemblance important, nécessite une évaluation précise. Seul Plogoff présente probablement un risque très faible en matière d'eau rouge.



Droits réservés

La petite pêche côtière est une activité susceptible d'être mise en cause, à des degrés divers, aux environs de tous les sites étudiés ici.



Photo © J. Le Fèvre

Etablissement ostréicole en Rivière d'Etel: l'ostréiculture ne peut être affectée qu'à proximité du site d'Erdeven, où elle fait vivre au moins l'équivalent de deux cents personnes à temps plein.

CHAPITRE VIII

ETUDE DE LA PÊCHE CÔTIÈRE AU NIVEAU DES SITES D'IMPLANTATION DE CENTRALES NUCLEAIRES : PLOUMOGUER, PLOGOFF, SAINT-VIO ET ERDEVEN;

1. INTRODUCTION

Ces projets d'implantation de centrales nucléaires en Bretagne amènent à prendre en considération un secteur encore peu étudié, celui de la pêche côtière. Trois des sites étudiés font partie de quartiers maritimes, où la pêche côtière est une des ressources primordiales des ports.

Une étude des régions concernées ne peut être complète sans un examen des quartiers maritimes environnants, au niveau desquels une répercussion de l'impact de la centrale est indéniable. Ceci nous amène à étudier en détail les ports du Conquet et de Molène, de Camaret, de Douarnenez, d'Audierne, et ceux du quartier du Guilvinec. Une étude plus générale du quartier de Lorient permettra d'évaluer la pêche côtière dans la région d'Erdeven *.

2. METHODES ET MOYENS UTILISES

Pour essayer de dégager l'importance de la pêche côtière dans les secteurs considérés, nous nous basons sur les effectifs de pêcheurs qui y travaillent, sur leur densité au km² en bordure de côte et sur l'évolution actuelle de ce type de pêche dans les ports considérés.

Dans le cadre du contrat CNEXO/UBO, des données sur la pêche côtière ont été recueillies directement au niveau des Affaires Maritimes et précisées par les marins eux-mêmes, ceci afin de localiser les zones de pêche côtière et d'évaluer leur intensité d'exploitation.

* Sources.

Ces données sont le résultat d'une étude plus générale sur la pêche côtière menée dans les ports de Bretagne Sud, du Conquet au Golfe du Morbihan, depuis 1974, et reprécisée en janvier 1977 dans le cadre d'un contrat.

Quant à l'évaluation temporelle de ce type d'activité, elle a été déduite d'ouvrages socio-économiques, notamment une étude sur la pêche à Audierne (DOARE, J.Y., 1970) et de travaux d'avant-projet fait par l'I.S.T.P.M. (SABATIE, M., 1976).

Celle-ci est proportionnelle à l'effectif de pêcheurs théoriques annuels exploitant cette zone, c'est-à-dire à l'équivalence à temps complet du nombre de pêcheurs y travaillant généralement temporairement. Pour permettre une meilleure comparaison des activités de pêche côtière exercées au niveau des sites, cette unité (homme/jour/an) est employée au cours des diverses études dans l'estimation des effectifs et le calcul des densités qui servent de critère dans le classement des sites par ordre d'importance. Chaque site fait l'objet d'une étude détaillée dont les principales conclusions sont résumées ci-après, dans le but d'établir une classification.

Avant de tenter de classer les différents sites selon l'importance de la pêche côtière, nous rappellerons quelques données pouvant servir de critères :

- le nombre de pêcheurs côtiers, évalué au niveau du site ou plus exactement au niveau du secteur de pêche côtière au sein duquel s'insère le site ;
- la densité de pêcheurs à ce niveau ;
- le nombre de pêcheurs travaillant dans les secteurs côtiers environnants, soit de part et d'autre du secteur du site, soit plus au large, et la densité de pêcheurs correspondante ;
- la tendance actuelle de la pêche côtière dans le port d'origine de la flottille, et plus précisément la tendance actuelle de la pêche côtière au niveau du site.

1. NOMBRE DE PECHEURS COTIERS ET DENSITE DANS LA ZONE DU SITE

Les chiffres traduisent comme précédemment une activité annuelle :

SITE	NOMBRE DE PECHEURS	DENSITE (au km ²)
PLOUMOGUER	20	0,5
PLOGOFF	75	1,5
SAINT-VIO	20	0,5
ERDEVEN *	55	1
	(40 à Etel ; 15 à Pontivy)	

La marge d'erreur associée aux densités, leur confère plus exactement une valeur d'indice, permettant de classer les sites entre eux.

* Dans ce secteur, environ 200 personnes "à temps plein" vivent aussi de l'ostréiculture.

2. NOMBRE DE PECHEURS COTIERS DANS LES SECTEURS DE PECHE ENVIRONNANT LE SITE

A) PLOUMOGUER

ZONE	NOMBRE DE PECHEURS	DENSITE (au km ² /jour)
NORD	non calculé	0,5
SUD : Bordure côtière	24	0,5
Iroise	30	0,5
LARGE : Archipel	25	0,5
à 20-25 des côtes	95	non calculé

B) PLOGOFF

ZONE	NOMBRE DE PECHEURS	DENSITE (au km ² /jour)
Les parages de l'Ile de Sein	105	1
La large *	10 (+ chalutiers)	non calculé

* Le large de la frange côtière allant de la Pointe du Raz à Audierne.

C) SAINT-VIO

La partie Ouest étant déjà étudiée dans le site de Plogoff, seule la partie Est est à prendre en compte et cela d'autant plus que la pêche côtière y est très importante.

ZONE	NOMBRE DE PECHEURS	DENSITE
De SAINT-GUENOLE à LESCONIL	190	2

D) ERDEVEN

ZONE	NOMBRE DE PECHEURS	DENSITE
Presqu'Ile de QUIBERON	140	"

3. EVOLUTION ACTUELLE DE LA PECHE COTIERE DANS CHACUN DES SITES

A) PLOUMOGUER

Le port du Conquet est un port uniquement côtier dont la progression de la flottille est essentiellement due au caseyage, comme le prouvent les chiffres suivants :

	NOMBRE GLOBAL DE PECHEURS	CASEYEURS	LIGNEURS
1972	144	85	21
1976	164	106	27

B) PLOGOFF

La flottille côtière du port d'Audierne qui fournit environ le tiers de ses effectifs au secteur de pêche comprenant le site de Plogoff est en évolution.

ANNEE	NOMBRE DE BATEAUX 10 t 10 tonneaux	NOMBRE TOTAL DE BATEAUX
1968	82	134
1973	116	152
1975	126	160

Cependant, comme il l'a été démontré au Chapitre II, il existe actuellement une mutation de la flottille, qui tend à remplacer les navires de moins de 5 tonneaux par des unités comprises entre 5 et 10 tonneaux.

ANNEE	NAVIRES DE MOINS DE 5 TONNEAUX	NAVIRES COMPRIS ENTRE 5 & 10 Tx	NAVIRES COMPRIS ENTRE 10 & 20 Tx
1973	86	26	4
1975	80	40	6

Ceci permet donc un éloignement plus important du port et reflèterait donc une tendance à quitter le secteur littoral pour pêcher, par exemple la dorade, aux alentours de Sein.

C) SAINT-VIO

Seule une faible partie de la flottille est originaire du port d'Audierne dont l'évolution vient d'être mise en évidence. Le reste provient essentiellement des ports bigoudens, particulièrement Saint-Guérolé, où nous avons également démontré l'évolution du secteur côtier, malgré une régression des effectifs globaux.

ANNEE	NOMBRE GLOBAL DE PECHEURS	NOMBRE D'UNITES COTIERES INFERIEURES A 25 Tx (KERITY)
1972	566	41
1976	512	50

L'évolution au niveau du site lui-même est difficile à mettre en évidence, si ce n'est une tendance dans l'armement à la pêche du bar qui pourrait favoriser un tel secteur.

D) ERDEVEN

Le manque de statistiques ne permet pas de mettre en évidence un état, que les Affaires Maritimes d'Etel qualifient actuellement de stationnaire. Par contre, le Comité Local des Pêches de Quiberon signale un accroissement de la petite pêche côtière aux dépens de la pêche sardinière.

4. DISCUSSION

Si le principal critère considéré est le nombre de pêcheurs travaillant aux abords immédiats du site, l'activité côtière la plus intense peut être évaluée au niveau de Plogoff, où le nombre de pêcheurs est presque quatre fois supérieur à celui de Ploumoguer et Saint-Vio et environ 1,5 fois à celui d'Erdeven.

Si ce critère prend aussi en compte les zones de pêche côtière existant immédiatement de part et d'autre du site, celui de Saint-Vio devient primordial avec environ 210 pêcheurs, devant celui de Plogoff et Erdeven dont les effectifs sont très proches eux-mêmes des 200 pêcheurs, mais répartis sur des zones de pêche plus étendues. Quant à Ploumoguer, la zone de pêche voisine ne présente pas d'effectifs aussi importants, même si la flottille de caseyeurs travaillant cependant bien plus au large, est prise en considération.

Quant à l'évolution de la flottille, elle s'est caractérisée dans chacun des ports, ces dix dernières années, par une augmentation du nombre des navires côtiers, mouvement qui tend actuellement à se stabiliser. Pour ces unités côtières, il existe une tendance un peu plus marquée à la spécialisation ; elle se traduit par un accroissement de la jauge des navires et un éloignement des zones de pêche, vis-à-vis de la côte et donc des sites eux-mêmes.

Cette évolution prouve qu'en cas de répercussion des effets de l'implantation d'une centrale nucléaire sur le pêche côtière avoisinante, une reconversion, qui nuirait cependant à la production de poissons frais et de qualité, serait toujours possible. Cela serait d'autant plus facile à Ploumoguer que le faible effectif de ligneurs se reconvertirait dans une pêche qui recrute actuellement, le caseyage. Il est indéniable que les effets psychologiques du nucléaire peuvent avoir des conséquences sur la commercialisation des produits, dans l'ensemble de ce secteur côtier.

Dans toute cette étude, il n'a pas été tenu compte de l'activité goémonière des sites considérés ; celle-ci n'étant actuellement pas une grande source de revenus pour la population maritime. Sa production est cependant importante notamment à Molène et dans les pays bigoudens, et sa valeur a été examinée avec précision par l'I.S.T.P.M.

Les tonnages débarqués auraient eux-mêmes pu servir de critère mais leur évaluation est très difficile, même dans les ports où il existe une criée ; la distinction n'est jamais faite entre les espèces du secteur hauturier et celles du secteur côtier. Cette évaluation est encore plus imprécise au niveau du site lui-même. La détermination du facteur humain semble refléter plus précisément la réalité.

Le tableau suivant résume les données précédentes en indiquant l'activité réelle, d'une part, au niveau d'une zone de pêche qui s'étend en moyenne sur 50 km², d'autre part, au niveau de l'ensemble de la pêche côtière dans le secteur environnant le site.

SITE	NOMBRE THEORIQUE DE PECHEURS		
	AU NIVEAU DE LA ZONE DE PECHE (50 km ²)	AU NIVEAU DE L'ENSEMBLE DES EAUX COTIERES	
		Secteur considéré	Pêcheurs
PLOUMOGUER	20	De l'Iroise aux zones de pêche des caseyeurs (25 milles de la côte)	175
PLOGOFF	75	D'Audierne à l'Ile de Sein	195
SAINT-VIO	20	D'Audierne à Saint - Guénolé	210
ERDEVEN	55	D'Etel à la Baie de Quiberon comprise	190

CONCLUSION GENERALE

Compte tenu que les effets de l'implantation d'une centrale nucléaire s'étendraient à l'ensemble de la pêche côtière dépendant du port le plus proche du site, il semble que ce soit Saint-Vio, immédiatement suivi par Plogoff et Erdeven, qui doit être le premier pris en considération. Le site de Ploumoguier présente des effectifs côtiers moins importants. Si l'on tient compte de l'ostréiculture, Erdeven tient une place primordiale avec 255 personnes travaillant à temps plein au niveau même du site.

CHAPITRE X

COMMENTAIRES RELATIFS AU TABLEAU SYNTHETIQUE

Le tableau IX résume les points importants dégagés au cours de ce travail. Sur une liste initiale de 14 critères, 10 ont été retenus : les critères écartés ont été considérés comme secondaires dans le cadre du choix des sites (ex : organismes générateurs de salissures et remarques biogéographiques) ou insuffisamment étudiés (production pélagique primaire et secondaire). Ces critères font l'objet d'un chapitre particulier dans le texte.

Chacun des dix critères retenus appelle les commentaires suivants :

1. SURFACE DE LA TACHE THERMIQUE POUR LES AIRES $\Delta t \geq + 1^\circ$ et $\Delta t \geq + 3^\circ$

La nécessité de définir pour chaque site une "aire" de référence nous a conduit à prendre en considération la tache thermique limitée par les isothermes $\Delta t \geq + 3^\circ$ et $\Delta t \geq + 1^\circ$ issus des modèles mathématiques de dilution de l'EDF (actualisation des données du LNH pour les sites bretons). Nous avons déjà souligné, dans les précédents chapitres, l'insuffisance des études au niveau de l'océanographie physique de chaque site, et les réserves qu'il convient d'observer à propos des modèles de dilution proposés. Ceci étant rappelé, la tache thermique constitue, faute d'autres éléments, au moins pour les études benthiques, le point de départ obligatoire de notre réflexion écologique.

La prise en compte des aires $\Delta t \geq + 3^\circ$ et $\Delta t \geq + 1^\circ$ comporte évidemment une part d'arbitraire ; elle traduit néanmoins ce qu'il est raisonnable de considérer, du point de vue biologique, comme représentatif des champs proches et éloignés de la centrale.

Il est important de remarquer, à ce niveau de l'analyse, que la taille très réduite de la tache thermique de Plogoff, site incontestablement bien brassé, a des conséquences directes sur les estimations très basses de biomasse et de production affectables.

2. INDICE MORPHOMETRIQUE (cf. chapitre 1)

L'indice de comparaison retenu est la surface comprise entre les niveaux 0 et - 5 m C.M. pour une tache thermique $\Delta t \geq + 1^\circ$. Le linéaire a été mesuré au curvimètre sur do-

cuments cartographiques (cartes IGN 1/25 000). L'importance de la frange "0 à - 5 m" exprimée en hectares, peut être considérée comme un indice de fertilité et apporte un correctif aux évaluations fondées exclusivement sur la tache thermique.

3. HYDRODYNAMISME

1. SUBSTRATS DURS

Ce paramètre est exprimé par la fréquence relative des lithosères * rocheuses. Une cote de 0 à 5 désigne les principales lithosères, caractéristiques des modes calmes aux modes fortement battus, et leur importance respective traduit l'hydrodynamisme moyen du site (cf. fig. page 22). Pour chaque site une cote moyenne est donnée : plus la valeur est forte, plus le mode battu est important.

2. SUBSTRATS MEUBLES

L'hydrodynamisme est estimé à partir de l'importance de la zone d'instabilité biosédimentaire, ou zone de charriage au sens écologique, exprimé par sa largeur "L" et son épaisseur "e".

Ces résultats ont été observés sur chaque site, excepté à Beg an Fry.

4. SURFACE ROCHEUSE ET SURFACE SABLEUSE

Les fonds durs et les fonds meubles méritent d'être analysés séparément tant du point de vue quantitatif que qualitatif. C'est pourquoi il est indispensable de faire la part, pour les aires retenues, de la fraction rocheuse et de la fraction sableuse.

5. PRODUCTION PRIMAIRE BENTHIQUE

Les résultats de ce critère ont été évalués sur les bases suivantes :

- benthos rocheux (production algale) : entre 1000 et 2000 gr de C/m²/an selon les peuplements (C. CHASSE) ;
- benthos sableux (production du microphytobenthos) : environ 10 g C/m²/an (résultats de D. BOUCHER - UBO en baie de Concarneau).

La production primaire pélagique n'a pu être évaluée faute d'observations. A titre d'indication et pour compléter les ordres de grandeurs attribuables aux trois enveloppes "1) benthos rocheux ; 2) benthos sableux ; 3) pelagos", la production primaire pélagique en Manche peut être grossièrement évaluée à 150 gr C/m²/an. Cette estimation ne tient pas compte des variations locales qui peuvent être importantes dans les zones côtières (cf. chapitre : VI production pélagique). Remarquons qu'à surface égale le système d'inégalité "Production primaire benthique en milieu rocheux >> Production primaire pélagique >> Production primaire ben-

* Unité floristique verticale caractéristique d'un mode hydrodynamique.

thique en milieu sableux", est en général admissible. Cette relation est utilisable, avec cependant cette réserve que les mesures de production d'algues benthiques (basées sur les méthodes de la dynamique de population) et de phytoplancton (en général méthode du 14 C) sont très différentes et que le rôle de ces deux formes de production au sein de l'écosystème n'est pas comparable.

6. PRODUCTION SECONDAIRE BENTHIQUE DES FONDS MEUBLES (cf. chapitre V)

Les biomasses des fonds sableux d'Erdeven, St-Vio et Ploumoguer ont été mesurées à partir d'une série de prélèvements quantitatifs, effectués à la benne Aberdeen (1/10 m²).

Le site de Plogoff ne comporte pratiquement pas de substrat meuble, et les biomasses de Beg an Fry ont été estimées à partir des résultats quantitatifs connus d'une zone voisine, St Michel en Grève.

La date des prélèvements (août - septembre 1976) permet d'éliminer la composante saisonnière dans la comparaison des sites.

L'analyse des peuplements au niveau de chaque site révèle deux ensembles biosédimentaires liés à un gradient hydrodynamique "côte-large" : zone d'instabilité (ou de charriage) et zone de stabilité (ou d'équilibre). Un rapport $\frac{\text{production}}{\text{biomasse}}$ moyen est évalué pour chacune de ces zones tenant compte des $\frac{P}{B}$ des espèces dominantes constituant les deux peuplements.

A partir des biomasses observées, et des $\frac{P}{B}$ estimés, il a été possible de donner pour chaque site une évaluation de la production affectable pour l'aire $\Delta t \geq + 1^\circ$ en tonnes de carbone par an.

La production secondaire benthique des substrats durs est très difficile à apprécier, en raison des difficultés d'estimation de densité et de biomasse de la macrofaune. L'incertitude sur ce critère ne permet pas de l'utiliser à titre d'élément de comparaison.

7. PECHE (cf. chapitre VIII)

Le critère retenu est l'estimation du nombre de pêcheurs travaillant dans le secteur proche du site (50 km² environ), ainsi que le nombre de pêcheurs concernés par l'ensemble du secteur économique environnant le site. Ces résultats sont extraits d'une enquête de pêche, effectuée par M. GUILLOU de l'UBO, ils comprennent :

- la densité de pêcheurs (au km²) travaillant au voisinage du site ;
- le nombre de pêcheurs travaillant dans les secteurs côtiers environnants, soit de part et d'autre du secteur du site, soit plus au large ;
- la tendance actuelle de la pêche côtière dans le port d'origine de la flottille.

Ces résultats font état de la spécificité de chaque site (caseyeur, chalutier, etc...). Ils font apparaître également que le nombre de pêcheurs théorique peut être faible dans les 50 km² autour du site, et être beaucoup plus fort au niveau de l'ensemble du secteur de pêche environnant ; tel est le cas de St-Vio.

La marge d'erreur associée aux statistiques de pêche leur confère davantage une valeur d'indice permettant une comparaison relative entre sites qu'une valeur absolue. Cependant, le critère retenu est moins sujet aux incertitudes habituelles que les données classiques : tonnages débarqués, etc...

A partir du nombre théorique de pêcheurs, il a été possible de calculer pour chacun des quartiers maritimes, le pourcentage des activités de pêche côtière pour les milieux meubles, rocheux et pélagiques. Cette généralisation permet de constater qu'en moyenne l'activité en milieu rocheux est environ trois fois plus forte qu'en milieu meuble ou pélagique.

La conchyliculture fait l'objet d'une sous-rubrique, afin de signaler son importance dans le secteur d'Erdeven.

8. EAUX ROUGES (cf. chapitre VII)

Ce phénomène est lié à la stabilité verticale de l'écosystème pélagique. Le texte présenté p. 30 et sv. mentionne les divers régimes de circulation pouvant aboutir à ce phénomène. Tout facteur facilitant l'établissement d'une circulation de densité accroît le risque. Par ailleurs, la présence d'espèces responsables des eaux rouges doit être également considérée. L'examen du risque selon les sites est une estimation provisoire basée sur les caractéristiques générales du milieu. Seul le site d'Erdeven fournit des informations précises recueillies sur le terrain.

9. MAREES VERTES

Le phénomène des marées vertes, variante du phénomène d'eutrophisation, est lié aux apports de sels nutritifs d'origine terrestre (agriculture). Il ne présente de risque important qu'à Beg an Fry où il est déjà existant. Néanmoins l'avant-projet d'Erdeven fait mention d'un risque possible sur ce site.

10. TURBIDITE

11. DIVERSITE BIOCENOTIQUE

La qualité et la quantité des informations disponibles dans les dossiers d'avant-projet ne permettent pas de calculer la diversité spécifique de chaque site. Une approche plus globale est tentée au niveau de la diversité biocénotique (présence et importance relative des différents types de peuplements reconnus sur chaque site). Le but de ce critère est de fournir une estimation de la richesse faunistique affectable par la centrale. L'indice de diversité employé est la formule de SHANNON pondérée :

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i}{n \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i}$$

qui possède l'avantage de n'être liée à aucune hypothèse préalable concernant la distribution des variables.

D varie de 0 (site monotone du point de vue biocénétique ne comportant qu'un seul peuplement) à 1 (site comportant n peuplements d'importance respectivement égale).

La mesure de la diversité a été effectuée séparément sur substrats durs (Sr, comportant six catégories de peuplements, soit n = 6) et sur substrats meubles (Sm, n = 10), en raison des profondes différences de structures faunistiques existant entre ces deux compartiments benthiques.

Du point de vue protectionniste, une diversité élevée peut être considérée comme un facteur défavorable à l'installation d'une centrale. Par ailleurs, une extension hardie du concept de la diversité spécifique à la diversité biocénétique permettrait d'avancer qu'un écosystème doté d'une organisation complexe (donc à forte diversité) serait plus vulnérable à un stress physique qu'un écosystème dont la complexité serait minimale. Ce point reste à éclaircir et la signification écologique du concept de la diversité demeure ambiguë. Par ailleurs, il est probable que la vulnérabilité d'un site est variable selon le mode d'agression subi.

L'état actuel des connaissances permet difficilement une prévision exacte, ce qui constitue une raison supplémentaire de réaliser des études extrêmement précises, avant et après implantation, des sites où seront en fin de compte édifiées des centrales. Compte tenu de l'insuffisance actuelle des connaissances fondamentales, et pour permettre à l'avenir une meilleure prévision écologique en matière d'aménagement du littoral, il est essentiel que les résultats de ces futures études soient accessibles.

	BEG AN FRY		PLOUMOGUER		PLOGOFF		SAINT-VIO		ERDEVEN	
1/ Surface de la tache thermique en km ²	$\Delta t+3^\circ$ $\Delta t+1^\circ$	27 53	9,5 42	0,06 0,64	2 102	18 49				
2/ Indice morphométrique Surface entre 0 et 5 C.M.en hectares	$\Delta t+3^\circ$ $\Delta t+1^\circ$		1218,1 6813,7	ϵ 753,7	220,6 5428,9					
3/ Hydrodynamisme : a) Lithoseres cote de 0 à 5 b) Zone d'instabilité bio-sédimentaire.		2	2,31 L = 1,5km e = 7m	4,8	3 L = 3,5km e = 25m	1,45 L = 2,2km e = 9m				
4/ Surface rocheuse (Sr) et surface meuble (Sm) en km ²	$\Delta t+3^\circ$ $\Delta t+1^\circ$	Sr 8,5 Sm 12	Sr 2 Sm 20,15	Sr 7,5 Sm 21,85	Sr 0,06 Sm 0	Sr 0 Sm 7	Sr 2 Sm 95	Sr 3,1 Sm 7,9	Sr 14,9 Sm 41,1	
5/ Production primaire benthique des substrats rocheux (Sr) et meubles (Sm) en T.C.an	$\Delta t+3^\circ$ $\Delta t+1^\circ$	Sr 16500 Sm 21415	Sr 3066 Sm 17588	Sr 74 Sm 218	Sr 10 Sm 1110	Sr 0 Sm 14000	Sr 20 Sm 950	Sr 7322 Sm 15834	Sr 143 Sm 413	
6/ Production secondaire benthique des substrats meubles au $\Delta t+1^\circ$ en T.C.an		500 (valeur estimée par analogie)	25 à 50	0	530	130				
7/ Pêche dans la zone des 50km ² . Pêche dans le secteur économique. Conchiculture.		0	20 175	75 195	20 210	55 190				
8/ Eaux rouges : cote 1 à 5 par risques croissants.		risques 3	risques 4	très faibles risques 1	faibles risques 2	très hauts risques 5				
10/ Turbidité : cote de 1 à 5 par risques croissants.		3	2	1	4	5				
11/ Diversité biocénotique Substrat rocheux (Sr) et meuble (Sm)	$\Delta t+3^\circ$ $\Delta t+1^\circ$	Sr 0,86 Sm 0,29	Sr 0,88 Sm 0,97	Sr 0,53 Sm 0,55	Sr 0 Sm 0,44	Sr - Sm -	Sr 0 Sm 0,98	Sr 0,82 Sm 0,88	Sr 0,64 Sm 0,57	

IX - TABLEAU DE COMPARAISON DES SITES

CHAPITRE XI

CONCLUSIONS

L'examen du tableau synthétique (chapitre IX) fait apparaître :

- UN RISQUE IMPORTANT A ERDEVEN, REVELE A LA FOIS PAR LES CRITERES QUALITATIFS ET QUANTITATIFS DE NOTRE ANALYSE : SITE DEVANT ETRE ECARTE EN PRIORITE.
- UN DEGRE DE SENSIBILITE QUI SEMBLE RELATIVEMENT FAIBLE A PLOGOFF, ESSENTIELLEMENT DU A UNE TACHE THERMIQUE REDUITE SELON EDF, ET NON A LA RICHESSE BIOLOGIQUE INTRINSEQUE DU SITE.
- UNE IMPOSSIBILITE DE CLASSER ENTRE EUX LES SITES DE SAINT-VIO, PLOUMOGUER, ET BEG AN FRY, EN RAISON DES CONNAISSANCES TROP FRAGMENTAIRES DONT NOUS DISPOSONS. ON PEUT LES CONSIDERER COMME INTERMEDIAIRES.

Cette synthèse appelle un certain nombre de réserves, imputables aux limites des études d'avant-projet en général, que nous rappelons dans cette conclusion.

Les éventuels risques nucléaires, auxquels le public est particulièrement sensible, ne sont pas pris en compte dans la présente synthèse. Leur étude est du ressort du CEA, qui traite ces risques, par ailleurs, en s'appuyant sur les études hydrobiologiques confiées au CNEXO. Notre expérience nous amène cependant à penser qu'en réalité chacun des sites étudiés ici doit revêtir, de ce point de vue, un caractère particulier, en fonction des peuplements végétaux et animaux qu'il héberge et de leurs relations entre eux, surtout par le biais des chaînes alimentaires. Il faut remarquer, par exemple, que l'importance des champs de Laminaires sur les côtes bretonnes, réduits ou même inexistantes sur d'autres côtes, doit jouer un rôle primordial dans les équilibres ioniques des aérosols et avoir en conséquence une incidence non négligeable sur le risque de contamination du milieu aérien.

L'EDF a assuré l'étude des aspects physiques de la dispersion thermique. Ces travaux ont été réalisés à l'aide de modèles mathématiques, sur la base de données très partielles représentant des conditions moyennes plus ou moins bien connues quant aux courants et surtout aux vents. Il aurait fallu, au minimum, faire fonctionner ces modèles pour différentes conditions limites, notamment de vents dominants, dont on sait qu'elles se rencontrent occasionnellement, et qui ont donc une très forte probabilité de se produire au moins un petit nombre de

fois pendant la durée de vie d'une centrale. De plus, ces études font uniquement appel à la méthodologie classique des hydrauliciens supposant un milieu physique homogène, ce qui se traduit notamment par la prise en considération de la seule courantologie et l'absence de coupes de température et de salinité. Cette approche ne rend pas totalement compte, à notre avis, des phénomènes susceptibles de se produire en mer et devrait être complétée par des études du milieu physique au moyen des techniques actuelles de l'océanographie. Ainsi la seule étude (Erdeven), dans laquelle nous avons eu la possibilité d'aborder ces aspects, bien que de manière élémentaire, a mis en évidence l'importance de la circulation de densité. Celle-ci peut avoir des conséquences tout à fait remarquables sur l'évolution de l'écosystème et même directement sur la dispersion thermique. Son établissement dépend dans une large mesure des conditions météorologiques. Ce type de travaux aurait dû faire appel non seulement à des hydrauliciens, mais aussi à des océanographes physiiciens.

Du point de vue biologique, la durée prévue pour les études d'avant-projet est, d'une façon générale, très nettement insuffisante. Nous avons rappelé que, limitées à l'origine à des synthèses bibliographiques à réaliser en quelques mois, ces études, devant l'insuffisance des connaissances antérieures disponibles, ont dû être étendues à des investigations de terrain. Il aurait alors fallu tenir compte des réalités concrètes du milieu biologique, et de l'évolution naturelle des phénomènes que l'on voulait décrire et interpréter, donc couvrir au minimum un cycle annuel, sans lequel il n'est pas de description sérieuse des peuplements, en particulier dans le domaine planctonique. En ce sens, il apparaît un certain nombre de contradictions entre le calendrier administratif et le calendrier biologique. Une lacune importante est d'ailleurs l'absence d'étude planctonique sur la majorité des sites, en dehors des travaux confiés à l'ISTPM, orientés essentiellement vers des évaluations quantitatives globales en relation avec la nutrition des poissons. Cet aspect des choses a certes son importance, mais nous pensons, comme le met en évidence l'étude du site d'Erdeven, que les problèmes essentiels en matière de plancton tiennent moins à l'évaluation de la biomasse ou de la production affectables qu'au risque de modifications qualitatives dans la structure des écosystèmes. Ces modifications peuvent déboucher sur des phénomènes d'eaux rouges, dont les conséquences sont susceptibles, dans les cas extrêmes, d'être catastrophiques pour l'environnement. Ces risques très difficiles à évaluer, sont liés, pour une grande part, à des phénomènes hydrologiques, et la lacune principale des avant-projets dans le domaine planctonique est difficilement dissociable de celle qui concerne l'océanographie physique.

Les études d'avant-projet présentent donc des insuffisances, dont certaines ont un caractère général et d'autres sont plus ou moins spécifiques à l'étude de tel ou tel site. Les travaux ne sont pas suffisamment homogènes entre eux, ayant été réalisés à des saisons différentes (problème de disponibilité en spécialistes), et ce décalage dans le temps a conduit à négliger, selon les cas, tel ou tel paramètre (étude planctonique sans signification dans le cas de prélèvements limités à l'hiver par exemple). Enfin, les délais relativement courts laissés pour le dépôt des manuscrits en fin d'étude ne permettent pas dans tous les cas une exploitation complète de l'information recueillie.

En dépit de ces limitations, les études d'avant-projet actuellement réalisées apportent une information relativement importante. Elles ne permettent certes pas de conclure que tel ou tel site est absolument sans risque, même du point de vue du seul impact thermique. Elles permettent cependant de déconseiller nettement certains d'entre eux, en raison de risques particuliers liés aux conditions locales, et dont on peut raisonnablement penser qu'ils ne se retrouvent pas sur d'autres sites, dont les caractéristiques sont différentes. Elles permettent également de mettre en évidence des incertitudes importantes nécessitant des compléments d'étude avant toute décision définitive. En particulier, des études planctonologiques comportant des observations sur une période allant de la floraison printanière à la floraison automnale, permettraient d'affiner les conclusions de cette synthèse.

ANNEXE

MODELE SCHEMATIQUE D'EVALUATION PRELIMINAIRE DES TACHES THERMIQUES EN MER A MAREE

LABORATOIRE NATIONAL D'HYDRAULIQUE (EDF)

Il convient de souligner que les données sur les taches thermiques et l'examen de leurs séquences écologiques se situent à parité : il s'agit dans l'un et l'autre cas de procéder à un dégrossissage permettant une approche de la qualité des différents sites envisagés. Pour ce qui est de la dilution des calories, il suffit au stade des études d'avant-projet de dégager l'allure du champ des températures moyennes sur la verticale. Par la suite, une fois le site choisi au niveau du projet, une étude plus approfondie de l'emprise de la tache thermique et de son évolution au cours du temps sera entreprise avec l'aide d'un modèle mathématique plus performant.

Le modèle schématique, utilisé ici au stade de l'étude préliminaire, donne une estimation de la tache thermique résultant de l'ordre de grandeur des divers facteurs de transfert, à savoir :

- de la convection moyenne horizontale (essentiellement parallèle aux côtes à proximité de celles-ci) ;
- de la dispersion induite par les hétérogénéités verticales des vitesses (il est maintenant bien connu que cette dispersion peut être traduite dans les équations par un terme de diffusion de fort coefficient) ;
- les échanges atmosphériques.

Le modèle utilisé est donc constitué par une équation de transport comportant ces trois termes, avec une simulation de l'effet des rejets étudiés séparément sur modèle physique.

La comparaison des échelles de temps, liées à ces facteurs de transfert, montre que le plus efficace est, de beaucoup, la convection et, plus exactement, la dérive engendrée par la dissymétrie des mouvements de flot et de jusant. Les moyens mis en oeuvre pour appréhender la dérive à introduire dans le modèle schématique sont également du type avant-projet (études bibliographiques et/ou mesures ponctuelles). Il arrive, comme cela a été le cas à Ploumoguer, que ces moyens ne soient pas assez fins lorsque l'ordre de grandeur de la dérive est faible. On la suppose alors nulle afin de rester dans une enveloppe d'hypothèse contraignante.

La dispersion intervient au second ordre par rapport à la dérive. Elle est induite par l'hétérogénéité verticale des vitesses, due essentiellement aux contraintes de fond, mais aussi aux contraintes de surface. Les vents apparaissent donc comme une cause supplémentaire de dispersion (à noter que dans les cas où les vents se sont montrés influents, la dérive a été considérée comme nulle).

Le modèle n'est évidemment applicable que si le phénomène étudié n'implique aucune interaction fondamentale avec le régime général des courants de va-et-vient dus à la marée. Ceci suppose que les gradients verticaux des températures restent suffisamment doux sous l'effet des brassages induits par les courants et qu'en l'occurrence, il n'y ait pas formation de strates séparées par de nettes interfaces. Une telle configuration est improbable dans des mers à marée comme l'Atlantique et la Manche. En Manche, on observe dans des courants de l'ordre de 1 à 2 noeuds, des fronts verticaux avec des écarts de température de 2°C de part et d'autre. De même, à Ploumoguer par exemple, les mesures de température effectuées à ce jour montrent à certains mois des brusques variations périodiques de 2°C, au rythme de deux fois par jour. Ceci est l'indice que des masses d'eau séparées par un front vertical passent et repassent sous l'effet du flot et du jusant, et que la tendance au basculement de ce front sous l'effet des différences de densité est contrecarrée par une forte diffusion verticale. Or, la mécanique des rejets induit une puissante dilution qui, dans le champ proche, ramène rapidement les écarts de température entre l'intérieur et l'extérieur des panaches à des valeurs inférieures à 2°C, d'où l'hypothèse de la bonne homogénéité verticale *.

* Nota : seules des zones très localisées et moins brassées que dans le reste des taches thermiques, (comme par exemple l'Anse des Blancs Sablons à Ploumoguer) pourraient à la rigueur faire l'objet d'un traitement particulier. Ceci est à établir au moment de la définition des études de type "projet", encore qu'il y ait peu de chances a priori d'y avoir recours : on trouve en effet dans l'Anse des Blancs Sablons des courants de l'ordre du noeud et aucune stratification n'y a été encore observée à ce jour, sinon parfois un gradient doux réparti sur la totalité de la profondeur (~ 10 m) et d'amplitude de l'ordre du demi degré.

