

**Rapport Final de Contrat :**

**Conception et réalisation de bancs automatisés  
pour les mesures écophysiologiques  
des mollusques filtreurs en condition contrôlée à  
La Station Expérimentale d'Argenton**



**Auteurs :**

**Fagon N., Le Souchu P., Lefebvre S., Pouvreau S.**

**UMR "Physiologie & Ecophysiologie des Mollusques Marins"**

**Site Ifremer d'Argenton  
Presqu'île du Vivier  
29840 Argenton en Landunvez**

**Site Universitaire de Caen  
Esplanade la paix  
14032 Caen cedex**

## **Résumé**

Force est de constater que, malgré un intérêt croissant depuis les 20 dernières années en matière d'écophysiologie des mollusques, il n'existe, à notre connaissance, aucun système réellement adapté à la mesure en continu et de façon concomitante des principales fonctions écophysiologies des mollusques filtreurs (notamment consommation et filtration). Faisant suite à la réalisation d'un cahier des charges et d'une version préliminaire d'un système, le but du présent projet est de doter la Station Expérimentale d'Argenton (entité expérimentale de l'UMR « Physiologie et Ecophysiologie des Mollusques Marins) de deux systèmes automatisés et opérationnels de mesures de l'écophysiologie des mollusques filtreurs.

Après un bref rappel des principes de mesures des fonctions écophysiologiques, le rapport présente le déroulement des tâches réalisées pour le présent contrat. Il détaille, élément par élément, le système automatisé mis au point. Il fournit notamment un descriptif de l'IHM permettant de piloter les deux bancs d'écophysiologie.

## Sommaire

<b>1</b>	<b><i>Introduction.....</i></b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b><i>Principe général du système.....</i></b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b><i>Planning de réalisation des tâches .....</i></b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b><i>Description détaillée du système.....</i></b>	<b>8</b>
4.1	<b>Les enceintes de mesure ou aquarium .....</b>	<b>8</b>
4.2	<b>Les capteurs.....</b>	<b>9</b>
4.3	<b>La pompe d'alimentation en algues .....</b>	<b>10</b>
4.4	<b>L'armoire de commande .....</b>	<b>11</b>
4.5	<b>Le logiciel de contrôle.....</b>	<b>12</b>
<b>5</b>	<b><i>Protocole d'utilisation du système.....</i></b>	<b>13</b>
5.1	<b>Mise en place des animaux .....</b>	<b>13</b>
5.2	<b>Lancement d'une acquisition sous Labview .....</b>	<b>13</b>
<b>6</b>	<b><i>Fonctionnement détaillée du programme.....</i></b>	<b>14</b>
6.1	<b>Interface générale.....</b>	<b>14</b>
6.2	<b>Configuration de la variation de nourriture.....</b>	<b>15</b>
6.3	<b>Réglage des paramètres de mesures.....</b>	<b>17</b>
6.4	<b>Données du fichier de sauvegarde.....</b>	<b>20</b>
<b>7</b>	<b><i>Conclusion et perspectives.....</i></b>	<b>21</b>
<b>8</b>	<b><i>Bibliographie.....</i></b>	<b>21</b>

## **1 Introduction**

Force est de constater que, malgré un intérêt croissant depuis les 20 dernières années en matière d'écophysiologie des mollusques, il n'existe, à notre connaissance aucun système réellement adapté à la mesure en continu et de façon concomitante des principales fonctions écophysiologies des mollusques filtreurs. Dans la plupart des cas, les études réalisées en écophysiologie des mollusques font appel à des données discrètes ou à des données continues, mais sur une seule fonction physiologique à la fois. De très récents travaux font appel à des technologies plus sophistiquées et on commence à voir apparaître des systèmes permettant de suivre simultanément le rythme d'ouverture, l'activité cardiaque, et la consommation en oxygène (Mc Closkey et al., 1985 ; Aagaard et al. 1991 ; Curtis et al., 2000). Afin d'améliorer notre compréhension de l'écophysiologie des mollusques filtreurs, la Station Expérimentale d'Argenton s'est doté d'un système de mesure en écophysiologie, dit « Banc d'écophysiologie ». Le but du présent projet était d'améliorer ce banc encore peu automatisé et d'en réaliser une seconde version, afin d'augmenter les capacités d'accueil du dispositif expérimental d'Argenton.

## **2 Principe général du système**

Le banc de mesures (figure 1) est constitué de 8 aquariums (un témoin qui reste vide et 7 autres pouvant contenir des mollusques filtreurs) associés à un jeu d'électrovannes, de plusieurs capteurs hydrobiologiques, d'une pompe péristaltique amenant la nourriture (phytoplancton), l'ensemble étant géré par un système de contrôle automatisé déporté.

Le principe de calcul des fonctions écophysiologiques (consommation en phytoplancton et en oxygène) est de comparer les paramètres hydrobiologiques de l'aquarium témoin avec ceux de l'eau des aquariums qui contiennent des animaux. Le système, par commande d'électrovanne, dirige l'eau sortant des aquariums vers une

évacuation directe ou vers les capteurs placés en série. Les capteurs mesurent respectivement la fluorescence (concentration en phytoplancton), la concentration en oxygène et la turbidité de l'eau de mer.

La séquence des opérations démarre donc toujours par une série de mesures sur l'aquarium témoin, puis s'enchaîne par une série de mesure sur un aquarium contenant un animal. Ensuite, le témoin est à nouveau mesuré, puis on passe à l'animal suivant. Par différence, entre un aquarium témoin et un aquarium, on peut donc déterminer la consommation en oxygène (ou respiration, R) et en micro-algues (ou filtration, C) de chaque animal, selon la formule suivante :  $C$  ou  $R = D \times (C_T - C_H)$ , avec  $D$  le débit de renouvellement en  $l \cdot h^{-1}$ ,  $C_T$  la concentration (en oxygène ou micro-algues) à la sortie de l'enceinte témoin et  $C_H$  la concentration (en oxygène ou micro-algues) à la sortie de l'enceinte avec huître.

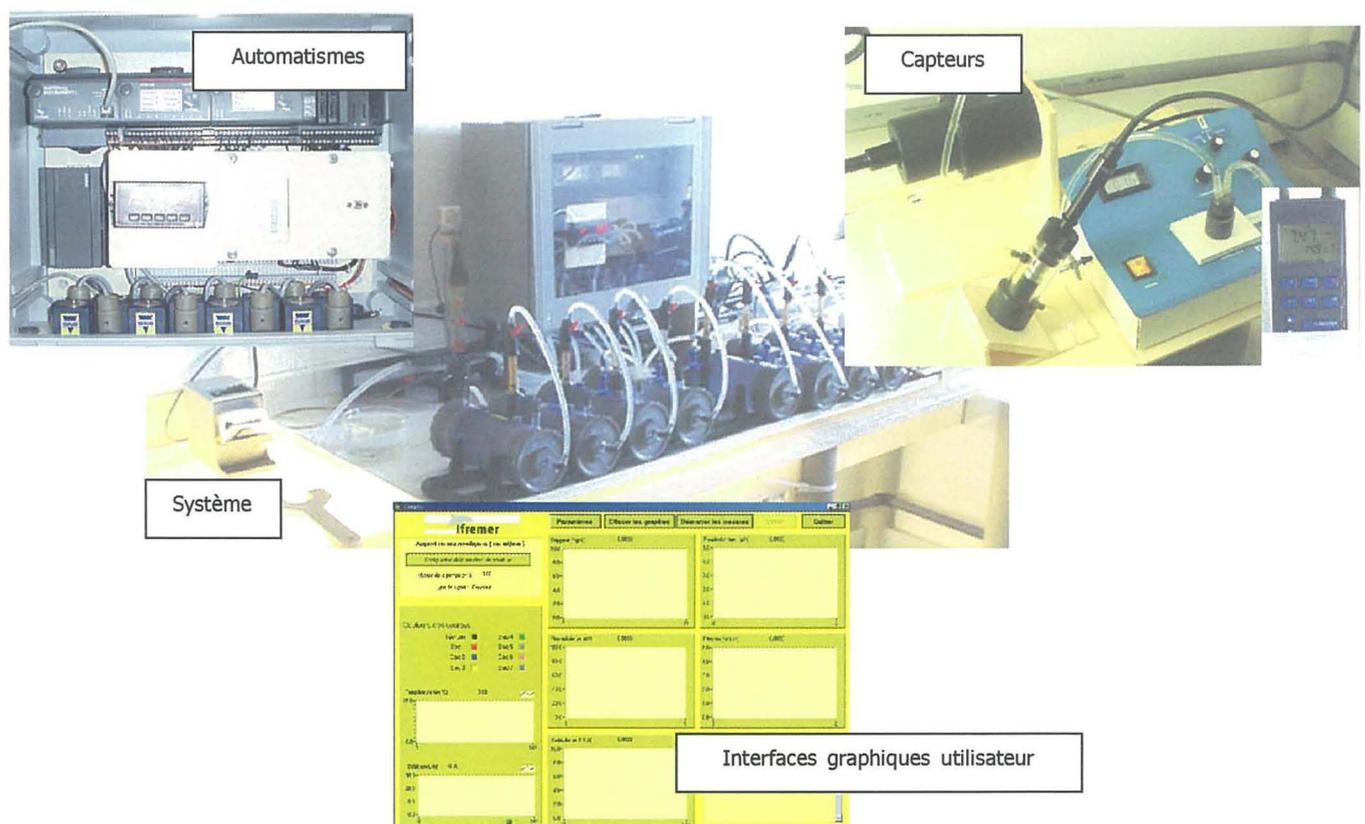


Figure 1 : Vue d'ensemble et détail du banc d'écophysiologie

### **3 Planning de réalisation des tâches**

#### **Janvier :**

Amélioration du 1<sup>er</sup> banc de mesures:

- Réalisation d'un programme permettant des variations programmées de la vitesse de la pompe péristaltique suivant des critères paramétrables. Le rôle de ce programme est de pouvoir apporter des quantités contrôlées de micro-algues ou de matière en suspension dans l'eau d'arrivée des aquariums.
- Intégration du programme de contrôle de la pompe dans le logiciel qui pilote l'ensemble du banc.

Début de réalisation du 2<sup>ème</sup> banc de mesures :

- Liste détaillée du matériel nécessaire à la duplication du 1<sup>er</sup> banc
- Demande de devis puis étude comparative des prix auprès des différents fournisseurs de matériel

#### **Février :**

Suivi du fonctionnement du 1<sup>er</sup> banc de mesures :

- Réalisation de tests de fonctionnement du 1<sup>er</sup> banc avec les mises à jour du logiciel de commande.
- Suivi des premières utilisations du système (avec des huîtres, des crépidules, des amandes et praires).

Réalisation du 2<sup>ème</sup> banc de mesures :

- Commande du matériel
- Début d'étude prévisionnelle pour l'intégration du système sur le site d'argenton.

#### **Mars :**

Suivi du fonctionnement du 1<sup>er</sup> banc de mesures :

- Assistance aux Biologistes pour la compréhension des procédures d'utilisation du système.

- Vérification du bon fonctionnement dans le cadre de l'utilisation des biologistes.

Réalisation du 2<sup>ème</sup> banc de mesures :

- Câblage de l'armoire de commande.
- Réalisation de la partie hydraulique du système.
- Raccordement des capteurs.
- Intégration logicielle.

**Avril :**

Réalisation du 2<sup>ème</sup> banc de mesures :

- Tests de fonctionnements du système.
- Etalonnage des capteurs.
- Suivi des premières utilisations par les biologistes.
- Rédaction du rapport final

## 4 Description détaillée du système

### 4.1 Les enceintes de mesure ou aquarium

Les enceintes actuelles sont de forme cylindrique (figure 2a), et présente un volume de 1.2 litres. Le schéma de circulation de l'eau est présentée en figure 2b.

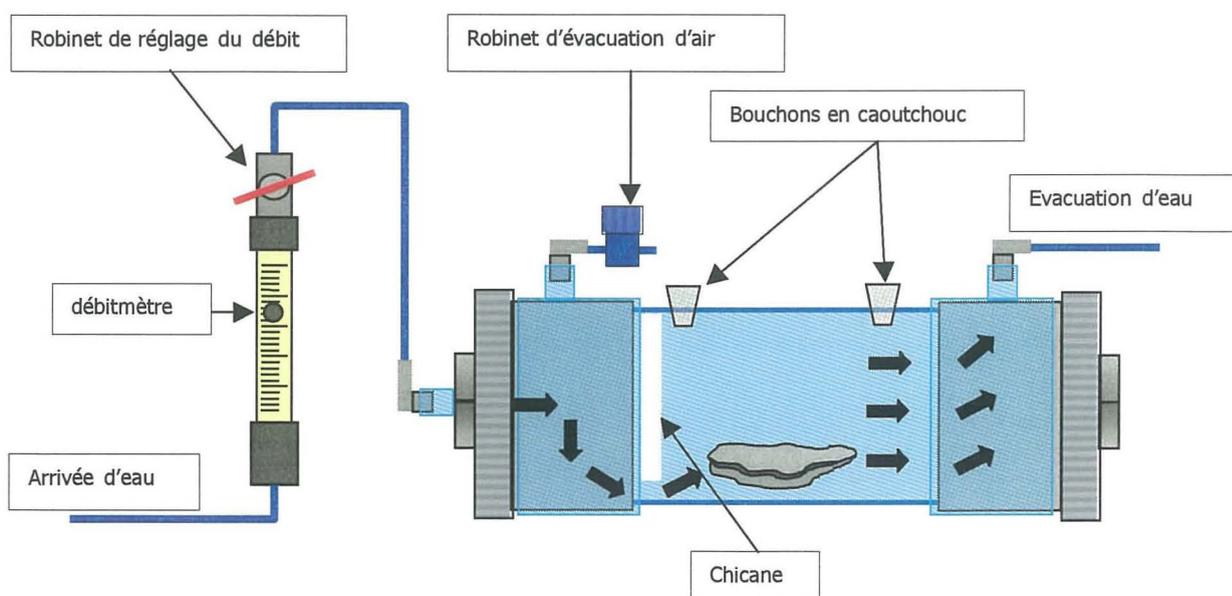


Figure 2 : Chambre de mesure. A : vue générale ; B : schéma de principe. Les flèches noires représentent le flux théorique dans l'enceinte.

## 4.2 Les capteurs

Le système comporte les 5 capteurs suivants (figure 3):

- un oxymètre mesurant la concentration en Oxygène ( $\text{mg O}_2 \cdot \text{l}^{-1}$ ), corrigée de la salinité et de la température
- un fluorimètre mesurant la fluorescence *in vivo* (proportionnelle à la concentration de phytoplancton)
- un turbidimètre mesurant l'opacité de l'eau de mer (proportionnelle à la concentration en matière en suspension)
- un débitmètre mesurant le débit dans les enceintes
- un thermomètre mesurant la température d'arrivée en °C.

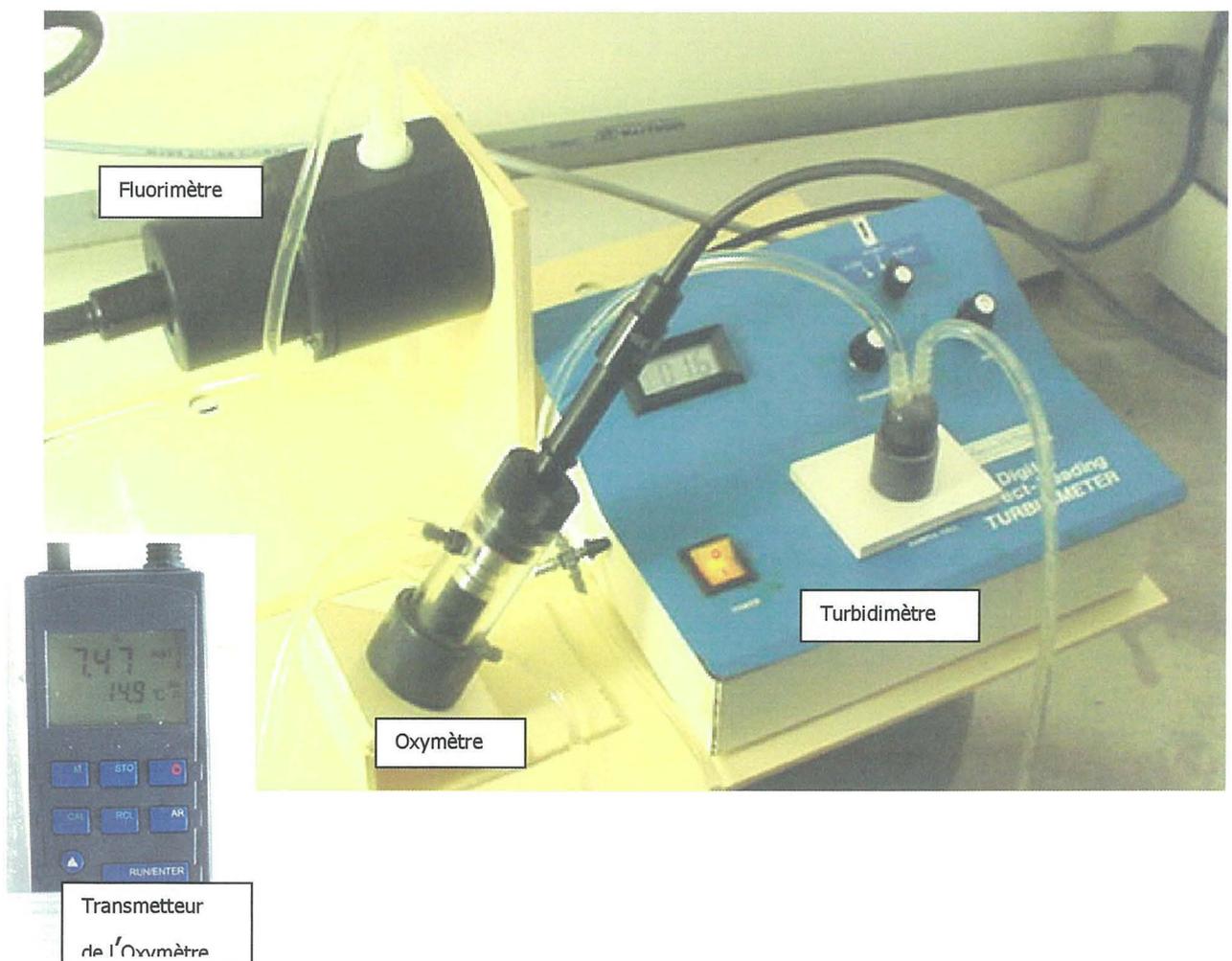


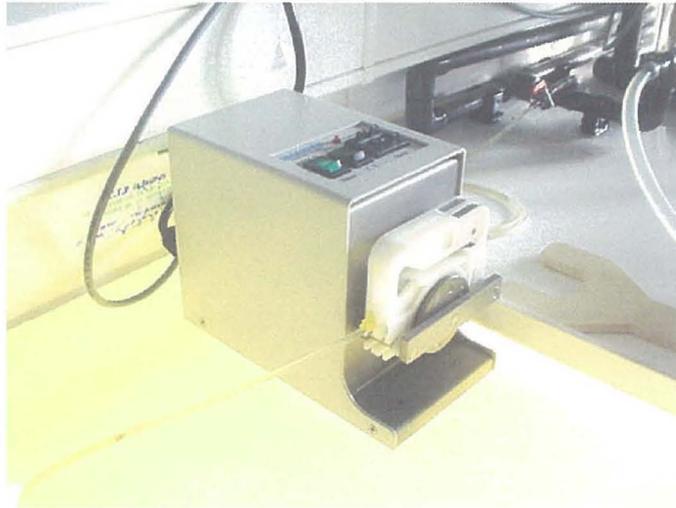
Figure 3 : Détail des capteurs utilisés (Fournisseurs : Bioblock scientifique, Oceano instruments)

### 4.3 La pompe d'alimentation en algues

La pompe d'alimentation en algues (figure 4) est une pompe péristaltique 2 canaux commandée par signal analogique 4-20 mA. Le débit à vitesse maximum est fonction du diamètre des tubes utilisés, selon le tableau 1. En configuration normale, nous utilisons 1 canal et tube Øint 1.52mm.

**Tableau 1 : Valeur du débit en fonction du diamètre du tuyau**

diamètre intérieur du tube en mm	débit à 100% de la vitesse en ml/min	
	1 canal	2 canaux
0.13	0.11	0.22
0.19	0.225	0.45
0.25	0.38	0.76
0.38	0.85	1.7
0.44	1.15	2.3
0.51	1.55	3.1
0.57	1.9	3.8
0.64	2.4	4.8
0.76	3.35	6.7
0.89	4.5	9
0.95	5	10
1.02	6	12
1.09	6.5	13
1.14	7	14
1.22	8	16
1.3	9	18
1.42	10.5	21
1.52	12	24
1.65	14	28
1.75	15.5	31
1.85	17	34
2.06	20	40
2.29	23	46
2.54	26.5	53
2.79	29.5	59
3.17	34	68



**Figure 4 : Détail de la pompe péristaltique utilisée  
(fournisseur Bioblock scientifique)**

#### **4.4 L'armoire de commande**

L'ensemble du système de commande a été regroupé dans une armoire électrique étanche au projection d'eau. Il comporte principalement le système de commande et d'acquisition de donnée (Système fieldpoint, National instruments). Ce système présente des entrées analogiques pour recevoir les données des capteurs, des relais pour commander les électrovannes à la sortie des enceintes, et des modules de réglage du gain des capteurs et de la pompe péristaltique. Ce système communique avec le réseau inthernet selon un protocole TCP/IP pour envoyer ou recevoir des données.

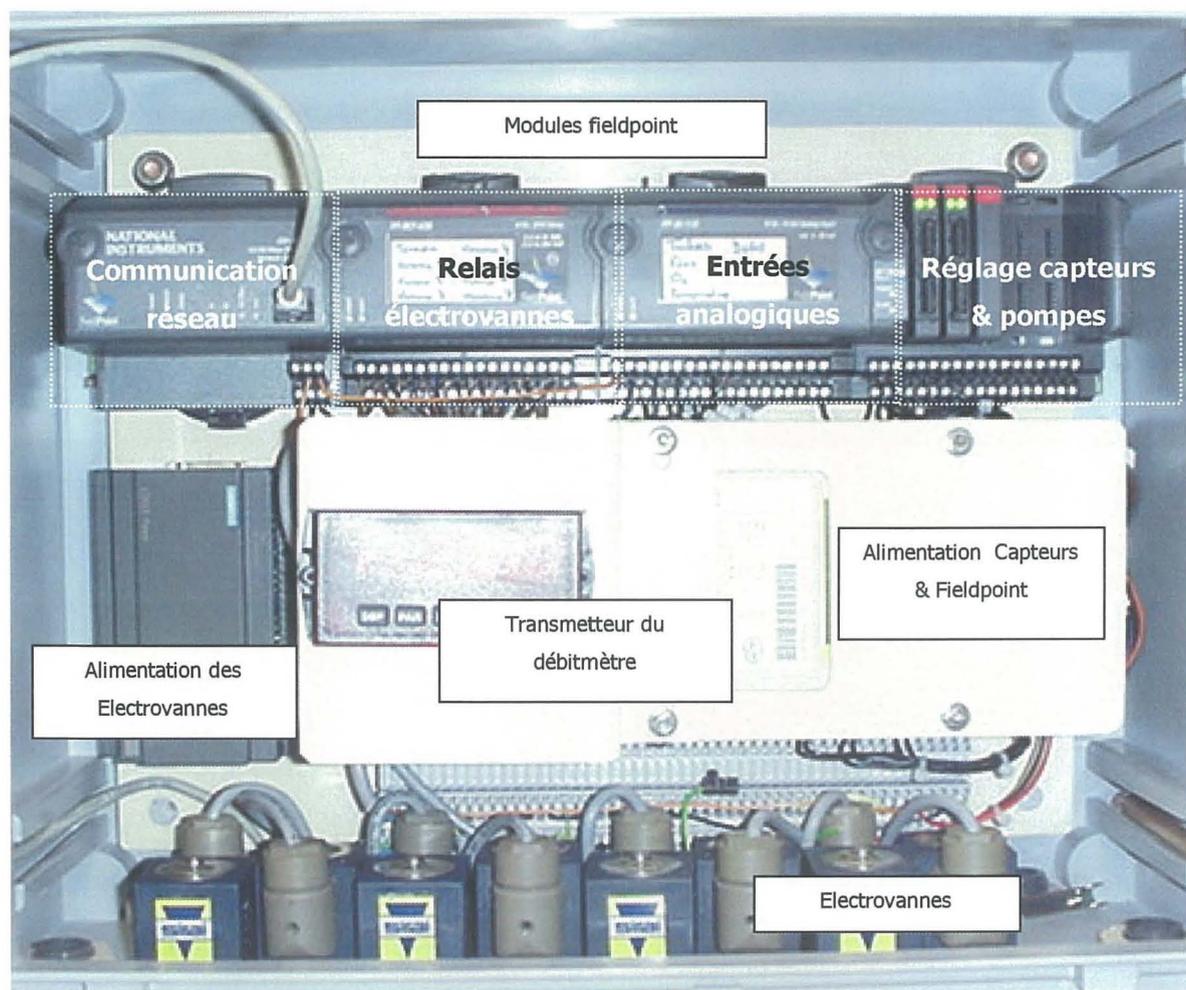


Figure 5 : Détail de l'armoire de commande du banc.

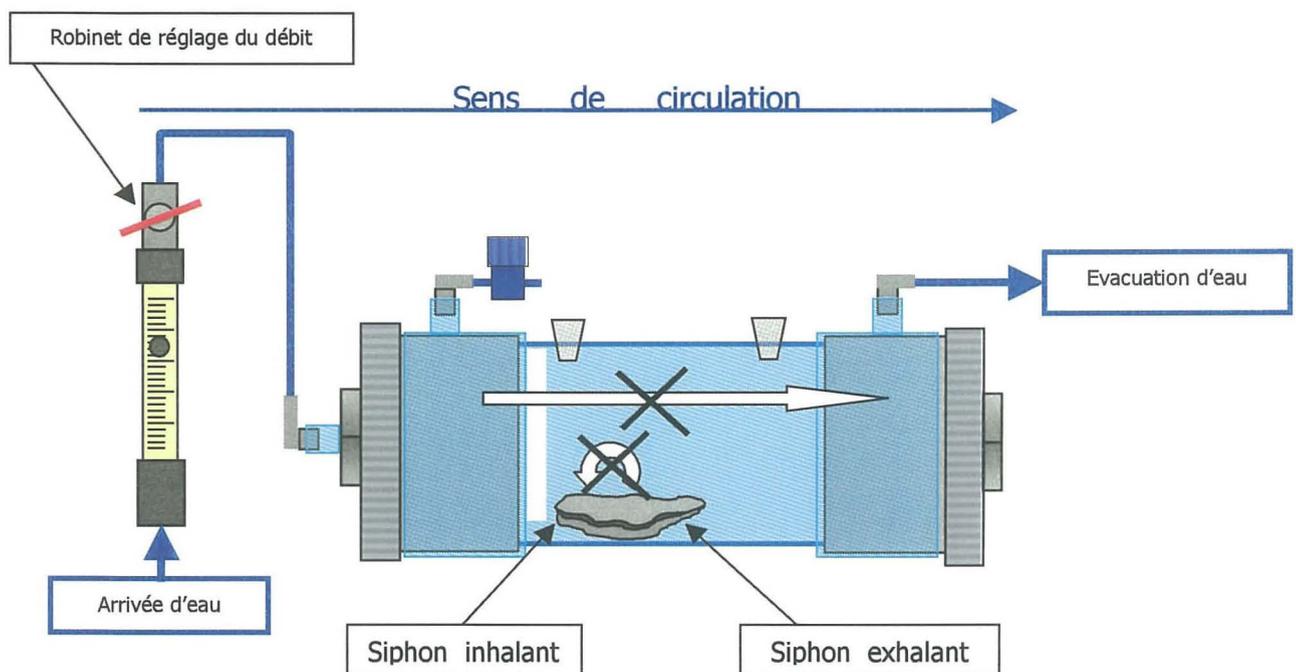
#### 4.5 Le logiciel de contrôle

Le programme de commande du banc d'écophysologie peut être lancé à partir des PC du réseau équipé de Labview 6. Le programme est disponible sur le réseau informatique de la station d'Argenton à l'emplacement suivant : M:\Gestion des Générateurs\Salle ecophy\Ecophy auto 2004\Ecophy2004.vi.

## 5 Protocole d'utilisation du système

### 5.1 Mise en place des animaux

Les huîtres doivent être placées dans l'enceinte de telle sorte que leur pseudo-siphon inhalant se situe à proximité de l'arrivée d'eau, de manière à éviter tout « by-pass » de l'huître. En outre, le débit doit être réglé suffisamment fort de manière à éviter tout recyclage de l'eau dans le compartiment de sortie (figure 6).



**Figure 6 : Protocole d'installation de l'huître, et phénomène de circulation d'eau à éviter (flèche blanche).**

### 5.2 Lancement d'une acquisition sous Labview

La procédure est la suivante :

1. Ouverture du programme sous labview
2. Réglage des paramètres de la pompe (apport en nourriture)

3. Configuration des paramètres d'acquisition
  - Choix du nombre d'animaux à observer
  - Configuration des temps de mesures
  - Réglage des capteurs
4. Lancement de l'acquisition & ouverture des fichiers de sauvegarde
5. Visualisation des données pendant les cycles de mesures
6. Arrêt de l'acquisition
7. Lecture des données (avec Excel)

## **6 Fonctionnement détaillée du programme**

### **6.1 Interface générale**

L'interface générale (figure 7) concerne l'un des bancs d'écophysiologie (ex : Banc N°1). Il est possible de passer à l'interface du second banc en cliquant sur le bouton « Afficher les courbes du Banc... ».

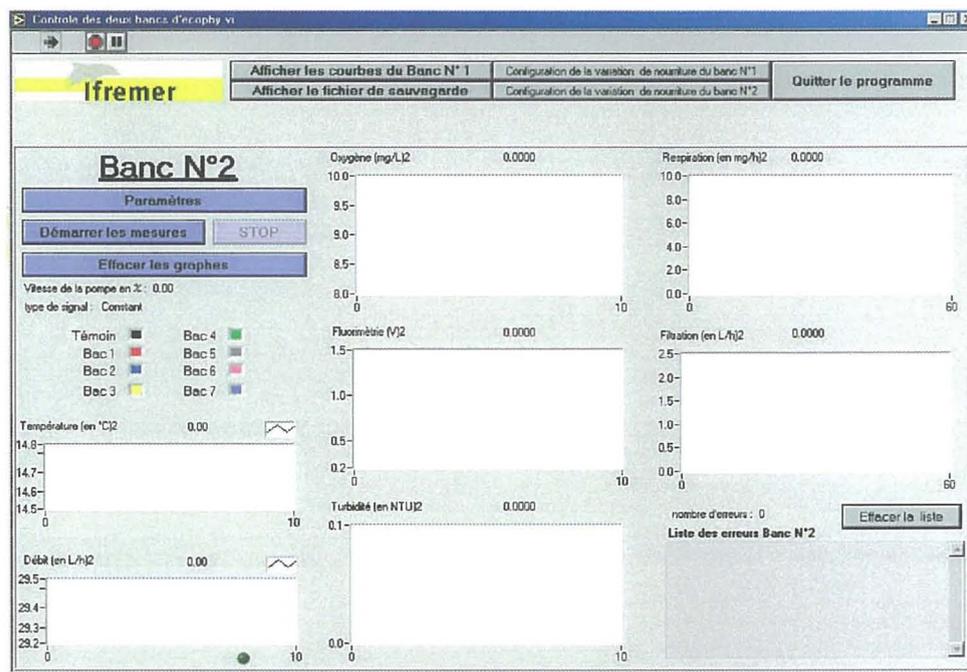


Figure 7 : Interface graphique principale (visualisation des courbes du banc N°2)

## 6.2 Configuration de la variation de nourriture

L'interface de commande de la nourriture est présentée sur la figure 8.

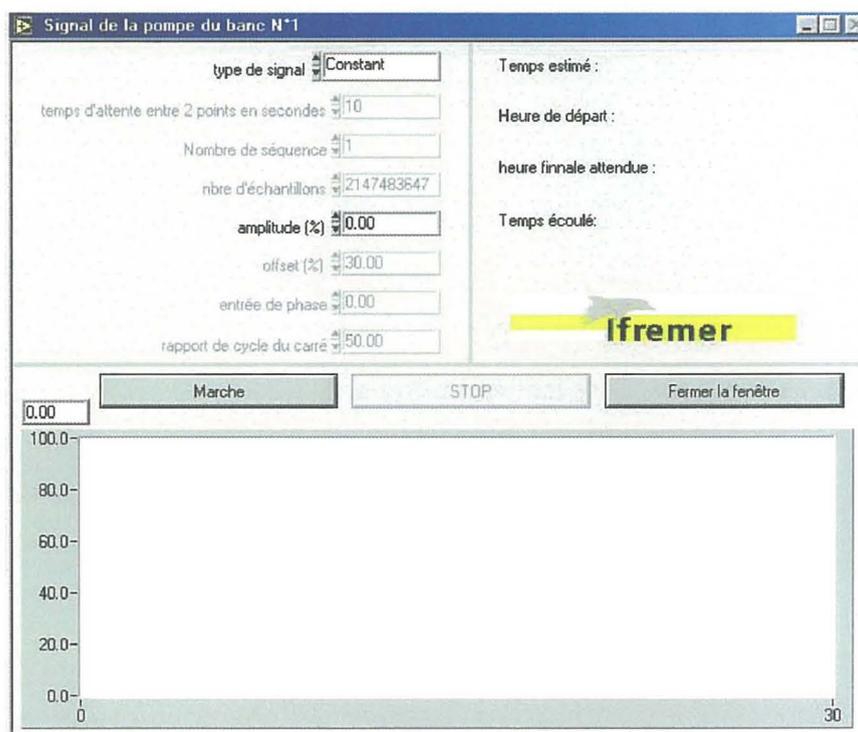


Figure 8 : Interface de commande de la pompe péristaltique

Les différents paramètres disponibles concernent :

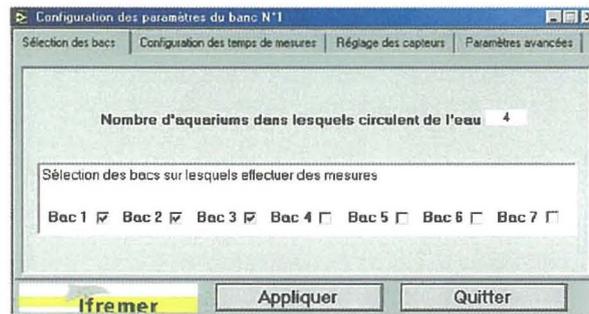
- **type de signal:** Forme de l'évolution de consigne de la pompe de type :
  - Constant (par défaut)
  - Sinus
  - Cosinus
  - Rampe positive
  - Rampe négative
  - Signal carré
  - Signal en dents de scie
  
- **temps d'attente entre deux points en secondes:** intervalle de temps entre l'écriture de deux valeurs de consigne sur la pompe (10 secondes par défaut) ;
- **nombre de séquences:** nombre de répétition d'une période du signal ;
- **nombre d'échantillons:** nombre de point composant une période (infini pour le signal constant) ;
- **amplitude (%):** écart entre les valeurs maximales et minimales du signal exprimé en pourcentage de la vitesse maximale de la pompe correspond à la consigne pour le signal constant ;
- **offset (%):** valeur venant s'additionner à la valeur de l'amplitude pour donner la consigne, exprimée en pourcentage de la vitesse maximale de la pompe ;
- **entrée de phase:** valeur comprise entre 0 et 360° qui correspond au déphasage de début de signal pour les signaux périodiques ;
- **rapport de cycle du carré:** égal à la durée du signal au niveau maximum sur la durée du signal au niveau min. Cette valeur n'influe que sur le signal carré ;
- **temps estimé:** temps durant lequel des nouvelles valeurs de consigne seront écrites ;
- **heure de départ:** heure précise de l'action sur le bouton "départ" ;
- **heure finale attendue:** heure de fin de variation de la consigne ;
- **temps écoulé:** valeur du temps écoulé depuis l'action sur le bouton "départ" ;

### 6.3 Réglage des paramètres de mesures

#### Remarques importantes :

Il faut attendre quelques secondes après l'ouverture de la fenêtre pour que le programme charge et affiche les paramètres de configuration du fichier de sauvegarde des paramètres. Toute modification des paramètres n'est prise en compte que lorsque l'on clique sur le bouton « Appliquer ».

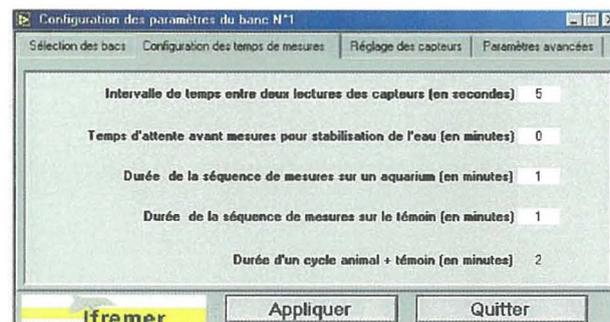
#### ***Onglet Sélection des bacs :***



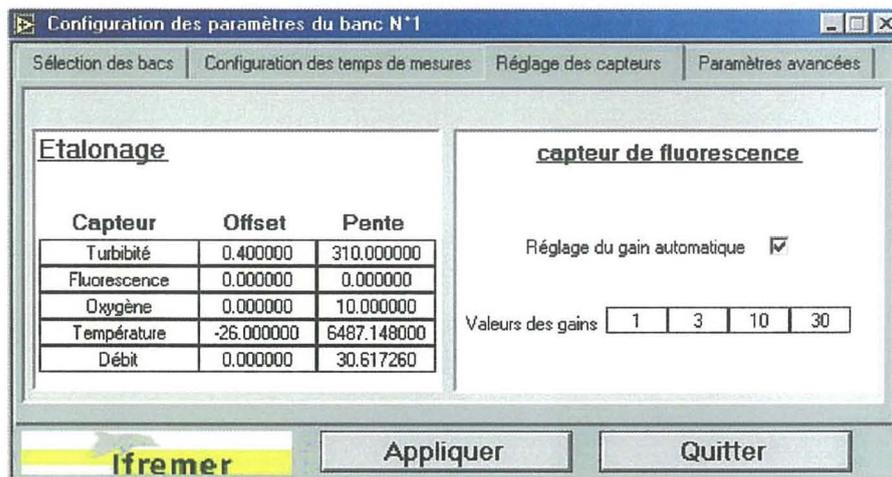
1. Le nombre d'aquarium dans lesquels circulent de l'eau (huitre + témoin) est à spécifier en premier.
2. Cocher les cases qui correspondent aux enceintes où se situent les animaux. L'enceinte 8 est l'enceinte témoin.

#### ***Onglet configuration des temps de mesures***

Cette onglet permet de spécifier les temps de mesure pour l'enceinte témoin et l'enceinte avec huitre, ainsi que le temps d'attente nécessaire à la purge du réseau de mesure.



## Onglet réglage des capteurs



### Etalonnage :

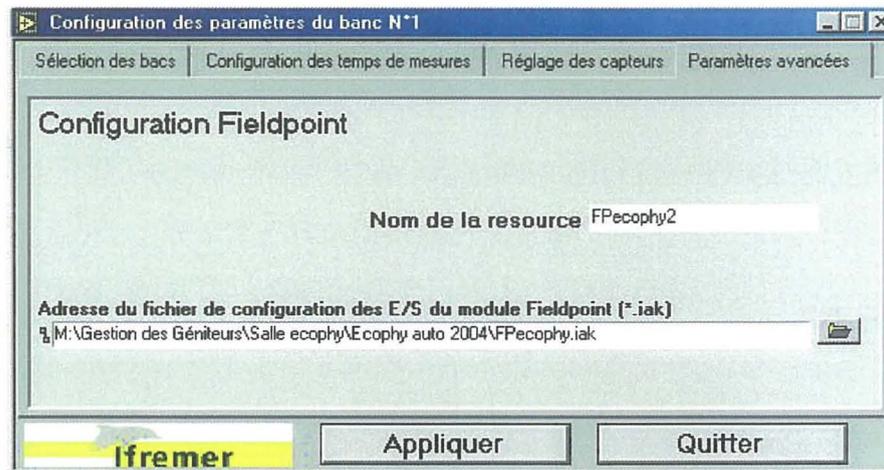
- **Offset:** Valeur à laquelle est additionnées la valeur analogique mesurée sur le capteur correspondant après avoir été multiplié par la valeur de pente
- **Pente:** Valeur par laquelle est multipliée la valeur analogique directement lue sur le capteur correspondant

### Capteur de Fluorescence :

Le système est conçu pour pouvoir fonctionner avec un capteur de marque Seapoint qui a pour particularité de présenter plusieurs gammes de mesures auxquelles correspondent plusieurs gains.

- **Réglage du gain automatique:** Quand cette case n'est pas cochée, le gain reste fixe et a pour valeur 1.
- **Valeurs des Gains :** Ces valeurs proviennent de la documentation technique du capteur

### Onglet paramètres avancés



**- Adresse du fichier de configuration des E/S du module Fieldpoint (\*.iak) :**

Emplacement du fichier de configuration des modules Fieldpoint. Ce fichier est modifiable avec le logiciel « Measurement & Automation Explorer » de National Instrument.

**- Nom de la ressource :** Identifiant du banc Fieldpoint dans le fichier de configuration.

## 6.4 Données du fichier de sauvegarde

La figure 9 fournit un exemple de fichier de sauvegarde.

Date & heure	N° d'aquarium	Turbidité	Fluorescence	Oxygène	Température	Débit	Respiration	Filtration
20/04/04 12:02:17	Aquarium 0	0.5730	0.0000	-0.0024	15.1091	15.2675		
20/04/04 12:03:15	Aquarium 0	0.5714	0.0000	-0.0024	15.0904	15.2675		
20/04/04 12:04:14	Aquarium 0	0.5714	0.0000	-0.0024	15.0904	15.2602		
20/04/04 12:05:13	Aquarium 0	0.5714	0.0000	-0.0024	15.0904	15.4278		
20/04/04 12:06:12	Aquarium 0	0.5697	0.0000	-0.0024	15.0904	15.3282		
20/04/04 12:07:11	Aquarium 0	0.5681	0.0000	-0.0024	15.0987	15.4278		
20/04/04 12:08:10	Aquarium 0	0.5681	0.0000	-0.0024	15.1486	15.4230		
20/04/04 12:10:15	Aquarium 1	0.5697	0.0000	-0.0024	15.1320	20.8502		
20/04/04 12:11:12	Aquarium 1	0.5697	0.0000	-0.0024	15.1278	20.7773		
20/04/04 12:12:10	Aquarium 1	0.5697	0.0000	-0.0024	15.1195	20.7749		
20/04/04 12:13:08	Aquarium 1	0.5697	0.0000	-0.0024	15.0987	20.7749		
20/04/04 12:14:05	Aquarium 1	0.5714	0.0000	-0.0024	15.1091	20.7822		
20/04/04 12:15:04	Aquarium 1	0.5714	0.0000	-0.0024	15.1278	20.7797		
20/04/04 12:16:03	Aquarium 1	0.5697	0.0000	-0.0024	15.1382	20.8502	0.0000	0.0000
20/04/04 12:18:14	Aquarium 0	0.5714	0.0000	-0.0024	15.0572	15.3282		
20/04/04 12:19:13	Aquarium 0	0.5714	0.0000	-0.0024	15.0779	15.2675		
20/04/04 12:20:14	Aquarium 0	0.5714	0.0000	-0.0024	15.0779	15.4278		
20/04/04 12:21:14	Aquarium 0	0.5730	0.0000	-0.0024	15.0904	15.3331		
20/04/04 12:22:14	Aquarium 0	0.5746	0.0000	-0.0024	15.0987	15.4230		
20/04/04 12:23:14	Aquarium 0	0.5746	0.0000	-0.0024	15.0987	15.4278		
20/04/04 12:25:21	Aquarium 2	0.5746	0.0000	-0.0024	15.1382	21.8681		
20/04/04 12:26:21	Aquarium 2	0.5779	0.0000	-0.0024	15.1382	21.7734		
20/04/04 12:27:21	Aquarium 2	0.5779	0.0000	-0.0024	15.1195	21.9313		

Figure 9 : exemple de fichier de sauvegarde

Cette interface graphique permet de visualiser les données du fichier de sauvegarde de la mesure en cours. Si le système n'est pas en fonctionnement, ce sont les données du fichier de sauvegarde des mesures les plus récentes qui apparaîtront.

## 7 Conclusion et perspectives

Ce travail a permis d'aboutir à la réalisation de deux automates de mesures de la physiologie des mollusques bivalves. Certaines améliorations sont encore à apporter, mais l'ensemble du système permet d'ores et déjà d'acquérir à un rythme convenable et de façon continu des paramètres de physiologie (Filtration, Respiration) jugés clés dans le fonctionnement des mollusques filtreurs.

L'étape supérieure serait de construire un système basé sur les mêmes principes mais pouvant fonctionner *in situ*. Ce projet est à l'étude à l'IFREMER (Projet AMPHYBI).

## 8 Bibliographie

**McCloskey LR, Aamodt LD, Hazelton WD (1985)** A computer-controlled respirometer for monitoring production and respiration of symbiotic organisms *in situ*. Proc. Fifth Int. Coral Reef Congress. Tahiti, French Polynesia, 6, 137-142.

**Aargaard A., Andersen B.B., Depledge M.H. (1991)** Simultaneous monitoring of physiological and behavioural activity in marine organisme using non-invasive, computer-aided techniques. Mar. Ecol. Prog. Ser. 73, 277-282.

**Curtis T.M., Williamson R., Depledge M.H. (2000)** Simultaneous, long-term monitoring of valve and cardiac activity in the blue mussel *Mytilus edulis* exposed to copper. Mar. Biol. 136, 837-846.