



**SODIM**

Société de développement de l'industrie maricole inc.

*Optimisation des opérations de dépuración en  
vrac des moules bleues de la baie de Gaspé par  
la réduction des débits de l'eau de mer à basse  
température*

*Rapport final*

---

*Dossier n° 710.66*

*Rapport commandité par la SODIM*

*2008*

Les  
**publications**  
de la Direction de l'innovation  
et des technologies

# Rapport de recherche-développement

**N° 169**

Optimisation des opérations de dépuración  
en vrac des moules bleues de la  
baie de Gaspé par la réduction  
des débits de l'eau de mer à  
basse température

Michel Girard  
Marcel Roussy  
Francis Coulombe  
Cathy Cauvier  
Nathalie Moisan

Optimisation des opérations  
de dépuración en vrac des  
moules bleues de la baie de  
Gaspé par la réduction des  
débits de l'eau de mer à basse  
température

Rapport de recherche-  
développement n° 169

**Michel Girard**  
**Marcel Roussy**  
**Francis Coulombe**  
**Cathy Cauvier**  
**Nathalie Moisan**

**Réalisation**

Marc Veillet, responsable du bureau d'édition  
Julie Rousseau, agente de secrétariat

**Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec**  
**Bureau d'édition - DIT**  
**96, montée de Sandy Beach, bureau 2.05**  
**Gaspé (Québec) G4X 2V6**  
**publications.dit@mapaq.gouv.qc.ca**

Pour une version gratuite (fichier pdf) de ce document, visitez notre site Internet à l'adresse suivante :  
<http://www.mapaq.gouv.qc.ca/Fr/Peche/md/Publications/> ou écrire à l'adresse de courriel ci-dessus.

ISBN (version imprimée) : 978-2-550-53767-0  
ISBN (version PDF) : 978-2-550-53768-7

Dépôt légal – Bibliothèque et archives nationales du Québec, 2008

## Optimisation des opérations de dépuración en vrac des moules bleues de la baie de Gaspé par la réduction des débits de l'eau de mer à basse température

*Michel Girard<sup>1</sup>, Marcel Roussy<sup>1</sup>, Francis Coulombe<sup>2</sup>  
Cathy Cauvier<sup>1</sup> Nathalie Moisan<sup>1</sup>*

1. Centre aquacole marin de Grande-Rivière, Grande-Rivière  
2. Centre technologique des produits aquatiques, Gaspé

**On doit citer ce document comme suit :** Girard, M., M. Roussy, F. Coulombe, C. Cauvier, N. Moisan. 2008. Optimisation des opérations de dépuración en vrac des moules bleues de la baie de Gaspé par la réduction des débits de l'eau de mer à basse température. Rapport de R-D n° 169. 20 pages.

### Résumé

La baie de Gaspé démontre des caractéristiques physiques propices à l'élevage d'organismes marins telle la moule bleue. En effet, c'est un plan d'eau relativement bien abrité, avec des paramètres de salinité, de température et d'oxygénation de l'eau adéquats pour l'élevage de ces organismes. De même, le potentiel biologique pour la croissance et la survie des moules ainsi que les apports de naissain indigène sont considérés intéressants pour le développement de cette industrie (Coulombe *et al.*, 2005).

La viabilité de la mytiliculture est soumise à la qualité de l'eau dans laquelle sont élevés les mollusques puisque ceux-ci sont des organismes qui filtrent de grandes quantités d'eau. Afin de protéger la santé des consommateurs de mollusques, des normes de salubrité ont été établies par trois ministères et organismes fédéraux que sont l'Agence canadienne d'inspection des aliments, Environnement Canada et Pêches et Océans Canada dans le « Programme canadien de contrôle sanitaire des mollusques », appelé communément le PCCSM. L'objectif principal du PCCSM est de protéger le public face à la consommation de mollusques contaminés en surveillant la salubrité de tous les mollusques au Canada. Un examen sanitaire est effectué régulièrement. Il comporte une enquête bactériologique, qui mesure la teneur en substances fécales présentes dans les zones de croissance, et un levé sanitaire du littoral, qui permet de déceler et de quantifier les sources de pollution ainsi que d'estimer le mouvement, la dilution et la dispersion des polluants dans l'environnement récepteur (Environnement Canada, 2008).

Depuis quelques années, la municipalité de Gaspé a amélioré le traitement de ses eaux usées, se conformant ainsi aux critères de salubrité exigés par Environnement Canada en ce qui concerne les eaux rejetées dans la baie de Gaspé. Par contre, une augmentation subite de la contamination de la baie

de Gaspé est toujours possible, notamment suite à de fortes pluies et la dépuración des mollusques demeure essentielle malgré son coût.

Les résultats des expérimentations effectuées en 2002 démontrent que les coûts reliés à l'utilisation de l'eau de mer peuvent représenter jusqu'à 25,8 % des coûts totaux de dépuración à un débit de 50 L/min, pour 225 kg de moules en vrac soit 0,81 \$ du kilo net. Une réduction des débits permettrait de diminuer ces coûts. À l'heure actuelle, la dépuración effectuée à un débit de 40 L/min est acceptée par l'Agence canadienne d'inspection des aliments.

L'objectif principal de la présente étude est de démontrer la faisabilité d'une réduction des coûts d'opération de dépuración des moules de cultures par la diminution de la quantité d'eau de mer utilisée. La mise à l'essai sera réalisée dans des systèmes de circulation d'eau de mer en continu, à des températures de l'eau oscillant entre 5 et 8 °C dans le respect des normes du PCCSM quant à la qualité des eaux de traitement.

Pour les expérimentations, l'une des hypothèses de travail est que la solubilité de l'oxygène est plus grande en eau froide. Conséquemment, l'utilisation d'un débit plus faible à ces températures ne devrait pas, à charge biologique égale, créer un déficit en oxygène pour les moules en dépuración. Les cycles de dépuración de 48 heures évalués ont été les suivants : deux essais successifs à 20 L/min pour des températures de l'eau de mer de 8 °C au Centre aquacole marin de Grande-Rivière (CAMGR) et deux essais successifs pour des températures de 5 °C à l'usine Pêcheries Rivière-au-Renard inc., où deux débits (20 et 30 L/min) ont été évalués simultanément.

Mots clés : dépuración, décontamination, critères de salubrité, moule bleue

Key Words: depuration, decontamination, safety criterion, blue mussel

Les résultats des expérimentations effectuées au CAMGR n'ont pas permis de respecter les normes prescrites par le PCCSM pour la qualité des eaux de traitement, contrairement à celles effectuées à l'usine Pêcheries Rivière-au-Renard inc. La dépuración de 272 kg de moules effectuée à l'automne dans de l'eau dont la température variait entre 7,5 et 9 °C, ne devrait donc pas s'effectuer à 20 L/min. À l'opposé, la dépuración dans une eau dont la température se situe entre 4 et 5 °C est possible avec des débits de 20 ou 30 L/min. Un débit de 20 L/min permettrait de réduire les coûts de la dépuración de 0,09 \$ le kilo net, soit de 13,4 %, tandis que l'utilisation d'un débit de 30 L/min les réduirait de 0,06 \$ le kilo net ou de 8,9 %. La dépuración demeure donc un outil d'appoint essentiel parmi les différentes étapes de la mise en marché de la moule bleue de la baie de Gaspé.

## Abstract

Gaspé Bay has physical characteristics that make it suitable for the farming of marine organisms like the blue mussel. Indeed, it is a well sheltered body of water with adequate salinity, temperature and water oxygenation parameters for rearing these organisms. Furthermore, it offers a biological potential for mussel growth and survival as well as a supply of native spat that are considered interesting for the development of this industry (Coulombe et al., 2005).

The viability of mussel farming is subject to the quality of the water in which the mussels are reared because these organisms filter large volumes of water. To safeguard the health of people who eat these molluscs, food safety standards have been established in the Canadian Shellfish Sanitation Program – commonly known as the CSSP – by three federal departments and agencies: the Canadian Food Inspection Agency, Environment Canada and Fisheries and Oceans Canada. The primary goal of the CSSP is to protect the public from the consumption of contaminated shellfish by monitoring the wholesomeness of all shellfish in Canada. Sanitary inspections are conducted regularly. The inspection includes a bacteriological survey, which measures faecal matter levels in the water in shellfish areas and a sanitary survey of coastal waters that serves to detect and quantify sources of pollution as well as to estimate the movement, dilution and dispersion of pollutants in the receiving environment (Environment Canada, 2008).

Over the last few years, the municipality of Gaspé has improved its wastewater treatment, thus complying with sanitary criteria established by Environment Canada for wastewater emissions into Gaspé Bay. Nevertheless, a sudden increase in contamination in Gaspé Bay remains a possibility, notably after heavy rains, and the mussels still need to be depurated despite the cost of this operation.

The findings of experiments conducted in 2002 show that the costs associated with using seawater can account for as much as 25.8% of the total depuration cost at a rate of 50 L/min for 225 kg of bulk mussels, which translates into \$0.81 per net kilo. Reducing the rate of flow can lower these costs. At present, depuration done using a water flow of 40 L/min is accepted by the Canadian Food Inspection Agency.

The primary objective of this study is to show the feasibility of lowering operating costs associated with farmed mussel

depuration by using smaller volumes of seawater. The trial was conducted in systems supplied with continuously circulating seawater where temperatures varied between 5°C and 8°C in compliance with CSSP standards governing treatment water quality.

For experimental purposes, one of the working hypotheses is that oxygen solubility is greater in cold water. Consequently, using a slower water flow rate at these temperatures should not, given equal biological loads, create an oxygen deficit for the mussels being depurated.

The following 48-hour depuration cycles were evaluated: two successive trials at 20 L/min with a seawater temperature of 8°C at the Grande-Rivière Marine Aquaculture Centre (Centre aquacole marin de Grande-Rivière – CAMGR) and two successive trials at the Pêcheries Rivière-au-Renard inc. plant using 5°C seawater where two different flow rates (20 and 30 L/min) were evaluated simultaneously.

The results of the experiments conducted at CAMGR failed to meet CSSP standards with respect to treatment water quality in contrast to the trials conducted at the Pêcheries Rivière-au-Renard inc. plant. Depuration of 272 kg of mussels done in the fall in water with a temperature that varies from 7.5°C to 9°C should therefore not be done at 20 L/min. On the other hand, it is possible to depurate mussels in seawater with a temperature of between 4°C and 5°C at flow rates of from 20 to 30 L/min. A flow rate of 20 L/min would make it possible to reduce depuration costs by \$0.09 per net kilo, or 13.4%, while using a flow rate of 30 L/min would reduce them by \$0.06 per net kilo or 8.9%. Consequently, depuration remains an essential support tool as part of the process leading to the marketing Gaspé Bay blue mussels.

## Table des matières

1. Introduction.....	1
1.1 Problématique propre à la baie de Gaspé .....	1
1.2 Dépuration .....	1
1.3 Physiologie des moules et paramètres physicochimiques .....	1
1.4 Réduction des coûts de dépuration .....	2
2. Matériel et méthode.....	3
2.1 Approvisionnement, transport et transfert des moules .....	3
2.2 Unité expérimentale de dépuration.....	4
2.2.1 Centre aquacole marin de Grande-Rivière .....	4
2.2.2 L'entreprise Pêcheries Rivière-au-Renard inc. ....	4
2.3 Volumes de moules et débits d'eau testés en circuit ouvert.....	4
2.4 Cycle de dépuration.....	5
2.5 Suivi de la qualité de l'eau de traitement du système de dépuration .....	6
2.5.1 Centre aquacole marin de Grande-Rivière .....	6
2.5.2 L'entreprise Pêcheries Rivière-au-Renard inc. ....	6
2.6 Suivi bactériologique.....	6
3. Résultats .....	7
3.1 Centre aquacole marin de Grande-Rivière .....	7
3.1.2 Qualité de l'eau en fonction du débit, de la température et de l'oxygénation.....	7
3.2 L'entreprise Pêcheries Rivière-au-Renard inc. ....	8
3.2.1 Qualité de l'eau en fonction du débit, de la température et de l'oxygénation.....	8
4. Discussion .....	11
4.1 Centre aquacole marin de Grande-Rivière .....	11
4.1.1 Oxygène dissous.....	11
4.1.2 Déplétion en oxygène .....	11
4.2 L'entreprise Pêcheries Rivière-au-Renard inc. ....	12
4.2.1 Oxygène dissous.....	12
4.2.2 Effet des changements de débit.....	12
4.2.3 Variations de la teneur en oxygène dissous pendant les cycles .....	12
4.2.4 Déplétion en oxygène dissous .....	13
4.2.5 Contrôle des débits .....	13
5. Constats .....	13
5.1 Recommandations.....	14
6. Conclusion.....	14
7. Remerciements .....	15
8. Références .....	15
Annexes .....	19

## Liste des figures

Figure 1.	Efficacité d'assimilation (%), taux de filtration ( $L\ h^{-1}\ g^{-1}$ poids sec : PS) et potentiel de croissance ( $J\ h^{-1}\ g^{-1}$ PS) en fonction du temps suivant l'acclimatation (avant le transfert et 1, 145 et 21 jours d'acclimatation) (A, C et E) et de la température d'acclimatation (-1, 4 et 8 °C) (B, D, F) .....	2
Figure 2.	Emplacement (en rouge) des zones de mytiliculture dans la baie de Gaspé, où les moules utilisées dans les volets expérimentaux de dépuración en vrac ont été récoltées à l'automne 2004.....	3
Figure 3.	Coupe transversale d'un des bacs de dépuración utilisés lors des expérimentations au CAMGR. ....	4
Figure 4.	Vue d'ensemble en plan du système d'approvisionnement en eau et de drainage des bacs de dépuración utilisés lors des expérimentations au CAMGR. ....	5
Figure 5.	Températures moyennes (°C) de l'eau dans les bassins lors des expérimentations utilisant un débit de 20 ou 30 litres par minute pour dépuración 272 kg de moules en vrac, en circuit ouvert, au CAMGR et à l'usine Pêcheries Rivière-au-Renard inc. ....	8
Figure 6.	Teneurs moyennes de l'eau en oxygène dissous (%) à l'entrée et à la sortie des bassins lors des expérimentations au CAMGR utilisant un débit de 20 litres par minute pour dépuración 272 kg de moules en vrac, en circuit ouvert. ....	8
Figure 7.	Déplétion moyenne en oxygène dissous en fonction de la température moyenne de l'eau de traitement entre l'entrée et la sortie des bassins de dépuración, pour les expérimentations utilisant un débit de 20 litres par minute, pour dépuración 272 kg de moules en vrac, en circuit ouvert, au CAMGR et à l'usine de Pêcheries Rivière-au-Renard inc. ....	10
Figure 8.	Déplétion moyenne en oxygène dissous en fonction de la température moyenne de l'eau de traitement entre l'entrée et la sortie des bassins de dépuración, pour les expérimentations utilisant un débit de 30 litres par minute, pour dépuración 272 kg de moule en vrac, en circuit ouvert à l'usine Pêcheries Rivière-au-Renard .....	10
Figure 9.	Teneurs moyennes de l'eau en oxygène dissous (%) à l'entrée et à la sortie des bassins, lors des expérimentations utilisant un débit de 20 litres par minute, pour dépuración 272 kg de moules en vrac, en circuit ouvert, à l'usine Pêcheries Rivière-au-Renard inc.....	11
Figure 10.	Teneurs moyennes de l'eau en oxygène dissous (%) à l'entrée et à la sortie des bassins lors des expérimentations utilisant un débit de 30 litres par minute, pour dépuración 272 kg de moules en vrac en circuit ouvert, à l'usine Pêcheries Rivière-au-Renard .....	12
Figure 11.	Débits moyens des bassins lors des deux expérimentations au CAMGR, utilisant un débit de 20 litres par minute pour dépuración 272 kg de moules en vrac, en circuit ouvert. ....	13

## Liste des tableaux

Tableau 1.	Essais et traitements de dépuración des moules bleues de la baie de Gaspé effectués à l'automne 2004 au CAMGR et à l'usine Pêcheries Rivière-au-Renard inc.....	6
Tableau 2.	Paramètres physicochimiques des eaux de traitement à l'entrée et à la sortie des bassins de dépuración. ....	7
Tableau 3.	Analyses bactériologiques des eaux de traitement et de la chair des moules pour la teneur en coliformes fécaux de chaque expérimentation. ....	9
Tableau 4.	Débits moyens d'eau de traitement observés par bassins lors des expérimentations de dépuración au CAMGR.....	10



# Optimisation des opérations de dépuración en vrac des moules bleues de la baie de Gaspé par la réduction des débits de l'eau de mer à basse température

## 1. Introduction

### 1.1 Problématique propre à la baie de Gaspé

Certains secteurs comme la baie de Gaspé sont propices à la mytiliculture parce que ces milieux sont productifs et naturellement protégés et parce que la température et la salinité qu'on y retrouve permettent la culture des mollusques (Desbiens *et al.*, 2000, Deschamps et Roussy, 2004). Cependant, malgré la construction d'une usine de traitement des eaux usées par la municipalité de Gaspé en 1999, les eaux de culture présentent toujours une contamination par des coliformes fécaux (Desbiens *et al.*, 2000). Cette contamination est due aux rejets agricoles et anthropiques (Deschamps et Roussy, 2004). Les taux de contamination bactérienne de l'eau de la baie de Gaspé ont cependant considérablement diminué après la mise en fonction de l'usine en 1999 (Desbiens *et al.*, 2000). D'ailleurs, les données de contamination de l'eau pour 78 stations dans la baie de Gaspé enregistrées en 2003 par Environnement Canada montrent un très faible taux de contamination par les coliformes fécaux pour les échantillonnages de juillet, de septembre, d'octobre et de novembre. Seul l'échantillonnage du mois d'août montre des taux élevés pour certaines stations (Environnement Canada, 2003, en prép.).

Ces zones sont donc classées ouvertes à la récolte, mais sous condition de purification, en dehors des périodes de toxicité algale, selon le Programme canadien de contrôle de la salubrité des mollusques (Environnement Canada, 2008). En effet, la consommation de mollusques bivalves contaminés via des effluents domestiques et urbains est une importante cause d'empoisonnement alimentaire, de gastro-entérites et de certaines autres maladies sérieuses comme l'hépatite (Sea Fish Industry Authority, 1997).

### 1.2 Dépuración

Deschamps et Roussy (2004) ont démontré que la méthode de dépuración des moules en vrac permet de répondre aux exigences du PCCSM en terme de respect des normes de qualité de l'eau de traitement et, ce faisant, permettre la vente de ces moules sur le marché. Le procédé consiste à dépuración de grands volumes de moules en vrac (entre 225 et 365 kg) en faisant circuler de l'eau de mer purifiée par des rayons ultraviolets, selon un débit déterminé, dans les bacs contenant les moules. Ce système est inspiré de celui utilisé en Angleterre et conçu par la Sea Fish Industry Authority, 1997. D'ailleurs en Angleterre, la dépuración est un procédé utilisé depuis plus de cent ans (Gosling, 1992).

La méthode se base sur la capacité des moules à éliminer, par leur activité normale de filtration, les coliformes fécaux qu'elles accumulent (Cusson *et al.* 2005). Les moules accumulent les bactéries et les virus présents dans leur milieu, principalement dans leur système digestif (Muniain-Mujika *et al.* 2002; Power et Collins, 1990), mais aussi en moindre quantité (100 fois moins) dans les branchies, les palpes labiaux, le pied, les muscles, le manteau et l'hémolymphe (Power et Collins, 1990). Placées

dans une eau exempte de bactéries et de virus, les moules finissent par éliminer les bactéries qu'elles ont accumulées par leurs processus normaux de défécation et de digestion extracellulaire (Tremblay *et al.*, 2004). Pour les coliformes fécaux, ce processus a été évalué à 24 heures (Bernard, 1989; Gosling, 1992; Muniain-Mujika *et al.* 2002; Newell, 2004). Power et Collins (1990) ont démontré que 99 % des *Escherichia coli* contenues dans le système digestif de la moule étaient éliminées par la dépuración en 24 heures et 99,9 % en 48 heures. Les normes pour la dépuración sont fixées, au Canada, à 48 heures (PCCSM). Pour les virus, le processus est plus long; c'est pourquoi cinq jours de dépuración sont suggérés (Muniain-Mujika *et al.* 2002).

Pour que le procédé soit homologué par l'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA), les teneurs initiales en coliformes fécaux doivent être situées entre 230 et 2 300 c. f./100 g de chair et ramenées à des teneurs pratiquement nulles (< 20 c. f./100 g) après le cycle de dépuración (Environnement Canada, 2008). Ceci n'a pu être vérifié dans le contexte de la baie de Gaspé, car les teneurs en coliformes fécaux étaient trop faibles et n'ont atteint que très rarement les 100 c. f./100 g de chair de moule depuis le début des opérations de dépuración en 2002, qu'elles soient expérimentales, à l'échelle pilote ou commerciales. Les expérimentations effectuées depuis ce temps ont donc seulement servies à évaluer la capacité du procédé à maintenir les paramètres de qualité de l'eau de traitement établis par le PCCSM (annexe 1) tout en évitant une recontamination possible des moules dans les divers systèmes mis en place.

Puisque ce système de dépuración est homologué et couramment utilisé en Angleterre (malgré des teneurs initiales en coliformes fécaux très élevées et un cycle de seulement 42 heures) (Sea Fish Industry Authority, 1995; Coulombe *et al.* 2005), on peut présumer, avec un degré de certitude relativement élevé, qu'il garantirait l'innocuité du produit de la baie de Gaspé puisque les conditions de contamination sont nettement moins élevées que celles vécues en Angleterre. À ce sujet, des suivis effectués entre le 3 juillet et le 3 décembre dans le cadre de l'étude de Deschamps et Roussy (2004) ont démontré que les moules récoltées dans la baie de Gaspé n'étaient que faiblement contaminées avant la dépuración, puisque le plus haut taux de contamination rencontré a été de 130 c. f./100 g de chair.

### 1.3 Physiologie des moules et paramètres physiologiques

La quantité d'oxygène dissous dans l'eau varie selon la température et la salinité de celle-ci. Plus la température de l'eau et la salinité diminuent, plus la solubilité de l'oxygène augmente. Il y a donc plus d'oxygène dissous dans l'eau à 5 °C qu'à 10 °C (Aquacultural engineering, Wheaton *et al.*, 1977)

L'activité des mollusques est inhibée par de faibles teneurs en oxygène dissous (Sea Fish Industry Authority, 1997) et par une diminution de la température (Bayne, 1976). Le taux de

filtration est, quant à lui, largement dépendant de la concentration de la matière particulaire dans l'eau de mer (Newell *et al.*, 2001), mais aussi de la température. Il diminue avec la baisse de la température de l'eau (Gosling, 2003).

Chez la moule, le taux de consommation d'oxygène demeure constant entre 10 et 20 °C, mais diminue aux températures plus faibles (Jorgensen, 1990 dans Gosling, 2003). Il faut cependant noter que la quantité d'oxygène disponible augmente alors, ce qui compenserait la diminution de débit envisagée. De plus, en réponse à une diminution constante de l'oxygène, la moule bleue peut augmenter son efficacité d'extraction de l'oxygène (Bayne, 1976). Mais quand le taux de saturation en oxygène descend en-deçà de 60 %, la moule est alors incapable de compenser en augmentant son efficacité d'extraction et son taux d'absorption décline proportionnellement en fonction de la concentration d'oxygène dans l'environnement (Bayne, 1976).

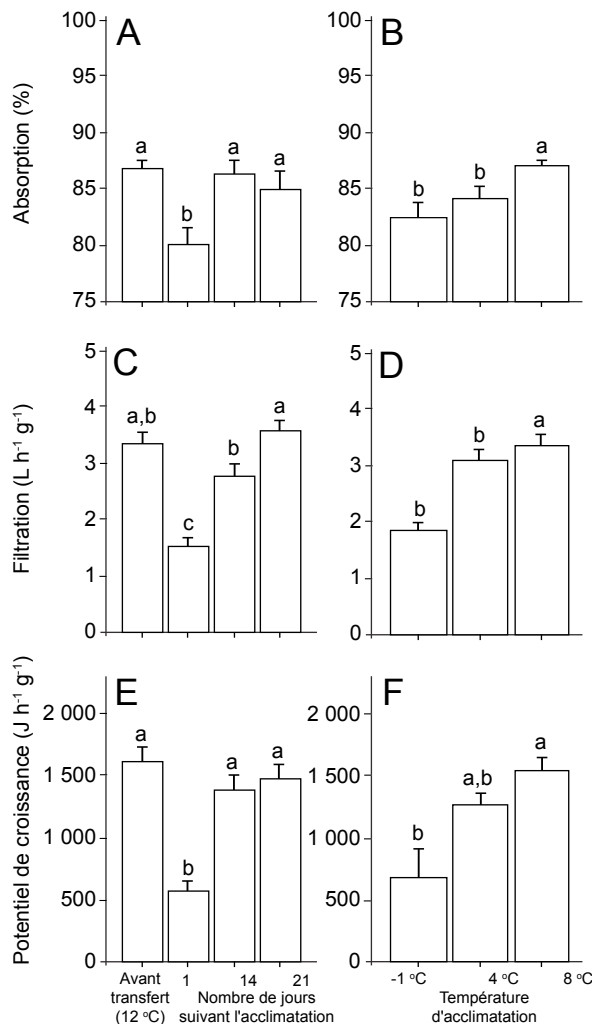


Figure 1. Efficacité d'assimilation (%), taux de filtration (L h<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup> poids sec : PS) et potentiel de croissance (J h<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup> PS) en fonction du temps suivant l'acclimation (avant le transfert et 1, 14 et 21 jours d'acclimation) (A, C et E) et de la température (T °C) d'acclimation (-1, 4 et 8 °C) (B, D, F). Des lettres distinctes indiquent des valeurs statistiquement différentes, à un seuil de 5 %. Tiré de Cusson *et al.*, 2005.

On doit cependant considérer que le taux de filtration et le métabolisme général des moules d'élevage de la baie de Gaspé font qu'elles s'adaptent bien aux températures froides (étant donné leur origine indigène) et qu'ainsi, pour des températures situées entre 4 et 8 °C, le temps de dépuración devrait être sensiblement le même, tout autre stress étant limité (Cusson *et al.*, 2005) (figure 1, partie D).

Un autre point à considérer est la saison à laquelle s'effectue la dépuración. En effet, les relations entre la saison, la disponibilité en nourriture, le taux de filtration, le cycle reproductif et l'efficacité d'absorption font que l'efficacité d'absorption de la moule est plus grande l'été que l'hiver (Bayne et Widdows, 1978). Les résultats de la dépuración pourraient donc être différents dans le temps puisque les moules ont une physiologie alimentaire qui varie selon la saison. Par exemple, la période de ponte est considérée comme une période de stress physiologique chez les bivalves, ce qui peut modifier le taux et le patron d'élimination de la bactérie *E. coli* en condition de dépuración (Power et Collins, 1989 dans Tremblay *et al.*, 2004).

On voit donc que plusieurs paramètres peuvent agir sur le système expérimental de dépuración et ainsi en modifier les résultats.

#### 1.4 Réduction des coûts de dépuración

Selon les expérimentations effectuées en 2002, les coûts d'opération de la dépuración des moules sont relativement élevés et auraient avantage à être réduits par des améliorations au processus déjà connu. Les coûts liés à celui-ci sont plus ou moins facilement compressibles, notamment celui des analyses bactériologiques de l'eau et de la chair (32 %) alors que celui lié à la manutention pourrait être diminué par l'optimisation des temps-mouvements; en effet, dans la chaîne de production, ces coûts sont les plus élevés (34 %) (Deschamps et Roussy, 2004). De façon à réduire les coûts d'opération liés à l'utilisation de l'eau de mer et qui peuvent constituer jusqu'à 25,8 % des coûts totaux de dépuración lorsque le débit est de 50 L/min pour 225 kg de moules en vrac (Deschamps et Roussy, 2004) en circuit ouvert, cette expérimentation vise à tester une réduction du débit d'eau de mer purifiée qui alimente le système.

Selon les résultats obtenus en 2002 par Deschamps et Roussy (2004) et pour la situation particulière de la baie de Gaspé, la dépuración des moules provenant de ce secteur, à 40 L/min, pour des températures comprises entre 3 et 15 °C, est dorénavant acceptée par l'ACIA, mais non homologuée.

De plus, à la suite de la diminution de la contamination par les coliformes fécaux de la baie de Gaspé, un plan de gestion de récolte de moules sous couvert de glace, proposé par les producteurs et les transformateurs de moules, a été accepté par les instances fédérales à l'hiver 2001.

Ce plan autorise désormais la mise en marché des moules provenant de la baie de Gaspé sans dépuración, en dehors des périodes de toxicité algale, en autant que les normes du PCCSM soient respectées (Pêches et Océans Canada, 2004).

Il est cependant nécessaire de compléter les expérimentations sur la diminution des débits, car une augmentation subite de la contamination de l'eau dans la baie est tout de même possible, notamment lors de fortes pluies. Dans ce cas, les moules devraient encore passer par le processus de dépuración avant leur mise en marché.

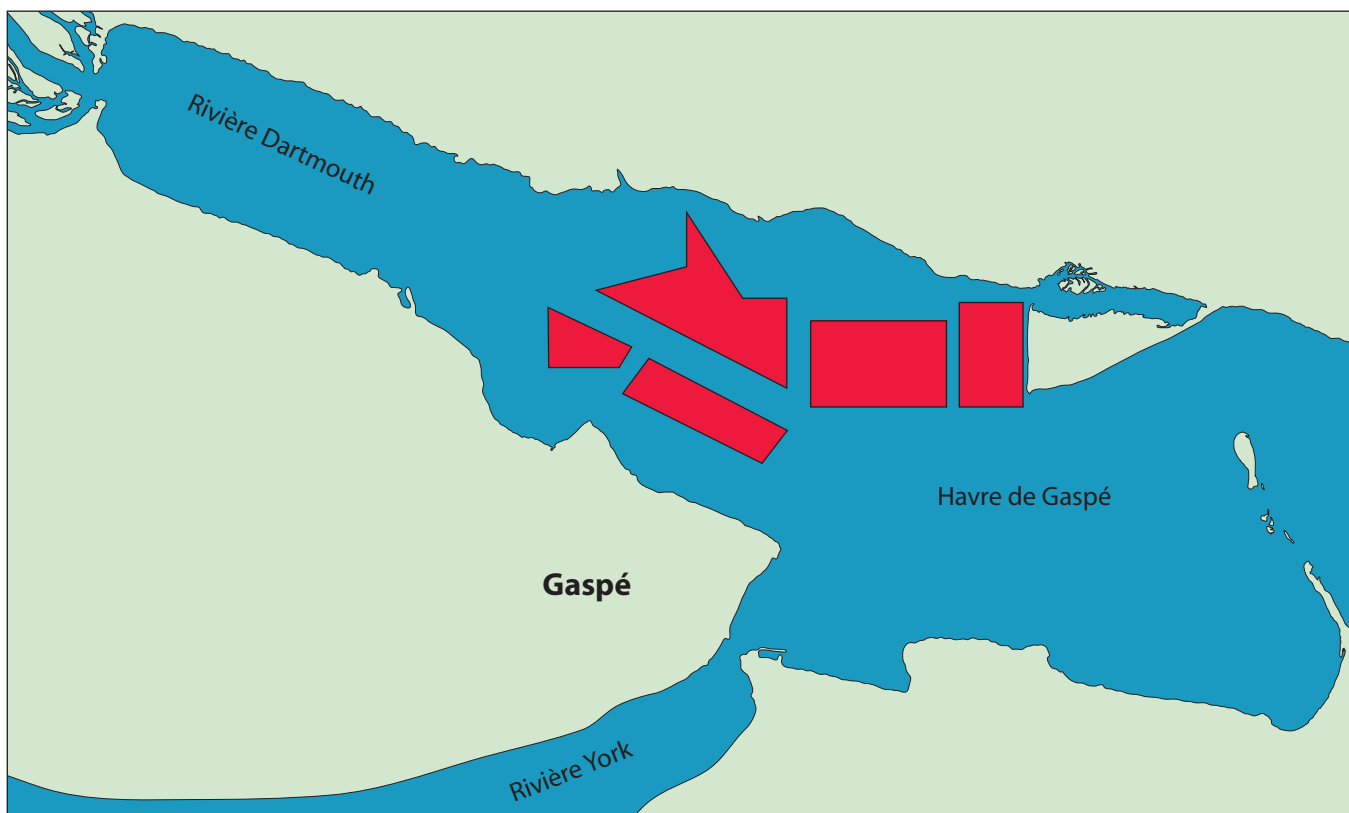


Figure 2. Emplacement (en rouge) des zones de mytiliculture dans la baie de Gaspé, où les moules utilisées dans les volets expérimentaux de dépuración en vrac ont été récoltées à l'automne 2004.

L'objectif principal du présent travail est donc de démontrer la faisabilité d'une réduction des débits d'eau de mer à 20 et à 30 L/min alors que la norme est de 40 L/min, pour dépuración des quantités de 272 kg de moules en vrac, en circuit ouvert, pour des températures de l'eau oscillant entre 5 et 8 °C. Le tout doit se faire en respectant les normes du PCCSM quant à la qualité des eaux de traitement et à la contamination en coliformes fécaux de la chair des moules. Ceci permettrait la diminution des coûts de pompage de l'eau de mer nécessaire à la dépuración.

Les températures d'expérimentation ont été choisies en fonction des températures de l'eau de la baie de Gaspé lors des périodes de récoltes des moules nécessitant une dépuración, soit le printemps, de la mi-mai à la mi-juin, et l'automne, de la mi-octobre à la fin décembre.

Les expérimentations se basent sur l'hypothèse que la solubilité de l'oxygène est plus grande dans l'eau de mer froide. Pour un débit plus faible, la concentration en oxygène de l'eau de mer à la sortie des bassins devrait être au-dessus du seuil requis à charge biologique égale. Ces conditions assurent un maintien de l'activité métabolique au dessus du seuil nécessaire pour que la dépuración soit efficace en 48 heures (Deschamps et Roussy, 2004). D'une part, l'oxygène se dissout mieux dans l'eau de mer froide, d'autre part, le métabolisme des moules acclimatées à ce régime de température permettrait une filtration tout de même efficace des moules (Cusson *et al.* 2005). La profondeur de la prise d'eau et celle de la crépine d'approvisionnement de l'usine sont voisines et l'on peut poser l'hypothèse que la température de l'eau dans laquelle baignent les moules dans les deux sites sera comparable (F. Tétrault,

comm. pers; B. Thomas, comm. pers.). Deschamps et Roussy (2004) ont d'ailleurs démontré en pratique cette hypothèse lors de leurs expérimentations de 2002 avec un débit de 40 L/min. Ainsi, plus la température de l'eau baisse, moins la déplétion en oxygène causée par les moules est prononcée.

## 2. Matériel et méthode

### 2.1 Approvisionnement, transport et transfert des moules

Les deux expérimentations du mois d'octobre 2004 ont eu lieu à l'unité expérimentale de dépuración du CAMGR. Les deux expérimentations effectuées en novembre 2004 ont eu lieu à l'usine de l'entreprise « Pêcheries Rivière-au-Renard inc ».

Les moules ont été récoltées dans différents sites de culture par les mytiliculteurs de la baie de Gaspé (figure 2), égrappées mécaniquement sur le navire, entassées à sec dans des sacs de transport disposés spécialement, pour l'occasion, dans des bacs isothermes. Les bacs ont été transportés par véhicule jusqu'à l'unité expérimentale de dépuración de Grande-Rivière. Pour les expériences réalisées à l'usine Pêcheries Rivière-au-Renard inc., les moules ont été transportées directement dans des bacs isothermes jusqu'à l'usine sans être placées dans des sacs de transport.

Dès leur arrivée, les moules ont été transférées à l'aide d'un chariot élévateur dans chacun des bassins de dépuración, trois au CAMGR et six à Rivière-au-Renard.

## 2.2 Unité expérimentale de dépuración

### 2.2.1 Centre aquacole marin de Grande-Rivière

L'unité expérimentale était composée de trois bacs isothermes (Saeplast DX335) d'un volume de 1 015 litres (dimensions internes : 1,12 m sur 0,99 m sur 1,01 m) munis de faux-fonds rigides placés à 6 cm au-dessus du fond des bacs et percés de 85 trous (diamètre de 2,5 cm). L'unité est alimentée en eau de mer prélevée à 7 m de profondeur, filtrée sur sable de 10 µm et non chauffée par le système de traitement de l'eau (figures 3 et 4). L'unité expérimentale est la même que celle décrite lors des expérimentations de 2002 (Deschamps et Roussy, 2004).

tuyau principal de 10 cm de diamètre en PVC qui se jette dans 16 tuyaux d'arrivée d'eau individuels de 3,75 cm de diamètre se terminant par un tuyau en T en PVC qui permet de répartir l'eau à la surface de ceux-ci tout en réduisant le brassage superflu des moules.

Deux rangées de huit bassins peuvent être empilées deux par deux. Les expérimentations ont évalué six des bassins placés directement sur le sol. Le maintien du débit à l'entrée de chaque bassin était contrôlé par un robinet à vanne (Chemline) sans débitmètre. L'arrivée d'eau se faisait par le haut du bassin, avec un tuyau maintenu sous la surface de l'eau, pour éviter la formation d'écume. Les bassins étaient drainés à leur base

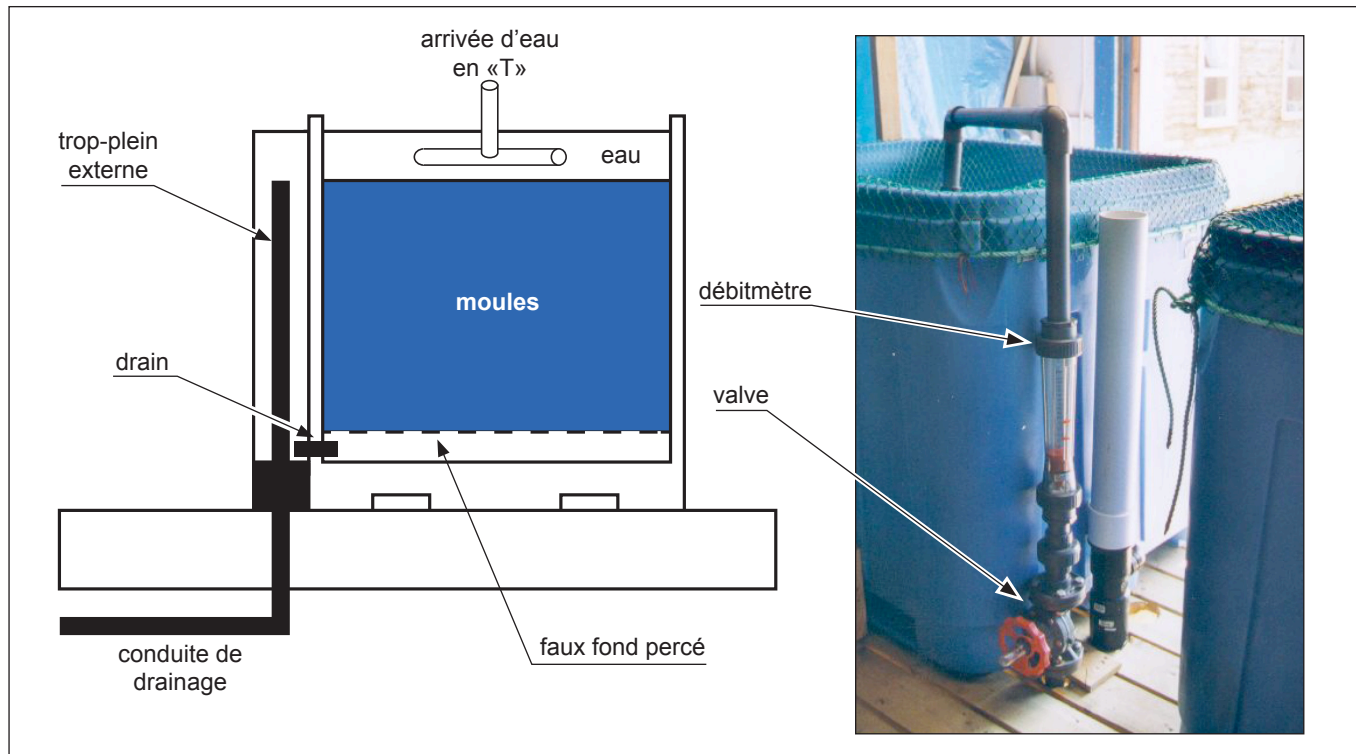


Figure 3. Coupe transversale d'un des bacs de dépuración utilisés lors des expérimentations au CAMGR.

### 2.2.2 L'entreprise Pêcheries Rivière-au-Renard inc.

Les expériences ont eu lieu dans la salle de dépuración de l'usine. Six bacs isothermes (Saeplast D-332) d'un volume de 800 litres directement placés au sol ont été utilisés (dimensions internes : 1,12 m sur 0,95 m sur 0,7 m). Pour éviter que les moules ne touchent le fond des bassins et ne se recontaminent par les sédiments, des faux-fonds rigides percés de 88 trous (diamètre de 2,5 cm) sont placés à 10 cm au-dessus du fond des bacs.

L'usine est alimentée en eau de mer non filtrée et non chauffée par le système de pompage du parc industriel de la Ville de Gaspé (secteur Rivière-au-Renard) dont la crépine repose à 12 m de profondeur. À son arrivée à l'usine, l'eau de mer est stérilisée au moyen d'un stérilisateur U.V. (Aquamerik 16 LG) et est ensuite acheminée dans la salle de dépuración où son débit est contrôlé par un débitmètre électronique (Bürkert 8025) muni d'un robinet à vanne (Chemline). L'eau est d'abord accumulée dans un bassin de mélange situé en hauteur qui permet de tamponner les fluctuations de pression avant d'alimenter les 16 bassins de dépuración (maximum possible) au moyen d'un

et reliés à des trop-pleins externes de 3,75 cm de diamètre, ajustés de façon à permettre le maintien d'un volume constant et à éviter les vidanges et les débordements inopinés. L'ajustement des débits se faisait manuellement à l'aide d'un contenant de 10 litres et d'un chronomètre.

## 2.3 Volumes de moules et débits d'eau testés en circuit ouvert

Un volume de moules correspondant à un entassement à sec (dans le bac isotherme) d'environ 45 cm (CAMGR) et de 40 cm (usine de l'entreprise Pêcheries Rivière-au-Renard inc.) d'épaisseur de moules et à une masse de 272 kg était mis à l'essai. Les différences entre les épaisseurs de moules s'expliquent par les dimensions inégales des bassins utilisés dans les deux lieux d'expérimentation (bassin DX-335 et bassin D-332).

Les cycles de dépuración de 48 heures testés ont été les suivants : deux essais successifs à 20 L/min pour des températures de l'eau de mer avoisinant les 8 °C au CAMGR. Trois répliqués ont été utilisés à chaque essai.

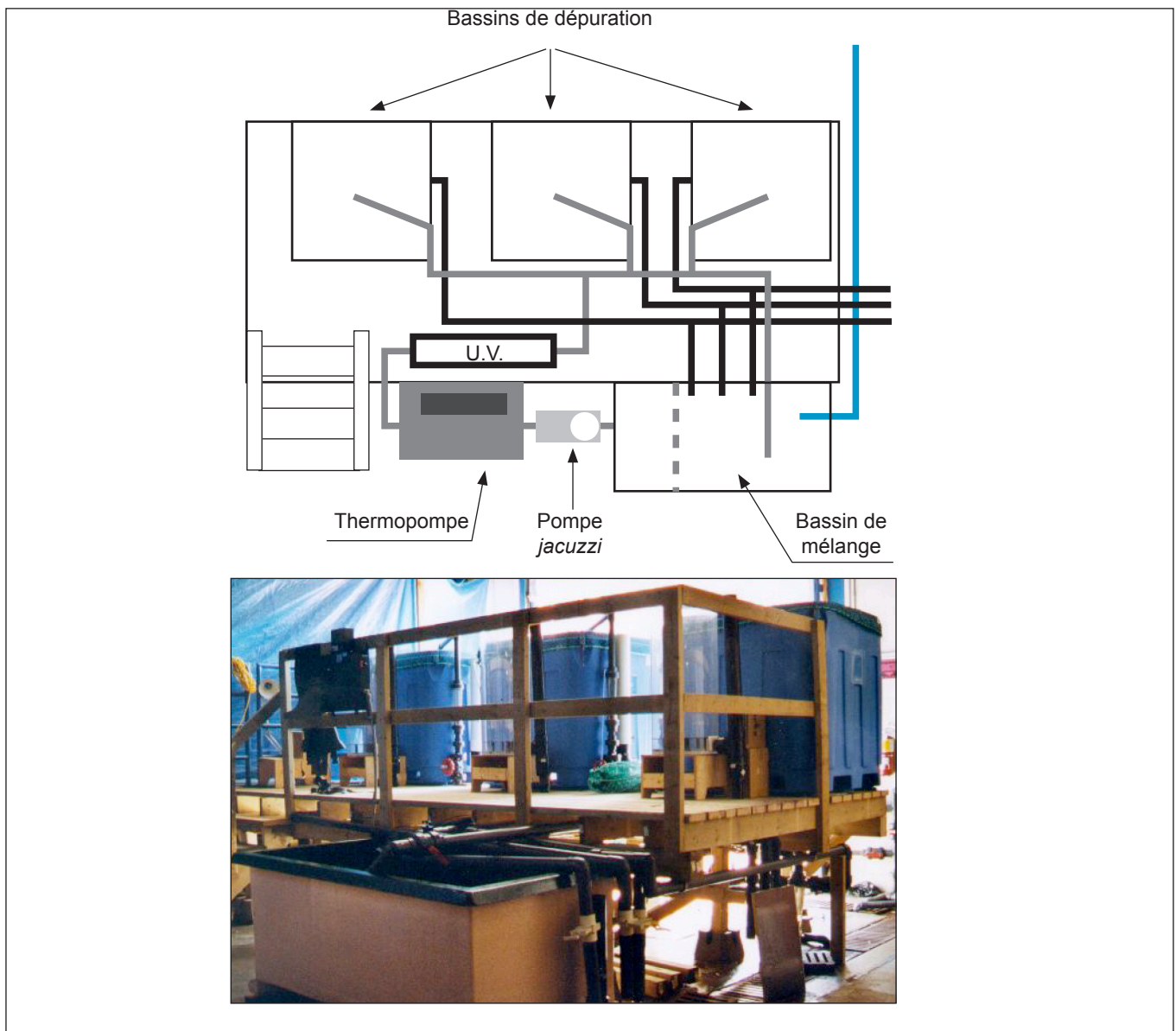


Figure 4. Vue d'ensemble en plan du système d'approvisionnement en eau et de drainage des bacs de dépuración utilisés lors des expérimentations au CAMGR.

Deux essais successifs pour des températures avoisinant 5 °C ont été effectués à l'usine Pêcheries Rivière-au-Renard inc. Deux traitements à des débits de 20 et de 30 L/min y ont été testés simultanément, avec trois réplicats chacun, soit trois bassins de dépuración pour un total de six bassins. L'expérience a donc été réalisée en double pour trois combinaisons débit-température; la combinaison 30 litres à 8 °C n'a pas été testée, car des bassins supplémentaires n'étaient pas disponibles au CAMGR. La priorité a été accordée au plus faible débit dans le but d'évaluer la quantité d'eau nécessaire la plus avantageuse du point de vue économique pour la dépuración, soit 20 L/min.

Débit évalué	~8 °C	~5 °C
20 litres par minute	Deux essais à trois réplicats	Deux essais à trois réplicats
30 litres par minute	Aucune expérimentation	Deux essais à trois réplicats

## 2.4 Cycle de dépuración

Le cycle de dépuración tel que prescrit par le PCCSM est de 48 heures avec des mesures de température, de salinité et de pH prises toutes les six heures (Deschamps et Roussy, 2004). Le début du cycle est fixé au moment où le niveau maximal de l'eau dans les bacs est atteint et se maintient. Aucun drainage n'a été effectué au temps  $T = 24$  heures. Un drainage final a lieu au temps  $T = 48$  heures ce qui marquait la fin du cycle de dépuración. L'ajustement des débits s'est fait toutes les six heures.

Tableau 1. Essais et traitements de dépuración des moules bleues de la baie de Gaspé effectués à l'automne 2004 au CAMGR et à l'usine Pêcheries Rivière-au-Renard inc.

No de l'essai	Date	Traitement	Bassins Vol(L); [no] (épaisseur moules)	Température de l'eau (°C)	Poids des moules (kg)	Lieu de l'expérimentation
GR (essai 1)	19 au 21 octobre 2004	20 L/min	1 000 [3] (40 cm)	~8 °C	272 kg	CAMGR
GR (essai 2)	27 au 29 octobre 2004	20 L/min	1 000 [3] (40 cm)	~8 °C	272 kg	CAMGR
RaR (essai 3)	18 au 20 novembre 2004	20 L/min	800 [6] (45 cm)	~5 °C	272 kg	Pêcheries Rivière-au-Renard
RaR (essai 4)	18 au 20 novembre 2004	30 L/min	800 [6] (45 cm)	~5 °C	272 kg	Pêcheries Rivière-au-Renard
RaR (essai 5)	23 au 25 novembre 2004	20 L/min	800 [6] (45 cm)	~5 °C	272 kg	Pêcheries Rivière-au-Renard
RaR (essai 6)	23 au 25 novembre 2004	30 L/min	800 [6] (45 cm)	~5 °C	272 kg	Pêcheries Rivière-au-Renard

## 2.5 Suivi de la qualité de l'eau de traitement du système de dépuración

### 2.5.1 Centre aquacole marin de Grande-Rivière

Pour s'assurer du respect des normes concernant la qualité de l'eau de traitement édictées dans le protocole du PCCSM, des mesures de température, de salinité, du pH ainsi que de l'oxygène dissous à l'entrée du système ainsi qu'à l'entrée et à la sortie de chaque bassin ont été prises aux six heures, avec deux sondes multiparamétriques (YSI modèle 600QS pour la température avec une précision de  $\pm 0,15$  °C, le pH avec une précision de  $\pm 0,2$  unité, la salinité avec une précision de  $\pm 1$  %); et une sonde YSI-85 pour le pourcentage d'oxygène dissous avec une précision de  $\pm 2$  %. Les mesures à l'entrée du système se faisaient à environ 50 cm à gauche de l'arrivée d'eau dans le bassin de mélange. Les mesures à l'entrée des bassins où les moules étaient placées se faisaient environ 5 cm à gauche du tuyau en T. Les mesures à la sortie des bassins étaient prises dans un contenant équipé d'une valve à sa base qui restait ouverte, permettant un écoulement continu.

La mesure de la turbidité de l'eau en NTU a aussi été prise aux six heures dans le bassin de mélange, à l'entrée du système avant et après le stérilisateur ultraviolet avec un turbidimètre LaMotte, modèle 2020 (Deschamps et Roussy, 2004). L'ammoniac dissous n'a pas été mesuré, car le PCCSM prescrit le suivi de ce paramètre seulement dans les systèmes en circuit fermé.

### 2.5.2 L'entreprise Pêcheries Rivière-au-Renard inc.

La sonde YSI-600QS a été utilisée pour prendre les mêmes mesures qu'au CAMGR, avec en plus les données d'oxygène (O<sub>2</sub>) dissous. La sonde de l'usine de Rivière-au-Renard (WTW ox1 320, précision  $\pm 0,5$  %) a été utilisée pour confirmer les lectures d'O<sub>2</sub> dissous de la sonde YSI-600QS. Seules les mesures d'oxygène dissous de la sonde YSI-600QS apparaissent dans les résultats avec une précision des mesures de  $\pm 2$  %. À ce site, la qualité de l'eau n'a pas été évaluée à l'entrée principale, seules les mesures aux bassins ont été réalisées aux six heures.

Par rapport au CAMGR, il était impossible de prendre les mesures physicochimiques près de l'arrivée d'eau, car les

bacs expérimentaux étaient placés côte à côte. Conséquemment, les mesures à l'entrée des bassins se faisaient à environ 5 cm près de la paroi frontale du bassin à l'opposé de l'arrivée d'eau, laquelle entrait dans les bassins par l'arrière. De plus, les bacs étaient moins hauts et moins larges que ceux utilisés au CAMGR et les moules étaient très près de la surface; or la sonde YSI-600 a besoin d'une certaine profondeur pour fonctionner correctement et il était plus facile de l'immerger à l'avant du bac.

Les mesures enregistrées à la sortie des bassins étaient prises dans un contenant placé à la sortie des trop-pleins. Le risque d'échange d'oxygène de l'air ambiant ou résultant de la turbulence était ainsi réduit.

La mesure de la turbidité de l'eau (NTU) a été prise le jour seulement, à l'entrée du système avant et après le stérilisateur ultraviolet avec un turbidimètre LaMotte modèle 2020.

## 2.6 Suivi bactériologique

Un suivi de la teneur en coliformes fécaux (NPP/100 g de chair) pouvant être présents dans les tissus des moules à dépuración a été effectué pour chacun des essais. Un échantillon initial au temps T = 0 d'environ 60 moules a été prélevé dans les poches de transport à leur arrivée à l'unité expérimentale de dépuración du CAMGR et acheminé au laboratoire de microbiologie de l'École des pêches et de l'aquaculture du Québec (ÉPAQ) pour leur analyse. Trois échantillons de 60 moules, à chacun des bassins, ont aussi été prélevés au temps T = 48 heures et acheminés à l'ÉPAQ pour analyse. La méthode utilisée pour l'analyse a été la même que dans les expérimentations antérieures, soit la méthode NPP/BLT, confirmation EC (Deschamps et Roussy, 2004). Une analyse bactériologique de l'eau de mer utilisée pour la dépuración a également été effectuée au temps T = 0 à l'entrée du système et après le passage aux rayons ultraviolets, selon la méthode NPP/A1 médium, par le laboratoire de l'ÉPAQ.

Pour les expérimentations effectuées à l'usine de Rivière-au-Renard, trois échantillons initiaux ont été pris et six au temps T = 48 heures dans chacun des bassins. Les échantillons ont été acheminés au laboratoire de microbiologie de la compagnie Marinard Biotech de Rivière-au-Renard et analysés selon la méthode mentionnée précédemment.

L'analyse bactériologique de l'eau de mer utilisée pour la dépuración a également été effectuée au temps T = 0 à l'entrée du système et après le passage aux ultraviolets, selon la méthode NPP/A1 médium, par le laboratoire de Marinard Biotech.

### 3. Résultats

#### 3.1 Centre aquacole marin de Grande-Rivière

##### 3.1.2 Qualité de l'eau en fonction du débit, de la température et de l'oxygénation

La grosseur des moules était variable et on retrouvait beaucoup de moules plus petites que les standards commerciaux ce qui est normal puisque le tri final s'effectue à l'usine, après la dépuración et l'entreposage humide, s'il y a lieu.

Le maintien de débits constants a été très bien respecté pendant les expérimentations. La moyenne des débits s'étant maintenue entre 19 et 19,89 L/min (figure 10; tableau 4). Les fluctuations semblent liées au hasard sauf durant les premières 24 heures de l'essai 1 dont le débit se situe davantage sous les 18 L.

Les températures des trois bassins ont varié entre 7,54 et 9,06 °C (figure 4; tableau 2) et la salinité, à l'entrée des bassins, se situait entre 27,47 et 29,08 ‰ (tableau 2). Le pH moyen à l'entrée des bassins était compris entre 8,33 et 8,40 et entre 7,92 et 8,01 à la sortie des bassins (tableau 2).

Toutes les valeurs de turbidité de l'eau de mer filtrée à l'entrée du système, ainsi qu'après stérilisation aux ultraviolets, sont nettement inférieures à la norme du PCCSM de 20 NTU (tableau 2).

Les teneurs en oxygène dissous pour l'essai 1 (tableau 2B), à l'entrée des bassins, étaient comprises entre 78 et 108 %, tandis qu'à la sortie des bassins elles se situaient entre 48 et 71 %. Pour l'essai 2 (tableau 2B), les teneurs en oxygène dissous à l'entrée des bassins, étaient comprises entre 76 et 99 %, tandis qu'à la sortie des bassins elles se situaient entre 48 et 68 % (figure 5; tableau 2). Si l'on tient compte de l'écart-type, les teneurs moyennes en oxygène dissous à la sortie des bassins se situaient parfois sous la norme des 50 % surtout après les premières 12 heures suivant la mise en charge des bassins.

Tableau 2 Paramètres physicochimiques des eaux de traitement à l'entrée et à la sortie des bassins de dépuración.

A. Salinité (‰), turbidité (NTU) et pH.

Essai	Traitement (L/min)	Salinité (‰)			Turbidité moyenne (NTU)		pH moyen	
		Min.	Moy. (± é. t.)	Max.	Entrée (± é. t.)	Sortie (± é. t.)	Entrée (± é. t.)	Sortie (± é. t.)
GR (essai 1)	20	28,09	28,62 (0,32)	29,08	0,01 (0,02)	0,01 (0,03)	8,33 (0,10)	7,92 (0,04)
GR (essai 2)	20	27,47	28,04 (0,41)	28,68	0,01 (0,03)	0,01 (0,03)	8,40 (0,10)	8,01 (0,06)
RaR (essai 3)	20	27,90	28,46 (0,43)	29,08	0,31 (0,34)	0,03 (0,07)	8,55 (0,02)	8,16 (0,08)
RaR (essai 5)	20	27,31	28,09 (0,45)	28,62	0,04 (0,09)	0	8,56 (0,04)	8,22 (0,08)
RaR (essai 4)	30	27,92	28,49 (0,43)	29,27	0,31 (0,34)	0,03 (0,07)	8,59 (0,03)	8,29 (0,08)
RaR (essai 6)	30	27,30	28,13 (0,47)	28,68	0,04 (0,09)	0	8,61 (0,04)	8,34 (0,08)

B. Oxygène dissous ( %) et température (°C).

Essai	Traitement (L/min)	Oxygène dissous ( %)						Température (°C)		
		Entrée			Sortie			Min.	Moy. (± é. t.)	Max.
		Min.	Moy. (± é. t.)	Max.	Min.	Moy. (± é. t.)	Max.			
GR (essai 1)	20	78,20	93,36 (5,98)	107,6	48,10	54,23 (4,99)	70,40	7,54	8,05 (0,34)	8,80
GR (essai 2)	20	76,70	88,82 (4,69)	98,40	48,10	53,66 (4,84)	67,30	8,03	8,57 (0,35)	9,06
RaR (essai 3)	20	88,0	91,20 (1,6)	93,30	59,80	66,0 (4,61)	72,80	4,05	4,53 (0,35)	5,06
RaR (essai 5)	20	92,10	94,36 (1,04)	95,80	68,10	72,43 (1,71)	74,60	3,93	4,33 (0,27)	4,74
RaR (essai 4)	30	90,30	95,13 (1,75)	98,30	72,10	76,36 (2,97)	80,80	4,05	4,53 (0,35)	5,06
RaR (essai 6)	30	95,0	97,49 (1,06)	99,0	78,30	80,66 (1,17)	83,0	3,93	4,33 (0,27)	4,74

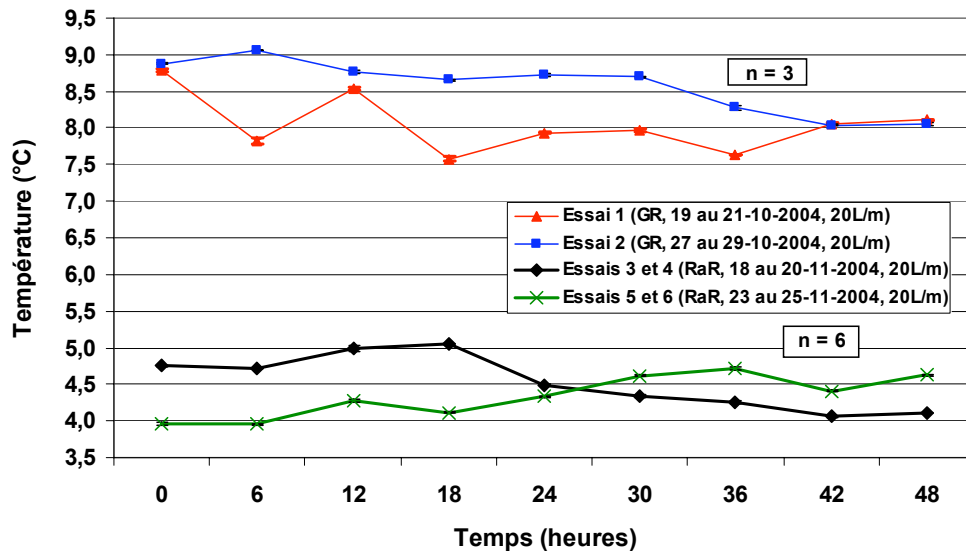


Figure 5. Températures moyennes (°C) de l'eau dans les bassins lors des expérimentations utilisant un débit de 20 ou 30 litres par minute pour dépurier 272 kg de moules en vrac, en circuit ouvert, au CAMGR et à l'usine Pêcheries Rivière-au-Renard inc.

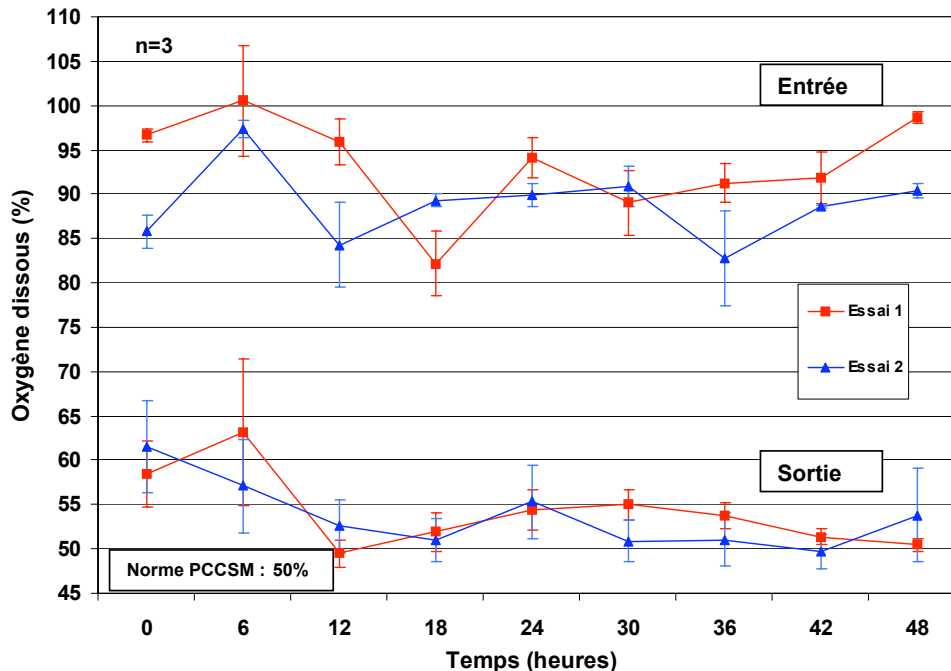


Figure 6. Teneurs moyennes de l'eau en oxygène dissous (%) à l'entrée et à la sortie des bassins lors des expérimentations au CAMGR utilisant un débit de 20 litres par minute pour dépurier 272 kg de moules en vrac, en circuit ouvert.

La déplétion moyenne en oxygène dissous entre l'entrée et la sortie des bassins s'est généralement maintenue entre 30 et 40 %, mais certains écarts-types sont assez importants (figure 6).

L'analyse de la teneur en coliformes fécaux de l'eau de traitement au temps T = 0 (avant et après le traitement aux ultraviolets) montre des teneurs nulles (tableau 3 A). L'analyse de la teneur en coliformes fécaux de la chair des moules montre des valeurs nulles ou égales à 20 c. f. / 100 g de chair au temps T = 0 et des valeurs nulles au temps T = 48 (tableau 3 B).

Les résultats de ces deux premières expérimentations réalisées à des températures avoisinants 8 °C, n'ont pas permis de

rencontrer systématiquement les conditions minimales exigées par le PCCSM quant à la teneur en oxygène dissous de l'eau de traitement des moules à la sortie des bassins.

## 3.2 L'entreprise Pêcheries Rivière-au-Renard inc.

### 3.2.1 Qualité de l'eau en fonction du débit, de la température et de l'oxygénation

Les deux dernières expérimentations effectuées à l'usine Pêcheries Rivière-au-Renard inc. avaient pour objectif de comparer deux traitements en parallèle en triplicats soit trois bassins avec un débit d'eau de mer de 20 L/min et trois autres



Tableau 3. Analyses bactériologiques des eaux de traitement et de la chair des moules pour la teneur en coliformes fécaux de chaque expérimentation.

A. Teneur de l'eau de traitement en coliformes fécaux (NPP/ 100ml) avant et après stérilisation aux ultraviolets au temps T = 0.

Essai	Traitement (L/min)	Temps	Coliformes fécaux (NPP/100 ml)	Coliformes fécaux (NPP/100 ml)
			avant UV	après UV
GR (essai 1)	20 L/min	T0	< 2	< 2
GR (essai 2)	20 L/min	T0	2	< 2
RaR (essai 3 et 4)	20 et 30 L/min	T0	4,0	1,8
RaR (essai 5 et 6)	20 et 30 L/min	T0	6,8	< 1,8

B. Teneur de la chair des moules en coliformes fécaux (NPP/ 100 g) aux temps 0 et 48.

Essai	Traitement (L/min)	Coliformes totaux présumés (NPP/100 g)	Coliformes fécaux (NPP/100 g)	Bassin	Coliformes totaux présumés (NPP/100 g)	Coliformes fécaux (NPP/100 g)
					T 0	T 48
GR (essai 1)	20	790	20	1	130	< 20
				2	80	< 20
				3	80	< 20
GR (essai 2)	20	2 400	< 20	1	80	< 20
				2	80	< 20
				3	50	< 20
RaR (essai 4)	30	N° 1 : 230 N° 2 : 490 N° 3 : 330	N° 1 : 50 N° 2 : 50 N° 3 : 40	1	230	< 20
				2	230	< 20
				3	230	< 20
RaR (essai 3)	20			4	230	< 20
				5	230	< 20
				6	230	< 20
RaR (essai 6)	30	N° 1 : 230 N° 2 : 230 N° 3 : 490	N° 1 : 20 N° 2 : < 20 N° 3 : < 20	1	230	< 20
				2	230	< 20
				3	230	< 20
RaR (essai 5)	20			4	230	< 20
				5	230	< 20
				6	230	< 20

avec un débit de 30 L/min dans le but de dépurifier environ 272 kg de moules à température ambiante. La grosseur des moules était variable et on retrouvait beaucoup de moules plus petites que les standards commerciaux.

Les débits ont été ajustés toutes les six heures. La moyenne des débits n'a pas pu être calculée comme ce fut le cas au CAMGR, toutefois, les autres paramètres ont été notés.

Les températures des six bassins ont varié entre 4,05 °C et 5,06 °C lors des essais 3 et 4 (tableau 2B) et entre 3,93 °C et 4,74 °C lors des essais 5 et 6 (figure 4; tableau 2B). La salinité, à l'entrée des bassins, se situait entre 27,90 et 29,27 ‰ lors des essais 3 et 4 et entre 27,30 et 28,68 ‰ lors des essais 5 et 6 (tableau 2). Le pH moyen, à l'entrée des bassins, était

compris entre 8,55 et 8,61 et entre 8,16 et 8,34 à la sortie des bassins, pour les essais 3 à 6 (tableau 2A).

Il est intéressant de comparer les courbes de températures moyennes à celles de la teneur moyenne en oxygène et de constater que celles-ci sont corrélées. On peut voir une relation directe inverse entre ces deux paramètres, indépendamment du traitement.

Ainsi, dans les essais 3 et 4, la température diminue progressivement pendant les 48 heures du cycle et le pourcentage d'oxygène dissous augmente. Dans les essais 5 et 6 par contre, la température augmente pendant tout l'essai et le pourcentage d'oxygène dissous diminue.

Tableau 4 Débits moyens d'eau de traitement observés par bassins lors des expérimentations de dépuración au CAMGR

Essai	Traitement (L/min)	Débit moyen observé					
		Bassin 1		Bassin 2		Bassin 3	
		Moy.	e. t.	Moy.	e. t.	Moy.	e. t.
GR (essai 1)	20	19,83	0,50	19,00	1,73	19,50	0,90
GR (essai 2)	20	19,89	1,52	19,83	0,50	19,61	0,65

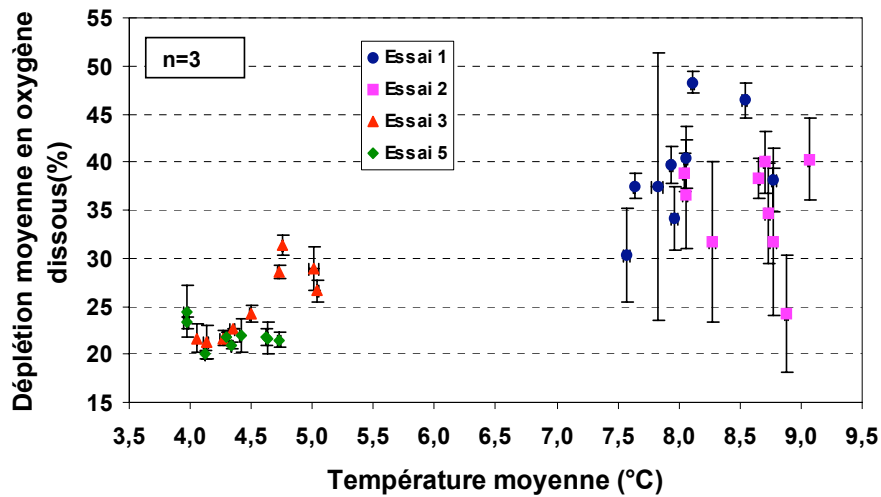


Figure 7. Dépletion moyenne en oxygène dissous en fonction de la température moyenne de l'eau de traitement entre l'entrée et la sortie des bassins de dépuración, pour les expérimentations utilisant un débit de 20 litres par minute, pour dépuración 272 kg de moules en vrac, en circuit ouvert, au CAMGR et à l'usine Pêcheries Rivière-au-Renard inc.

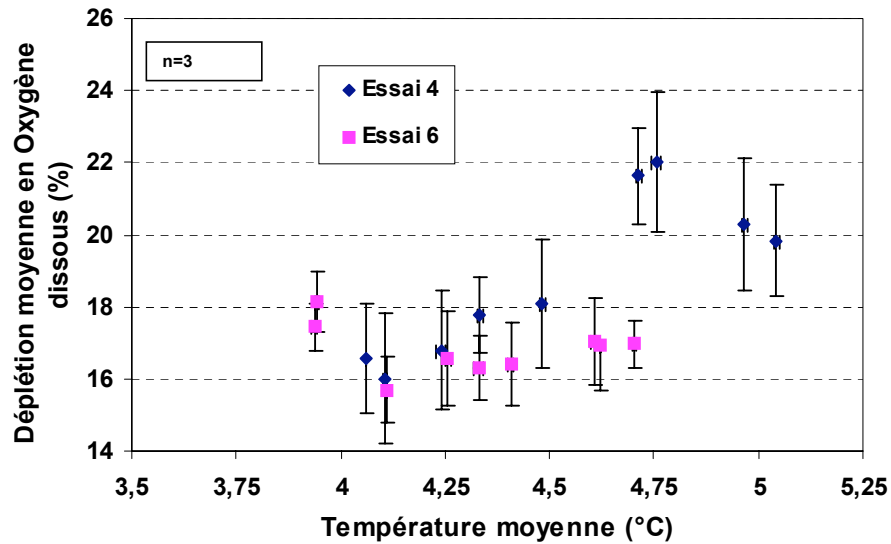


Figure 8. Dépletion moyenne en oxygène dissous en fonction de la température moyenne de l'eau de traitement entre l'entrée et la sortie des bassins de dépuración, pour les expérimentations utilisant un débit de 30 litres par minute, pour dépuración 272 kg de moules en vrac, en circuit ouvert à l'usine Pêcheries Rivière-au-Renard inc.

Pour les traitements, à 20 L/min, les teneurs en oxygène dissous, à l'entrée des bassins, étaient comprises entre 88,0 et 93,3 % pour l'essai 3 et entre 92,0 et 96,0 % pour l'essai 5 (tableau 2B). À la sortie des bassins, elles se situaient entre 60,7 et 71,7 % pour l'essai 3 et entre 70,5 et 74,4 % pour l'essai 5. Les écarts-types sont faibles pour la plupart des valeurs mesurées (figures 8 et 9; tableau 2B) comparativement au CAMGR. À l'essai 3, la teneur en oxygène à la sortie est plus faible durant les premières 18 heures alors qu'à l'essai 5, la concentration est assez stable tout au long du cycle de dépuración.

Pour les traitements à 30 L/min, les teneurs en oxygène dissous, à l'entrée des bassins, étaient comprises entre 92,6 et 96,6 % pour l'essai 4 et entre 95,8 et 98,6 % pour l'essai 6. À la sortie des bassins, elles se situaient entre 72,7 et 80,4 % pour l'essai 4 et entre 79 et 82 % pour l'essai 6. Dans ce cas également, les écarts-types sont faibles pour la plupart des valeurs (figures 8 et 9; tableau 2B).

La déplétion moyenne en oxygène dissous entre l'entrée et la sortie des bassins s'est généralement maintenue entre 20 et 25 % pour les essais à 20 L/min et entre 15 et 18 %, pour ceux à 30 L/min (figures 6 et 7).

Toutes les valeurs de turbidité de l'eau de mer à l'entrée du système, ainsi qu'après stérilisation par ultraviolets, sont nettement inférieures à la norme du PCCSM de 20 NTU (tableau 2A).

L'analyse de la teneur en coliformes fécaux de l'eau de traitement au temps T = 0 avant et après le traitement aux ultraviolets, montre de faibles valeurs (tableau 3 A). L'analyse de la teneur en coliformes fécaux de la chair des moules au temps T = 0 montre des valeurs nulles ou faibles et des valeurs nulles au temps T = 48 heures (tableau 3 B).

Les résultats de ces deux dernières expérimentations ont permis de rencontrer toutes les conditions minimales des

eaux de traitement exigées par le PCCSM notamment celles touchant à la teneur minimum en oxygène dissous de l'eau de traitement après passage à travers les moules, et ce, pour les deux traitements à 5 degrés centigrades.

## 4. Discussion

### 4.1 Centre aquacole marin de Grande-Rivière

#### 4.1.1 Oxygène dissous

L'oxygène dissous dans l'eau de traitement est le seul paramètre qui ne rencontre pas les exigences du PCCSM dans au moins un essai. Ainsi, à la sortie des bassins, l'oxygène dissous devrait être présent à un minimum de 50 %, ce qui n'est pas toujours le cas. À partir de 12 heures après le début du cycle, les mesures moyennes se sont situées entre 49 et 55 % et ces valeurs pourraient être plus faibles si on tient compte de l'écart-type et de la précision de la sonde utilisée qui est de  $\pm 2$  %.

#### 4.1.2 Déplétion en oxygène

La déplétion moyenne en oxygène dissous entre l'entrée et la sortie des bassins, pour les températures voisinant 8 °C, est forte au débit de 20 L/min se situant généralement au-delà de 30 %. Les écarts-types sont également très élevés, démontrant une grande variabilité dans la consommation en oxygène des masses de moules en vrac. Dans l'étude de Cusson *et al.* 2005, il est mentionné que les moules soumises à un accroissement de la température de l'eau de 5 à 15 °C, augmentent leur métabolisme général. On y observe une augmentation de la consommation en oxygène, de l'excrétion de l'ammoniac et du taux de filtration. De plus, selon Bayne, 1976; Sea Fish Industry Authority, 1997, les moules étant poïkilothermes, leur température varie de façon dépendante avec celle de leur

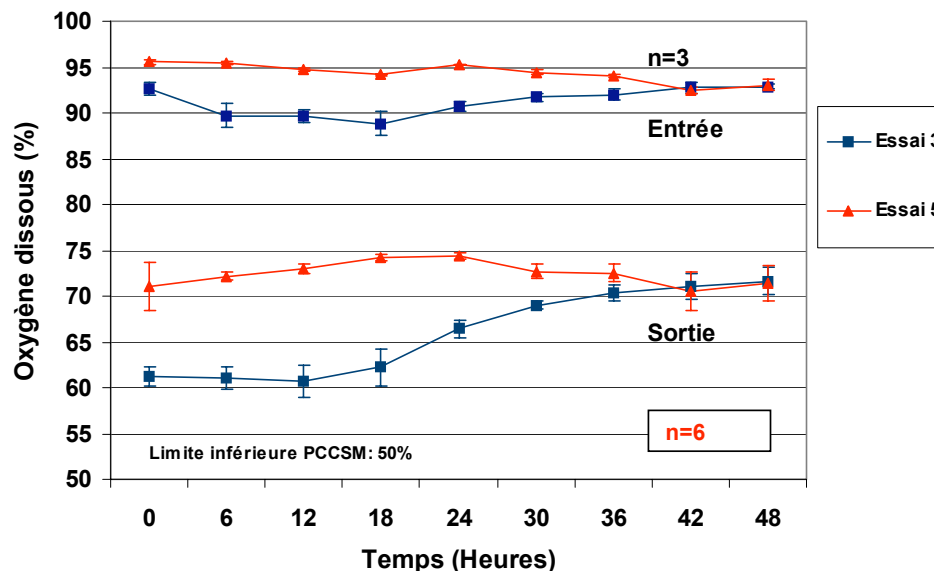


Figure 9. Teneurs moyennes de l'eau en oxygène dissous (%) à l'entrée et à la sortie des bassins, lors des expérimentations utilisant un débit de 20 litres par minute, pour dépurer 272 kg de moules en vrac, en circuit ouvert, à l'usine « Pêcheries Rivière-au-Renard inc ».

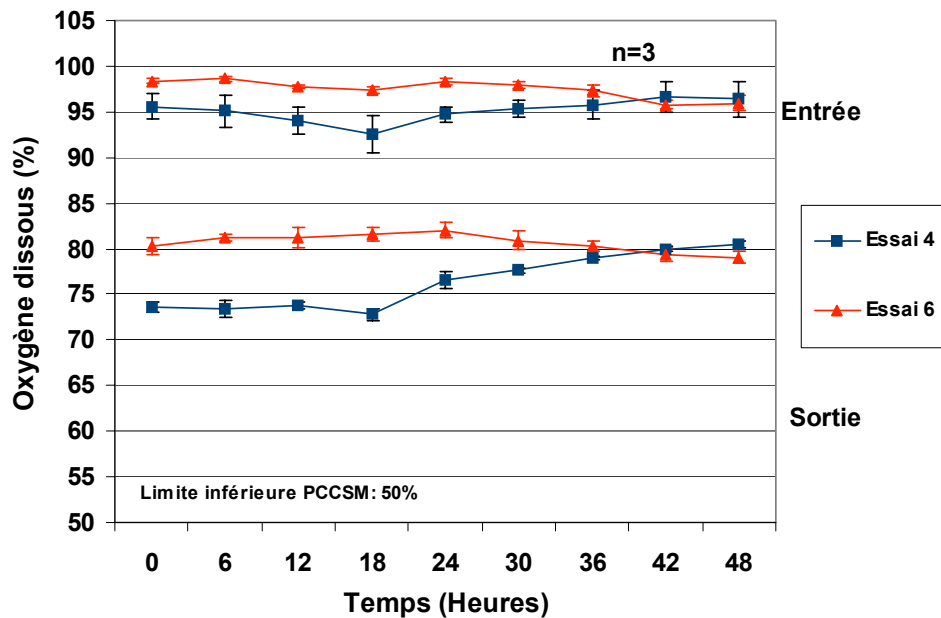


Figure 10. Teneurs moyennes de l'eau en oxygène dissous (%) à l'entrée et à la sortie des bassins lors des expérimentations utilisant un débit de 30 litres par minute, pour dépurier 272 kg de moules en vrac en circuit ouvert, à l'usine Pêcheries Rivière-au-Renard inc.

milieu ambiant, et leur métabolisme compense immédiatement avec les variations de la température. Ainsi, à une température de 8 °C qui est supérieure à l'autre température qui a été analysée soit 5 °C, il est attendu d'y observer une plus forte consommation d'oxygène et en conséquence, une déplétion plus importante à l'entrée et à la sortie des bassins.

## 4.2 L'entreprise Pêcheries Rivière-au-Renard inc.

Pour les deux dernières expérimentations, les résultats obtenus permettent de rencontrer toutes les exigences quant à la qualité des eaux de traitement telles que requises par le PCCSM (annexe 1).

### 4.2.1 Oxygène dissous

Il est intéressant de comparer les courbes de températures moyennes à celles de la teneur moyenne en oxygène dissous et de constater que celles-ci suivent les lois de la physique décrites antérieurement. On peut constater une relation directe inverse entre ces deux paramètres, indépendamment du traitement. Ainsi, dans les essais 3 et 4, la température diminue progressivement pendant les 48 heures du cycle et le pourcentage d'oxygène dissous augmente. Dans les essais 5 et 6 par contre, la température augmente pendant tout l'essai et le pourcentage d'oxygène dissous diminue.

Ces résultats sont liés à l'interaction des deux facteurs dont nous avons discuté précédemment : premièrement, la quantité d'oxygène dissous dans l'eau augmente avec la diminution de la température et vice-versa (Sea Fish Industry Authority, 1997); deuxièmement, les moules étant poïkilothermes, leur température varie de façon similaire avec celle de leur milieu ambiant, donc de l'eau et leur métabolisme compense immédiatement avec les variations de la température, du moins durant les premiers jours (Bayne, 1976; Sea Fish Industry Authority, 1997)

comme c'est le cas avec la dépuración qui ne s'échelonne que sur 48 heures. Par exemple, elles consomment moins d'oxygène aux températures plus basses si elles ont été récoltées dans un site où celle des eaux d'élevage est plus élevée. La diminution de la consommation en oxygène est de l'ordre de 25 à 30 % pour un différentiel négatif de 5 degrés centigrades (Bayne *et al.* in Bayne, 1976).

### 4.2.2 Effet des changements de débit

Évidemment on note que les variations de débit ont aussi un effet. Ainsi, les concentrations d'oxygène dissous à l'entrée, mais surtout à la sortie des bassins sont toujours plus élevées dans les traitements à 30 L/min que dans ceux à 20 L/min pour les expériences faites simultanément à la même température (figures 8 et 9; tableau 2B). Un débit d'eau plus grand entraîne un meilleur apport en oxygène dans un bassin donné, tous les autres paramètres restant inchangés.

### 4.2.3 Variations de la teneur en oxygène dissous pendant les cycles

On observe que les variations maximales de la concentration en oxygène dissous de l'eau de mer à la sortie des bassins ont été enregistrées lorsque les écarts de température ont été les plus grands durant les 4 cycles de dépuración réalisés (tableaux 1 et 2B, figure 4). La seule observation des températures moyennes n'aurait pu fournir d'explication à ces différences puisqu'elles sont très voisines (4,33 vs 4,51 °C) entre les deux périodes.

Il est intéressant de noter que la moule semble réagir à de minces écarts de température, moins de 1 °C, à cette période. En effet, la concentration d'oxygène à la sortie suit encore une relation inverse très serrée avec la température de l'eau, laquelle influence elle-même le métabolisme basal des moules

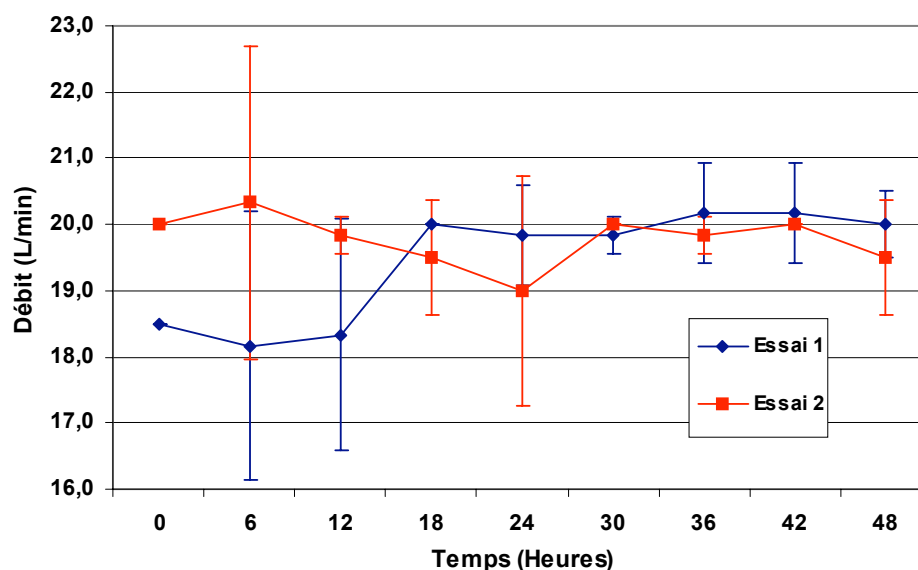


Figure 11. Débits moyens des bassins lors des deux expérimentations au CAMGR, utilisant un débit de 20 litres par minute pour dépurifier 272 kg de moules en vrac, en circuit ouvert.

qui n'ont pas le temps de s'acclimater durant les quelques 48 heures de dépurification (Bayne *et al.* in Bayne 1976). Ces observations sur le niveau de réaction des moules sont corroborées par une observation qualitative du bâillement de celles visibles à la surface des bassins qui est plus prononcé lorsque la température augmente et que l'oxygène se « raréfie » tel que nous l'avons réalisé du 18 au 20 novembre lors des essais 3 et 4 alors que les coquilles étaient moins ouvertes du 23 au 25 novembre, essais 5 et 6 où la température a décliné progressivement (figure 4)

Conséquemment, la relation débit et consommation d'oxygène des moules doit être établie avec précision et précaution.

#### 4.2.4 Déplétion en oxygène dissous

La déplétion moyenne en oxygène dissous entre l'entrée et la sortie des bassins est conforme, de façon générale, à la tendance observée par Deschamps et Roussy (2004) lors de leurs expérimentations de 2002, soit que la déplétion est moindre lorsque la température de l'eau, elle-même diminue. On peut donc s'attendre à ce que l'écart en oxygène dissout entre l'entrée et la sortie des bassins diminuent en automne et, a contrario, augmente au printemps.

Par ailleurs, les expériences actuelles, qui ont eu lieu avec des débits plus faibles, montrent des déplétions moyennes plus élevées qu'en 2002, résultats attendus car les débits étaient deux fois plus forts à cette époque (figures 6 et 7). On observe aussi qu'à température égale, plus le débit est élevé, moins la déplétion est grande (annexe 4). Ceci n'est pas surprenant compte tenu de la plus grande quantité d'oxygène dissout disponible à fort débit puisque les eaux des bassins sont renouvelées plus rapidement.

#### 4.2.5 Contrôle des débits

Le contrôle des débits est empirique car le débit d'alimentation de chaque bassin est régulé au moyen d'une valve plus ou moins ouverte en fonction des besoins. L'ajustement se fait

avec un chronomètre et une chaudière de 10 litres. L'opération est lente. Même ajustés, les débits variaient sensiblement de six heures en six heures. Par exemple, les bassins # 1,2 et 3 à T48 de l'essai 6 se sont retrouvés tous les trois avec un débit de 27,3 L/min alors qu'ils avaient été ajustés à 30 L/min six heures plus tôt. Ceci a pu être causé par une diminution de la pression du système général. Une solution serait de prévoir des débitmètres précis de façon à pouvoir obtenir une lecture instantanée et faire les correctifs au besoin, notamment lors de variation soudaine ou plus ou moins importante de la température des eaux d'appoint. Les fluctuations de débit reliées aux variations générales de pression peuvent être amoindries par l'emploi d'un bassin tampon d'un volume suffisamment grand. Sinon, il faudrait prévoir un coefficient de sécurité pour l'entreprise i.e que le débit visé soit supérieur d'au moins 10 % de la valeur prescrite éventuellement par le PCCSM.

## 5. Constats

Compte tenu d'une éventuelle augmentation de la température, qui ferait alors chuter davantage la teneur en oxygène dissout dans l'eau, la dépurification des moules de la baie de Gaspé effectuée à l'automne entre 7,5 et 9,0 °C ne devrait pas s'effectuer à un débit de 20 L/min, pour cette quantité de moules (annexe 3).

Pour les expérimentations, effectuées à l'usine Pêcheries Rivière-au-Renard inc. dans une eau à 5 °C, les résultats obtenus permettent de rencontrer toutes les exigences quant à la qualité des eaux de traitement telles que requises par le PCCSM (annexe 1).

Il a été observé que les moules consomment moins d'oxygène aux températures plus basses si elles ont été récoltées dans un site où la température des eaux d'élevage est plus élevée. La diminution de la consommation en oxygène est de l'ordre de 25 à 30 % pour un différentiel négatif de 5 °C (Bayne *et al.* dans Bayne, 1976).

Il est ressorti que les débits ont un effet sur le processus de dépuración. Ainsi, les concentrations d'oxygène dissous présentes à l'entrée, mais surtout à la sortie des bassins sont toujours plus élevées dans les traitements à 30 L/min que dans ceux à 20 L/min pour les expériences faites simultanément à la même température (figures 8 et 9; tableau 2B). Un débit d'eau plus grand entraîne un meilleur apport en oxygène dans un bassin donné.

On observe que les variations maximales de la concentration en oxygène dissous de l'eau de mer à la sortie des bassins ont été enregistrées lorsque les écarts de température ont été les plus grands durant les quatre cycles de dépuración réalisés (tableaux 1 et 2B, figure 4). La seule observation des températures moyennes n'aurait pu fournir d'explication à ces différences puisqu'elles sont très voisines (4,33 par rapport à 4,51 °C) entre les deux périodes.

Il est intéressant de noter que la moule semble réagir à de minces écarts de température de moins de un degré. En effet, la concentration d'oxygène à la sortie suit encore une relation inverse très étroite avec la température de l'eau, laquelle influence elle-même le métabolisme basal des moules qui n'ont pas le temps de s'acclimater durant les quelques 48 heures de dépuración (Bayne *et al.* dans Bayne, 1976). Ces observations sur le niveau de stress durant l'acclimation sont corroborées par une observation du bâillement des moules visibles à la surface des bassins qui est plus prononcé lorsque la température augmente et que l'oxygène se «raréfie» tel que nous l'avons observé du 18 au 20 novembre lors des essais 3 et 4. En corollaire, le bâillement était moins apparent durant la période du 23 au 25 novembre, essais 5 et 6 où la température a diminué progressivement (figure 4).

Conséquemment, la relation débit et consommation d'oxygène des moules doit être établie avec précision et précaution.

À Pêcheries Rivière-au-Renard inc., la déplétion moyenne en oxygène dissous entre l'entrée et la sortie des bassins est conforme, de façon générale, à la tendance observée par Deschamps et Roussy (2004) lors de leurs expérimentations de 2002, c'est-à-dire que la déplétion est moindre lorsque la température de l'eau diminue. On peut donc s'attendre à ce que l'écart en oxygène dissous entre l'entrée et la sortie des bassins diminue en automne et, a contrario, augmente au printemps.

Le contrôle des débits est empirique, car le débit d'alimentation de chaque bassin est régulé au moyen d'une valve plus ou moins ouverte en fonction des besoins. L'ajustement se fait avec un chronomètre et un contenant de 10 litres. L'opération est lente. Même ajustés, les débits variaient sensiblement à toutes les six heures. Par exemple, les bassins nos 1, 2 et 3 au temps T = 48 de l'essai 6 se sont retrouvés tous les trois avec un débit de 27,3 L/min alors qu'ils avaient été ajustés à 30 L/min six heures plus tôt. Une solution serait de prévoir des débitmètres précis de façon à pouvoir obtenir une lecture instantanée et corriger au besoin, notamment lors d'une variation soudaine ou plus ou moins importante de la température des eaux d'appoint. Les fluctuations de débit reliées aux variations générales de pression peuvent être amoindries par l'emploi d'un bassin tampon d'un volume suffisamment grand. Sinon, il faudrait prévoir un coefficient de sécurité pour l'entreprise, c'est-à-dire que le débit visé soit supérieur d'au moins 10 % de la valeur prescrite éventuellement par le PCCSM.

## 5.1 Recommandations

Compte tenu du faible degré de contamination initiale de la chair des moules d'élevage de la baie de Gaspé, il est recommandé d'effectuer la dépuración avec des débits variant entre 20 et 30 L/min (un coefficient de sécurité de 10 % devrait être ajouté afin de respecter ces débits en opération industrielle en tout temps) pour une température de 4 à 5 °C à l'automne. Pour des températures supérieures, il faut s'en tenir aux débits de 40 L/min utilisés précédemment (Deschamps et Roussy, 2004).

Finalement, les analyses bactériologiques, pour tous les essais, montrent que les moules évaluées n'étaient pas ou peu contaminées au départ. Ces expérimentations ne correspondent donc pas à une réelle dépuración, mais à une évaluation du respect des paramètres physicochimiques tels que défini par le PCCSM. Toutefois, Power et Collins (1990) ont démontré que des moules contaminées artificiellement arrivaient à éliminer 99,9 % des bactéries *E. coli* présentes dans leur système digestif en 48 heures. De plus, des systèmes analogues ont fait leur preuve au Royaume-Uni (Coulombe *et al.*, 2005) et il est possible de croire que de tels cycles de dépuración seraient efficaces avec des moules fortement contaminées provenant de la baie de Gaspé ou ailleurs au Québec.

Pour ce qui est des économies possibles reliées à une réduction des débits, rappelons les éléments suivants (annexe 2) :

Deschamps et Roussy (2004) avaient évalué les coûts de l'eau de traitement pour la dépuración à 25,8 % du coût total de la dépuración, et ce, pour 225 kg de moules par bassin avec un débit de 50 L/min. Si on reprend ces chiffres et refait les calculs pour des bassins contenant 272 kg de moules, toujours à 50 L/min, les coûts relatifs à l'eau de traitement passent alors à 22,3 % du coût total de la dépuración et le coût tombe à 0,66 \$/kg net au lieu de 0,81 \$/kg.

En faisant de nouveau l'exercice avec les valeurs de 2002, et si un débit de 20 L/min était utilisé pour dépuración 272 kg de moules à des températures allant de 4 à 5 °C à l'automne, on constate qu'il est encore possible d'abaisser les coûts de dépuración de 0,66 \$ à 0,57 \$/kg net. Le coût relié à l'eau de traitement passerait alors de 22,3 % à 8,8 % du coût total.

Enfin, si un débit de 30 L/min était nécessaire pour dépuración 272 kg de moules, les coûts de dépuración diminueraient de 0,66 \$ à 0,60 \$/kg le kilo net, une valeur intermédiaire. Le coût relié à l'eau de traitement passerait alors de 22,3 % à 13,4 %.

En somme, les frais de dépuración des moules de Gaspé en automne pourraient être nettement réduits, du moins sur le plan de l'approvisionnement en eau et du traitement de celle-ci.

## 6. Conclusion

Ce projet d'optimisation des opérations de dépuración en vrac de la moule bleue en Gaspésie a permis de mettre en évidence le risque d'utiliser un débit de 20 L/min pour dépuración 272 kg de moules à des températures avoisinant 8 °C à l'automne. La norme minimale du PCCSM relative au pourcentage d'oxygène dissous dans l'eau de traitement (50 %) n'a pu être respectée à la sortie de tous les bassins. Le débit acceptable se situe quelque part au-dessus de cette valeur et n'est peut-être pas loin des 30 L/min si on se réfère à la zone de confort relativement à la concentration en oxygène observée à la sortie des

bassins alimentés à ce rythme à 5 °C, celle-ci étant souvent supérieure à 60 %.

Ce projet a par contre permis d'établir qu'il est possible d'utiliser un débit de 20 ou de 30 L/min pour dépurier 272 kg de moules, à des températures allant de 4 à 5 °C, à l'automne. En effet, toutes les normes du PCCSM relatives à la qualité des eaux de traitement sont respectées.

Pour ce qui est des économies possibles reliées à une réduction des débits, l'utilisation d'un débit de 20 L/min pour 272 kg de moules, pour des températures allant de 4 à 5 °C, à l'automne, permettrait de réduire les coûts de dépurier de 0,09 \$/kg net, tandis que l'utilisation d'un débit de 30 L/min réduirait les coûts de 0,06 \$/kg net.

Il serait bon de déterminer les débits optimaux en fonction des températures potentielles observables à l'automne et au printemps si les parcs mytilicoles de la baie de Gaspé en venaient à ouvrir durant cette dernière saison. Ces valeurs sont d'autant plus importantes que les températures de l'eau sont en croissance ou en décroissance suivant la saison et qu'elles peuvent différer notamment entre les lieux de récolte et ceux de la dépurier. Un tableau des débits de dépurier en fonction de la température de l'eau de mer et de la saison pourrait alors être produit et permettrait au transformateur de rencontrer les exigences de l'ACIA en tout temps.

Malgré la mise en place d'un plan de gestion qui permet la commercialisation des moules sans dépurier depuis novembre 2004, il serait prudent d'avoir un tel tableau en main, advenant le cas d'une fermeture temporaire de la zone pour contamination aux coliformes fécaux. La dépurier pourrait alors permettre de continuer la commercialisation des moules au plus faible coût possible et ainsi éviter une rupture dans l'approvisionnement.

La dépurier demeure donc un outil essentiel parmi les différentes étapes de la mise en marché de la moule bleue de la baie de Gaspé.

## 7. Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier les mytiliculteurs de la baie de Gaspé, Stéphane Morissette et Jocelyn Richard, le personnel de l'entreprise Pêcheries Rivière-au-Renard inc., Françoise Tétréault, la Société de développement de l'industrie maricole ainsi que le personnel des équipes techniques et de régie du CAMGR pour leur aide.

## 8. Références

1. AQUACULTURAL ENGINEERING (OCEAN ENGINEERING SERIES) By F.W. Wheaton. John Wiley & Sons. Inc., New York, 1977. 680pp. ISBN 0-471-93755-X.
2. BAYNE, B. L. 1976. Marine mussels: Their ecology and physiology. B.L. Bayne. New-York, Cambridge University Press.
3. BAYNE, B.L., WIDDOWS, J. 1978. The physiological ecology of two populations of *Mytilus edulis* L. *Oecologia*, 37 : 137-162.
4. BERNARD, F.R. 1989. Uptake and elimination of coliform bacteria by four marine bivalve molluscs. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 46: 1592-1599.
5. COULOMBE, F., M. ROUSSY, C. CYR. 2005. Rapport de mission 27 octobre au 9 novembre 2001. Contexte réglementaire et technologique de la dépurier des moules au Royaume-Uni. Compte

rendu n° 14, DIT-MAPAQ. 95 p.

6. CUSSON, M., R. TREMBLAY, G. DAIGLE, M. ROUSSY., 2005. Modeling the depuration potential of blue mussels (*Mytilus* spp.) in response to thermal shock. *Aquaculture* 250:183-193
7. DESBIENS, M., G. IMBEAULT, S. THIBEAULT. 2000. Relevés de pollution microbiologique dans la baie de Gaspé 1998 et 1999, MAPAQ-Pêcheries. DIT-Doc. Rech. 200/01.
8. DESCHAMPS, M.-H., M. ROUSSY. 2004. Implantation d'unité de dépurier de courte durée des moules de la baie de Gaspé. Rapport de projet. MAPAQ-Pêcheries. DIT. 120 p.
9. ENVIRONNEMENT CANADA. 2003. Rapport d'analyse de la qualité bactériologique de l'eau, année 2003, baie de Gaspé. .
10. ENVIRONNEMENT CANADA. 2008 Programme canadien de contrôle sanitaire des mollusques (PCCSM) [En ligne] [http://www.atl.ec.gc.ca/epb/sfish/cssp\\_f.html](http://www.atl.ec.gc.ca/epb/sfish/cssp_f.html) et <http://www.inspection.gc.ca/francais/anima/fispoi/manman/cssppccsm/chap10f.pdf>
11. GOSLING, E. 1992. The mussel *Mytilus* : ecology, physiology, genetics and culture. *Developments in aquaculture and fisheries science*, volume 25. Elizabeth Gosling Editor. Elsevier. Amsterdam.
12. GOSLING, E. 2003. Bivalve molluscs: biology, ecology and culture. Fishing News Books. Oxford.
13. JORGENSEN, C.B. 1990. bivalve filter feeding. Olsen & Olsen, Fredensborg, Danemark.
14. MUNIAN-MUJIKA, I., R. GIRONES, G. TOFINO-QUESADA, M. CALVO, F. LUCENA. 2002. Depuration dynamics of viruses in shellfish. *International Journal of Food Microbiology*, 77: 125-133.
15. NEWELL, C.R., D.J. WILDISH, B.A. MACDONALD. 2001. The effects of velocity and seston concentration on the exhalant siphon area, valve gape and filtration rate of the mussel *Mytilus edulis*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 262: 91-111.
16. NEWELL, R.I.E. 2004. Ecosystem influences of natural and cultivated populations of suspension-feeding bivalve molluscs: a review. *Journal of Shellfish research*, 23 (1) : 51-61.
17. PÊCHES ET OCÉANS CANADA, 2004. Protocole d'entente pour la gestion des parcs mytilicoles agréés sous condition du: Bassin du nord-ouest de la Baie de Gaspé.
18. POWER, U.F., J.K. COLLINS. 1989. Differential depuration of poliovirus, *Escherichia coli*, and a coliphage by the Common Mussel, *Mytilus edulis*. *Appl. Environ. Microbiol.* : 1386-1390.
19. POWER, U.F., J.K. COLLINS. 1990. Tissue distribution of a coliphage and *Escherichia coli* in mussels after contamination and depuration. *Appl. Environ. Microb.* 56 (3): 803-807.
20. SEA FISH INDUSTRY AUTHORITY. 1995. Seafish standard design purification systems: operating manual for the bulk bin system for mussels. Technical information service.
21. SEA FISH INDUSTRY AUTHORITY. 1997. Guidelines for the facilities and equipment required for handling bivalve molluscs from harvesting through to distribution to retail outlets. Sea Fish Industry Authority Guidelines. 146 p.
22. TREMBLAY, R. M. ROUSSY, M. CUSSON. 2004. Modélisation du potentiel d'épurier de la moule bleue (*Mytilus* spp.) en eau froide et en réaction à un choc thermique. MAPAQ-DIT., Cahier d'information n° 143. 34 p.





## ANNEXES



## Annexe 1

### Programme canadien de contrôle de la salubrité des mollusques

#### Extrait du Manuel des opérations

##### Chapitre 10

Agence canadienne d'inspection des aliments.  
Direction des produits animaux  
Poisson, produits de la mer et production

#### Exigences du PCCSM concernant la qualité des eaux de traitement de dépuración.

La qualité de l'eau de traitement doit être conforme au moins aux exigences suivantes :

- i. l'eau doit provenir d'une source agréée par l'ACIA;
- ii. le nombre total de coliformes par 100 ml dans l'eau provenant de sources susceptibles d'être contaminées doit être nul après le traitement bactéricide (c'est-à-dire < 2 coliformes totaux par 100 ml). L'eau provenant de sources protégées, telles que les puits forés, qui satisfont de façon constante aux normes n'a pas à être traitée;
- iii. l'eau doit avoir une teneur en oxygène\* d'au moins 5 ppm ou présenter une saturation minimale de 50 %;
- iv. la salinité\* doit correspondre à  $\pm 20$  % du régime de salinité médiane du secteur de récolte des bivalves, à moins qu'une plage de salinité différente soit établie à la suite de l'évaluation du procédé de dépuración prévu;
- v. la turbidité\* doit être inférieure à 20 unités de turbidité Jackson (ou unités de turbidité néphélométrique équivalentes);
- vi. la température\* doit se prêter à l'activité métabolique normale des bivalves, les limites devant être déterminées par l'évaluation du procédé;
- vii. dans le cas de systèmes fermés ou à recirculation d'eau, la teneur en ammoniac dans l'eau de traitement doit être inférieure à 0,9 ppm;
- viii. aucun produit chimique indésirable ou autre substance susceptible d'avoir des effets nocifs sur le pompage des mollusques bivalves ne doit être présent;
- ix. le taux de contamination des coquillages par des biotoxines marines pendant la dépuración ne doit pas dépasser les normes indiquées au chapitre 11.

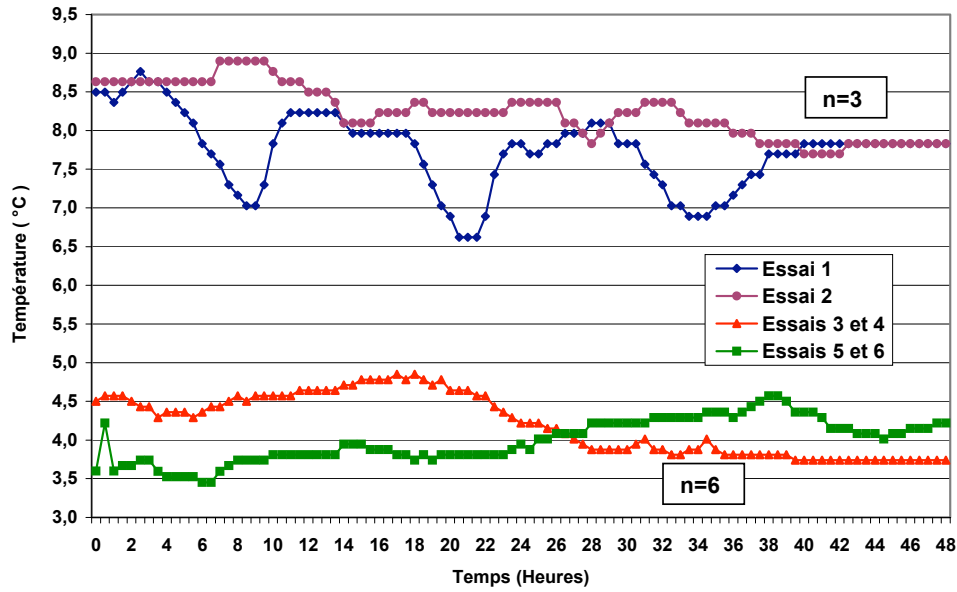
## Annexe 2

**Coûts reliés à l'eau de traitement, dans un cycle de dépuración de 48 heures, en circuit ouvert, pour 272 kg de moules en vrac, à des températures de l'eau de traitement allant de 4 à 5 °C, selon différents débits**

Débit (L/min)	Coûts de l'eau			Coûts totaux de la dépuración		
	Bassin (\$)	Brut (\$/kg de moules)	Net (\$/kg de moules)	%	Brut (\$/kg de moules)	Net (\$/kg de moules)
50	21,60	0,0794	0,1471	22,3	0,3558	0,6591
20	8,64	0,0318	0,0588	8,8	0,3082	0,5708
30	12,96	0,0476	0,0882	13,4	0,324	0,6002

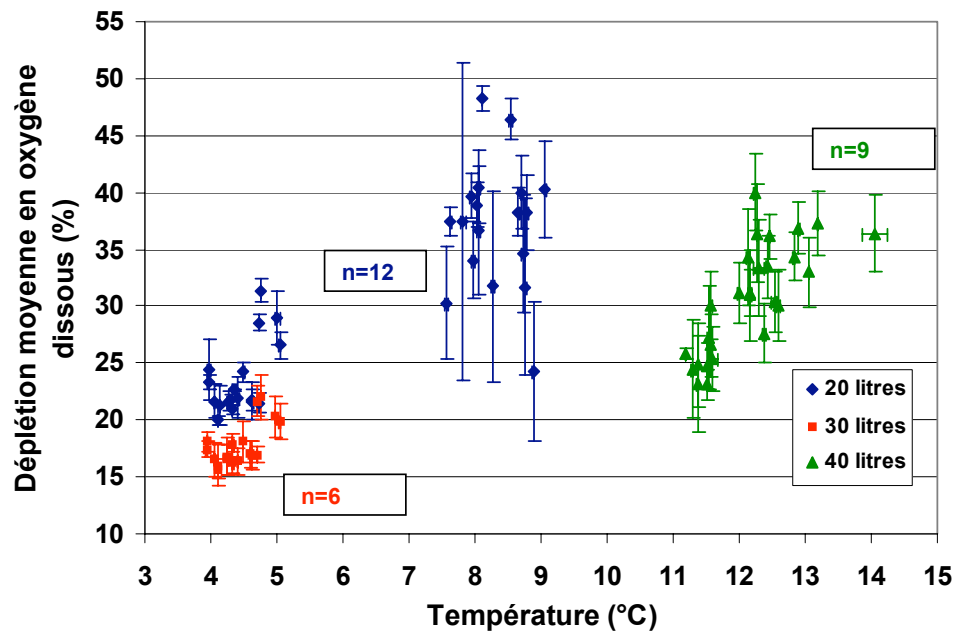
Source : Deschamps et Roussy, 2004.

### Annexe 3



Températures moyennes (°C) de l'eau dans les bassins, prises avec les sondes Hobo (modèle H08), lors des expérimentations utilisant un débit de 20 ou 30 litres par minute pour dépurer 272 kg de moules en vrac, en circuit ouvert, au CAMGR et à l'usine Pêcheries Rivière-au-Renard inc.

### Annexe 4



Déplétion moyenne en oxygène dissous en fonction de la température moyenne de l'eau de traitement, entre l'entrée et la sortie des bassins de dépuración, pour les différents débits utilisés : soit 20 et 30 litres par minute, pour dépurer 272 kg de moules en vrac en 2004 et 40 litres par minute, pour dépurer 225 kg de moules en vrac en 2002, en circuit ouvert, au CAMGR et à l'usine Pêcheries Rivière-au-Renard inc.

