

52064

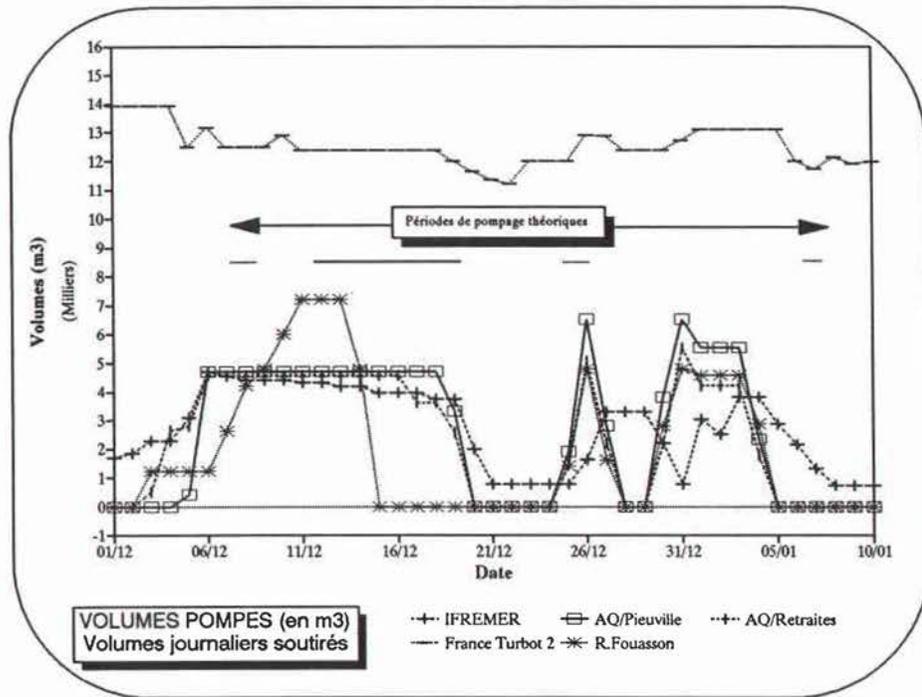
C100t01-BLO-0

RAPPORT INTERNE DE LA DIRECTION DES RESSOURCES VIVANTES DE L'IFREMER

# OBSERVATOIRE de la NAPPE SALEE de l'EOCENE de L'ILE de NOIRMOUTIER

## Suivi des paramètres physico-chimiques

Frédéric BLOUIN



RIDRV N°94.011-RA/NOIRMOUTIER

IFREMER Bibliothèque de BREST



OEL09141

C100  
t01  
BLO  
0



# INSTITUT FRANCAIS DE RECHERCHE POUR L'EXPLOITATION DE LA MER

Adresse :  
IFREMER / GIE RA  
BP 215  
85330 Noirmoutier

DIRECTION DES RESSOURCES VIVANTES

DEPARTEMENT : Ressources Aquacoles

Station /LABORATOIRE : Aqualive

|   |  |  |
|---|--|--|
| AUTEUR (S) : F. BLOUIN  |  | CODE : RIDRV<br>N° 94.011-RA                               |
| TITRE : OBSERVATOIRE DE LA NAPPE SALEE DE<br>L'EOCENE DE L'ILE DE NOIRMOUTIER<br>-Suivi des paramètres physico-chimiques- |  | Date : 1993<br>Tirage en nbre : 50                         |
|   |  | Nb pages : 24<br>Nb figures : 12<br>Nb photos : 0          |
| CONTRAT<br>(intitulé)   |  | DIFFUSION<br>libre : X<br>restreinte :<br>confidentielle : |

**RESUME** : L' intensification des activités aquacoles, à partir de 1991, a engendré une augmentation des volumes pompés de la nappe salées de l'éocène de Noirmoutier.

Pour faire face aux inquiétudes sur la disponibilité de la ressource, un pompage d'essai de longue durée a été décidé sur une grande majorité des sites d'exploitations. L'étude a pour but d'évaluer l'incidence des volumes soutirés sur la nappe aquifère et d'étudier les variations journalières en fonction de la marée. L'objectif final de ces programmes est d'établir une modélisation du fonctionnement hydrodynamique de la nappe, afin d'élaborer un outil de gestion, pour préserver la ressource naturelle et son environnement.

Plusieurs résultats intéressants ressortent de cette étude, principalement sur l'influence de la marée et sur les propriétés intrinsèques des forages. Cependant il convient d'être prudent quant à la stabilité des paramètres physico-chimiques de la nappe, étant donné la courte durée d'analyses, et les contraintes survenues durant l'expérimentation. Ces résultats devront être confirmés par des analyses plus approfondies (e. g., métaux traces); ce qui permettrait d'affiner les théories sur le renouvellement de l'eau souterraine, et de mettre au point un modèle prédictif sur la capacité de la ressource.

**ABSTRACT** : Since 1991, aquaculture development has increased the volume of underground seawater pumped out from the Noirmoutier Island. To address the issue of underground seawater availability, a long term pumping period was simultaneously carried out on the majority of the currently operating aquaculture plants. The study aims to evaluate the effect of the water volume pumped out on the underground layer characteristics and to study the tide-related daily variability. The ultimate goal is the hydrodynamic processes modelling of the underground water layer. The model will represent a management tool aiming to facilitate the decision-making for sustaining natural resources and to protect environment.

Results regarding tide effects and underground seawater characteristics are then discussed with respects to technical constraints and experimental lasting time. However, additional analysis (e. g., metal traces) would improve these preliminary results and the seawater renewal theory, as well as facilitate establishing a predictive resource availability model.

**Mots clés** : eau souterraine, forage, physico-chimie, Noirmoutier, aquaculture.

**Key words** : subterranean water, drilling, physico-chemistry, Noimoutier, aquaculture.

# TABLE DES MATIERES

|   |           |
|---|-----------|
| <b>AVANT-PROPOS</b>                                 | <b>1</b>  |
| <b>INTRODUCTION</b>                                 | <b>2</b>  |
| <b>CHAPITRE 1 : OBJECTIFS</b>                       | <b>3</b>  |
| <b>CHAPITRE 2 : METHODOLOGIE</b>                    | <b>4</b>  |
| <b>2.1. LE SUPPORT EXPERIMENTAL</b>                 | <b>4</b>  |
| 2.1.1. FORAGES D'EXPLOITATIONS                      | 4         |
| 2.1.2. STATIONS DE PRELEVEMENTS                     | 4         |
| <b>2.2. CALENDRIER DES INTERVENTIONS</b>            | <b>4</b>  |
| <b>2.3. METHODE D'ECHANTILLONNAGE</b>               | <b>6</b>  |
| <b>2.4. PARAMETRES SUIVIS ET METHODES D'ANALYSE</b> | <b>7</b>  |
| 2.4.1. DEBIT D'EXHAURE                              | 7         |
| 2.4.2. NIVEAU PIEZOMETRIQUE DE LA NAPPE             | 7         |
| 2.4.3. NIVEAU DE L'OCEAN                            | 7         |
| 2.4.4. LES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES             | 8         |
| 2.4.4.1. La température                             | 8         |
| 2.4.4.2. La salinité                                | 8         |
| 2.4.4.3. Le pH                                      | 8         |
| 2.4.4.4. L'azote ammoniacal                         | 8         |
| 2.4.4.5. Le phosphore minéral dissous               | 9         |
| 2.4.4.6. Le fer total                               | 9         |
| <b>CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSIONS</b>        | <b>10</b> |
| <b>3.1. LES CRITERES HYDROGEOLOGIQUES</b>           | <b>12</b> |
| 3.1.1. NIVEAU PIEZOMETRIQUE DE L'AQUIFERE           | 12        |
| 3.1.2. EXTENSION DU CONE D'INFLUENCE                | 12        |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>3.2. EVOLUTION PHYSICO-CHIMIQUE EN FONCTION<br/>DES VOLUMES POMPES</b> | <b>12</b> |
| 3.2.1. LA TEMPERATURE   | 12        |
| 3.2.2. LA SALINITE  | 15        |
| 3.2.3. LE PH  | 16        |
| 3.2.4. L'AZOTE AMMONIACAL   | 17        |
| 3.2.5. LE PHOSPHORE MINERAL DISSOUS                                       | 19        |
| 3.2.6. LE FER TOTAL   | 20        |
| <br>  |           |
| <b>3.3. INCIDENCE DE LA MAREE SUR LA QUALITE<br/>DES EAUX DE FORAGE</b>   | <b>21</b> |
| 3.3.1. LA TEMPERATURE   | 21        |
| 3.3.2. LE PH  | 21        |
| 3.3.3. LES SELS NUTRITIFS   | 21        |
| <br>  |           |
| <b>CHAPITRE 4 : CONCLUSIONS</b>   | <b>23</b> |
| <br>  |           |
| <b>BIBLIOGRAPHIE</b>  | <b>24</b> |

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier pour leur coopération :

- les professionnels de l'île, notamment France Turbot ,
- les conseillers aquacoles de la Région Pays de la Loire ,
- le Service Départemental d'Hydrogéologie de la Vendée.

## AVANT-PROPOS

L'intensification des activités aquacoles, à partir de 1991, a engendré une augmentation des volumes pompés de la nappe salées de l'éocène de Noirmoutier. Pour faire face aux inquiétudes sur la disponibilité de la ressource, un pompage d'essai de longue durée a été décidé sur une grande majorité des sites d'exploitations, à l'initiative du Syndicat Mixte d'Aménagement des Marais (S.M.A.M) de Noirmoutier, du Service Départemental d'Hydrogéologie, de Recherche Aquacole (Station Aqualive) et des exploitants. L'étude a pour but d'évaluer l'incidence des volumes soutirés sur la nappe aquifère et d'étudier les variations journalières en fonction de la marée. Ce présent document traite uniquement des variables physico-chimiques, complétant les travaux du Service Départemental d'Hydrogéologie.

L'objectif final de ces programmes est d'établir une modélisation du fonctionnement hydrodynamique de la nappe, afin d'élaborer un outil de gestion, pour préserver la ressource naturelle et son environnement.

Plusieurs résultats intéressants ressortent de ce rapport, principalement sur l'influence de la marée et sur les propriétés intrinsèques des forages. Cependant il convient d'être prudent quant à la stabilité des paramètres physico-chimiques de la nappe, étant donné la courte durée d'analyses, et les contraintes survenues durant l'expérimentation. Ces résultats devront être confirmés par des analyses plus approfondies (*e. g.*, métaux traces); ce qui permettrait d'affiner les théories sur le renouvellement de l'eau souterraine, et de mettre au point un modèle prédictif sur la capacité de la ressource. Ainsi des normes pourront être formulées quant aux volumes de pompage.

## INTRODUCTION

Récemment, un observatoire de la nappe d'eau souterraine salée de Noirmoutier a été mené avec la collaboration du G.I.E. Recherche Aquacole (station Aqualive) et du Service d'Hydrogéologie Départemental de la Vendée (S.D.H.), à l'initiative du Syndicat Mixte du Développement de l'Aquaculture en Pays de la Loire (SMIDAP), afin de parfaire nos connaissances à l'égard des paramètres hydrogéologiques et physico-chimiques. Le bilan des études hydrogéologiques qui ont été menées entièrement par le S.D.H. de la Vendée, a fait l'objet de rapports réalisés par le service hydrogéologique.

Le présent document concerne les résultats de l'observation de la nappe d'eau souterraine du 10 décembre 1991 au 9 janvier 1992, afin d'évaluer la qualité physico-chimique de cette ressource.

Devant l'augmentation des volumes prélevés et les inquiétudes sur la disponibilité de la ressource, un pompage d'essai de longue durée a été décidé sur l'ensemble des sites d'exploitations afin d'établir l'incidence sur la nappe aquifère.

L'objectif de cette étude est donc d'observer la réponse de la nappe, tant du point de vue qualitatif que quantitatif, en contexte d'exploitation maximale des installations de pompage existantes.

Durant toute cette période, les principaux critères physico-chimiques ont été suivis par la station Aqualive, soit environ 200 mesures et dosages.

L'observatoire de la nappe salée de l'éocène a donc pour but d'évaluer l'évolution de plusieurs paramètres physico-chimiques et hydrogéologiques en fonction des débits soutirés, mais aussi en fonction de la marée.

D'un point de vue qualitatif, une prévision à long terme ne semble pas être sensée. Aussi nous nous contenterons d'expliquer dans la mesure du possible, les divers phénomènes observés, et d'en tirer les conclusions qui en découlent.

# CHAPITRE 1

## OBJECTIFS

— Les principaux objectifs de cet observatoire sont :

- (1) de suivre l'évolution des masses d'eau (salée, saumâtre) et des paramètres physico-chimiques de la nappe en fonction du régime d'exploitation et du cycle de marée,*
- (2) de mettre en évidence la corrélation pouvant exister entre le niveau piézométrique moyen et les volumes soutirés,*
- (3) d'établir une modélisation hydrodynamique de la nappe (coupe hydrogéologique interprétative, extension du cône d'influence...),*
- (4) de déterminer la position des différentes masses d'eau (salée, saumâtre...) au sein de l'horizon aquifère. —*

Cette étude a donc été réalisée pour répondre aux inquiétudes du moment, principalement sur la qualité de la nappe en contexte d'exploitation maximale, mais aussi sur la disponibilité de la ressource afin de préserver l'aquifère et son environnement.

Ce présent document traite principalement des facteurs physico-chimiques; la partie hydrogéologique étant assurée par la compétence du S.D.H. de la Vendée.

Volontairement nous avons repris les principales conclusions établies par ce service afin de mettre en évidence les résultats marquants dont les différents rapports font état, mais aussi pour situer notre travail dans le contexte global de l'observatoire.

## CHAPITRE 2

### METHODOLOGIE

#### 2.1. LE SUPPORT EXPERIMENTAL

##### 2.1.1. FORAGES D'EXPLOITATIONS

Sur la carte jointe (**Figure 1**) sont reportées les positions des différents forages d'exploitations pouvant être mis en service durant le pompage d'essai, soit au total 41 ouvrages opérationnels. Une liste détaillée de tous les forages par site d'exploitation est donnée en **Annexe 1** avec leur dénomination et numéro d'inventaire

##### 2.1.2. STATIONS DE PRELEVEMENTS

Selon le protocole initial, 5 forages ont fait l'objet d'un suivi détaillé à raison de 2 analyses par jours sélectionnés. Les 5 forages retenus pour les analyses sont mentionnés sur le (**Tableau 1**) et représentés géographiquement sur la (**Figure 1**).

**Tableau 1 : dénomination des différents forages sélectionnés par site d'exploitation en fonction du numéro d'inventaire.**

| Exploitant    | Dénomination | Site            | N° Inventaire |
|---------------|--------------|-----------------|---------------|
| IFREMER       | F2           | Le terrain Neuf | 506-8-2       |
| Aquano        | Baranger     | Les Retraites   | 506-8-67      |
| Aquano        | F2           | Pieuville       | 506-8-88      |
| France Turbot | F30          | Le Bon Port     | 506-8-60      |
| R.Fouasson    | F3           | Les Angibauds   | 506-7-21      |

#### 2.2. CALENDRIER DES INTERVENTIONS

Les premiers enregistrements piézométriques réalisés sur les forages 506-8-28 (IFREMER PO10) et 506-8-55 (FRANCE TURBOT 2, F25) ont permis de déterminer le retard moyen de l'incidence des marées sur ces forages.

De cette analyse il ressort un décalage entre le niveau haut et bas de la nappe par rapport à la marée; soit 30 minutes à une heure à marée haute et 2 à 3 heures à marée basse (S.D.H., 1991).

Les heures de prélèvement (Tableau 2) tiennent compte de cette cinétique, et ont été calculées à partir des horaires de marée de Saint-Nazaire, donné par l'annuaire du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine.

**Tableau 2 : Horaire des prélèvements définis sur les cinq forages.**

| JOUR   | DATE                | MAREE BASSE    | MAREE HAUTE       |
|--------|---------------------|----------------|-------------------|
| J - 2  | mardi 10 déc. 91    | 16 à 17 heure  | 7 à 8 heure       |
| J + 1  | vendredi 13 déc. 91 | 9 à 10 heure   | 17 H 30 à 18 H 30 |
| J + 4  | lundi 16 déc. 91    | 8 H 30 à 9H 30 | 13 H 30 à 14 H 30 |
| J + 7  | jeudi 19 déc. 91    | 11 à 12 heure  | 15 H 30 à 16 H 30 |
| J + 14 | jeudi 26 déc. 91    | 17 à 18 heure  | 8 H 30 à 9 H 30   |
| J + 30 | Jeudi 9 jan. 92     | 15 à 16 heure  | 19 à 20 heure     |

Durant la période d'analyse 60 prélèvements ont été réalisés sur l'ensemble des 5 points choisis. La période du 12 au 19 décembre 1991 a été choisie pour les essais de pompage intensif.

Durant cette période les marnages ont été de faibles amplitudes (coefficient de marée compris entre 43 et 73). Comme il a été précisé à diverses reprises un arrêt préalable des pompages doit être observé 36 heures avant le début de l'essai, soit le mardi 10 décembre en fin de journée (si les conditions d'exploitation le permettent).

### 2.3. METHODE D'ECHANTILLONNAGE

La méthode d'échantillonnage revête une importance fondamentale pour la précision des mesures physiques et dosages chimiques, principalement à l'égard du pH, de l'azote ammoniacal (AAT) et du fer total. En effet les eaux de forages brutes très instables, car dépourvues en oxygène dissous (riche en CO<sub>2</sub>), sont très sensibles à une variation de la teneur en gaz dissous. L'équilibre calco-carbonique (teneur en CO<sub>2</sub> dissous) s'oriente dans un sens favorisant une remontée de pH, du fait de la solubilisation rapide de l'oxygène dans l'eau au contact de l'air.

Le "pouvoir réducteur" de l'eau de forage diminue en fonction de la dissolution de l'oxygène, ce qui entraîne une oxydation rapide des ions ferreux en ions ferriques. La forme oxydée du fer (Fe<sup>3+</sup>) sédimente rapidement et se dépose sur les parois des flacons.

Certes on peut rétablir l'équilibre initial Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup> (forme dissoute du fer majoritaire) par une légère acidification tel que le suggère de nombreux auteurs, ce qui se traduit par une dissolution de la forme particulaire du fer. Mais comme le même flaconnage est aussi utilisé pour l'analyse des produits azotés, du manganèse, des phosphates et surtout du pH; ce traitement ne sera pas appliqué.

Dans les eaux souterraines, la présence de fer est dépendante du degré d'oxydation et du pH de l'eau. Aussi, toutes les analyses ont été réalisées sur de l'eau de forage brute n'ayant subi aucun traitement physique et/ou chimique, susceptible de modifier ses propriétés intrinsèques, ce qui implique un arrêt total de tout les forages de réinjection.

Si l'on veut conserver toutes les caractéristiques propre à l'eau de forage, il est indispensable :

- de ne pas enfermer d'air dans le flacon de prélèvement,
- d'éviter tout remplissage brusque,
- de réaliser des mesures rapides.

La technique de remplissage par débordement a été retenue, en utilisant un siphon de faible diamètre comme conduit. Ce dernier est introduit dans la tuyauterie de refoulement de la station de pompage, afin d'éviter toute modification de l'équilibre chimique.

En effet ce procédé assure un écoulement laminaire et évite toute dissolution d'oxygène par turbulence.

Nos différentes expérimentations ont montré qu'avec cette méthode il n'existe pas de différences significatives entre les mesures in situ, et celles réalisées au laboratoire.

## **2.4. PARAMETRES SUIVIS ET METHODES D'ANALYSE**

### **2.4.1. DEBIT D'EXHAURE**

Les débits soutirés de chaque forage sont mesurés après chaque mise en fonctionnement des stations de pompage, afin d'estimer au mieux le volume total exporté de la nappe par jour d'utilisation. La mesure peut néanmoins être effectuée au minimum une fois au cours de l'essai de pompage, à marée haute et à marée basse.

Les volumes exportés ont été pour la majorité estimés par bacs jaugés ou bacs déversoirs. Cette technique est préférable à celles basées sur les caractéristiques des pompes.

En effet, ces dernières confèrent de nombreuses incertitudes car elles sont fortement dépendantes des pertes de charges et du vieillissement du matériel; deux paramètres difficilement quantifiables.

### **2.4.2. NIVEAU PIEZOMETRIQUE DE LA NAPPE**

Le niveau piézométrique de la nappe est suivi sur douze points d'observation. Leur position respective est indiquée sur la carte jointe (**Figure 1**). Le choix stratégique de ces diverses implantations a été déterminé de façon à couvrir l'ensemble de la zone d'exploitation et sa périphérie. Cette étude est complétée par un profil de mesures traversant l'île d'Est en Ouest (du "Bon Port" au "Pont du Marais Neuf").

Les analyses sont effectuées en continu par limnigraphe (type OTTR16) sur dix piézomètres d'observations ; ponctuellement sur deux forages ne pouvant être équipés d'appareil enregistreur. Le nivellement de tous les points d'observations a permis d'établir une référence unique des cotes piézométriques (niveau moyen de l'aire d'exploitation).

Toutes ces investigations ont été assurées par le Service Départemental d'Hydrogéologie de la Vendée afin (i) d'établir une corrélation entre débits soutirés et variations physico-chimiques, (ii) de mettre au point un modèle prédictif de l'impact d'un pompage de longue durée sur la ressource aquifère (extension du cône d'influence par exemple).

### **2.4.3. NIVEAU DE L'OCEAN**

Le suivi du niveau de l'océan (fluctuations temporelles de la cote marine) a pour dessein d'affiner l'interaction qu'il existe entre l'océan et les ondulations de la nappe souterraine.

Des observations (H. PALVADEAU, com. pers.) ont révélé un débordement des premiers forages d'exploitations sur le site du terrain neuf lors des marées de vives eaux.

Les premiers enregistrements expérimentaux sur les forages 506-8-28 (IFREMER, PO10) et 506-8-55 (FRANCE TURBOT 2, F25) démontrent un retard entre la marée et le niveau de la nappe, mais ne suffisent pas à corréler les deux facteurs. Aussi une analyse plus approfondie a été suggérée et mise en application par le S.D.H. de la Vendée.

Cette donnée complémentaire nous a permis d'étudier l'impact de la marée sur les paramètres physico-chimiques, connaissant l'étroite relation liant la marée et le niveau piézométrique.

Deux marégraphes ont été mis en place dans le port de l'Herbaudière et sur l'étier des Coëfs pour réaliser cette enquête.

## 2.4.4. LES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

### 2.4.4.1. La température

La température a été suivie in situ en utilisant la sonde thermique d'un PH-METRE de terrain WTW. Cette appareil a été retenu pour sa précision et sa commodité. En mode "auto read" la mesure est très fiable puisque l'appareil effectue un lissage des données.

Par ailleurs, la dérive possible de l'appareil a été vérifiée régulièrement avec un thermomètre au mercure, précis au dixième de degré. A noter que durant toute la période nous n'avons eu aucun réglage à effectuer.

Un profil thermique vertical a été réalisé par le S.D.H. sur chaque piézomètre d'observation par un conductimètre-thermographe (TETRACOM LF 196).

### 2.4.4.2. La salinité

La salinité a été mesurée au laboratoire d'Aqualive avec un salinomètre d'océanographe (modèle KENT EIL 5005), dès réception des échantillons.

De plus, une diagraphie de conductivité a été réalisée, par le S.D.H., sur chaque piézomètre d'observation afin d'étudier la salinité en fonction de la profondeur.

### 2.4.4.3. Le pH

Toutes les mesures ont été effectuées au laboratoire avec un PH-METRE à microprocesseur intégré (modèle KNICK 763). Les mesures sur le terrain sont impossibles lors de faibles températures, l'électrode de terrain se figeant rapidement. De plus, on préfère utiliser une électrode en verre de laboratoire, beaucoup plus fiable et précise que les électrodes gélifiées. Avant toute analyse, l'appareil a été calibré avec des solutions étalons INGOLD pH 7 et pH 10.

### 2.4.4.4. L'azote ammoniacal

Le dosage de l'azote ammoniacal total prend en considération la forme dissoute (ammonium,  $\text{NH}_4^+$ ) et la forme gazeuse dissoute non dissociée (ammoniac,  $\text{NH}_3$ ). Ces deux formes sont communément regroupées sous le terme d'azote ammoniacal ( $\text{N-NH}_{3,4}$ ).

Le protocole d'analyse est basée sur la méthode de Koroleff, adaptée à l'eau de forage par la station Aqualive. Les teneurs en azote ammoniacal, mises en évidence par colorimétrie, sont mesurées par spectrophotométrie (spectronic 20 D) à 630 nm, en se référant à une droite étalon.

La précision de la mesure est vérifiée à chaque nouvelle gamme étalon par traitement statistique (coefficient de détermination de la régression linéaire).

Les réactifs ont été préparés juste avant le début de l'étude et non renouvelés durant toute la période d'analyse (temps de conservation d'environ 2 mois).

#### 2.4.4.5. Le phosphore minéral dissous

Le dosage du phosphore a été mis au point spécialement pour cette étude afin d'être utilisé comme traceur potentiel vis à vis de la nature de l'eau de forage.

Le phosphore est un élément nutritif dont les formes minérales majoritaires (orthophosphates) sont des sels de l'acide orthophosphorique. Le phosphore est donc présent principalement sous 2 formes dissoutes :

- les phosphates ( $PO_4$ ); environ 10%,
- les hydrogénophosphates ( $HPO_4$ ); environ 90%.

Dans le langage courant, on regroupe les orthophosphates sous le terme de phosphates (phosphates totaux). Les teneurs en ions phosphates sont déterminées par la méthode de Murphy et Riley, par réaction avec le molybdate d'ammonium, qui forme un complexe dont la forme réduite par l'acide ascorbique, absorbe la lumière à 885 nm et est dosée par spectrophotométrie. Les polyphosphates et le phosphore organique ne sont pas dosés par cette méthode. Les teneurs sont exprimées en  $\mu\text{mol/l}$  de phosphore minéral dissous sous forme d'orthophosphates.

Afin d'utiliser les mêmes réactifs (stables pendant quelques heures), nous avons préféré différer les analyses pour les réaliser toutes en même temps, ce qui a nécessité une congélation des échantillons.

#### 2.4.4.6. Le fer total

La méthode de dosage saisit la teneur totale en fer,  $Fe^{2+}$  ionogène et  $Fe^{3+}$ , ainsi que le  $Fe^{3+}$  colloïdal et en suspension.

Le réactif utilisé Fe-AH (produit Merck 14404) contient de la phénantroline-1,10 et un tampon thioglycolate. Le  $Fe^{3+}$  est réduit en  $Fe^{2+}$  par le tampon. Simultanément, la réaction est ajustée au pH optimal de 3,7.  $Fe^{2+}$  réagit avec la phénantroline pour donner un complexe rouge orangé dont son maximum d'absorption se situe à 510 nm. La concentration en fer total traduite en mg/l est déterminée par spectrométrie d'absorption, par rapport à une droite étalon.

## CHAPITRE 3

### RESULTATS ET DISCUSSIONS

A noter que nous n'avons pu intégrer dans nos résultats le forage de la Société Epinéline d'Aquaculture (S.E.A.) de R. Fouasson. Celle-ci a fait l'objet de modifications importantes durant la période choisie, principalement dans l'équipement de puits de réinjections, pour des considérations très justifiées de survie du cheptel. En raison de fortes teneurs en fer, le responsable de la société n'a pu se tenir au protocole retenu.

Les analyses ont été réalisées selon la périodicité suivante :

- 1 jours avant la période d'essai; le 10/12/91,
- 3 jours pendant la semaine de pompage; les 13, 16 et 19 décembre,
- 2 jours après la période; soit le 26/12/91 et 9/02/92.

Les différents paramètres étudiés durant cette période ont été :

- le phosphore minéral dissous (orthophosphates :  $P-PO_4^{3-}$ ),
- l'azote ammoniacal total ( $N-NH_{3,4}$ ),
- le fer total,
- le pH,
- la température,
- la salinité.

Le calendrier initial n'a pu être respecté dans totalité. En effet, du fait des conditions sévères du mois de décembre, la majorité des exploitations ont commencé à pomper avant la date prévue de mise en route, et il n'y a pas eu d'arrêt de pompage durant le suivi.

Ainsi durant la période d'essai, la réponse de la nappe est d'avantage liée aux pompages d'exploitation importants, plutôt qu'à un surpompage.

Les détails des périodes de pompage et des volumes prélevés des différents forages sont mentionnés sur les Figures 2 et 3.

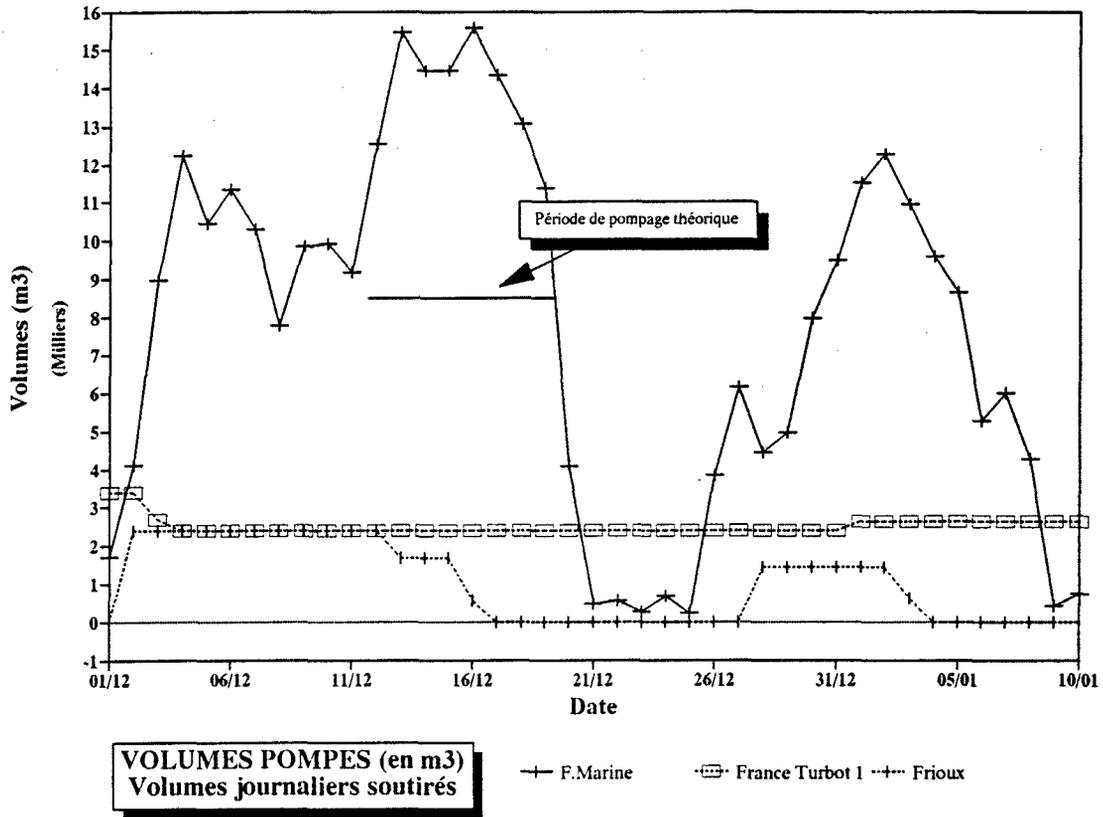


Figure 2

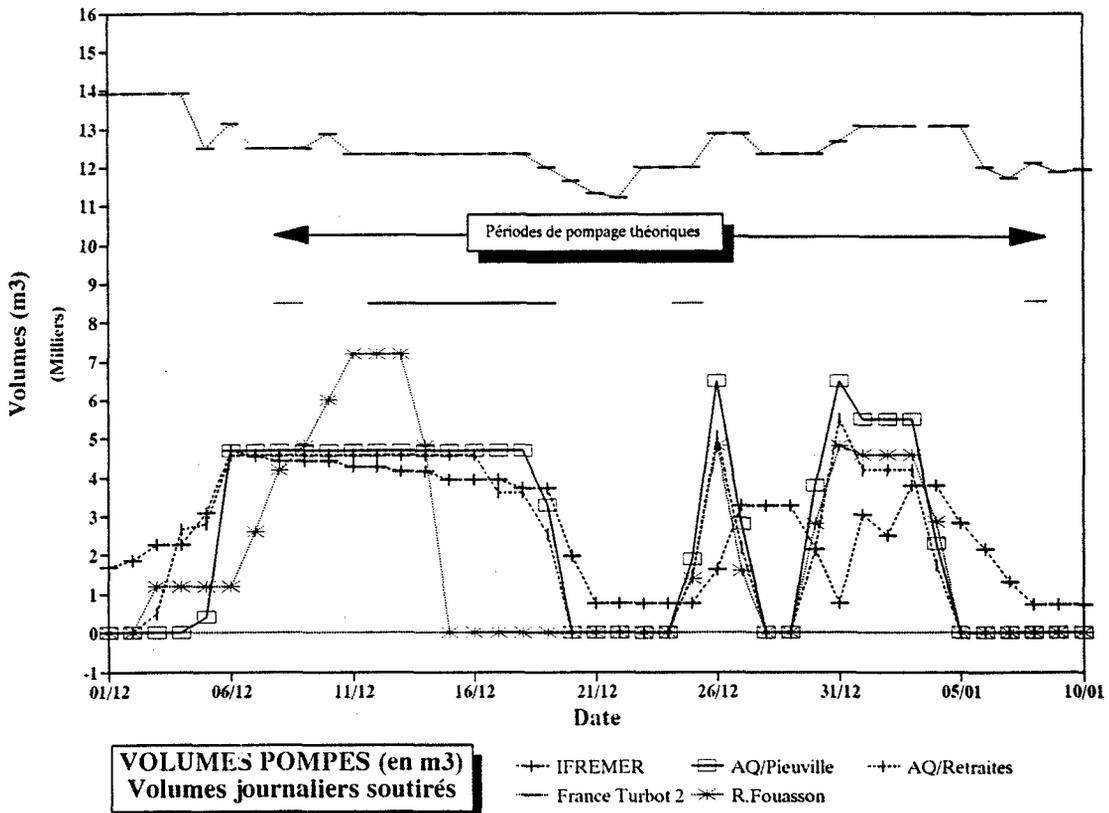


Figure 3

### 3.1. LES CRITERES HYDROGEOLOGIQUES

#### 3.1.1. NIVEAU PIEZOMETRIQUE DE L'AQUIFERE

L'intégralité des résultats sont mentionnés dans le rapport n°4 du S.D.H. de mai 1992. Notons tout de même qu'il existe une étroite corrélation entre hauteur bathymétrique de la nappe et volumes soutirés.

Les différents résultats empruntés au Service Départemental d'Hydrogéologie (Tableau 3) sont une parfaite illustration.

Tableau 3 : Niveau piézométrique moyen exprimé par rapport à la cote marine en fonction des volumes exportés par heure.

| PERIODE     | COTE MARINE (m) | DEBIT MOYEN (m <sup>3</sup> /h) |
|-------------|-----------------|---------------------------------|
| Hiver 84/85 | + 3,50 m        | 150 m <sup>3</sup> /h           |
| Hiver 90/91 | + 1,00 m        | 950 m <sup>3</sup> /h           |
| Mars 91     | + 3,00 m        | 250 m <sup>3</sup> /h           |
| Hiver 91/92 | - 0,30 m        | 2.000 m <sup>3</sup> /h         |

#### 3.1.2. EXTENSION DU CONE D'INFLUENCE

La coupe de la Figure 4 et la carte de la Figure 5 mettent en évidence l'influence du pompage de l'hiver 91/92. Ce dernier a provoqué au sein des calcaires éocènes un cône de rabattement dont l'extension a été observé bien au delà de l'aire d'exploitation; jusqu'à l'intérieur de l'île (rabattement proche de 0.3 m au lieu-dit "Saillant").

Par ailleurs cette contrainte géologique n'a pu être observée vers le Sud de façon significative.

### 3.2. EVOLUTION PHYSICO-CHIMIQUE EN FONCTION DES VOLUMES POMPES

#### 3.2.1. LA TEMPERATURE (Figure 6)

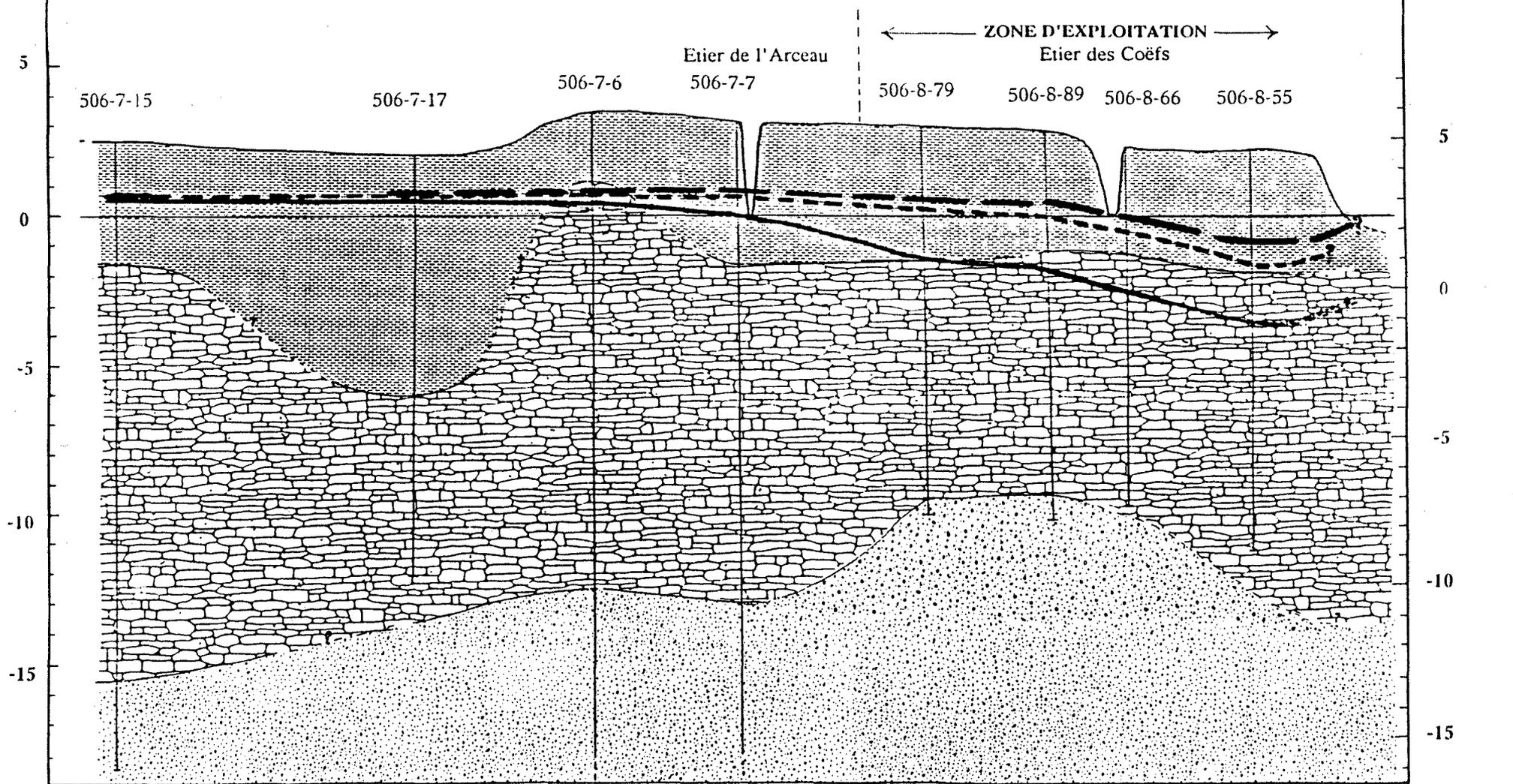
La réserve thermique de l'eau de forage est l'atout principal de l'aquaculture noirmoutrine :

- soit pour l'hivernage de bars et/ou de daurades en marais,
- soit pour l'élevage intensif en circuit thermorégulé du turbot.

W-NW

E-SE

# ILE DE NOIRMOUTIER - COUPE HYDROGEOLOGIQUE INTERPRETATIVE



## LEGENDE

Bri "Flandrien"

Calcaires et grès

Sables

} "Biarritzien"

506-7-6 Forage - Indice de classement

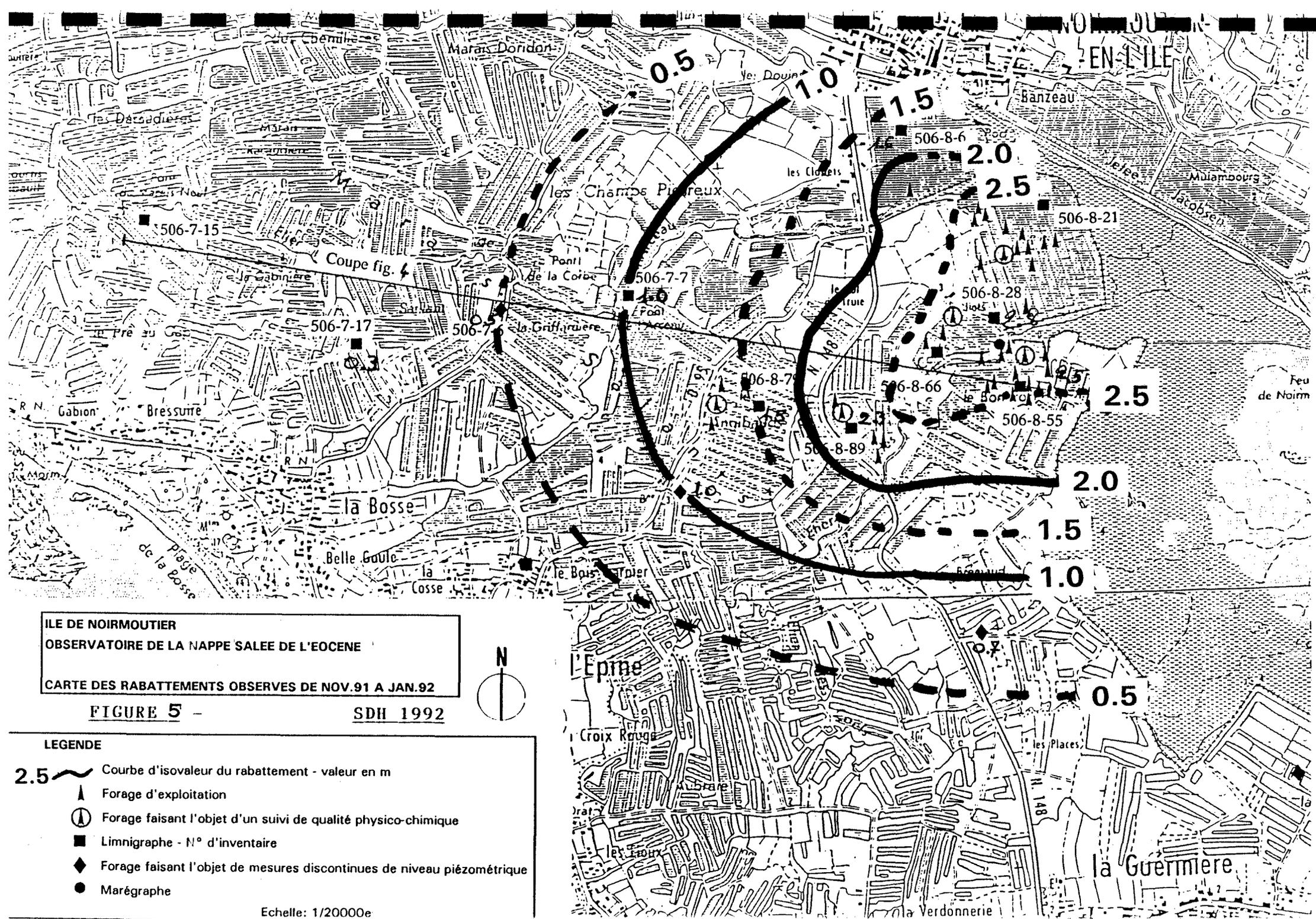
Surface piézométrique moyenne le 03/01/92

Surface piézométrique moyenne le 17/02/92

Surface piézométrique moyenne le 20/04/92

ECHELLE : 0 500 m

**FIGURE 4**



Ainsi, les calories offertes par la nappe salée souterraine sont une richesse indispensable pour la réalisation des programmes aquacoles.

Durant cette période d'analyse deux forages sur quatre ont connu une baisse sensible de la température, les deux autres ayant conservé leur stabilité thermique. Cette constatation peut s'expliquer par une pollution ponctuelle de certains forages par de l'eau superficielle froide. Le surpompage de la nappe aurait engendré un cône de dépression, provoquant par le fait même des éboulements de la couverture argileuse (formation de sourdis), aux endroits où le bris est peu épais. En effet nous avons observé de nombreux affaissements au niveau de la réserve avale de la station Aqualive jouxtant le forage F2, mettant à nu les calcaires de l'éocène. Les théories énoncées par Faissole et Roy, 1992 mettent en évidence cette notion de cône dépressionnaire.

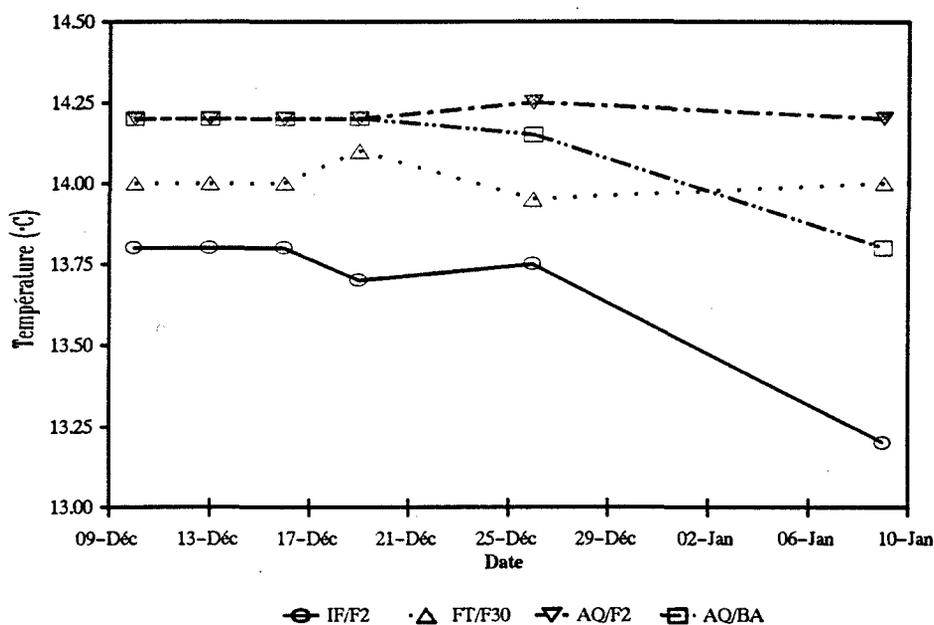


Figure 6 : Evolution de la température

L'étude du profil thermique du forage F2 de l'IFREMER (stabilité des valeurs depuis sa mise en service en 1981) montre bien que la baisse observée durant le suivi est due à un phénomène récent. Jusqu'en début juillet 91, les températures étaient comprises entre  $14,3 \text{ °C} \pm 0,1$ , malgré une augmentation des pompages, notamment au cours de l'hiver 90-91.

Actuellement le forage s'est stabilisé à  $13,5 \text{ °C}$ , soit une perte de près d'un degré par rapport à l'arrêt pompage d'août 91. En réalité nous pouvons estimer que la température n'a pas évolué de façon significative, les taux de variation des forages Aquano/F2 et France Turbot/F30 étant particulièrement faibles (inférieurs à 0,5%).

En somme nous pouvons conclure que le surpompage n'a aucune incidence sur la température, si ce n'est à l'égard de phénomènes localisés où certains forages ont été contaminés par de l'eau de surface, dont la température est nettement inférieure (5 à  $10 \text{ °C}$ ) à celle de l'eau de la nappe ( $13,5$  à  $14,5 \text{ °C}$ ).

### 3.2.2. LA SALINITE (Figure 7)

La salinité ne connaît pas de fluctuations significatives mais seulement des variations propres à chaque forage. On peut considérer que ce paramètre reste stable et que les variations observées ne peuvent être corrélées à une réponse de la nappe au régime d'exploitation.

En effet les valeurs de salinité relevées au niveau des 12 points d'observation témoignent d'un mélange entre eau salée d'origine maritime et eau douce météorique (S.D.H., 1992); principalement aux secteurs où le bri est peu épais. C'est l'exemple du forage 506-8-66 où l'infiltration d'eau douce superficielle est très nettement marquée (faible conductivité au dessus de la zone crépinée).

Néanmoins la salinité s'est accrue d'un pour mille au forage Baranger durant la période d'essai, s'accompagnant d'une baisse de température de 0,4 °C.

Cette tendance s'est confirmée ultérieurement, puisque le 30/01/92 nous avons mesuré une salinité de 31,2 pour mille, alors qu'elle était de 28,5 le 10 décembre 91. Ce phénomène a également été vérifié sur un autre forage, bien que ne faisant pas partie de l'étude : celui d'Y. Fouasson (506-8-69) proche d'Aquano/Baranger. Ce dernier a connu une augmentation de 3 pour mille en un peu plus de trois mois. De 20,8 pour mille le 10 octobre, la salinité a atteint 23,8 pour mille le 30 janvier 1992.

Ces constatations peuvent s'expliquer par des transferts d'eau superficielle de conductivité supérieure à celle des forages, bien que la chute thermique n'ait été que faiblement marquée; par une homogénéisation de la nappe en réponse au régime d'exploitation maximal sollicité durant la période d'essai.

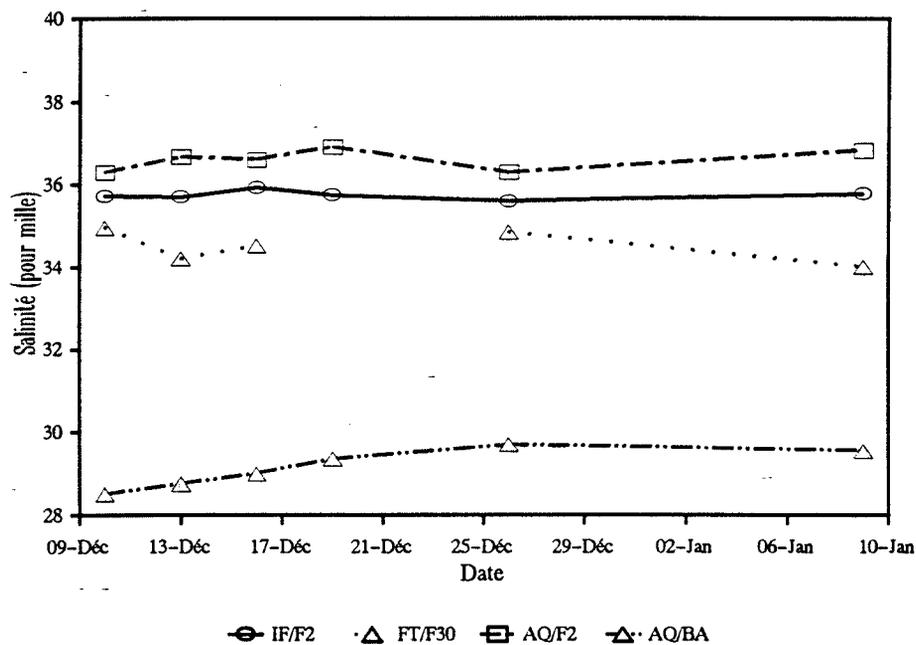


Figure 7 : Evolution de la salinité

Une observation sur le terrain a révélé un assèchement des fossés et marais avoisinants.

En ce qui concerne le forage d'IFREMER, cette variation n'a pas été vérifiée, sûrement due au fait que la salinité des eaux de surface était proche de celle du forage, l'effet de dilution n'étant que faiblement marqué.

En observant les "dispersions" par rapport aux valeurs centrales, on peut affirmer que la salinité est restée stable, le coefficient de variation (C.V.) le plus élevé étant de 1,44 %, pour le forage AQUANO/BARANGER.

### 3.2.3. LE PH (Figure 8)

Durant la première partie de l'étude (du 10 au 19 décembre), le pH évolue de façon très aléatoire, différemment selon les forages étudiés. Néanmoins, quelques éléments marquants peuvent être dégagés de cette étude. Les fluctuations, après l'arrêt pompage, ont évolué dans le même sens.

Ainsi, on peut noter une baisse de pH de tous les forages. Seulement on remarque aisément que ces variations sont peu significatives, puisqu'elles sont de quelques % par rapport aux valeurs moyennes (cf tableaux récapitulatifs des analyses en annexes).

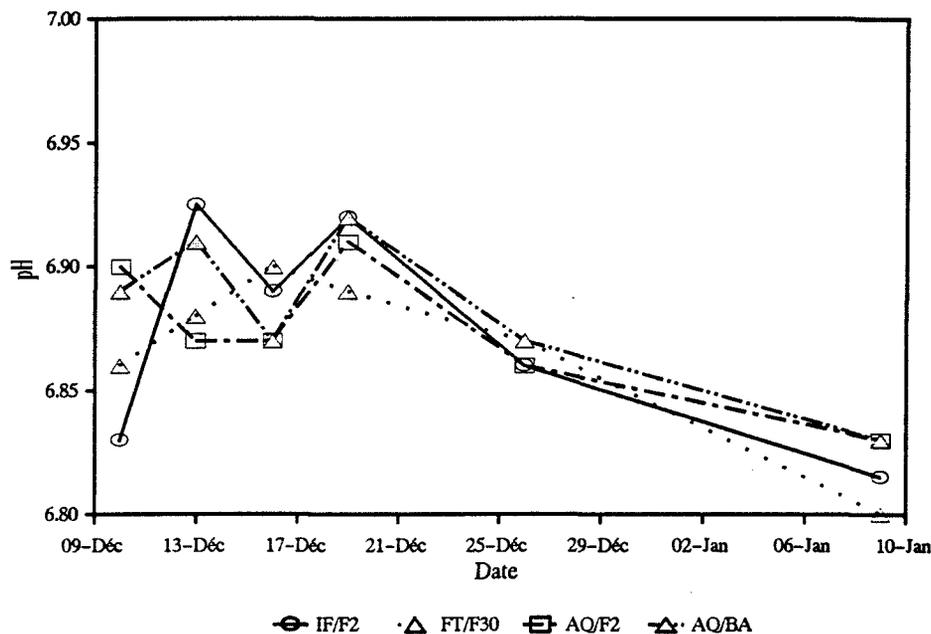


Figure 8 : Evolution du pH

En toute logique, il faudrait confirmer l'hypothèse à long terme, selon laquelle le pH de la nappe diminue après un fort pompage prolongé. Peut-on réellement assimiler cette baisse de pH à une réponse de la nappe au débit soutiré ?

Néanmoins on peut considérer que les fluctuations de pH ne sont pas notables puisqu'elles ne s'écartent pas plus d'1% par rapport aux moyennes (écarts types faibles).

Rappelons, pour mémoire, que le pH est un paramètre très instable dépendant essentiellement des équilibres chimiques et des gaz dissous (en particulier celui du cycle calco-carbonique).

Aussi, pour donner une réponse rationnelle aux fluctuations de pH, il faudrait connaître l'évolution de la teneur en  $O_2$  et en  $CO_2$  dissous, à défaut de connaître les fluctuations

### 3.2.4. L'AZOTE AMMONIACAL (Figure 9)

C'est certainement le facteur physico-chimique dont les variations sont les plus significatives. Dans un premier temps, on remarque que tous les forages ont évolué de façon similaire. En comparant la courbe de la concentration en azote ammoniacal (Figure 9) à celle du niveau piézométrique (Figure 10) on observe une diminution de la teneur en composés ammoniacaux quand le niveau de la nappe baisse. Ces variations semblent donc être corrélées aux rabattements des forages d'observations.

Aussi, on peut s'attendre à une amélioration ponctuelle de la qualité des eaux de forage en composés ammoniacaux lorsque la demande en eau est plus forte. Une telle manifestation pourrait être due à un renouvellement plus abondant par de l'eau de meilleure qualité (entrée maritime), et/ou à de nouveaux transits.

Malgré tout, nous sommes contraints de penser qu'en contexte d'exploitation "non excessive", la qualité de l'eau de forage en composés azotés ne connaîtra, à long terme aucune amélioration

significative, les teneurs oscillant autour d'une valeur centrale, en fonction de la demande en eau. Pour vérifier cette hypothèse, il faudrait réaliser des suivis sur une longue période.

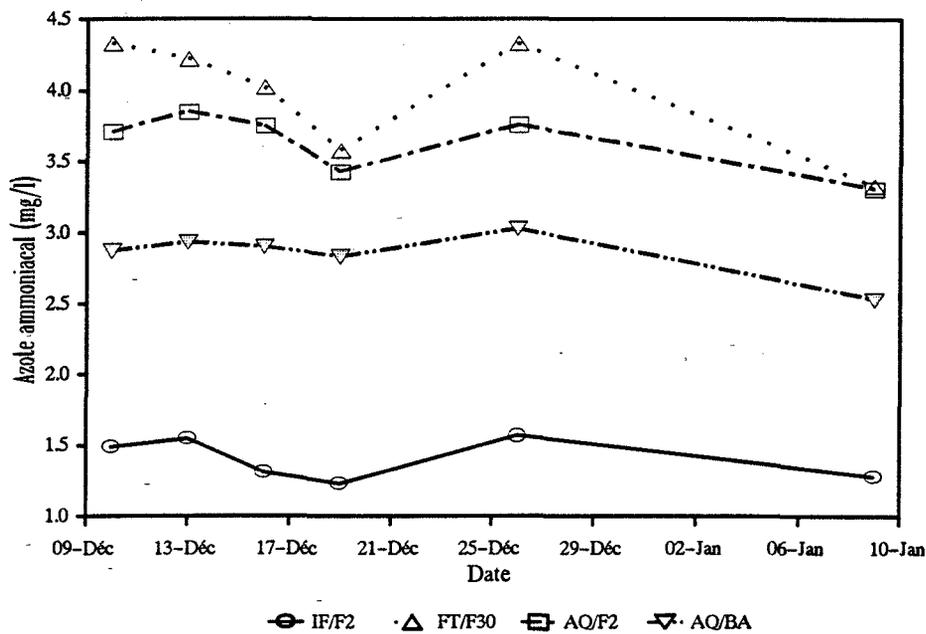


Figure 9 : Evolution de la teneur en azote ammoniacal

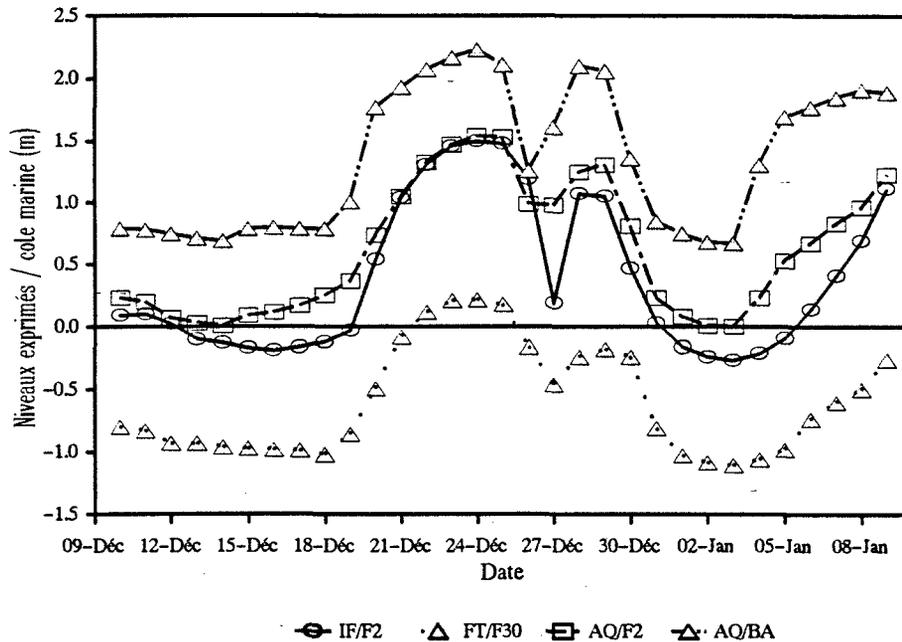


Figure 10 : Niveaux piézométriques moyens journaliers

Notons tout de même que les valeurs recueillies pour le forage de l'IFREMER sont nettement plus faibles que celles relevées depuis sa mise en service. Poquillon (1983), Ruelle (1983), Hussenot (1985) et Palvadeau (1988) ont déterminé des concentrations en azote ammoniacal oscillant entre 3 et 4 mg/l. Ceci tant à prouver que les teneurs exprimées lors de l'étude sont à corrélérer aux problèmes d'infiltrations et/ou à une homogénéisation de la nappe.

### 3.2.5. LE PHOSPHORE MINERAL DISSOUS (Figure 11)

A partir des résultats des coefficients de variations et des courbes correspondantes (Figure 11) on ne peut conclure à une influence du pompage. En effet, les fluctuations enregistrées, de 7,5 à 10,75 % par rapport aux valeurs moyennes (excepté le forage IFREMER où les évolutions ont été plus marquées, compte tenu des problèmes qui sont survenus), semblent d'avantage liées aux forages eux-mêmes.

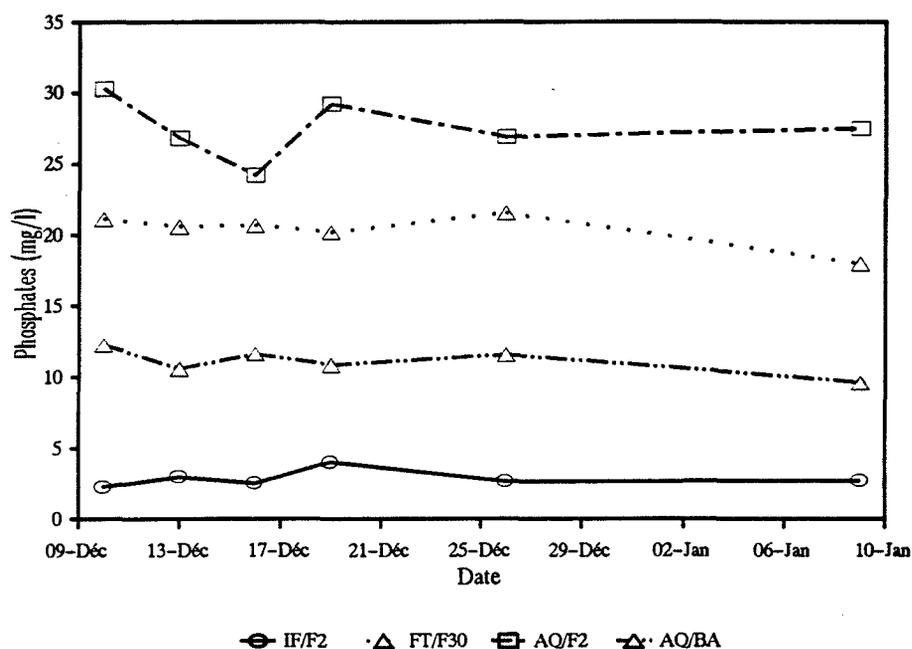


Figure 11 : Evolution du phosphore minéral dissous

Les orthophosphates sont donc présent dans les eaux de forage à des concentrations nettement plus importantes que celles rencontrées en la baie de Bourgneuf.

En milieu océanique et côtier non pollué, les concentrations en orthophosphate sont généralement assez faibles, dépassant rarement le  $\mu\text{mol/l}$ . Des teneurs très élevées, de plusieurs dizaines de  $\mu\text{mol/l}$ , sont souvent observées dans les estuaires. Dans ce cas, les fortes concentrations sont considérées comme à l'origine du phénomène d'eutrophisation (A. AMINOT in AMINOT et CHAUSSEPIED, 1983), mais aussi comme indice d'un enrichissement d'origine agricole ou domestique.

L'eau de forage ayant de très faibles teneurs particulières, la concentration en phosphate ne dépend pas de la nature et de la quantité de ces particules, en raison du peu d'influence des phénomènes d'adsorption. Citons pour mémoire, que durant les périodes printanières, estivales ou automnales, les phosphates mesurés au niveau de l'étier des Coëfs sont toujours inférieurs à  $5 \mu\text{mol/l}$  (CREOCEAN et SMAM, juin 1991).

Ainsi, il semble que les teneurs en phosphates soient liées au temps de transit de l'eau de renouvellement plutôt qu'à la nature propre de cette eau.

L'état actuel de nos connaissances ne nous permet pas d'émettre des hypothèses quant à l'origine du renouvellement, en utilisant comme traceur potentiel le phosphore minéral dissous.

En ce qui concerne le site des Angibauds, nous avons relevé des teneurs assez fortes puisqu'elles avoisinent les  $30 \mu\text{mol/l}$ .

### 3.2.6. LE FER TOTAL (Figure 12)

La première remarque importante à signaler, au vu des résultats, est la très grande hétérogénéité entre les différents forages. En effet, les valeurs moyennes s'échelonnent de 0,15 mg/l, pour le forage d'IFREMER, à 9 mg/l pour celui de la Société Epinérine d'Aquaculture. Le fer est le paramètre ayant connu les plus faibles variations. Deux forages (FT/F30 et AQ/F2) ont des coefficients de variation inférieurs à 5 %. Cette constatation n'a pu être vérifiée sur les autres sites étudiés, en raison de facteurs indépendants à la nappe aquifère, telle que l'infiltration d'eau superficielle ou l'incidence de la réinjection. Néanmoins, tout laisse à penser que ce paramètre connaîtra peu d'évolution à court terme.

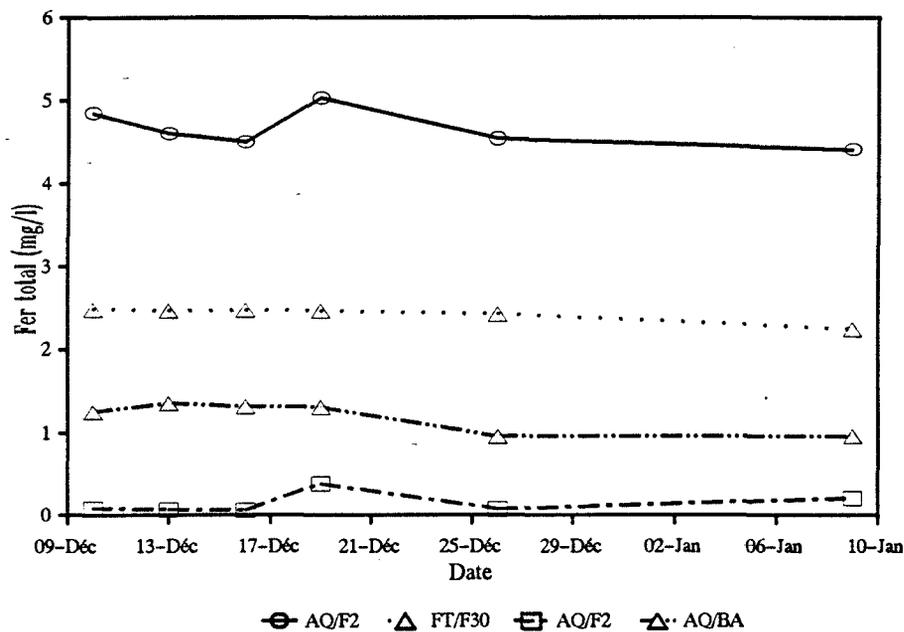


Figure 12 : Evolution de la teneur en fer

Notons tout de même que la réalisation de puits de réinjection sur l'exploitation de R. Fouasson a permis de diminuer la concentration en fer de 8,80 mg/l à 2,8 mg/l. Actuellement, les teneurs du site se sont stabilisées vers 3,5 mg/l.

Un autre phénomène marquant a été la baisse enregistrée au sein du forage AQ/BA, comme en témoignent les analyses précédentes. En effet, les 23 et 30 janvier nous avons respectivement déterminé 0,46 et 0,30 mg/l. De plus, des traces d'azote nitreux ont été décelées au sein de ce forage, comme celui d'Y. Fouasson. Ceci conforte la théorie d'une contamination de certains forages par de l'eau superficielle.

### **3.3. INCIDENCE DE LA MAREE SUR LA QUALITE DES EAUX DE FORAGE**

Pour quantifier l'influence de la marée sur les différents paramètres physico-chimiques, nous avons choisi de réaliser une analyse de variance à 2 facteurs (analyse de variance balancée, modèle croisé aléatoire) afin de déterminer l'action significative ou non de deux facteurs aléatoires, que sont la marée (facteur 1) et les forages (facteur 2). La puissance de ce test permet de définir une action de l'un des deux facteurs, des deux et/ou de l'interaction des deux facteurs sur la variable. En ce qui nous concerne, seule l'action du premier facteur pourra conduire à une influence de la marée (différence entre marée haute et marée basse) sur la variable considérée, étant donné que cette action sera indépendante. Une action significative des forages sur la variable sera synonyme d'une forte hétérogénéité des forages (ce qui devrait être en toute logique prévisible au vu des résultats). Notons, que les résultats issus du tableau d'analyse (Tableau 4) de la variance sont définis par l'intermédiaire de la table de Fisher (la distribution étant considérée comme normale).

#### **3.3.1. LA TEMPERATURE**

A partir du tableau d'analyse de la variance (Tableau 4), nous voyons que seule l'action des forages est significative (hautement significative au risque de 99,5 %). Par ailleurs, nous ne notons aucune influence de la marée sur la température, ni d'interaction entre les 2 facteurs. L'exploitation des diagraphies de température et de conductivité du S.D.H. ne mettent en évidence aucune action notable de la marée.

#### **3.3.2. LE PH**

Les tests F du tableau d'analyse de la variance ne décèlent aucune action significative des deux facteurs et aucune interaction. En somme, les variations de pH journalières ne semblent pas liées à l'influence de la marée et on ne remarque pas de différence entre les puits d'extraction.

#### **3.3.3. LES SELS NUTRITIFS**

Seule l'action du facteur forage est hautement significative sur les différentes variables. La forte dispersion du facteur B met en évidence la forte hétérogénéité entre les forages, principalement à l'égard de la variable fer (test F du facteur B considérable). Ceci tend à prouver que les concentrations en fer total de la nappe aquifère sont bien un phénomène très localisé. Les différences entre les forages sont très importantes, donc ne permettent pas de mettre en évidence une quelconque action de la marée.

**Tableau 4 : Tableaux des analyses de la variance.**

**TEMPERATURE**

| Source de Variation |         | Dispersion | D.D.L | Variances | TEST F       |
|---------------------|---------|------------|-------|-----------|--------------|
| Facteur A           | Marée   | 0.010208   | 1     | 0.0102208 | 2,491525 N.S |
| Facteur B           | Forages | 1.935625   | 3     | 0.645208  | 157.47 **    |
| Interaction AB      |         | 0.012292   | 2     | 0.006146  | 0.18380 N.S  |
| Résidu              |         | 0.891667   | 39    | 0.022863  |              |

**pH**

| Source de Variation |         | Dispersion | D.D.L | Variances | TEST F       |
|---------------------|---------|------------|-------|-----------|--------------|
| Facteur A           | Marée   | 0.009302   | 1     | 0.009302  | 9,218 N.S    |
| Facteur B           | Forages | 0.001647   | 3     | 0.000549  | 0,0546 N.S   |
| Interaction AB      |         | 0.003028   | 3     | 0.001009  | 0,346495 N.S |
| Résidu              |         | 0.0932     | 32    | 0.002912  |              |

**Azote ammoniacal**

| Source de Variation |         | Dispersion | D.D.L | Variances | TEST F     |
|---------------------|---------|------------|-------|-----------|------------|
| Facteur A           | Marée   | 0.0574     | 1     | 0.057408  | 1,507 N.S  |
| Facteur B           | Forages | 46.64      | 3     | 15.548    | 408 **     |
| Interaction AB      |         | 0.076      | 2     | 0.038087  | 0,4469 N.S |
| Résidu              |         | 3.3235     | 39    | 0.08521   |            |

**Fer total**

| Source de Variation |         | Dispersion | D.D.L | Variances | TEST F     |
|---------------------|---------|------------|-------|-----------|------------|
| Facteur A           | Marée   | 0.0522     | 1     | 0.052206  | 1,54 N.S   |
| Facteur B           | Forages | 135.227    | 3     | 45.0756   | 1330,2 **  |
| Interaction AB      |         | 0.06777    | 2     | 0.03388   | 0,9748 N.S |
| Résidu              |         | 1.3557     | 39    | 0.034762  |            |

**Phosphore minéral dossous**

| Source de Variation |         | Dispersion | D.D.L | Variances | TEST F     |
|---------------------|---------|------------|-------|-----------|------------|
| Facteur A           | Marée   | 0.4351     | 1     | 0.4351    | 0,1918 N.S |
| Facteur B           | Forages | 4183.28    | 3     | 1394.427  | 614,815 ** |
| Interaction AB      |         | 2.268      | 1     | 2.26804   | 0,859 N.S  |
| Résidu              |         | 100.0597   | 38    | 2.63      |            |

## CHAPITRE 4

### CONCLUSIONS

L'analyse de variance à deux facteurs n'a mis en évidence aucune action significative de la marée sur les fluctuations journalières des différents paramètres physico-chimiques.

Dans la limite de cette étude nous n'avons pu observer de dispersions significatives des variables physico-chimiques sur une période de pompage de gros débit.

Il serait hâtif de conclure à une stabilité indéfinie de la nappe; seul un suivi prolongé pourrait nous permettre de conclure à plus longue échéance.

On a vu que pour certains paramètres (le fer notamment), il existe de très grandes différences de concentrations d'un forage à un autre.

Actuellement, il est difficile de prévoir le sens de ces fluctuations. Il est donc nécessaire qu'une analyse de l'eau d'un forage soit réalisée avant la mise en route de celui-ci; d'autant plus que d'autres facteurs peuvent faire l'objet de ces mêmes conclusions.

Concernant la véritable influence d'un surpompage sur les propriétés intrinsèques de la nappe, notamment vis à vis de l'azote ammoniacal, il faut établir un plan d'expérience, dans lequel les forts pompages se distingueraient véritablement des périodes d'arrêt.

Cette nouvelle campagne est d'autant plus souhaitable, que les travaux survenus au printemps 92 sur le site d'Aqualive entre autres, devraient rétablir les propriétés du forage. En effet on estime que le forage a été souillé par des eaux superficielles.

De cette première approche, il convient donc d'être particulièrement prudent quand à d'éventuelles infiltrations d'eau polluées superficielles, aux endroits où la couverture argileuse est peu épaisse, voir inexistante. De toute manière il est impératif de combler les secteurs où le calcaire de l'éocène a été mis à nu.

Dans un souci de protection de l'environnement et de la ressource naturelle peut être faut-il envisager une limitation de l'expansion aquacole sur l'aire d'exploitation par des implantations en retraits des entreprises existantes (vers le Sud par exemple).

Dans tout les cas la finalité de cet observatoire doit être d'optimiser l'outil de gestion en proposant un débit maximal d'exploitation, sachant que pour le moment on ne peut prédire à long terme les caractéristiques physico-chimique de la nappe.

Par ailleurs si l'on veut approfondir la thématique "Origine de l'eau souterraine", nous serons contraints d'analyser divers éléments traces (e. g., manganèse), bien que le S.D.H. ait progressé dans ce sens en identifiant les origines des différentes masses d'eau au sein de l'horizon aquifère.

## BIBLIOGRAPHIE

AMINOT A. et CHAUSSEPIED C., 1983.

Manuel des analyses chimiques en milieu marin, p 135-142.

CREOCEAN et SMAM, juin 1991.

Etude hydrobiologique des étiers de Noirmoutier, 72 p.

HUSSENOT J., 1985, in Aquaculture en milieu de marais.

Les nappes salées souterraines des marais de l'atlantique et leurs utilisations aquacoles. Colloques aquaculture en milieu de marais, 7-8 novembre 1985, 16 p.

PALVADEAU H., 1988.

Traiter l'eau souterraine, une chance pour l'aquaculture : étude de la nitrification en filtre biologique. Rapport de stage CREUFOP/IFREMER-ANVAR, 26 p.

POQUILLON P., 1983.

Aquaculture en eau salée souterraine : traitement de l'eau et élevage hivernal du turbot (*Scophthalmus maximus*) et de la truite arc-en-ciel (*Salmo gairdneri*). Rapport de stage ENSA Rennes, 78 p + annexes.

RUELLE F., 1983.

Aquaculture en eau salée souterraine : le dégazage; son intégration dans une chaîne de traitement Rapport de stage INTECHMER Cherbourg, 59 p.

Service Départemental d'Hydrogéologie (S.D.H.), 1991.

Ile de Noirmoutier; observatoire de la nappe salée de l'éocène : programme d'étude; résultats au 15 aout 1991. Rapport S.D.H., 25 p.

Service Départemental d'Hydrogéologie (S.D.H.), 1991.

Ile de Noirmoutier; observatoire de la nappe salée de l'éocène : protocole du pompage d'essai du 12 au 19 décembre 1991. Rapport S.D.H., 7 p.

FAISSOLE F. et ROY C., 1992.

Ile de Noirmoutier; observatoire de la nappe salée de l'éocène : rapport n°4; résultats au 15 mai 1992. Rapport S.D.H. 20 p.

FAISSOLE F., 1992.

Ile de Noirmoutier; observatoire de la nappe salée de l'éocène : rapport n°5; diagraphie de température et de salinité, résultats des campagnes de mesures de décembre 1991 et juin 1992. Rapport S.D.H. 27 p + annexes.

**ANNEXES**

**Annexe 1 : Liste des différents forages par exploitant en fonction de leur dénomination et de leur indice national.**

| <b>SITE</b>   | <b>EXPLOITANT</b> | <b>Dénomination</b> | <b>Indice National</b> | <b>Usage</b> |
|---------------|-------------------|---------------------|------------------------|--------------|
| Terrain Neuf  | IFREMER           | F2                  | 506-8-2                | Pompage      |
| Terrain Neuf  | IFREMER           | F4                  | 506-8-10               | Pompage      |
| Terrain Neuf  | IFREMER           | F5                  | 506-8-78               | Pompage      |
| Terrain Neuf  | IFREMER           | F6                  | 506-8-79               | Pompage      |
| Terrain Neuf  | IFREMER           | FA2                 | 506-8-8                | Injection    |
| Terrain Neuf  | IFREMER           | FA3                 | 506-8-9                | Injection    |
| Terrain Neuf  | Ferme Marine      | FE                  | 506-8-13               | Pompage      |
| Terrain Neuf  | Ferme Marine      | PO4                 | 506-8-22               | Pompage      |
| Terrain Neuf  | Ferme Marine      | P12                 | 506-8-16               | Injection    |
| Terrain Neuf  | Ferme Marine      | P13                 | 506-8-17               | Injection    |
| Terrain Neuf  | France Turbot 1   | F1                  | 506-8-71               | Pompage      |
| Terrain Neuf  | France Turbot 1   | F2                  | 506-8-72               | Pompage      |
| Terrain Neuf  | France Turbot 1   | F3                  | 506-8-73               | Pompage      |
| Terrain Neuf  | France Turbot 1   | I1                  | 506-8-74               | Injection    |
| Terrain Neuf  | France Turbot 1   | I2                  | 506-8-75               | Injection    |
| Terrain Neuf  | France Turbot 1   | I3                  | 506-8-76               | Injection    |
| Terrain Neuf  | France Turbot 1   | I4                  | 506-8-77               | Injection    |
| Le Boucaud    | FRIOUX            | ?                   | 506-8-70               | Pompage      |
| Les Retraites | BRECHET           | ?                   | 506-8-66               | Pompage      |
| Les Retraites | BARANGER          | ?                   | 506-8-67               | Pompage      |
| Les Retraites | PALVADEAU         | ?                   | 506-8-68               | Pompage      |
| Les Retraites | FOUASSON          | ?                   | 506-8-69               | Pompage      |
| Le Bon Port   | France Turbot 2   | F1                  | 506-8-32               | Injection    |
| Le Bon Port   | France Turbot 2   | F2                  | 506-8-33               | Pompage      |
| Le Bon Port   | France Turbot 2   | F3                  | 506-8-34               | Injection    |
| Le Bon Port   | France Turbot 2   | F4                  | 506-8-35               | Pompage      |
| Le Bon Port   | France Turbot 2   | F5                  | 506-8-36               | Injection    |
| Le Bon Port   | France Turbot 2   | F6                  | 506-8-37               | Pompage      |
| Le Bon Port   | France Turbot 2   | F7                  | 506-8-38               | Pompage      |
| Le Bon Port   | France Turbot 2   | F8                  | 506-8-39               | Injection    |
| Le Bon Port   | France Turbot 2   | F9                  | 506-8-40               | Pompage      |
| Le Bon Port   | France Turbot 2   | F10                 | 506-8-41               | Pompage      |
| Le Bon Port   | France Turbot 2   | F11                 | 506-8-42               | Injection    |
| Le Bon Port   | France Turbot 2   | F12                 | 506-8-43               | Pompage      |
| Le Bon Port   | France Turbot 2   | F13                 | 506-8-44               | Injection    |
| Le Bon Port   | France Turbot 2   | F14                 | 506-8-45               | Injection    |
| Le Bon Port   | France Turbot 2   | F15                 | 506-8-46               | Injection    |
| Le Bon Port   | France Turbot 2   | F16                 | 506-8-47               | Injection    |
| Le Bon Port   | France Turbot 2   | F17                 | 506-8-48               | Pompage      |
| Le Bon Port   | France Turbot 2   | F18                 | 506-8-49               | Pompage      |
| Le Bon Port   | France Turbot 2   | F19                 | 506-8-50               | Injection    |
| Le Bon Port   | France Turbot 2   | F20                 | 506-8-51               | Injection    |
| Le Bon Port   | France Turbot 2   | F21                 | 506-8-52               | Pompage      |
| Le Bon Port   | France Turbot 2   | F22                 | 506-8-53               | Injection    |
| Le Bon Port   | France Turbot 2   | F23                 | 506-8-54               | Injection    |
| Le Bon Port   | France Turbot 2   | F24                 | 506-8-55               | Piézomètre   |
| Le Bon Port   | France Turbot 2   | F25                 | 506-8-56               | Pompage      |
| Le Bon Port   | France Turbot 2   | F26                 | 506-8-57               | Injection    |
| Le Bon Port   | France Turbot 2   | F27                 | 506-8-58               | Injection    |
| Le Bon Port   | France Turbot 2   | F28                 | 506-8-59               | Injection    |
| Le Bon Port   | France Turbot 2   | F29                 | 506-8-60               | Pompage      |

| SITE                | EXPLOITANT      | Dénomination | Indice National | Usage        |
|---------------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|
| Le Bon Port         | France Turbot 2 | F30          | 506-8-61        | Non exploité |
| Le Bon Port         | France Turbot 2 | F31          | 506-8-62        | Injection    |
| Le Bon Port         | France Turbot 2 | F32          | 506-8-63        | Non exploité |
| Le Bon Port         | France Turbot 2 | F33          | 506-8-64        | Non exploité |
| Le Bon Port         | France Turbot 2 | F34          | 506-8-65        | Pompage      |
| Pieuville           | Aquano          | F1           | 506-8-87        | Pompage      |
| Pieuville           | Aquano          | F2           | 506-8-88        | Pompage      |
| Pieuville           | Aquano          | F3           | 506-8-89        | Piézomètre   |
| Pieuville           | Aquano          | F4           | 506-8-90        | Pompage      |
| Pieuville           | Aquano          | F5           | 506-8-91        | Pompage      |
| Pieuville           | Aquano          | F6           | 506-8-92        | Pompage      |
| Les Angibauds       | SEA             | F1           | 506-8-79        | Piézomètre   |
| Les Angibauds       | SEA             | F2           | 506-7-20        | Pompage      |
| Les Angibauds       | SEA             | F3           | 506-7-21        | Pompage      |
| Les Angibauds       | SEA             | F4           | 506-7-22        | Pompage      |
| Les Angibauds       | SEA             | ?            | ?               | Injection    |
| Les Angibauds       | SEA             | ?            | ?               | Injection    |
| Les Angibauds       | SEA             | ?            | ?               | Injection    |
| Saillant            |                 | ?            | 506-7-17        | Piézomètre   |
| Stade de l'Epine    |                 | ?            | 506-7-8         | Piézomètre   |
| Pont de l'Arceau    |                 | ?            | 506-7-7         | Piézomètre   |
| Pont de la Corbe    |                 | ?            | 506-7-7         | Piézomètre   |
| Pont du Marais Meuf |                 | ?            | 506-7-15        | Piézomètre   |
| Brémaud             |                 | ?            | 533-4-11        | Piézomètre   |

Annexe 2 : tableaux récapitulatifs des analyses

IFREMER F2

| Date           | Heure | pH    | Salinité | Temp. (°C) | NH3-4 (mg/l) | Fer (mg/l) | PO4 (µmol/l) |
|----------------|-------|-------|----------|------------|--------------|------------|--------------|
| 10/12/91       | 07:30 | 6.8   | 35.65    | 13.7       | 1.52         | 0.096      | 2.33         |
| 10/12/91       | 16:30 | 6.86  | 35.8     | 13.9       | 1.47         | 0.066      | 2.23         |
| 13/12/91       | 09:30 | 7     | 35.25    | 13.8       | 1.52         | 0.061      | 3.13         |
| 13/12/91       | 18:00 | 6.85  | 36.15    | 13.8       | 1.59         | 0.08       | 2.83         |
| 16/12/91       | 09:00 | 6.86  | 35.7     | 13.8       | 1.1          | 0.1        | 2.43         |
| 16/12/91       | 14:00 | 6.92  | 35.75    | 13.8       | 1.53         | 0.02       | 2.68         |
| 19/12/91       | 11:30 | 6.87  |          | 13.7       | 1.23         | 0.3        | 3.33         |
| 19/12/91       | 16:00 | 6.98  | 35.6     | 13.7       | 1.24         | 0.47       | 4.71         |
| 26/12/91       | 09:00 | 6.86  | 35.6     | 13.6       | 1.57         | 0.1        | 2.68         |
| 26/12/91       | 17:30 |       | 35.8     | 13.9       | 1.57         | 0.05       |              |
| 09/01/92       | 15:30 | 6.8   | 35.75    | 13.2       | 1.41         | 0.22       | 2.63         |
| 09/01/92       | 19:30 | 6.83  | 35.7     | 13.2       | 1.16         | 0.2        | 2.53         |
| Moyennes       |       | 6.88  | 35.71    | 13.67      | 1.4          | 0.15       | 2.94         |
| Ecart Types    |       | 0.066 | 0.21     | 0.24       | 0.18         | 0.13       | 0.68         |
| Coef. Var. (%) |       | 0.93  | 0.625    | 1.82       | 13.03        | 89.52      | 23.57        |

AQUANO F2

| Date           | Heure | pH    | Salinité | Temp. (°C) | NH3-4 (mg/l) | Fer (mg/l) | PO4 (µmol/l) |
|----------------|-------|-------|----------|------------|--------------|------------|--------------|
| 10/12/91       | 07:30 | 6.85  | 36.1     | 14.2       | 3.96         | 5.17       | 31.34        |
| 10/12/91       | 16:30 | 6.96  | 36.5     | 14.2       | 3.46         | 4.53       | 29.19        |
| 13/12/91       | 09:30 | 6.95  | 36.2     | 14.2       | 3.8          | 4.6        | 27.5         |
| 13/12/91       | 18:00 | 6.8   | 37.15    | 14.2       | 3.9          | 4.6        | 26.12        |
| 16/12/91       | 09:00 | 6.87  | 36.6     | 14.2       | 3.64         | 4.44       | 23.83        |
| 16/12/91       | 14:00 | 6.87  | 36.6     | 14.2       | 3.86         | 4.56       | 24.53        |
| 19/12/91       | 11:30 | 6.89  |          | 14.2       | 3.49         | 5          | 29.79        |
| 19/12/91       | 16:00 | 6.93  | 36.9     | 14.2       | 3.38         | 5.06       | 28.6         |
| 26/12/91       | 09:00 | 6.86  | 36.3     | 14.2       | 3.75         | 4.68       | 25.22        |
| 26/12/91       | 17:30 |       | 36.3     | 14.3       | 3.78         | 4.4        | 28.5         |
| 09/01/92       | 15:30 | 6.82  | 36.75    | 14.2       | 3.56         | 4.38       | 26.91        |
| 09/01/92       | 19:30 | 6.84  | 36.9     | 14.2       | 3.06         | 4.44       | 28           |
| Moyennes       |       | 6.88  | 36.62    | 14.2       | 3.61         | 4.61       | 27.11        |
| Ecart Types    |       | 0.052 | 0.33     | 0.029      | 0.26         | 0.27       | 2.24         |
| Coef. Var. (%) |       | 0.78  | 0.84     | 0.21       | 6.94         | 4.96       | 7.25         |

FRANCE TURBOT F30

| Date           | Heure | pH    | Salinité | Temp. (°C) | NH3-4 (mg/l) | Fer (mg/l) | PO4 (µmol/l) |
|----------------|-------|-------|----------|------------|--------------|------------|--------------|
| 10/12/91       | 07:30 | 6.87  | 35.15    | 14         | 4.52         | 2.45       | 20.75        |
| 10/12/91       | 16:30 | 6.86  | 34.8     | 14         | 4.14         | 2.51       | 21.45        |
| 13/12/91       | 09:30 | 6.89  | 34.2     | 14         | 4.22         | 2.46       |              |
| 13/12/91       | 18:00 | 6.88  |          |            |              |            | 20.55        |
| 16/12/91       | 09:00 | 6.91  | 34.5     | 14         | 3.8          | 2.45       | 21.45        |
| 16/12/91       | 14:00 | 6.9   | 34.55    | 14         | 4.24         | 2.49       | 19.86        |
| 19/12/91       | 11:30 | 6.87  |          | 14.1       | 3.39         | 2.48       | 18.97        |
| 19/12/91       | 16:00 | 6.91  |          | 14.1       | 3.78         | 2.45       | 21.34        |
| 26/12/91       | 09:00 | 6.87  | 34.6     | 13.9       | 4.34         | 2.46       | 20.46        |
| 26/12/91       | 17:30 |       | 35.1     | 14         | 4.32         | 2.39       | 22.54        |
| 09/01/92       | 15:30 | 6.8   | 34       | 14         | 3.56         | 2.24       | 19.06        |
| 09/01/92       | 19:30 | 6.81  |          | 14         | 3.11         | 2.24       | 16.88        |
| Moyennes       |       | 6.87  | 34.54    | 14.01      | 3.89         | 2.42       | 20.26        |
| Ecart Types    |       | 0.036 | 0.4      | 0.054      | 0.45         | 0.094      | 1.56         |
| Coef. Var. (%) |       | 0.56  | 1.05     | 0.4        | 11.07        | 4.07       | 8.06         |

AQUANO/BARANGER

| Date           | Heure | pH    | Salinité | Temp. (°C) | NH3-4 (mg/l) | Fer (mg/l) | PO4 (µmol/l) |
|----------------|-------|-------|----------|------------|--------------|------------|--------------|
| 10/12/91       | 07:30 | 6.88  | 28.5     | 14.2       | 2.94         | 1.23       | 12.01        |
| 10/12/91       | 16:30 | 6.91  | 28.5     | 14.2       | 2.81         | 1.28       | 12.56        |
| 13/12/91       | 09:30 | 6.98  | 28.5     | 14.2       | 2.91         | 1.36       | 11.96        |
| 13/12/91       | 18:00 | 6.85  | 29       | 14.2       | 2.96         | 1.35       | 9.18         |
| 16/12/91       | 09:00 | 6.88  | 29       | 14.2       | 2.8          | 1.31       | 11.91        |
| 16/12/91       | 14:00 | 6.87  | 29       | 14.2       | 3.01         | 1.31       | 11.32        |
| 19/12/91       | 11:30 | 6.89  | 29.5     | 14.2       | 2.9          | 1.33       | 9.88         |
| 19/12/91       | 16:00 | 6.96  | 29.2     | 14.2       | 2.77         | 1.28       | 11.82        |
| 26/12/91       | 09:00 | 6.87  | 28.7     | 14.1       | 3.01         | 0.96       | 11.57        |
| 26/12/91       | 17:30 |       | 29.5     | 14.2       | 3.06         | 0.94       | 11.56        |
| 09/01/92       | 15:30 | 6.83  | 29.3     | 13.8       | 2.65         | 0.82       | 9.73         |
| 09/01/92       | 19:30 | 6.83  | 29.8     | 13.8       | 2.41         | 1.1        | 9.48         |
| Moyennes       |       | 6.89  | 29.09    | 14.12      | 2.85         | 1.18       | 11           |
| Ecart Types    |       | 0.048 | 0.435    | 0.154      | 0.182        | 0.186      | 1.17         |
| Coef. Var. (%) |       | 0.73  | 1.46     | 1.13       | 6.65         | 16.43      | 10.79        |

Annexe 3 : Tableaux récapitulatifs des analyses moyennes (par jour d'analyse)

IFREMER/F2

| Date     | pH    | Sal.(mg/l) | Temp.(°C) | NH3,4 (mg/l) | Fer (mg/l) | PO4 (µmol/l) |
|----------|-------|------------|-----------|--------------|------------|--------------|
| 10/12/91 | 6.83  | 35.7       | 13.8      | 1.49         | 0.081      | 2.28         |
| 13/12/91 | 6.92  | 35.7       | 13.8      | 1.55         | 0.07       | 2.98         |
| 16/12/91 | 6.89  | 35.9       | 13.8      | 1.31         | 0.06       | 2.53         |
| 19/12/91 | 6.92  | 35.8       | 13.7      | 1.23         | 0.38       | 4.02         |
| 26/12/91 | 6.86  | 35.6       | 13.75     | 1.57         | 0.075      | 2.68         |
| 09/01/92 | 6.815 | 35.8       | 13.2      | 1.28         | 0.21       | 2.73         |
| Moyennes | 6.87  | 35.75      | 13.68     | 1.41         | 0.15       | 2.87         |

AQUANO/BARANGER

| Date     | pH   | Sal.(mg/l) | Temp.(°C) | NH3,4 (mg/l) | Fer (mg/l) | PO4 (µmol/l) |
|----------|------|------------|-----------|--------------|------------|--------------|
| 10/12/91 | 6.89 | 28.5       | 14.2      | 2.87         | 1.25       | 12.26        |
| 13/12/91 | 6.91 | 28.75      | 14.2      | 2.93         | 1.35       | 10.58        |
| 16/12/91 | 6.87 | 29         | 14.2      | 2.9          | 1.31       | 11.62        |
| 19/12/91 | 6.92 | 29.35      | 14.2      | 2.83         | 1.3        | 10.82        |
| 26/12/91 | 6.87 | 29.7       | 14.15     | 3.03         | 0.95       | 11.57        |
| 09/01/92 | 6.83 | 29.55      | 13.8      | 2.53         | 0.96       | 9.58         |
| Moyennes | 6.88 | 29.14      | 14.13     | 2.85         | 1.19       | 11.07        |

AQUANO/F2

| Date     | pH   | Sal.(mg/l) | Temp.(°C) | NH3,4 (mg/l) | Fer (mg/l) | PO4 (µmol/l) |
|----------|------|------------|-----------|--------------|------------|--------------|
| 10/12/91 | 6.9  | 36.3       | 14.2      | 3.71         | 4.85       | 30.29        |
| 13/12/91 | 6.87 | 36.67      | 14.2      | 3.85         | 4.6        | 26.81        |
| 16/12/91 | 6.87 | 36.6       | 14.2      | 3.75         | 4.5        | 24.18        |
| 19/12/91 | 6.91 | 36.9       | 14.2      | 3.43         | 5.03       | 29.19        |
| 26/12/91 | 6.86 | 36.3       | 14.25     | 3.76         | 4.54       | 26.86        |
| 09/01/92 | 6.83 | 36.82      | 14.2      | 3.31         | 4.41       | 27.46        |
| Moyennes | 6.87 | 36.60      | 14.21     | 3.64         | 4.66       | 27.47        |

FRANCE TURBOT/F30

| Date     | pH   | Sal.(mg/l) | Temp.(°C) | NH3,4 (mg/l) | Fer (mg/l) | PO4 (µmol/l) |
|----------|------|------------|-----------|--------------|------------|--------------|
| 10/12/91 | 6.86 | 34.97      | 14        | 4.33         | 2.48       | 21.1         |
| 13/12/91 | 6.88 | 34.2       | 14        | 4.22         | 2.46       | 20.56        |
| 16/12/91 | 6.9  | 34.52      | 14        | 4.02         | 2.47       | 20.65        |
| 19/12/91 | 6.89 |            | 14.1      | 3.58         | 2.46       | 20.16        |
| 26/12/91 | 6.87 | 34.85      | 13.95     | 4.33         | 2.42       | 21.5         |
| 09/01/92 | 6.8  | 34         | 14        | 3.33         | 2.24       | 17.97        |
| Moyennes | 6.87 | 34.51      | 14.01     | 3.97         | 2.42       | 20.32        |

RAPPORTS INTERNES DRV 1994

| N°RI DRV | DEPARTEMENT       | LABORATOIRE                                 | AUTEURS  | TITRE  | DATE SORTIE | DIFFUS | NB PAGES | TIRAGE |
|----------|-------------------|---|--|--|-------------|--------|----------|--------|
| 94-01    | DRV/RA            | STATION PALAVAS                             | D.COATANEA, J.OHEIX, L.MAZZARA, C.VERCELLI                             | ELEVAGE D'HUITRE PLATE EN LANGUEDOC-ROUSSILLON - BILAN DES TRAVAUX 1990-1992 - RAPPORT FINAL CONVENTION DE RECHERCHE IFREMER-REGION LANGUEDOC-ROUSSILLON - | Fév-94      | Libre  | 72       | 40     |
| 94-02    | DRV/RA            | LABORATOIRE COTIER PORT EN BESSIN           | PH.GOULLETQUER, J.P.JOLY, J.KOPP, E.LEGAGNEUR, J.MORICEAU et F.RUELLE. | L'OSTREICULTURE SUR LA COTE OUEST DU COTENTIN  | Fév-94      | Libre  | 81       | 100    |
| 94-03    | DRV/RA            | CREMA L'HOUMEAU                             | J.HUSSENOT, D.GAUTIER.   | TECHNIQUES D'UTILISATION DE LA SILICE POUR LA PRODUCTION DE MASSE DES ALGUES DIATOMÉES - SYNTHÈSE DES TRAVAUX 1989-1993.                                   | Fév-94      | Libre  | 24       | 60     |
| 94-04    | DRV/RH            | RH/L'HOUMEAU                                | G.PAULMIER, P.GERVAIN  | PECHES EXPERIMENTALES DES CRUSTACES PROFONDS DANS LES EAUX DE LA MARTINIQUE (PANDALIDAE, NEPHROPIDAE). PROSPECTIONS, RENDEMENTS ET BIOLOGIE DES ESPECES.   | Mar-94      | Libre  | 44       | 30     |
| 94-05    | DRV/RA-DRV/RH-DEL | RA/BREST, RH/ARCACHON, DEL/ARCACHON         | G.TRUT, R.ROBERT, J.L.LABORDE  | CROISSANCE ET MORTALITE DU PETONCLE NOIR CHLAMYS VARIA DANS LE BASSIN D'ARCACHON, FRANCE.  | Mar-94      | Libre  | 33       | 50     |
| 94-06    | DRV/RA            | RA/TREMBLADE                                | J.PROU, S.POUVREAU, M.HERAL, V.RENAUD                                  | ESTIMATION DE LA BIOMASSE D'HUITRES NON CULTIVEES DANS LE BASSIN DE MARENNES-OLERON  | Mar-94      | Libre  | 27       | 45     |
| 94-07    | DRV/RA-DRV/SEM    | GIE/RA PALAVAS, SEM/PARIS                   | D.COATANEA, PH.PAQUOTTE, D.BUESTEL, J.DEFOSSEZ, J.MORICEAU             | BILAN DES ESSAIS D'ELEVAGE DES PECTINIDES EN MEDITERRANEE : 1987-1991  | Avr-94      | Libre  | 31       | 40     |
| 94-08    | DRV/RA            | GIE/RA, AQUALIVE, NOIRMOUTIER               | V.BUCHET, P.VILLANOVE  | PREGROSSISSEMENT DE LA DORADE ROYALE (SPARUS AURATA) EN MARAIS MARITIMES. EFFICACITES COMPAREES DES DIFFERENTS SYSTEMES D'ALIMENTATION.                    | Avr-94      | Libre  | 23       | 50     |
| 94-09    | DRV/RA-DRV/RH     | STATION PECHE-AQUACULTURE, BREST            | H.CHARTOIS, D.LATROUITE, P.LE CARRE                                    | STOCKAGE ET TRANSPORT DES CRUSTACES VIVANTS  | Mai-94      | Libre  | 66       | 100    |
| 94-10    | DRV/RH-DRV/RH-DEL | STATION PECHE-AQUACULTURE, BREST-DEL, BREST | RAPPORT COLLECTIF IFREMER (43 AUTEURS)                                 | CONTRAT DE BAIE, RADE DE BREST, RAPPORT D'ACTIVITES IFREMER 1993.  | Avr-94      | Libre  | 238      | 150    |
| 94-11    | DRV/RA            | STATION AQUALIVE DE NOIRMOUTIER             | F.BLOUIN   | OBSERVATOIRE DE LA NAPPE SALEE DE L'EOCENE DE L'ILE DE NOIRMOUTIER - SUIVI DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES  | Jun-94      | Libre  | 50       | 24     |