



Fisheries and Oceans
Canada

Pêches et Océans
Canada

Ecosystems and
Oceans Science

Sciences des écosystèmes
et des océans

Secrétariat canadien des avis scientifiques (SCAS)

Document de recherche 2025/011

Région de la capitale nationale

Mesures d'atténuation visant à réduire le risque d'introduction et de propagation d'espèces aquatiques envahissantes par les déplacements des mollusques et macroalgues

V. Massé-Beaulne, N. Simard, R.Y. Bernier¹, C.M. Pearce² et T.W. Therriault²

Pêches et Océans Canada
Institut Maurice-Lamontagne
850, route de la Mer
Mont-Joli (Québec) G5H 3Z4
Canada

¹ Centre des pêches du Golfe
343, avenue Université
Moncton (Nouveau-Brunswick) E1C 9B6

² Station biologique du Pacifique
3190, chemin Hammond Bay
Nanaimo (Colombie-Britannique) V9T 6N7

Avant-propos

La présente série documente les fondements scientifiques des évaluations des ressources et des écosystèmes aquatiques du Canada. Elle traite des problèmes courants selon des échéanciers dictés. Les documents qu'elle contient ne doivent pas être considérés comme des énoncés définitifs sur les sujets traités, mais plutôt comme des rapports d'étape sur les études en cours.

Publié par :

Pêches et Océans Canada
Secrétariat canadien des avis scientifiques
200, rue Kent
Ottawa (Ontario) K1A 0E6

<https://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/>
csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca



© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par le ministre
du ministère des Pêches et des Océans, 2025

Ce rapport est publié sous la [Licence du gouvernement ouvert – Canada](#)

ISSN 2292-4272

ISBN 978-0-660-75791-9 N° cat. Fs70-5/2025-011F-PDF

La présente publication doit être citée comme suit :

Massé-Beaulne, V., Simard, N., Bernier, R.Y., Pearce, C.M. et Therriault, T.W. 2025. Mesures d'atténuation mitigation visant à réduire les risques d'introduction et de propagation des espèces aquatiques envahissantes par les déplacements des mollusques et macroalgues. Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2025/011. ix + 164 p.

Aussi disponible en anglais :

Massé-Beaulne, V., N. Simard, R.Y. Bernier, C.M. Pearce et T.W. Therriault. 2025. Mitigation Measures to Reduce the Risk of Introduction and Spread of Aquatic Invasive Species through Shellfish and Macroalgal Movements. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2025/011. viii + 150 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	vi
GLOSSAIRE	vii
1. INTRODUCTION	1
1.1. OBJECTIFS.....	2
2. MÉTHODES	3
2.1. ANALYSE DOCUMENTAIRE : CRITÈRES DE SÉLECTION DES ESPÈCES.....	3
2.2. ANALYSE DOCUMENTAIRE : CRITÈRES DE SÉLECTION DES TRAITEMENTS	4
2.3. ANALYSE DOCUMENTAIRE : CRITÈRES D'ÉVALUATION DE L'EFFICACITÉ DU TRAITEMENT SUR LES EAE MARINES	6
2.4. ANALYSE DOCUMENTAIRE : CRITÈRES D'ÉVALUATION DES EFFETS DU TRAITEMENT SUR LES MOLLUSQUES ET MACROALGUES	6
2.4.1. Mollusques représentatifs en tant qu'espèces déplacées et espèces aquatiques envahissantes	7
2.4.2. Catégories de taille des mollusques.....	7
2.5. ÉVALUATION DE LA MORTALITÉ.....	8
2.6. NIVEAUX D'INCERTITUDE	9
3. RÉSULTATS.....	10
3.1. ÉVALUATION DES EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LA MORTALITÉ DES ESPÈCES AQUATIQUES ENVAHISSANTES ET DES ÉPIBIONTES MARINS	10
3.1.1. Efficacité des traitements physiques	10
3.1.2. Efficacité des traitements chimiques	21
3.2. ÉVALUATION DES EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LA SURVIE DES MOLLUSQUES ET DES MACROALGUES DÉPLACÉS.....	35
3.2.1. Répercussions des traitements physiques sur les espèces de mollusques déplacées	35
3.2.2. Effets des traitements chimiques sur les espèces de mollusques déplacées	42
3.2.3. Effets des traitements physiques et chimiques sur les macroalgues déplacées.....	50
3.3. OPTIONS PROACTIVES DE GESTION DES BIOSALISSURES : STRATÉGIES DE PRÉVENTION SPATIALE ET TEMPORELLE ET AUTRES PRATIQUES D'ÉLEVAGE.....	53
3.3.1. Stratégies de prévention spatiales et temporelles.....	53
3.3.2. Gradients de profondeur et contrôle biologique	56
3.3.3. Méthodes manuelles et mécaniques de retrait.....	57
4. DISCUSSION	59
4.1. TRAITEMENTS PHYSIQUES LÉTAUX POUR LES EAE ET LES ÉPIBIONTES AVEC UNE INCIDENCE NULLE OU FAIBLE SUR LES MOLLUSQUES.....	60
4.1.1. Eau de mer sous pression.....	60
4.1.2. Séchage à l'air.....	61
4.1.3. Immersion dans de l'eau douce ou jet d'eau douce (avec et sans séchage à l'air)	62

4.1.4. Immersion dans de l'eau de mer chaude	64
4.1.5. Vapeur	65
4.2. TRAITEMENTS CHIMIQUES LÉTAUX POUR LES EAE ET LES ÉPIBIONTES AVEC UNE RÉPERCUSSION NULLE OU FAIBLE SUR LES MOLLUSQUES	65
4.2.1. Immersion dans de l'hypochlorite de sodium	66
4.2.2. Immersion dans de l'acide acétique ou jet d'acide acétique (avec et sans séchage à l'air)	67
4.2.3. Immersion dans de l'acide citrique	69
4.2.4. Immersion dans de la saumure (avec et sans séchage à l'air)	70
4.2.5. Immersion dans de la chaux hydratée (avec et sans séchage à l'air).....	71
4.2.6. Immersion dans un mélange de saumure et de chaux hydratée (avec séchage à l'air)	72
4.2.7. Virkon®	72
4.3. CONCEPTUALISATION D'UN OUTIL DE DÉCISION	73
4.4. TRAITEMENTS LÉTAUX POUR LES EAE ET LES ÉPIBIONTES AVEC UNE RÉPERCUSSION NULLE OU FAIBLE SUR LES MACROALGUES	73
4.5. ADÉQUATION DES PRATIQUES PROACTIVES DE GESTION DES BIOSALISSURES PAR RAPPORT À L'ATTÉNUATION POUR LES ESPÈCES D'ÉLEVAGE DÉPLACÉES	75
4.6. LIMITES ET SOURCES D'INCERTITUDE.....	75
4.6.1. Résultats qualitatifs	76
4.6.2. Plans expérimentaux.....	77
4.6.3. Moment de l'évaluation de la mortalité, des effets à long terme ou sublétaux.....	78
4.6.4. Variabilité des paramètres.....	79
4.6.5. Sensibilité des mollusques à valves bâillantes.....	80
4.6.6. Effet de la taille de l'organisme	81
4.6.7. Traitements combinés	81
4.7. FAISABILITÉ ET AUTRES CONSIDÉRATIONS.....	82
5. CONCLUSIONS.....	83
6. REMERCIEMENTS	84
7. REFERENCES CITED.....	84
8. TABLEAUX	99
ANNEXE 1. TERMES DE RECHERCHE	164

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Espèces aquatiques envahissantes (EAE) et épibiontes en milieu marin qui ont été évalués dans le présent travail.	99
Tableau 2. Espèces de mollusques et de macroalgues cultivées au Canada (côtes de l'Atlantique et du Pacifique) qui ont été évaluées dans le cadre du présent travail.	100
Tableau 3. Seuils établis pour les espèces de mollusques et les fourchettes de tailles mises à l'essai dans la documentation pour tous les traitements. NS : non spécifié.	101
Tableau 4. Calculs de la cote d'incertitude pour les traitements efficaces pour tuer le plus grand nombre d'EAE marines ciblées.	102
Tableau 5. Efficacité des traitements physiques contre les EAE marines, où « 100 % » fait référence à une mortalité de 100 % pour une combinaison de traitement donnée sur des organismes adultes (sauf indication contraire).	103
Tableau 6. Efficacité des traitements chimiques (chloration, acide acétique et acide citrique) contre les EAE marines, « 100 » indiquant une mortalité de 100 % pour une combinaison de traitement donnée sur des organismes adultes (sauf indication contraire).	117
Tableau 7. Efficacité des traitements chimiques (saumure saturée, chaux hydratée et Virkon®) contre les EAE marines.	128
Tableau 8. Effets des traitements physiques sur la survie des espèces déplacées.	138
Tableau 9. Effets des traitements chimiques (hypochlorite de sodium, acide acétique et acide citrique) sur la survie des espèces déplacées.	146
Tableau 10. Effets des traitements chimiques (saumure saturée, chaux hydratée et Virkon®) sur la survie des espèces déplacées.	151
Tableau 11. Effets des traitements physiques et chimiques sur les macroalgues.	155
Tableau 12. Résumé des traitements physiques pour les espèces aquatiques envahissantes marines et les espèces déplacées.	157
Tableau 13. Résumé des traitements chimiques pour les espèces aquatiques envahissantes marines et les espèces déplacées.	160
Tableau 14. Conceptualisation d'un processus à utiliser par les gestionnaires pour sélectionner les types de traitement les plus appropriés afin de maximiser à la fois la mortalité des espèces aquatiques envahissantes (EAE) et la survie des espèces de mollusques déplacées dans le contexte des déplacements des organismes marins (p. ex. transferts aquacoles, transferts scientifiques).	163

RÉSUMÉ

Les espèces aquatiques envahissantes (EAE) qui sont introduites ou qui se propagent au-delà de leur aire de répartition naturelle peuvent constituer une menace pour la biodiversité, l'économie et la société du Canada. Les déplacements des mollusques et des macroalgues sont considérés comme un vecteur important de l'introduction et de la propagation des EAE dans les écosystèmes marins. À ce jour, aucune évaluation exhaustive n'a été réalisée sur l'efficacité des traitements qui pourraient être utilisés au Canada pour tuer ou éliminer les EAE marines des mollusques et des macroalgues déplacés, ni sur leurs répercussions sur ces espèces. Ainsi, de nombreux traitements sont actuellement appliqués sans orientation ou uniformité à l'échelle nationale. Une analyse documentaire a été entreprise pour documenter l'efficacité des traitements existants pour tuer et éliminer les EAE et leurs répercussions sur les espèces de mollusques et de macroalgues déplacées. Des traitements efficaces contre les EAE de différents groupes taxonomiques (tuniciers, bivalves, gastéropodes, crustacés, étoiles de mer, macroalgues, polychètes, bryozoaires, éponges, hydrozoaires) ont été évalués, notamment des procédés physiques (lavage sous pression, séchage à l'air, eau douce, chaleur) et des jets de composés chimiques (à base de chlore, d'acide acétique, d'acide citrique, de saumure, de chaux hydratée ou de Virkon®) ou des immersions dans un ou dans une combinaison de ces produits. Les effets du traitement sur les espèces déplacées (moules, huîtres, pétoncles, macroalgues) ont également été évalués. De nombreux traitements physiques et chimiques ont été jugés efficaces pour tuer ou éliminer diverses EAE et plusieurs options de traitement qui ont peu de répercussions ou pas du tout sur les espèces de mollusques déplacés ont également été déterminées. Nous avons trouvé très peu d'information pour les transferts de macroalgues cultivées. Quelques options de traitement s'appliquaient à un grand nombre d'EAE, mais aucun traitement unique n'a été jugé applicable à toutes les EAE tout en assurant la survie des mollusques. Étant donné que les options de traitement dépendent du contexte, d'autres recherches sont nécessaires pour élaborer des normes nationales afin d'atténuer les déplacements d'espèces aquatiques envahissantes associés aux transferts des mollusques et macroalgues au Canada.

GLOSSAIRE

Déplacement : Déplacement physique des mollusques ou des macroalgues d'un endroit ou d'un plan d'eau à un autre, ou dans des installations de transformation ou expérimentales.

Efficacité/Efficace/Inefficace : Le niveau auquel un traitement peut tuer une EAE ciblée. L'efficacité est exprimée quantitativement (en pourcentage de mortalité ou d'élimination) ou qualitativement (efficace ou inefficace). L'efficacité des traitements physiques et chimiques a été classée comme « efficace » s'ils entraînaient une mortalité de 100 % (quantitative) ou caractérisée comme « efficace » pour tuer une EAE donnée (qualitative).

Élimination : Désigne l'élimination des organismes des espèces déplacées par le nettoyage, le raclage, l'essuyage ou le lavage sous pression. L'élimination des espèces aquatiques envahissantes ne garantit pas leur mortalité.

Espèce aquatique envahissante (EAE) : Espèce aquatique non indigène (animale, végétale ou micro-organisme) qui a un effet négatif sur l'environnement, la santé humaine ou l'économie après son introduction, son établissement ou sa propagation dans un nouvel écosystème. Les termes « espèce aquatique exotique envahissante », « espèce nuisible », « envahisseur », « espèce exotique » et « espèce introduite » sont utilisés comme synonymes dans la documentation.

Espèces déplacées : Mollusques ou macroalgues qui sont déplacés physiquement d'un endroit ou d'un plan d'eau à un autre (pour poursuivre la culture), dans une installation de transformation (en vue de la commercialisation) ou dans un laboratoire expérimental.

Espèce non indigène : Plante, animal ou microorganisme présent dans une zone à l'extérieur de son habitat naturel ou aire de répartition connu, qui peut produire des effets nuisibles sur l'environnement, la santé humaine ou l'économie après son introduction, son établissement ou sa propagation dans un nouvel écosystème.

Immersion : Submersion complète d'organismes ou d'engins d'aquaculture dans de l'eau froide ou chaude ou une solution chimique, qui est létale pour l'EAE ciblée (individus ou groupes) si elle est utilisée dans des conditions précises (p. ex. concentration et temps d'exposition).

Laboratoire : Les études ont été classées comme « en laboratoire » dans les cas où l'expérience a été menée en laboratoire où toutes les conditions étaient étroitement surveillées, mesurées et contrôlées ou dans les cas où des expériences ont été menées sur le terrain dans des réservoirs ou des seaux où certains paramètres étaient contrôlés. Les termes « conditions contrôlées » ou « conditions en laboratoire » sont synonymes.

Lavage sous pression : Traitement composé de jets d'eau douce ou d'eau de mer qui, s'il est appliqué dans des conditions particulières (p. ex. pression du jet, température et temps d'exposition), est capable d'éliminer ou de tuer les organismes marins (ciblant expressément les EAE dans le présent document). Dans le présent document, le « lavage à basse pression » désigne les jets à une pression de l'eau inférieure à 60 lb/po² (par exemple, les tuyaux de lavage du pont) et le « lavage à haute pression » est réalisé à l'aide de jets dont la pression est supérieure à 700 lb/po². L'eau peut être chauffée pour accroître l'efficacité (c'est-à-dire la mortalité des espèces aquatiques envahissantes) du lavage sous pression.

Mortalité : Mort de l'organisme. La mortalité est atteinte lorsque l'organisme est mort et n'affiche aucun signe de mouvement ou d'activité vitale (par exemple, arrêt de la croissance ou de l'alimentation, aucune réaction à la stimulation tactile, réduction de la biomasse). Nous avons exprimé la mortalité en pourcentage, par rapport au nombre initial d'organismes présents avant un traitement ou des témoins.

Non touchée : Terme utilisé pour les résultats qualitatifs pour les traitements considérés comme ayant un effet faible ou nul (aucune donnée quantifiée sur la survie) sur les espèces déplacées. Exemples de résultats classés comme « espèce non touchée » se trouvent dans la documentation : non touché, a survécu, faible mortalité, critère de survie respecté, faible effet, aucun effet évident, aucun effet détectable ou croissance dans le temps (semaines ou mois).

OBIS : Ocean Biodiversity Information System (OBIS™)

Propagule : Structure juvénile (par exemple, semence, spore, larve) qui sert à propager un organisme au stade suivant de son cycle biologique.

Partie par millier (ppm) : Indique une partie pour 1 000 parties.

Propagation : Lorsqu'une EAE agrandit son aire de répartition géographique à la suite d'une introduction. La propagation est souvent facilitée par des activités anthropiques, telles que les transferts ou les déplacements de mollusques et de macroalgues, les activités de navigation de plaisance/commerciales et le commerce d'espèces destinées aux aquariums.

Qualitatif : Les résultats qualitatifs sur l'efficacité des traitements contre les EAE et leurs effets sur les espèces déplacées n'ont pas été indiqués par des valeurs en pourcentages, mais comme étant « efficaces ou inefficaces » contre les EAE et « touchées ou non touchées » pour les espèces déplacées.

Quantitatif : Les résultats quantitatifs sur l'efficacité des traitements contre les EAE et leurs effets sur les espèces déplacées ont été indiqués par des valeurs en pourcentages, où 100 % fait référence à un traitement qui a tué 100 % des EAE ou assuré la survie de 100 % des espèces déplacées.

Séchage à l'air : Traitement qui, s'il est utilisé dans des conditions particulières (p. ex. température et temps d'exposition), est mortel pour les organismes marins (ciblant particulièrement les espèces aquatiques envahissantes précisées dans le présent document). Ce traitement peut être utilisé seul ou combiné à d'autres pour en améliorer l'efficacité (par exemple, eau chaude, immersion dans un produit chimique). Comme les méthodologies varient d'une étude à l'autre, le séchage à l'air peut faire référence au séchage des organismes en laboratoire ou à l'extérieur (lumière directe ou indirecte du soleil), exposés individuellement ou en groupes, sur des tables ou en suspension (p. ex. boudins de moules), etc. Il peut également s'agir d'une exposition à de l'air froid ou chaud, avec une humidité relative élevée ou faible. L'exposition à l'air, la dessiccation et le séchage sont utilisés comme synonymes dans la documentation.

Sur le terrain : Les études ont été classées comme « sur le terrain » lorsqu'elles ont été menées dans des fermes aquacoles où les conditions étaient surveillées ou mesurées moins étroitement et plus proches des conditions « réelles » des exploitations aquacoles.

Survie : L'organisme reste vivant. On considère que les organismes survivent lorsqu'ils sont vivants et montrent des signes d'activités vitales (p. ex. croissance, alimentation, réaction à la stimulation tactile, augmentation de la biomasse, activité photosynthétique, couleur naturelle). La survie est exprimée en pourcentage (%).

Touchée : Terme utilisé pour les résultats qualitatifs pour les traitements considérés comme ayant des effets non quantifiés (pas de données quantifiées sur la survie) sur les espèces déplacées. Exemples d'effets non quantifiés trouvés dans la documentation : mortalité élevée/faible ou occurrence de mortalité, perte de poids, fixation du byssus, dommages à la coquille ou aux cellules, réduction de la croissance ou du rendement, ou effets sublétaux.

Traitement : Méthode utilisée dans le but de tuer, de détruire ou d'éliminer les EAE pour prévenir leur propagation.

Unité de salinité pratique (usp) : 1 gramme de sel pour 1 000 grammes d'eau
(1 usp = 1 ppm).

Vecteur : Moyen physique par lequel une espèce envahissante est transportée d'une zone à une autre. Un vecteur peut être d'origine naturelle (par exemple, le vent, les courants et les animaux) ou anthropique (par exemple, les activités aquacoles, l'eau de ballast, les bioalissures de la coque et le commerce d'organismes destinés aux aquariums).

WoRMS : World Register of Marine Species (WoRMS™)

1. INTRODUCTION

Les espèces non indigènes, y compris les espèces aquatiques envahissantes (EAE), qui sont introduites ou qui se propagent au-delà de leur aire de répartition naturelle peuvent constituer une menace pour la biodiversité, l'économie et la société du Canada. Le déplacement des mollusques et des macroalgues est considéré comme un vecteur important de l'introduction des EAE dans les écosystèmes marins, qu'il soit effectué à l'échelle internationale, interrégionale, régionale ou locale (Minchin 1996; Verlaque 2001; Wallentinus 2002; Wolff et Reise 2002; McKindsey *et al.* 2007; Mineur *et al.* 2007; Verlaque *et al.* 2007; Haupt *et al.* 2010; Levings *et al.* 2002; Katsanevakis *et al.* 2013; Nunes *et al.* 2014; McKenzie *et al.* 2016; Ferguson *et al.* 2017; Cunningham *et al.* 2020; Stranga et Katsanevakis 2021). Il est donc essentiel de prévenir les introductions et la propagation des EAE au moyen de codes de pratique communs. Le code de conduite du Conseil international pour l'exploration de la mer (CIEM) pour les introductions et transferts d'organismes marins fournit un cadre pour évaluer les nouvelles introductions volontaires, et recommande des procédures pour les espèces qui font partie des pratiques commerciales actuelles afin de réduire le risque d'introductions et de transferts indésirables (CIEM 2005). En 2003, les gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux du Canada ont conjointement mis en œuvre le « Code national sur les introductions et transferts d'organismes aquatiques » (ci-après appelé le « Code »; MPO 2017). Le Code respecte les principes directeurs pour la prise de décisions sur l'introduction et les transferts dans lesquels les Comités des introductions et des transferts (composés de représentants provinciaux, territoriaux et fédéraux) évaluent les demandes d'introduction, de déplacement ou de transfert d'organismes aquatiques. Le rôle de Pêches et Océans Canada au sein des Comités des introductions et des transferts est d'effectuer des évaluations des risques dans le cadre du processus d'évaluation des Comités, de délivrer des permis en vertu du Code et d'assurer la surveillance de la conformité et l'application de la loi. Les permis délivrés en vertu de l'article 6 du Code sont conformes à la *Loi sur les pêches* du Canada. Aux termes de l'article 55 du *Règlement de pêche (dispositions générales)* de la *Loi sur les pêches*, le MPO a le pouvoir légal de veiller à ce que personne ne puisse remettre à l'eau des poissons vivants¹ dans leur habitat ou transférer des poissons vivants dans des installations d'élevage à moins d'obtenir un permis du ministère fédéral des Pêches et des Océans (MPO). Le fondement juridique de l'exigence d'un permis de transfert de poissons et de mollusques se trouve à l'article 56 du *Règlement de pêche (dispositions générales)* de la *Loi sur les pêches*. Cet article prévoit que le MPO peut délivrer un permis pour remettre à l'eau des poissons vivants dans un habitat ou transférer des poissons vivants dans des installations d'élevage si :

1. La remise à l'eau ou le transfert de poissons est conforme à une saine gestion et à un bon contrôle des pêches;
2. Les poissons sont exempts de maladies et d'agents pathogènes qui pourraient nuire à la protection et à la conservation de l'espèce;
3. La remise à l'eau ou le transfert ne devrait pas avoir d'effet nocif sur la taille du stock de poissons ou sur les caractéristiques génétiques du poisson ou des stocks de poissons.

Des mesures d'atténuation des EAE peuvent être recommandées ou exigées comme condition de délivrance des permis afin de réduire le risque d'introduction et de transfert d'EAE. Bien qu'une diminution générale des nouvelles introductions ait été attribuée aux mesures obligatoires visant à contrôler l'introduction des espèces non indigènes/EAE dans le cadre

¹ Dans la Loi, le terme « poisson » est défini comme comprenant les poissons proprement dits et leurs parties et, par assimilation, les mollusques, les crustacés et autres animaux marins et leurs parties, selon le cas, y compris les œufs, le sperme, la laitance, le frai, les larves, le naissain et les juvéniles.

d'activités aquacoles, notamment les codes de pratiques pour les introductions et les transferts (Katsanevakis *et al.* 2013), la variabilité des mesures d'atténuation recommandées à l'échelle régionale peut avoir une incidence sur leur succès global.

Bien que les mesures de contrôle et d'atténuation (y compris les traitements de contrôle des EAE) soient souvent utilisées comme condition imposée au titulaire de permis pour les permis d'introduction et de transfert approuvés par le MPO, il n'existe pas de normes nationales du MPO pour les mesures d'atténuation proposées utilisées pour traiter les mollusques d'élevage ou les macroalgues cultivées afin de réduire le risque d'introduction et de propagation des EAE. À ce jour, l'efficacité des traitements utilisés au Canada sur les EAE marines et les répercussions de certains traitements sur les espèces cultivées et non cultivées n'ont pas été examinées, et une grande variété de méthodes sont actuellement appliquées sans orientation ni uniformité à l'échelle nationale. Pour remédier à cette lacune, le Programme national sur les EAE de Pêches et Océans Canada (MPO), l'organisme directeur responsable de la mise en œuvre des règlements fédéraux sur les EAE à l'échelle nationale et régionale, et le Programme national de gestion de l'aquaculture, ont présenté une demande d'avis scientifique pour élaborer des recommandations nationales. Ces deux programmes du MPO ont l'intention d'utiliser cet avis pour élaborer des normes (ou des lignes directrices) en vue de réduire le risque de propagation des EAE par les déplacements de mollusques et de macroalgues. Ces normes fourniront une orientation relative aux déplacements de mollusques et de macroalgues, et seront pertinentes pour les deux programmes, ainsi que pour les comités régionaux des introductions et des transferts du MPO. Les recommandations formulées dans le présent document pourront étayer la prise de décisions, notamment les décisions de gestion et stratégiques, concernant l'atténuation des espèces aquatiques envahissantes au Canada résultant des déplacements des espèces de mollusques et de macroalgues qui peuvent être des vecteurs d'espèces aquatiques envahissantes marines.

1.1. OBJECTIFS

Ce processus reposait sur une analyse documentaire et est limité aux espèces d'invertébrés marins et de macroalgues, en mettant l'accent sur les espèces aquatiques envahissantes épibiontes, qui peuvent être transportées à l'extérieur sur les espèces de mollusques et de macroalgues lors de leurs déplacements (par exemple, les transferts liés à l'aquaculture ou à des expériences scientifiques). Les espèces transportées à l'intérieur (par exemple, vivant dans l'eau du manteau), ainsi que les virus, les bactéries, le phytoplancton et les protozoaires, n'entraient pas dans le cadre de ce travail. La facilité d'application et la faisabilité/le caractère pratique des traitements, les risques connexes pour la santé et la sécurité, le coût et l'élimination ne faisaient pas non plus partie de la portée. Des espèces représentatives de divers groupes fonctionnels et taxonomiques (par exemple, bivalves, tuniciens, crustacés) ont été sélectionnées en fonction de leur présence (ou de leur arrivée prévue) dans les milieux marins canadiens et de la disponibilité des données. Les répercussions des méthodes de traitement sur les mollusques (par exemple, les moules, les huîtres, les pétoncles) et les macroalgues ont également été évaluées.

Le présent processus consultatif vise les objectifs suivants :

1. Examiner et caractériser les méthodes de contrôle réactif existantes pour atténuer le risque de propagation des EAE d'invertébrés et de macroalgues épibiontes marins lors des déplacements des mollusques et macroalgues.
2. Évaluer l'efficacité des méthodes existantes pour tuer/éliminer les espèces aquatiques envahissantes d'invertébrés et de macroalgues épibiontes marins et leurs répercussions sur les espèces de mollusques et macroalgues, y compris notamment leur survie.

-
3. Fournir des options de traitement qui pourraient tuer ou éliminer les EAE tout en assurant la survie des espèces de mollusques et macroalgues déplacées (faible incidence).
 4. Déterminer les lacunes dans les données et les sources d'incertitude.

2. MÉTHODES

Une analyse documentaire des traitements physiques et chimiques utilisés comme mesures d'atténuation pour lutter contre les EAE et les épibiontes marins a été réalisée afin de documenter l'efficacité des traitements sur les EAE (c.-à-d. la mortalité) et leurs répercussions sur les espèces de mollusques et macroalgues déplacées (c.-à-d. la survie). La documentation a été recueillie auprès de plusieurs sources, notamment : Web of Science™ (Web of Knowledge), la bibliothèque scientifique fédérale (WAVES) du MPO, Google Scholar (Google™) et ResearchGate™. Toutes les années de publication ont été prises en compte, de la première disponible jusqu'en novembre 2022. Les publications étaient des articles de revues à comité de lecture, des rapports de gouvernements et de consultants (littérature secondaire ou grise), des sites Web pertinents et des communications personnelles ou des avis d'experts, le cas échéant. Les termes de recherche booléens sont indiqués à l'annexe 1.

2.1. ANALYSE DOCUMENTAIRE : CRITÈRES DE SÉLECTION DES ESPÈCES

Des espèces d'EAE ou d'épibiontes représentatives de divers groupes fonctionnels et taxonomiques (p. ex. tuniciers, bivalves, gastéropodes, crustacés, étoiles de mer, macroalgues, polychètes, bryozoaires, éponges et hydrozoaires) ont été sélectionnées en fonction de leur présence (ou de leur arrivée prévue) dans les milieux marins canadiens (tableau 1). Les espèces de mollusques et de macroalgues connues pour avoir été ou être cultivées couramment au Canada (côtes du Pacifique et de l'Atlantique) et présentant un intérêt pour les déplacements entre les plans d'eau ont été sélectionnées pour cette analyse documentaire (tableau 2). Les espèces qui présentent de plus en plus d'intérêt pour le développement futur de l'aquaculture canadienne ont également été prises en compte (p. ex. le pétoncle de baie [*Argopecten irradians*]; Comeau *et al.* 2017).

Dans certains cas, lorsque les données étaient limitées pour une EAE ciblée ou une espèce déplacée, les données incluses concernaient des espèces nuisibles ou envahissantes ou des espèces de mollusques et macroalgues déplacées qui pouvaient servir de substituts adéquats pour un groupe fonctionnel ou taxonomique donné. Les espèces de substitution ont été choisies pour représenter les espèces ciblées en fonction de leur similitude morphologique ou de leur parenté taxonomique avec les espèces sélectionnées (Hilton et Richardson 2004; Loman *et al.* 2021), de leur appartenance au même groupe fonctionnel (p. ex. moules, huîtres, bryozoaires; Cahill *et al.* 2022), de la similitude de leurs préférences en matière d'habitat ou de leur aire de répartition, ou du fait que l'efficacité du traitement d'atténuation avait été testée ou non sur l'espèce de substitution proposée.

Nous avons consulté les bases de données taxonomiques World Register of Marine Species (WoRMS™) et Ocean Biodiversity Information System (OBIS™) pour déterminer la parenté taxonomique des espèces de substitution et des espèces représentatives. Plus précisément, la moule verte (*Perna canaliculus*) a été choisie pour représenter la moule méditerranéenne (*Mytilus galloprovincialis*), car ces espèces appartiennent au même groupe fonctionnel (moules) et ont une taille et une aire de répartition similaires (océan Pacifique). L'huître *Ostrea angasi* représente l'huître plate européenne (*Ostrea edulis*), car ces espèces appartiennent au même groupe fonctionnel (huîtres) et au même genre taxonomique et sont donc étroitement apparentées, bien que leurs aires de répartition ne se chevauchent pas. Le bryozoaire orange vif à points noirs *Watersipora subtorquata* a été choisi comme substitut du bryozoaire à croûte

rouge (*Cryptosula pallasiana*), car ce sont tous deux des bryozoaires encroûtants coloniaux du sous-ordre des Flustrina (niveau de taxons le plus proche). Certains substituts ont été choisis parce que les espèces appartiennent au même genre taxonomique et sont donc étroitement apparentées. C'était le cas de l'étoile de mer du Pacifique Nord (*Asterias amurensis*), du tunicier solitaire *Ciona savignyi* et du tunicier colonial *Botrylloides leachii*, qui ont été choisis comme substituts de l'étoile de mer commune (*Asterias rubens*), de l'ascidie jaune (*Ciona intestinalis*) et du botrylloïde violet (*Botrylloides violaceus*), respectivement.

2.2. ANALYSE DOCUMENTAIRE : CRITÈRES DE SÉLECTION DES TRAITEMENTS

Nous avons retenu les publications si elles satisfaisaient aux critères suivants :

1. Elles comprenaient une description détaillée d'un ou de plusieurs traitements physiques ou chimiques utilisés pour tuer ou éliminer les EAE ou les épibiontes de surface;
2. Elles comprenaient une évaluation quantitative ou qualitative de l'efficacité du traitement (p. ex. mortalité, élimination) contre les EAE ou des répercussions (p. ex. survie, viabilité ou croissance) sur l'espèce déplacée;
3. Elles pourraient s'appliquer au traitement des mollusques ou macroalgues marins canadiens avant leur déplacement (p. ex. transferts aquacoles, permis expérimentaux scientifiques).

D'après l'information tirée de la documentation disponible (203 sources documentaires en tout), nous avons évalué l'efficacité des traitements réactifs suivants, les plus couramment indiqués, sur un sous-ensemble d'EAE/épibiontes marins, ainsi que leurs effets sur certaines espèces de mollusques et macroalgues déplacées :

Traitements physiques

- Lavage sous pression (jet à basse et haute pression);
- Séchage à l'air ou exposition à l'air;
- Eau douce (immersion ou jet; parfois combinée à un séchage à l'air);
- Eau de mer ou eau douce chaude (immersion ou vapeur);

Traitements chimiques (parfois en combinés à un séchage à l'air);

- Composés à base de chlore (immersion);
- Acide acétique (CH_3COOH) (immersion ou jet);
- Acide citrique ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) (immersion);
- Solution de saumure (immersion);
- Chaux hydratée (CaOH ; immersion ou jet);
- Solution de saumure + chaux (immersion);
- Virkon® (ingrédient actif : bis(peroxysulfate) bis(sulfate) pentapotassique; immersion).

Les études ont été classées dans la catégorie « laboratoire » lorsque l'expérience a été menée dans un laboratoire où toutes les conditions étaient étroitement contrôlées, surveillées et mesurées, ou lorsque les expériences ont été réalisées à l'extérieur dans des réservoirs ou des seaux où certains paramètres étaient contrôlés. Les études ont été classées dans la catégorie « sur le terrain » lorsqu'elles ont été menées dans des fermes aquacoles, où les conditions étaient probablement contrôlées, surveillées ou mesurées moins étroitement.

En ce qui concerne les traitements par séchage à l'air, la documentation ne donnait pas d'information sur la variabilité d'autres paramètres, comme la température et l'humidité. Ces paramètres ont été indiqués lorsqu'ils étaient fournis dans les publications.

Trois types de résultats étaient disponibles dans la documentation pour les traitements à base de chlore :

1. Ceux qui présentent les concentrations initiales d'hypochlorite de sodium (NaClO ; p. ex. hypochlorite de sodium dilué ou « eau de Javel »; ces résultats étant exprimés en %);
2. Ceux qui présentent les concentrations finales de chlore résiduel total (CRT), étiquetées avec le symbole « § » (ces résultats étant exprimés en mg L^{-1}). Selon Rajagopal et ses collaborateurs (2002, 2003) et Haque et ses collaborateurs (2014, 2015), le CRT est une mesure de la somme des ions chlore (Cl^-) dissous libres et combinés (avec d'autres produits chimiques dans l'eau) qui restent dans la solution après la dilution ou le traitement. Au lieu d'utiliser la concentration initiale d'hypochlorite de sodium, ces auteurs ont utilisé les concentrations résiduelles totales de chlore (Cl^-) dans la solution finale;
3. Ceux qui présentent la concentration de dioxyde de chlore (ClO_2 ; exprimée en %) au lieu de l'hypochlorite de sodium (p. ex. Asgari et Jahangard 2012).

Pour les traitements à la saumure saturée, certaines publications mentionnaient une saturation, mais ne précisaient pas la concentration exacte utilisée. Étant donné qu'une solution saturée de saumure est atteinte à une concentration proche de 360 ppm à température ambiante (Chem LibreTexts 2022), nous avons supposé que, dans les cas exceptionnels où la concentration de sel n'était pas précisée, mais indiquée comme saturée, cette solution avait atteint une concentration de saumure d'au moins 300 ppm puisque le soluté non dissous commence à apparaître au-delà de cette concentration.

Certains traitements, comme les méthodes d'atténuation biologiques (p. ex. le broutage des oursins) et certaines méthodes d'atténuation mécaniques (p. ex. retournement des poches pour permettre la dessiccation), ont été considérés comme des mécanismes de lutte à plus long terme qui ne seraient pas applicables dans le contexte à court terme des déplacements d'espèces (p. ex. les transferts en aquaculture). Les résultats de ces types de traitements ont été présentés comme des « options proactives de gestion des bioalissures » (voir la section 3.3). Les méthodes proactives et préventives spécialement utilisées pour nettoyer régulièrement les EAE de l'équipement et des produits aquacoles (p. ex. nettoyage d'entretien effectué pour le contrôle local afin de réduire le poids des structures et d'augmenter la croissance et la production des coquilles) ne sont que brièvement abordées (voir la section 3.3.3).

Les mesures d'atténuation contenant des composés à base de métaux (p. ex. cuivre, zinc, biocides, peintures antisalissures) destinés au traitement des matières et des structures inorganiques afin d'éviter les bioalissures et de les contrôler ont été exclues du présent examen. Les agents antisalissures chimiques à base de métaux et les filets bioactifs peuvent nuire à la survie et à la croissance des organismes cultivés et poser un risque pour l'environnement et la santé humaine (Muñoz *et al.* 2010; Guardiola *et al.* 2012). Les traitements tels que la congélation à l'air et l'exposition à la chaleur extrême (brûlage par exemple), qui sont efficaces pour causer la mortalité des EAE, mais qui provoquent également une mortalité importante des espèces déplacées, ont eux aussi été exclus, car ils ne seraient pas utiles pour les transferts en aquaculture ou les transferts scientifiques où le produit commercial ou scientifique doit être maintenu en vie. Toutefois, les résultats d'études ciblant les EAE avec un traitement au Virkon® ont été inclus dans le présent document, car l'utilisation de ce désinfectant/virucide est approuvée par Santé Canada dans les installations aquacoles; il s'agit

d'un produit respectueux de l'environnement, qui est manipulé en toute sécurité par ceux qui effectuent des traitements contre les EAE et a été testé directement sur les mollusques dans très peu de publications. C'est un mélange composé de 25 à 50 % de peroxymonosulfate d'hydrogène de potassium (principe actif primaire), de 10 à <25 % d'acide succinique, de <10 % d'acide sulfamique et de divers autres ingrédients secondaires. L'hypochlorite de sodium, l'acide acétique et la chaux hydratée ont été retenus, car ces produits chimiques sont largement utilisés dans les pratiques aquacoles, ont une toxicité et une persistance dans l'environnement faibles par rapport aux biocides, et il a été démontré qu'ils présentent un risque faible ou nul pour la santé humaine et environnementale s'ils sont appliqués dans les conditions actuellement utilisées dans un contexte aquacole (basse fréquence, faibles concentrations initiales, application de mesures de sécurité; Carver *et al.* 2003; Sharp *et al.* 2006; Piola *et al.* 2009; Ramsay *et al.*, 2014; Cahill *et al.* 2021).

2.3. ANALYSE DOCUMENTAIRE : CRITÈRES D'ÉVALUATION DE L'EFFICACITÉ DU TRAITEMENT SUR LES EAE MARINES

Le traitement était défini comme une méthode physique ou chimique (ou une combinaison des deux) comportant une composante temporelle précisée permettant d'atteindre un niveau quantifié de mortalité ou d'élimination des EAE (par exemple, température X ou concentration Y pendant Z minutes). Les données dans les tableaux de résultats sont présentées par traitement dans les en-têtes de colonnes et par EAE ou épibiontes ciblés dans les rangées. Les paramètres du traitement (concentrations, temps d'exposition, température, etc.) et les taux correspondants d'élimination (en %) ou de mortalité (en %) des espèces sont indiqués. La plus grande partie de la documentation existante sur les traitements contre les EAE portait sur la mortalité comme point final, tandis que celle sur les traitements par jet d'eau sous pression concernait la mortalité ou l'élimination. L'efficacité est exprimée quantitativement (en pourcentage de mortalité ou d'élimination) ou qualitativement (« efficace » ou « inefficace », sans pourcentage). L'efficacité des traitements physiques et chimiques a été classée comme « efficace » s'ils entraînaient une mortalité ou une élimination de 100 % ou caractérisée comme « efficace » pour tuer une EAE donnée. Dans les tableaux, les publications faisant état d'une mortalité ou d'une élimination à 100 % sont présentées en premier, suivies de celles qui ont déclaré une mortalité plus faible, puis des publications indiquant qu'un traitement était qualitativement efficace, mais sans fournir de mesure de la mortalité. Des traitements inefficaces (quantitatifs ou qualitatifs) ont été retenus afin de cerner les résultats contradictoires potentiels dans la documentation, d'évaluer l'accord sur l'efficacité ou non d'un traitement et de combler des lacunes dans l'information si aucun traitement n'a été jugé efficace pour une espèce donnée. Les résultats inédits fournis par des experts locaux ont également été pris en compte pour certains traitements physiques et chimiques; ils ont été indiqués comme des « données inédites » et étiquetés avec deux astérisques en exposant (**). Les rapports ou la littérature grise ont été étiquetés avec un astérisque en exposant (*).

2.4. ANALYSE DOCUMENTAIRE : CRITÈRES D'ÉVALUATION DES EFFETS DU TRAITEMENT SUR LES MOLLUSQUES ET MACROALGUES

En ce qui concerne les répercussions du traitement sur les espèces déplacées, le traitement a été défini comme une méthode physique ou chimique (ou une combinaison des deux) avec une composante temporelle précise pour assurer un taux de survie quantifié. Les données concernant les effets des traitements sur les espèces déplacées (mollusques ou macroalgues) ont également été extraites de la documentation, examinées et classées par traitement. Les résultats quantitatifs de l'effet des traitements sur les espèces déplacées ont été indiqués en pourcentages de survie (%), où 100 % fait référence à un traitement qui a assuré la survie de 100 % des espèces déplacées après le traitement. Les publications dans lesquelles les

traitements étaient jugés comme ayant un impact faible ou nul ou un impact élevé sans données de survie précises sur les espèces déplacées (données qualitatives) ont été classées « Non touchées » ou « Touchées », respectivement. Nous avons classé les résultats comme « Non touchées » lorsque les auteurs ont décrit leurs résultats avec les qualificatifs suivants : « non touchée », « a survécu », « faible mortalité », « critère de survie respecté », « faible impact », « aucun effet évident », « aucun impact détectable » ou « croissance dans le temps » (semaines ou mois). De plus, certains auteurs ont utilisé divers impacts non quantifiés (classés comme « touchées ») tels que : « occurrence de mortalité/mortalité élevée », « perte de poids », « dommages à la coquille » et « croissance réduite ». Dans le texte, les publications mentionnant le pourcentage de survie quantitatif le plus élevé sont présentées en premier, suivies de celles dont les pourcentages de survie diminuent par ordre décroissant, puis des articles avec des résultats qualitatifs (« Touchée » ou « Non touchée »). Les résultats inédits fournis par des experts locaux ont également été pris en compte pour certains traitements physiques et chimiques, et ont été indiqués comme des « données inédites ».

2.4.1. Mollusques représentatifs en tant qu'espèces déplacées et espèces aquatiques envahissantes

La moule bleue (*Mytilus edulis*), la moule méditerranéenne (*M. galloprovincialis*), l'huître creuse du Pacifique (*Crassostrea gigas*) et l'huître de l'Est (*C. virginica*) sont les principales espèces de mollusques qui sont ou ont été cultivées au Canada. Elles peuvent également être considérées, cependant, comme des épibiontes sur des espèces déplacées. Aux fins de la présente analyse documentaire, ces mollusques sont considérés comme des espèces déplacées ou des EAE, selon l'emplacement géographique et le contexte de l'étude. Ainsi, certains résultats obtenus pour ces espèces ont été transposés et présentés sous forme de données sur la mortalité ou l'impact, selon le cas. L'approche utilisée pour déterminer les catégories de taille de ces quatre espèces de bivalves (voir la section 2.4.2) a été utilisée, qu'elles soient considérées comme envahissantes ou déplacées.

2.4.2. Catégories de taille des mollusques

Étant donné que les mollusques sont à différents stades biologiques et ont différentes tailles pendant les transferts et que l'efficacité et les répercussions du traitement peuvent être fortement liées à la taille, deux catégories de taille (« grande » et « petite ») ont été établies pour la plupart des espèces de mollusques. Les valeurs seuils pour les catégories de taille des espèces de mollusques sont présentées dans le tableau 3, ainsi que les références à l'appui de l'établissement de ces valeurs seuils. La valeur seuil a été déterminée à partir d'au moins trois publications ou rapports par espèce, fournissant des renseignements complémentaires sur les fourchettes de la taille biologique, la taille commercialisable ou marchande, les stades liés au cycle biologique et à l'aquaculture (p. ex. adulte, semence/naissain) et l'âge (mois ou années). Il a été difficile d'utiliser uniquement les stades biologiques comme critère pour déterminer ces deux catégories de taille, car la taille des espèces de bivalves peut varier considérablement en fonction des conditions de croissance à divers endroits (p. ex. différence de climat entre la côte ouest et la côte est du Canada).

Les seuils sont exprimés en longueurs de coquille (mm), sauf pour *A. irradians*, pour lequel les tailles trouvées dans la documentation n'étaient généralement pas précisées, et le pétoncle géant (*Placopecten magellanicus*), pour lequel les tailles utilisées pour établir le seuil étaient surtout indiquées en hauteur de la coquille. Nous avons utilisé les valeurs figurant dans la documentation pour *M. edulis* et *M. galloprovincialis* pour fixer les mêmes valeurs seuils pour les deux espèces. Les mises en garde suivantes sur la taille des mollusques s'appliquent :

- Grande taille : les références comprennent des mentions des stades « adulte » et « juvénile de grande taille ».
- Petite taille : les références comprennent des mentions des « stades juvéniles » (naissain/semence) et des « adultes de petite taille ».
- Lorsque deux groupes de mollusques appartenant à la même catégorie de taille ont été mis à l'essai dans la même étude et ont donné des résultats différents, les deux résultats ont été présentés séparément. Par exemple, si deux groupes de moules de petite taille de 5 à 25 mm et de 35 à 45 mm ont été mis à l'essai, les résultats des deux groupes de taille ont été inclus dans la catégorie « petite » taille (remarque : un seuil de 50 mm de longueur de coquille a été déterminé pour les moules; tableau 3).
- Fourchette de tailles applicable aux deux catégories (« petite » et « grande ») : lorsqu'une fourchette de tailles chevauchait la valeur seuil, les résultats étaient répétés dans les deux catégories (p. ex. de 20 à 60 mm, avec une valeur seuil = 50 mm).
- Lorsqu'aucune taille ou fourchette de tailles, ou aucun un stade biologique ou âge n'était précisé, mais que des renseignements (quantitatifs ou qualitatifs) sur la survie ou la mortalité étaient fournis, les résultats ont été classés dans une catégorie de taille selon une approche de précaution. Lorsque les résultats sur l'EAE/épibionte indiquaient une mortalité de 100 % ou un traitement « efficace », l'EAE ou l'épibionte a été classé dans la catégorie « petite » taille (c.-à-d. présumé plus sensible que les grands bivalves pour une espèce donnée), mais si les résultats indiquaient une mortalité <100 % ou un traitement « inefficace », il était classé dans la catégorie « grande » taille. De même, pour les espèces déplacées, lorsque les résultats indiquaient ≥ 90 % de survie ou qu'elles n'avaient « pas été touchées », elles ont été classées dans la catégorie « grande taille », tandis que si les résultats indiquaient une survie <90 % ou qu'elles avaient été « touchées », elles étaient classées dans la catégorie « petite » taille (c.-à-d. présumées moins résistantes que les grands bivalves pour une espèce donnée).

2.5. ÉVALUATION DE LA MORTALITÉ

Les paramètres de mortalité variaient entre les études, les taxons et le stade biologique de l'organisme, mais les méthodes générales d'évaluation de la viabilité et de la survie étaient comparables. Les méthodes de détermination de la mortalité des tuniciers étaient en effet variables, mais les études sur le terrain ont généralement classé les individus ou les colonies de tuniciers comme morts s'ils étaient absents, décolorés, putréfiés ou détachés du substrat ou si les cellules n'étaient pas colorées après utilisation du colorant vital rouge neutre (Williams et Schroeder 2004; Forrest *et al.* 2007; Carman *et al.*, 2010, 2016; Ferguson *et al.* 2016). Dans certains cas, une réduction importante de la biomasse par rapport aux colonies témoins était un indicateur fiable de la régression de la colonie, menant finalement à la mortalité (voir MacNair *et al.* 2006; Leblanc *et al.* 2007; Paetzold *et al.* 2012; Roche *et al.* 2015). Certaines études en laboratoire ont utilisé le manque de siphonnage de l'eau et l'absence de réaction tactique (pour les tuniciers) ou l'incapacité de fermer les valves après 48 heures dans les traitements de récupération (pour les bivalves; par exemple Hillock et Costello 2013; Hopkins *et al.* 2016; Sievers *et al.* 2019).

Les bivalves étaient considérés comme morts lorsque, après une période de récupération, les organismes ne réagissaient pas à la stimulation tactile, n'avaient pas attaché à nouveau les byssus, avaient des coquilles ouvertes ou si leur coquille restait ouverte longtemps (p. ex. Forrest et Blakemore 2006; Leblanc *et al.* 2007; Joyce *et al.* 2019; Sievers *et al.* 2019; Cahill *et al.* 2021), tandis que la mort des véligères était confirmée par l'absence de mouvement ciliaire à l'intérieur de la coquille ou sur le vélum étendu (p. ex. Haque *et al.* 2014; Haque et Kwon 2017).

Un exemple de signe de mortalité utilisé pour les gastéropodes était l'absence d'éclosion, un opercule fermé et une activité d'alimentation étant reconnus comme des signes de viabilité pour ce groupe (Gill *et al.* 2008).

Les crabes verts européens (*Carcinus maenas*) étaient considérés comme morts en cas d'absence de rétractions réflexives des pattes lorsqu'on les tirait ou d'un manque d'activité des papilles ou des antennules (Darbyson *et al.* 2009; Best *et al.* 2014); la mortalité de la caprelle japonaise (*Caprella mutica*) était définie comme un manque de réponse à un stimulus mécanique (c.-à-d. une pression douce avec une sonde émoussée) (Ashton *et al.* 2007). Dans le cas des amphipodes, les animaux étaient classés qualitativement comme étant actifs (rampant/nageant, branchies en mouvement), inactifs (contractions/aucune activité) ou morts (flottant/sans activité branchiale) (Paetzold *et al.* 2008).

Les critères pour établir la mortalité des macroalgues étaient variables, avec plusieurs approches définies dans la documentation pour évaluer la survie et la viabilité (ou la mortalité) après les traitements. Les techniques consistaient à estimer visuellement la dégradation, la décoloration, la pigmentation perdue, les fragments se désintégrant au point où il ne restait aucun tissu, l'aspect nécrotique, l'absence de fluorescence et le nombre de cellules rétrécies et vidées (MacNair 2002; Smit *et al.* 2003; Forrest et Blakemore, 2006; Sharp *et al.* 2006).

La mortalité ou les effets des traitements sur les polychètes étaient exprimés par différentes terminologies dans la documentation passée en revue, comme un stimulus tactile des radioles, des vers tubicoles se soulevant légèrement (les vers morts tombent de leurs tubes), des vers en décomposition, la léthargie et des symptômes de stress (Velayudhan 1983; Leighton 1998; Jute et Dunphy 2017).

Les bryozoaires (p. ex. *W. subtorquata*, *Bugula neritina*) étaient considérés comme morts lorsqu'ils étaient absents (Piola *et al.* 2009). Les étoiles de mer étaient considérées comme mortes lorsqu'elles devenaient molles et flasques, qu'elles étaient partiellement ou complètement désintégrées (Loosanoff 1960) ou si aucun podia ne se bougeait lors de l'inspection (Rolheiser *et al.* 2012). La mort des éponges peut se manifester par un changement de couleur ou la désintégration des colonies (Loosanoff 1960; Carver *et al.* 2010).

2.6. NIVEAUX D'INCERTITUDE

Les options de traitement les plus efficaces, létales (à 100 % ou qualitativement efficaces) pour le plus grand nombre d'EAE et avec des répercussions nulles ou minimales sur les espèces déplacées (90 % ou plus de survie ou qualitativement non touchées) ont été recensées, ainsi que les mesures du degré d'incertitude correspondant. Des niveaux d'incertitude (très élevée, élevée, modérée et faible) ont été attribués à chaque option de traitement pour chaque espèce d'EAE (ou groupe taxonomique) et espèce de mollusques/macroalgues déplacée. Ces niveaux d'incertitude ont été attribués en fonction du nombre d'études disponibles (peu [1étude], limitées [2], nombreuses [de 3 à 6] ou complètes [≥ 7]), de leur qualité (comm. pers., rapport technique ou examen par les pairs) et de l'accord entre les études avec les options de traitement en question (contradictoires, conclusions différentes, la plupart du temps d'accord ou entièrement d'accord; voir le tableau 4). Lorsqu'un groupe taxonomique comprenait plusieurs espèces (p. ex. les polychètes), le niveau d'incertitude augmentait (car les résultats ne sont pas propres à une espèce). Ainsi, même si un traitement donné peut être jugé efficace pour une espèce en particulier, une cote d'incertitude élevée est possible lorsque peu d'études examinées par des pairs sont disponibles. De même, des cotes d'incertitude faibles/modérées sont générées lorsque de nombreuses études évaluées par des pairs concordent sur l'efficacité d'une option de traitement. Les cotes d'incertitude n'ont pas été calculées pour les traitements inefficaces.

De nombreuses considérations, lacunes et sources d'incertitude ont été relevées dans ce travail et ont limité l'interprétation des résultats. Ces considérations proviennent principalement des données limitées comportant de nombreuses lacunes, des plans d'études expérimentales variables, de la limitation liée à l'extrapolation des études en laboratoire au contexte sur le terrain, des effets des facteurs environnementaux et de la variabilité des paramètres sur l'efficacité du traitement et la survie de l'organisme, de l'influence de la taille de l'organisme sur la survie ou la mortalité, ainsi que des données qualitatives par rapport aux données quantitatives. Entre autres limites, l'évaluation de la contribution relative de certains composants dans les traitements combinés (p. ex. immersion et séchage à l'air, chauffage, combinaison de deux produits chimiques) à l'efficacité globale et aux effets de stress chronique des traitements par rapport au stress aigu sur les espèces déplacées a été moins étudiée. Ces limites et ces sources d'incertitude sont décrites de manière plus détaillée à la section 4.6.

3. RÉSULTATS

Plus de 200 références ont été prises en compte dans cette analyse documentaire; en particulier, 115 publications scientifiques et rapports de littérature grise ont été examinés de manière plus approfondie afin d'évaluer l'efficacité de divers traitements physiques et chimiques pour l'élimination ou la mortalité des EAE et épibiontes marins, de même que pour déterminer leurs effets sur une sélection d'espèces de mollusques et de macroalgues déplacées.

3.1. ÉVALUATION DES EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LA MORTALITÉ DES ESPÈCES AQUATIQUES ENVAHISSANTES ET DES ÉPIBIONTES MARINS

3.1.1. Efficacité des traitements physiques

Au total, 64 sources documentaires (47 publications primaires et 17 rapports techniques) ont été prises en compte, notamment des publications sur l'utilisation de traitements à l'eau de mer sous pression (7), par séchage à l'air (30), à l'eau douce (31) et de traitements thermiques (eau douce ou eau de mer chaude et vapeur; 26), ou d'une combinaison de ceux-ci pour le contrôle des EAE et des épibiontes marins (tableau 5). Des résultats inédits (6) fournis par des experts locaux ont également été pris en compte pour certains traitements physiques; ils ont été indiqués comme des « données inédites » et marqués de deux astérisques en exposant (**).

3.1.1.1. Lavage sous pression (jet à basse et haute pression)

Nous n'avons pas trouvé beaucoup d'information sur l'efficacité de l'eau de mer sous pression pour éliminer les EAE par rapport à d'autres traitements physiques, et la plupart des études dans cette catégorie se concentraient sur l'élimination des tuniciers. La pression requise pour éliminer 100 % des organismes de biosalissures variait d'une EAE à l'autre et allait de 400 à 2 000 lb/po² (2 à 10 s) (Coutts 2006; Forrest et Blakemore 2006; Paetzold *et al.* 2012; Ramsay 2014a). Le traitement de l'eau à haute pression (700 lb/po²) était efficace pour réduire le botrylle étoilé (*Botryllus schlosseri*) et le botrylloïde violet (*Botrylloides violaceus*) à près de 100 % (Paetzold *et al.* 2012) et à 84 % (Arens *et al.* 2011a), respectivement. Arens et ses collaborateurs (2011a) ont montré que la basse pression (40 lb/po²) n'avait aucun effet. De plus, Ramsay (2014a) a constaté que les jets d'eau de mer à haute pression (de 400 à 600 lb/po²) pulvérisés à l'aide de buses rotatives était efficace pour réduire les niveaux d'ascidie jaune (*Ciona intestinalis*) sur les boudins de moules. Coutts (2006) signale qu'une combinaison de jet d'eau de mer à haute pression et de séchage à l'air est une méthode rentable pour traiter les amarrages et diverses autres structures artificielles. Plus précisément, le traitement terrestre des amarrages par jet à 2 000 lb/po² et d'un séchage à l'air pendant 48 h a éliminé 100 % du didemne étendard (*Didemnum vexillum*). Les traitements par lavage sous pression (40 ou

700 lb/po²; Arens *et al.* 2011a) n'ont pas eu d'effet sur les moules bleues *M. edulis*, grandes et petites, considérées ici comme une EAE, et aucune mortalité (0 %) n'a été observée jusqu'à 700 lb/po² après 10 s (Arens *et al.* 2011b). À une pression plus forte ($\geq 2\ 000$ lb/po² pendant 2 s), le jet d'eau à haute pression était complètement efficace (100 %) pour éliminer les gamétophytes du wakame (*Undaria pinnatifida*) des coquilles de moules (Forrest et Blakemore 2006). Contrairement, Curtis et ses collaborateurs (2021) ont montré que le lavage à haute pression (de 2 000 à 3 000 lb/po²; 10, 20, 30 s) était inefficace pour éliminer les biosalissures (y compris *B. schlosseri*, *B. violaceus*, *D. vexillum*, l'escargot de mer [*Crepidula adunca*], *C. maenas* et les étoiles de mer) et les invertébrés mobiles (p. ex. plusieurs espèces de crabes) sur les huîtres d'élevage (*C. gigas*). Bien que de nombreux autres organismes aient pu faire partie de la communauté de biosalissures examinée dans ces études, aucune information particulière n'a été trouvée pour l'ascidie *Diplosoma* (*Diplosoma listerianum*), l'ascidie plissée (*Styela clava*), l'ascidie sale (*Asciella aspersa*), les raisins de mer *Molgula* et les espèces de petits et grands bivalves (*M. galloprovincialis*, *C. virginica*, *C. gigas*), *C. mutica*, les cirripèdes (balanes), le codium fragile (*Codium fragile*), les polychètes, les bryozoaires, les éponges et les hydrozoaires.

3.1.1.2. Séchage à l'air

Des tuniciers vivants (en particulier *B. schlosseri*, *B. violaceus*, *D. vexillum*, *D. listerianum*, *C. intestinalis*, *A. aspersa* et *S. clava*) ont été éliminés des mollusques après des traitements par exposition à l'air pendant 24 h (Carman *et al.* 2010). Medcof (1961) a observé que les espèces *Molgula* étaient effectivement tuées lorsque les capteurs de naissain étaient exposés à l'air pendant une période de 24 heures. MacNair et ses collaborateurs (2006) ont montré que les bouées séchées à l'air pendant 72 heures étaient presque débarrassées des *B. violaceus* vivants (presque 100 % d'efficacité). Un essai d'exposition à l'air pendant seulement 5 heures (18 à 19 °C; humidité relative [HR] de 92 %) a entraîné une mortalité de 100 % des colonies de *B. schlosseri* sur des plaques de contrôle en PVC (Bernier *et al.* MPO, données inédites). Contrairement, il a fallu laisser hors de l'eau les pontons infestés de *D. vexillum* pendant environ deux semaines pour dessécher et tuer ces colonies (Pannell et Coutts 2007). Dans le cas des tuniciers solitaires, Hopkins et ses collaborateurs (2016) ont démontré que le séchage à l'air peut être une méthode d'atténuation efficace pour un large éventail de taxons de salissures marines. Ils ont montré que les adultes/recrues et les juvéniles de *Ciona savignyi* (substitut de *C. intestinalis*) ont été tués à 100 % après 24 heures (18 °C) et 8 heures (14,5 °C, 95 % HR) d'exposition à l'air, respectivement, dans des conditions de laboratoire (Hopkins *et al.* 2016). Le tunicier *C. savigni* a été tué à 100 % lors d'essais sur le terrain après seulement 6 heures d'exposition directe à la lumière du soleil à des températures extérieures ambiantes (de l'ordre de 9,5 à 32,2 °C; Hopkins *et al.* 2016). La documentation est ambiguë quant à l'efficacité du séchage à l'air pour *S. clava*. Hillock et Costello (2013) ont montré que le séchage à l'air sous la lumière directe du soleil était efficace pour éliminer *S. clava*, quelle que soit l'humidité relative, et qu'une durée de 24 heures (entre 25 et 27 °C) était nécessaire pour atteindre une mortalité de 100 %. De même, Carman et ses collaborateurs (2010) ont constaté que 24 heures de séchage à l'air étaient efficaces pour *S. clava*. Pour leur part, Minchin et Duggan (1988) ont observé une mortalité de 0 % de ce tunicier avec le même traitement. Hillock et Costello (2013) ont observé qu'une exposition à l'air pendant 2 semaines était nécessaire pour éradiquer 100 % des *S. clava* sur l'équipement marin lorsque la température de l'air était de 10 °C. Dans une autre étude, *S. clava* a été tué à 100 % sur les structures et les navires lorsqu'on les a retirés de l'eau pour les sécher à l'air pendant au moins 1 semaine (Coutts et Forrest 2005). Une semaine d'exposition à l'air était nécessaire parce que *S. clava* peut survivre à une exposition à l'air de 17 heures à 6 jours environ, selon les températures ambiantes et l'humidité, particulièrement dans des conditions d'humidité élevée, comme lorsqu'elle pousse sur une corde encrassée (Coutts et Forrest 2005). Dans des conditions de

laboratoire contrôlées à 20 °C, il a fallu seulement 90 minutes pour tuer 100 % des juvéniles de *S. clava* (Davidson *et al.* 2005).

Seuront et ses collaborateurs (2019) ont montré qu'une exposition à l'air extérieur de 6 heures à 41 °C était efficace pour tuer 100 % des *M. edulis*, petites et grandes, tandis que Leblanc et ses collaborateurs (2005) n'ont observé aucune mortalité lorsque les grands bivalves étaient exposés à des températures allant de 20 à 41 °C pendant 3 heures dans des conditions de laboratoire. Leblanc et ses collaborateurs (2005) ont également constaté que 11 heures d'exposition à l'air (27 °C, 55,6 % HR) entraînaient une mortalité de 47,8 % chez les petites *M. edulis*. Dans une autre étude, Leblanc et ses collaborateurs (2007) n'ont pas observé plus de 38 % de mortalité des petites *M. edulis* après 40 heures d'exposition à l'air (21 °C, 34 % HR) dans des conditions de terrain comparables aux méthodes industrielles. Les travaux sur le terrain menés par Comeau (MPO, données inédites) ont montré que 24 heures d'exposition à l'air (17 à 31 °C, HR non précisée) n'étaient pas efficaces (mortalité de 5,6 %) pour tuer les petites *M. edulis* et qu'un temps d'exposition plus long (5 jours; de 8 à 31 °C, HR non précisée) était nécessaire pour atteindre une mortalité de 99 %. Des temps d'exposition plus courts de 2 à 3 heures dans des conditions de faible HR ont été efficaces pour tuer les petites *M. edulis* selon Arakawa (1980), mais dans des conditions d'humidité relative élevée, 5 à 6 h n'étaient pas suffisantes. Vickerson (2009) a démontré, dans des conditions simulées de transport à froid, que 24 heures d'exposition à l'air (4 °C, 100 % HR) n'étaient pas suffisantes pour tuer les petites *M. edulis*. Pour les grandes *M. galloprovincialis*, la mortalité a commencé à se produire après au moins 4 jours (18 °C) de séchage à l'air, mais 11 jours étaient nécessaires pour obtenir une mortalité de 100 % dans des conditions de laboratoire (Hopkins *et al.* 2016). Dans une autre expérience en laboratoire, il a fallu 7 jours (20,3 °C) d'exposition à l'air pour atteindre une mortalité de 100 % chez les grandes *M. galloprovincialis* (Hopkins *et al.* 2016). Asgari et Jahangard (2012) n'ont observé aucune mortalité (0 %) des grandes *M. galloprovincialis* après 24 heures d'exposition à l'air dans des conditions de laboratoire et sur le terrain (toutes deux menées à des températures allant de 14 à 18 °C). Pour les petites *M. galloprovincialis*, Hopkins et ses collaborateurs (2016) ont constaté que 24 heures en laboratoire (18 °C, HR élevée) étaient efficaces à 100 %, mais que 6 heures (18,5 °C, 95 % HR) sur le terrain n'induisaient qu'une mortalité de 80 %. Selon Mallet et ses collaborateurs (Mallet Research Services Ltd., données inédites), une mortalité de 8 % des petites *M. edulis* (3 à 18 mm) a été observée après 24 heures de séchage à l'air dans des conditions contrôlées.

L'information sur l'effet du séchage à l'air sur *C. virginica* n'était disponible que pour les petits individus. Les essais sur le terrain menés par Comeau (MPO, données inédites) ont démontré que les pourcentages de mortalité augmentent avec le temps d'exposition à l'air : efficacité de 0 % après 1 jour (températures quotidiennes allant de 17 à 31 °C, HR non précisée), de 32 % après 5 jours (de 8 à 31 °C) et de 99 % après 11 jours (de 4 à 36 °C) sur les petites *C. virginica* (naissain). Dans leurs expériences en laboratoire, Mallet et ses collaborateurs (Mallet Research Services Ltd., données inédites) ont observé une mortalité de 98 % des petites (de 3 à 18 mm) *C. virginica* après 24 heures de séchage à l'air. Une période d'exposition à l'air de 72 heures, dans des conditions évitant les variations de l'exposition au soleil et des conditions météorologiques, n'a pas tué *C. virginica* (de 35 à 65 mm; mortalité de 5 %) (Mayrand *et al.* 2015). Dans une expérience en laboratoire, de grandes *C. gigas* ont été tuées à 100 % après 34 jours à 18 °C, mais la mortalité a commencé après 7 jours (Hopkins *et al.* 2016). Dans des conditions de terrain, avec une plus large fourchette de températures et une HR élevée (de 9,5 à 32,2 °C, 95 % HR), les mêmes auteurs ont observé que la mortalité se produisait après 72 heures, mais 16 jours étaient nécessaires pour tuer 100 % des individus.

Hancock (1969) a observé que des gastéropodes marins *Urosalpinx* spp. n'étaient pas tués même après jusqu'à 8 jours de séchage à l'air. Dans des espaces protégés ou clos, *C. maenas*

peut survivre pendant de longues périodes hors de l'eau si l'humidité relative demeure suffisamment élevée pour que les branchies ne sèchent pas (Darbyson *et al.* 2009). À une température moyenne de l'air de 29 °C, 50 % des crabes entièrement exposés à l'air ont survécu de 59 à 105 heures (de 2,5 à 4,4 jours). Aucun crabe n'a survécu à l'expérience d'exposition à l'air de 7 jours lorsqu'on les a laissés seuls dans des caisses à poissons en densités plus élevées (de 10 ou 15 individus par caisse), mais 7 % ont survécu dans les caisses où la densité de crabe était plus faible (5 individus par caisse). Cependant, environ 60 % des crabes ont survécu pendant 7 jours lorsque de l'eau de mer était présente dans les caisses de poissons avec les crabes. Le séchage à l'air a induit une mortalité de 92 % après 10,8 jours chez les adultes de *Balanus balanoides* exposés à la dessiccation dans des conditions de laboratoire contrôlées (10 °C, 0 % HR) (Foster 1971).

Il existe peu d'information sur les effets du séchage à l'air sur la survie de l'algue *C. fragile*, mais l'espèce semble plutôt tolérante à la dessiccation (MacNair 2002; Kim et Garbary 2007). Le séchage à l'air pendant 17 heures à 20 °C (de 72 à 75 % HR) a été quelque peu efficace pour tuer l'algue, dont les thalles avaient perdu 20 % de leur masse, mais elle présentait encore des niveaux élevés d'activité photosynthétique (Kim et Garbary 2007). Les mêmes auteurs ont révélé que 5 heures de séchage à l'air dans les mêmes conditions ne suffisaient pas à tuer *C. fragile*. Une période de séchage à l'air de 24 heures a provoqué une mortalité de près de 100 % de *C. fragile* en fragmentant les plantes, mais certains fragments avaient repoussé pour former des plantes saines après quelques mois (MacNair 2002). Par conséquent, ce dernier traitement a été jugé inefficace pour atténuer *C. fragile*.

La mortalité des gamétophytes de l'algue *U. pinnatifida* était totale (100 %) après 3 jours et 12 heures de séchage à l'air à 10 °C et 20 °C, respectivement, dans l'humidité ambiante (de 55 à 85 % HR; Forrest et Blakemore 2006). Avec une humidité élevée (>95 % HR), il fallait 6 semaines à 20 °C pour parvenir à une efficacité à 100 % (Forrest et Blakemore 2006). À 10 °C avec une humidité élevée (>95 %), le séchage à l'air n'était pas efficace, des gamétophytes vivants étant toujours présents après 8 semaines (Forrest et Blakemore 2006). En ce qui concerne les polychètes, la mortalité de la serpule tubicole *Hydroides elegans* était de 92 à 96,2 % après 3 à 6 heures de séchage à l'air à l'extérieur dans des conditions nuageuses et une HR élevée (non précisée) (Arakawa 1980). Des durées plus longues, de 1 à 2 jours, se sont avérées efficaces pour tuer le ver avec une exposition au soleil et des conditions de faible HR (non précisées) (Arakawa 1980). Forrest et ses collaborateurs (2007) ont démontré que 24 heures de séchage à l'air en laboratoire (température ambiante, HR élevée) n'étaient, par contre, pas efficaces pour tuer *H. elegans*. La mortalité de la serpule polychète *Spirobranchus paumotanus* était de 90 à 100 % après 12 et 24 heures dans des conditions de laboratoire, mais 24 heures dans des conditions de terrain n'étaient pas efficaces (mortalité de 7 %) (Asgari et Jahangard 2012). Le séchage à l'air était efficace sur l'annélide polychète spionide *Polydora ciliata* sur le terrain après de 7 à 10 jours dans une zone ombragée (Nell 2007) et efficace à 100 % après 14 jours dans un entrepôt frigorifique (3 °C) sur le ver à boue (*P. websteri*; Brown 2012). Le séchage à l'air pendant 24 heures (température ambiante, HR élevée) n'a pas été efficace pour éliminer les vers térébellides, *B. neritina* et *W. subtorquata* (Forrest *et al.* 2007). Carver et ses collaborateurs (2010) ont indiqué que l'exposition à l'air pendant 18 heures (~25 °C) n'était pas un traitement efficace pour tuer l'éponge jaune (*Cliona celata*). Aucune information n'était disponible sur les effets du séchage à l'air sur les grandes *C. virginica*, les gastéropodes, *C. mutica*, les étoiles de mer ou les hydrozoaires.

3.1.1.3. Immersion dans de l'eau douce ou jet d'eau douce (avec et sans séchage à l'air)

Les durées d'immersion en eau douce requises pour induire une mortalité de 100 % variaient selon les EAE et allaient de 3 heures à plus de 24 heures. D'après les résultats qualitatifs

présentés dans Carman *et al.* (2010) et Davidson *et al.* (2005), un jet d'eau douce de 5 minutes (basse pression) appliquée directement sur les huîtres ou les engins d'aquaculture était le temps minimum jugé efficace pour tuer les tuniciers coloniaux (*B. schlosseri*, *B. violaceus*, *D. vexillum* et *D. listerianum*) et solitaires (*C. intestinalis*, *S. clava* et *A. aspersa*). Cependant, lors du traitement de naissains de moule dans des sacs en filet en laboratoire, Ramsay (2015a) a constaté qu'une immersion de 12 heures dans l'eau douce (dans des réservoirs munis d'un système d'écoulement continu) était nécessaire pour être efficace pour tuer les tuniciers coloniaux *B. violaceus* et *B. schlosseri*. On a obtenu une mortalité de près de 100 % en exposant ces espèces envahissantes (retirées des moules) à une immersion dans de l'eau douce pendant au moins 6 heures dans des expériences de type laboratoire (Ramsay 2015a). La mortalité totale (100 %) de *B. schlosseri* et *B. violaceus* a été observée après avoir immergé dans de l'eau douce pendant 24 heures des boudins de moules dans des réservoirs munis d'un système d'écoulement continu à l'échelle industrielle (Ramsay 2015a). MacNair et ses collaborateurs (2006) ont également démontré une mortalité de 100 % des tuniciers des colonies de *B. violaceus* maintenues pendant de longues périodes (de 18 à 24 heures) dans de l'eau douce. Dans une étude sur la réaction physiologique de *B. schlosseri* et de *B. violaceus* à de faibles salinités, Dijkstra et ses collaborateurs (2008) ont démontré la sensibilité de ces espèces à l'eau douce, toutes les colonies des deux espèces conservées dans une concentration de 5 ppm subissant une mortalité de 100 % après 24 heures. Carman et ses collaborateurs (2016) ont montré que l'immersion dans de l'eau douce (8 heures) et le jet d'eau douce (10 min) suivies de 1 heure de séchage à l'air étaient toutes deux efficaces à 100 % pour tuer les tuniciers coloniaux (*B. schlosseri* [recrues larvaires pour le jet + séchage à l'air], *B. violaceus*, *D. vexillum* et *D. listerianum*) présents sur les boudins de moules. Sur le terrain, une exposition de 10 minutes en eau douce s'est avérée inefficace pour tuer *D. vexillum* et, en fait, l'espèce a accru sa couverture d'encrassement au fil du temps, 5 semaines après le traitement (Rolheiser *et al.* 2012). Contrairement, des expériences à l'échelle d'un aquarium ont révélé qu'une immersion de 4 heures dans de l'eau douce était efficace à 100 % pour tuer cette espèce (McCann *et al.* 2013). Denny (2008) a signalé que la mortalité de *D. vexillum* augmentait avec des durées d'immersion plus longues dans de l'eau douce (suivies d'une période d'exposition de 24 heures à l'air), mais sans atteindre une efficacité de 100 % : les expériences ont révélé une mortalité de 74 % pour une immersion de 2 minutes, de 84 % après 5 minutes et de 87 % après 10 minutes

Ramsay (2015b) a suggéré qu'une immersion d'au moins 3 heures dans de l'eau douce (expérience à petite échelle) était suffisante pour causer une mortalité de près de 100 % des adultes de *C. intestinalis*. Les résultats préliminaires d'essais supplémentaires menés par le même laboratoire en 2020 ont donné à penser qu'une immersion de 6 heures dans des conditions contrôlées était efficace, mais les immersions de 3 et 6 heures dans des conditions de terrain n'étaient pas efficaces pour tuer le tunicier solitaire attaché aux boudins de moules (Ramsay, ministère des Pêches et des Collectivités de l'Île-du-Prince-Édouard [Î.-P.-É.], données inédites). Cependant, les immersions de 12 heures dans de l'eau douce effectuées sur le terrain en 2020 ont entraîné une mortalité de près de 100 % de *C. intestinalis* sur les boudins de moules (Ramsay, ministère des Pêches et des Collectivités de l'Île-du-Prince-Édouard, données inédites). Ramsay (2015b) a présumé que les premiers stades biologiques de *C. intestinalis* seraient plus vulnérables à l'immersion dans de l'eau douce et que des durées plus courtes pourraient être nécessaires pour induire une mortalité de 100 %. Bourque et ses collaborateurs (MPO, données inédites) ont examiné les effets de salinités réduites sur les œufs et les larves de *C. intestinalis* pendant différentes périodes d'exposition et n'ont observé presque aucune larve métamorphosée ou en mouvement après une durée d'immersion de 1 heure dans de l'eau douce (mortalité de 98 %). Carver et ses collaborateurs (2003) ont démontré qu'une immersion de 1 minute était inefficace (mortalité de 10 %) pour éliminer tous

les stades de *C. intestinalis* de l'équipement de culture. Bien que l'immersion pendant 3 heures dans de l'eau douce (essai sur le terrain) ait été suffisante pour causer une mortalité de 100 % chez les juvéniles et les adultes de *S. clava* (Ramsay 2015c), 15 secondes seulement étaient nécessaires en laboratoire pour les juvéniles (Davidson *et al.* 2005). Au cours d'essais préliminaires sur le terrain, Coutts et Forrest (2005) ont montré que la mortalité de *S. clava* intervenait dans les 24 heures suivant l'immersion dans l'eau douce et ont donc préconisé une immersion d'au moins 1 jour pour une atténuation efficace. Ils ont également précisé que l'augmentation des salinités pourrait toutefois améliorer la survie de *S. clava* (Coutts et Forrest 2005). Minchin et Duggan (1988) ont montré qu'une immersion de 1 heure dans de l'eau douce n'était pas efficace pour *S. clava* dans des conditions de laboratoire (mortalité de 0 %).

Les traitements à l'eau douce étaient moins efficaces pour tuer les mollusques (ici considérés comme des EAE) que les tuniciers (Ramsay 2015a; Carman *et al.* 2016; Rolheiser *et al.* 2012). Les immersions pendant 12 heures et de 24 à 48 heures dans de l'eau douce, ainsi que les immersions ou les jets (8 heures ou moins) suivis de 1 heure de séchage à l'air, se sont révélés inefficaces (mortalité de 0 à 10 %) pour tuer les petites *M. edulis* dans des conditions de terrain ou de laboratoire (Ramsay 2015a; Carman *et al.* 2016; Landry *et al.*, MPO, données inédites). Les petites espèces de *Mytilus* n'ont pas été tuées (mortalité de 0 % environ en laboratoire) même après une immersion de 5 jours dans l'eau douce (Forrest et Blakemore 2006). De même, des immersions de 30 minutes et de 48 heures dans de l'eau douce étaient inefficaces pour tuer les grandes *M. galloprovincialis* (mortalité de 0 %; Asgari et Jahangard 2012) et les petites *C. virginica* (mortalité de 0 à 4 %; Landry *et al.*, MPO, données inédites) dans des conditions de laboratoire, respectivement. Denny (2008) a montré qu'une immersion de 10 minutes dans de l'eau douce suivie de 24 h de séchage à l'air était inefficace (mortalité de 1 à 2 %) pour tuer les grandes *M. galloprovincialis* dans des conditions de terrain. Dans une étude en laboratoire, Brown (2012) a montré qu'une immersion de 72 heures dans de l'eau douce n'était pas efficace sur *C. virginica* (taille non précisée, mais supposée grande), même si elle était suivie d'une période de séchage à l'air pendant 8 jours dans un entrepôt frigorifique (3 °C). Une immersion de 10 minutes dans de l'eau douce n'a pas été efficace (mortalité de 20 %) pour tuer de grandes *C. gigas* dans des conditions de terrain (Rolheiser *et al.* 2012). Nel et ses collaborateurs (1996) ont observé que les immersions de 12 heures dans de l'eau douce n'ont permis d'obtenir qu'une mortalité de 11,5 % et de 4,2 % des petites *C. gigas* sur le terrain et en laboratoire, respectivement. De plus, Nell (2007) a montré qu'une immersion de 12 heures dans de l'eau douce sur le terrain n'était pas efficace sur *C. gigas* (taille non précisée, mais supposée grande).

L'immersion pendant 1 heure dans de l'eau douce n'a pas été efficace sur les adultes de *C. maenas* et, de plus, on en a trouvé dans des cours d'eau douce à Terre-Neuve (Canada), ce qui démontre leur tolérance à l'eau douce (McKenzie *et al.* MPO, données inédites) pendant au moins de courtes périodes de temps dans des conditions de laboratoire. Des périodes prolongées d'afflux d'eau douce ont été jugées inefficaces pour tuer le crabe sanguin (*Hemigrapsus sanguineus*), avec une survie de 65 % après une immersion de 2 semaines dans une concentration de 1 ppm (Hudson *et al.* 2018; résultats non présentés dans le tableau 5). Selon Ashton et ses collaborateurs (2007), une immersion de 48 heures dans de l'eau à la salinité ≤ 15 ppm a été nécessaire pour provoquer la mortalité de 100 % de *C. mutica*, mais Takeuchi et ses collaborateurs (2003) ont obtenu une mortalité de 100 % après 24 heures dans de l'eau douce (de 0 à 8 ppm). Avec le même temps d'exposition (24 heures), Takeuchi et ses collaborateurs (2003) ont démontré que l'augmentation de la salinité réduisait l'efficacité du traitement pour *C. mutica*, des immersions dans des concentrations de 13 à 16 ppm entraînant une mortalité de 10 à 64 % et les salinités > 21 ppm ne causant aucune mortalité.

Même si la durée du traitement à l'eau douce variait d'une espèce d'algues à l'autre, la durée de traitement nécessaire pour provoquer efficacement la mortalité des algues était généralement plus longue (de plusieurs heures à quelques jours) que pour les autres groupes taxonomiques. Les thalles de *C. fragile* ont survécu pendant au moins 6 heures dans l'eau douce et récupéraient presque complètement leur capacité photosynthétique quelques heures après avoir été replacés uniquement dans l'eau de mer (Kim et Garbary 2007). Cependant, les mêmes auteurs ont montré qu'une immersion pendant 14 heures était efficace pour tuer *C. fragile*. Selon d'autres données, une immersion de plus de 24 heures dans de l'eau douce est nécessaire pour tuer *C. fragile* (Landry *et al.*, MPO, données inédites). Les gamétophytes de *U. pinnatifida* étaient tués après une immersion de 22 heures (à 20 °C) ou 43 heures (à 10 °C) dans l'eau douce, et une immersion de 10 minutes était suffisante pour tuer toutes les plantules aux deux températures (Forrest et Blakemore 2006).

L'efficacité du traitement à l'eau douce pour les vers polychètes variait d'une espèce à l'autre et au sein d'une espèce du même genre. Arakawa (1980) a constaté une mortalité de 64,9 % lorsque le ver tubicole *H. elegans* a été exposé à une immersion de 2 heures dans de l'eau douce. Asgari et Jahangard (2012) ont montré qu'une mortalité de seulement 40 % a été atteinte avec *S. paumotanus* après une immersion de 30 minutes. Pour les vers à boue, dans des conditions de laboratoire contrôlées, une mortalité de 100 % a été atteinte après une immersion de 6 heures pour *P. ciliata* (Velayudhan 1983), mais une immersion de 6 à 12 heures n'a tué que jusqu'à 25,9 % de *Polydora hoplura* (Nel *et al.* 1996). En ce qui concerne la gestion de l'ostréiculture dans les provinces Maritimes canadiennes, Medcof (1961) a observé qu'une immersion de 12 à 16 heures dans de l'eau douce était efficace pour tuer *P. websteri*. Dans le cadre de diverses expériences de tolérance à la salinité menées par Brown (2012), une mortalité de 25 à 60 % de *P. websteri* a été observée dans une expérience lorsque des vers enfouis dans des coquilles d'huîtres ont été immergés dans de l'eau douce pendant 72 heures. Pour atteindre une mortalité de 100 %, il a fallu retirer *P. websteri* des terriers et l'immerger directement dans l'eau douce. Des expériences menées dans un laboratoire par Ruellet (2004) ont révélé une mortalité de 100 % du ver à boue *Boccardia polybranchia* après 15 minutes lorsqu'il était directement immergé dans l'eau douce, mais une immersion de 8,5 heures n'était pas efficace lorsque les vers étaient enfouis dans des coquilles d'huîtres. Dans une expérience différente, Brown (2012) a relevé une mortalité de 100 % lorsqu'une immersion de 72 heures était suivie d'une période de séchage à l'air (dans un entrepôt frigorifique) pendant au moins 8 jours, mais avec une période de séchage plus courte de 4 jours, la mortalité était d'environ 95 % (Brown 2012). Des expériences sur le terrain ont montré qu'une immersion de 2 jours dans de l'eau douce était efficace pour tuer *P. websteri* (Nell 2007), alors que seulement 12 heures étaient nécessaires pour tuer efficacement *P. hoplura* (Nel *et al.* 1996; Nell 2007). Pour les vers de la famille des Sabellidae, une mortalité de 100 % a été atteinte après une immersion de 20 minutes dans de l'eau douce (Jute et Dunphy 2017) ou de 4 heures (Moore *et al.* 2007) pour les adultes et de 64 secondes pour les juvéniles (Moore *et al.* 2007). Nous n'avons trouvé qu'un seul document de recherche dans la documentation sur les éponges jaunes *Cliona* (Medcof 1961), qui indiquait qu'une immersion de 12 à 16 heures dans de l'eau douce était efficace pour tuer ces espèces. Les immersions dans de l'eau douce (30 secondes) n'ont pas été efficaces (mortalité de 0 %) pour l'hydroïde tubulaire *Ectopleura crocea* (Fitridge *et al.* 2012). Nous n'avons trouvé aucune information sur l'immersion dans l'eau douce ou le traitement par jet d'eau douce pour *Molgula* spp., les grandes *M. edulis*, les petites *M. galloprovincialis*, les gastéropodes, les cirripèdes, les étoiles de mer ou les bryozoaires.

3.1.1.4. Immersion dans de l'eau douce chaude

Peu d'études sont consacrées aux immersions dans de l'eau douce chauffée par rapport aux immersions dans de l'eau de mer chauffée. Carver et ses collaborateurs (2003) ont montré

qu'une immersion de 1 minute dans de l'eau douce à 40 °C était partiellement efficace (mortalité de 66 %) pour éliminer *C. intestinalis* dans des conditions de laboratoire. Forrest et Blakemore (2006) ont constaté qu'un traitement par immersion dans de l'eau douce pendant seulement 5 secondes à haute température (55 °C) était inefficace sur les petites *M. edulis*.

Landry et ses collaborateurs (MPO, données inédites) ont indiqué que les immersions dans de l'eau douce chaude n'étaient pas efficaces pour tuer les petites *C. virginica*. Lorsque *C. virginica* avait été acclimatée à 10 °C avant d'être exposée à un traitement à l'eau douce chauffée (30 °C) pendant 10 minutes, une mortalité de 11 % a été atteinte, comparativement à une mortalité de 0 % lorsque les organismes avaient été pré-acclimatés à 4 °C (différences non significatives). Un temps d'exposition plus court à l'eau douce (5 minutes) à une température plus élevée (40 °C) n'était pas non plus efficace (mortalité de 0 %) (Landry *et al.*, MPO, données inédites). Quant aux polychètes Sabellidae, le traitement était efficace à 100 % à 29,5 °C, 33 °C et 36 °C pour des temps d'exposition de 24 heures, 3 heures et 30 minutes, respectivement (Leighton 1998). Nous n'avons trouvé aucune information sur le traitement par immersion dans de l'eau douce chaude pour les autres EAE ciblées.

3.1.1.5. Immersion dans de l'eau de mer chaude

La documentation relative aux traitements par immersion dans de l'eau de mer chauffée était plus abondante que celle sur les traitements dans de l'eau douce chauffée et couvrait un plus large éventail d'espèces. Piola et Hopkins (2012) ont constaté que les traitements par immersion dans de l'eau de mer chauffée (37,5 °C, 60 minutes; 40 °C, 30 minutes; 42,5 °C, 20 minutes) étaient efficaces à 100 % pour tuer les tuniciers *Botrylloides leachii*, *D. vexillum* et *C. intestinalis*. Gill et ses collaborateurs (2007) ont remarqué qu'une immersion dans l'eau de mer pendant quelques secondes à 60 °C n'était pas efficace pour tuer *C. intestinalis*. Une autre étude a indiqué que l'immersion dans de l'eau de mer à 40 °C pendant 10 secondes a induit une mortalité de 66 %, mais que les expositions à 40 °C pendant 60 secondes et à 50 ou 60 °C pendant 10 secondes ont causé une mortalité de 100 % de *C. intestinalis* (Sievers *et al.* 2019). Dans la même étude, une faible mortalité (environ 12 à 25 %) a été enregistrée pour *S. clava* pour tous les traitements dans de l'eau de mer à 40 °C. À mesure que le temps d'immersion dans l'eau de mer chauffée augmentait, la mortalité de *S. clava* augmentait également, une température de 50 °C causant une mortalité de 40 à 50 %, de 60 à 70 % et de 86 % après 10, 30 et 60 secondes, respectivement (Sievers *et al.* 2019). De même, une exposition à l'eau de mer chauffée à 60 °C a entraîné une mortalité de 86 % après 10 secondes (Sievers *et al.* 2019), mais une mortalité de 100 % après 15 secondes (Minchin et Duggan 1988) et 30 secondes (Sievers *et al.* 2019). L'immersion dans de l'eau de mer à 70 °C pendant 10 secondes a également été efficace à 100 % sur *S. clava* (Minchin et Duggan 1988). Davidson et ses collaborateurs (2005) ont noté qu'une immersion plus courte, de 4 secondes, dans de l'eau de mer à des températures plus élevées (80 à 90 °C) causait une mortalité de 100 % chez *S. clava*.

Des expériences d'immersion dans de l'eau de mer chauffée ont été menées sur diverses tailles de moules (*M. edulis* et *M. galloprovincialis*) et d'huîtres (*C. virginica* et *C. gigas*). Best et ses collaborateurs (2014) ont constaté qu'une immersion dans de l'eau de mer à 55 °C pendant 1 minute n'était pas efficace pour tuer les *M. edulis*, grandes et petites. McDonald (2010) a montré qu'il fallait 20 secondes pour atteindre une mortalité de 100 % chez les grandes *M. edulis* immergées dans de l'eau de mer à 60 °C, et qu'une immersion pendant 5 secondes n'entraînait qu'une mortalité d'environ 35 %. Koganezawa (1972), cité dans Arakawa (1980), a précisé que l'efficacité du traitement à l'eau de mer chauffée dépendait de la taille des moules sur le terrain. Il a démontré que les petites *M. edulis* (de 40 à 50 mm) n'avaient pas été tuées (0 % de mortalité) après des immersions dans de l'eau de mer à 50 °C pendant 5 secondes, à 55 °C pendant 20 secondes et à 60 °C pendant 1 seconde. Contrairement, l'immersion dans

de l'eau de mer chauffée à 50 °C pendant 30 secondes, à 50 °C pendant 15 secondes et 60 °C pendant 5 secondes était efficace à 100 % pour les petites *M. edulis* (de 10 à 20 mm), mais 60 secondes à 60 °C étaient nécessaires pour un autre groupe de petites *M. edulis* (de 40 à 50 mm). Une immersion dans de l'eau de mer à 60 °C pendant 15 à 30 secondes n'a été que partiellement efficace (20 à 60 %) pour tuer les petites *M. edulis* (de 40 à 50 mm), et une immersion à 50 °C pendant 15–20 secondes a également été partiellement efficace (10 à 30 %) contre les petites *M. edulis* (de 10 à 20 mm; Koganezawa 1972). Dans le cadre d'expériences contrôlées, McDonald (2010) a obtenu une mortalité de 100 % des petites *M. edulis* à 60 °C après 15 secondes, mais seulement une mortalité d'environ 40 % lorsque le temps d'immersion a été réduit à 5 secondes. Dans une autre étude, Leach (2011) a trouvé que l'immersion dans de l'eau de mer chauffée à 60 °C pendant 15 minutes était efficace à 100 % sur les petites *M. edulis*, et qu'une immersion dans de l'eau de mer à 40 °C pendant 30 minutes entraînait une mortalité d'environ 40 %.

Gonzalez et Yevich (1976) ont montré qu'après une période d'acclimatement (température élevée à un taux d'environ 1 °C/jour de 2,5 à 25 °C), les petites moules *M. edulis* exposées à l'eau de mer chauffée ne présentaient aucune mortalité (0 %) à 26 °C après 24 heures. Cette étude a également démontré qu'une exposition post-acclimatement à 28 °C entraînait une mortalité de 100, 80 et 50 % de *M. edulis* après 6, 4 et 3 jours, respectivement, et une mortalité de seulement 6 % à 27 °C après 48 heures. Dans des conditions de terrain, toute la population de moules présentes dans un canal d'effluents est morte après 3 jours alors que les températures se situaient entre 28 et 30 °C (Gonzalez et Yevich 1976). Rajagopal et ses collaborateurs (2005a), grâce à des expériences d'acclimatement en laboratoire, ont démontré que l'eau saumâtre (19–20 ppm) à une température de 36 °C pendant 84 minutes et à 41 °C pendant 1 minute induisait une mortalité de 100 % des petites *M. edulis*. De plus, une étude en laboratoire a révélé qu'une température de 30 °C pendant 10 minutes était inefficace (mortalité de 0 %) pour tuer les petites *M. edulis* (Landry *et al.*, MPO, données inédites). Cependant, Landry et ses collaborateurs (MPO, données inédites) ont mesuré une mortalité de 87 % (pré-acclimatement à 10 °C) et de 33 % (pré-acclimatement à 4 °C) de petites *M. edulis* à 40 °C pendant 5 minutes, tandis qu'une exposition à 32,6 °C (6 heures) avait entraîné une mortalité de 76 % du naissain de moules (Leblanc *et al.* 2005). Des températures plus chaudes de l'eau de mer, de 60 à 80 °C, se sont avérées efficaces pour tuer les petites *M. edulis* après seulement 4 secondes (Davidson *et al.* 2005).

Les résultats pour les grandes *M. galloprovincialis* différaient de ceux de *M. edulis* pour l'immersion dans de l'eau de mer chauffée. Asgari et Jahangard (2012) ont montré que les essais sur le terrain avec de l'eau de mer chauffée n'ont pas entièrement réussi à tuer les grandes *M. galloprovincialis*, atteignant une mortalité de 54 à 58 % avec des températures de 60 à 65 °C après 30 secondes et une mortalité de 0 à 3 % avec des températures de 45 à 51 °C pendant 40 à 45 secondes. Des expériences en laboratoire menées par les mêmes auteurs à 45–48 °C (80 secondes) ou 51–53 °C (de 55 à 70 secondes) n'ont pas produit plus de 13 % ou de 0 % de mortalité de *M. galloprovincialis*, respectivement (Asgari et Jahangard 2012). Selon Sievers et ses collaborateurs (2019), les grandes *M. galloprovincialis* ont subi une mortalité de 100 % après avoir été immergées à 50 °C pendant 60 secondes, mais des immersions à 50 °C pendant 30 secondes ou à 60 °C pendant 10 secondes étaient suffisantes pour tuer toutes les petites moules (mortalité de 100 %). Les immersions dans de l'eau chauffée n'étaient pas efficaces (mortalité de 0 %) pour tuer les grandes *M. galloprovincialis* (40 °C après 60 secondes ou 50 à 60 °C après 10 secondes) et les petites (40 °C après 60 secondes) si l'on réduisait les temps d'exposition et les températures (Sievers *et al.* 2019). En outre, les mêmes auteurs ont indiqué que les immersions dans de l'eau chauffée à 50 et 60 °C étaient efficaces à 40 % pour tuer les grosses moules lorsque l'on faisait passer la durée à 30 secondes, et qu'un traitement à 50 °C pendant 10 secondes n'était pas non plus efficace sur les petites moules (mortalité de

25 %). Pour une durée d'exposition plus longue (5 minutes), les petites et les grandes *M. galloprovincialis* ont été tuées (mortalité à 100 %) à 50 °C, mais on a mesuré seulement 1 et 5 % de mortalité pour les grandes et les petites moules, respectivement, à 35 °C (Piola et Hopkins 2012).

Une mortalité élevée (~95 %) a été observée chez les petites *C. virginica* exposées à de l'eau de mer à 60 °C pendant 30 secondes dans des conditions contrôlées (McDonald 2010). Cependant, les résultats d'autres essais ont révélé que les immersions dans de l'eau de mer chauffée à 60 °C pendant 5 à 15 secondes (petites huîtres) et 30 secondes (grosses huîtres) n'étaient pas efficaces (maximum de 10 % de mortalité; McDonald 2010). Dans une autre étude, les immersions dans de l'eau de mer chauffée (60 °C pendant 15 secondes) testées sur deux groupes de taille (35 à 45 mm et 55 à 65 mm) d'huîtres (*C. gigas*), que nous avons classées dans la catégorie « petites », avaient une efficacité différente : 50 % de mortalité (35 à 45 mm) et moins de 5 % de mortalité (55 à 65 mm) (Mayrand *et al.* 2015). Selon la saison et la taille, l'efficacité de l'eau de mer chauffée sur les petites *C. virginica* variait de 30 à 50 % (35 à 45 mm) et de 40 à 90 % (55 à 65 mm) à 60 °C après 15 secondes (Rousselle 2012). Une étude approfondie de Piola et Hopkins (2012) a montré que le naissain de *C. gigas* (classé comme « petit ») était plus sensible à l'eau de mer chauffée que les juvéniles (également classés comme « petits ») et les adultes (grands), avec une mortalité de 23,3 % (37,5 °C, 60 minutes), de 50 % (40 °C, 30 minutes) et de 86,7 % (42,5 °C, 20 minutes) pour le naissain d'huîtres, aucune mortalité (0 %) pour les grandes huîtres pour les trois traitements de température/durée et seulement 2 % de mortalité pour les huîtres juvéniles à 42,5 °C pendant 20 minutes.

Une mortalité de 100 % a été atteinte dans trois groupes de taille de petites *C. gigas* (11, 35 et 54 mm) pour une immersion à 43 °C pendant 60 minutes (Rajagopal *et al.* 2005b) dans des conditions de laboratoire. Les auteurs ont également observé que des temps d'immersion très différents à 40 °C étaient nécessaires pour atteindre une mortalité de 100 % dans deux groupes de taille de petites *C. gigas*, alors qu'il fallait respectivement 96 et 167 minutes pour les groupes de 11 mm et de 54 mm (Rajagopal *et al.* 2005b). Dans des conditions de terrain, les immersions dans de l'eau de mer chauffée à 60 °C n'ont induit qu'une mortalité de 60 % et de 8 à 20 % chez les petites *C. gigas* après 60 secondes et 15 à 30 secondes, respectivement, et une température de 50 °C pendant 60 s a produit une mortalité de 0 % (Koganezawa 1972). De plus, Nel et ses collaborateurs (1996) ont montré que l'efficacité des immersions courtes (de 30 à 45 secondes) dans de l'eau de mer à 70 °C sur les petites *C. gigas* variait de 0 à 11,2 % de mortalité sur le terrain ou en laboratoire.

Les juvéniles de *C. maenas* immergés dans de l'eau de mer entre 45 et 55 °C pendant 1 minute ou à 55 °C pendant 5 secondes ont subi une mortalité de 100 %, mais les immersions à 40 °C pendant 1 minute ou à 50 °C pendant 5 secondes étaient inefficaces ou seulement partiellement efficaces pour causer la mortalité de cette espèce (Best *et al.* 2014). En outre, McKenzie et ses collaborateurs (MPO, données inédites) ont observé qu'une immersion de 1 heure dans de l'eau de mer chauffée entre 32 et 45 °C était efficace sur les *C. maenas* adultes. Un autre crustacé, *C. mutica*, a subi une mortalité de 100 % lorsqu'il a été immergé dans l'eau de mer à 30 °C pendant 48 heures (Ashton *et al.* 2007). Dans une autre étude, l'immersion dans de l'eau de mer chaude (60 °C pendant 25 secondes) était efficace à environ 99 % pour tuer *Balanus* sp. (McDonald 2010), mais complètement efficace (100 % de mortalité) pour les espèces de Balanidae maintenues à 40 °C pendant 30 minutes (Leach 2011).

L'immersion dans de l'eau de mer chauffée à 50 °C pendant 30 secondes a été efficace à 100 % pour tuer *C. fragile* (Landry *et al.*, MPO, données inédites), et une température plus basse, de 40 °C, était suffisante avec une exposition plus courte (10 secondes) pour tuer l'hydrozoaire *E. crocea* (mortalité de 100 %; Sievers *et al.* 2019). Une immersion de 3 secondes dans de l'eau de mer entre 80 et 85 °C a tué la plupart des macroalgues (45 taxons sur 46)

introduites par des transferts d'huîtres, ne laissant que des algues vertes tubulaires *Ulva* spp. présentes sur certaines coquilles d'huîtres (Mineur *et al.* 2007). Les durées d'exposition à l'eau de mer chaude qui ont entraîné la mortalité complète de *U. pinnatifida* étaient de 10 minutes (35 °C), 45 secondes (45 °C) et 5 secondes (55 °C; Forrest et Blakemore 2006). Williams et Schroeder (2004) ont constaté que l'immersion dans de l'eau de mer à 72 °C pendant 1 heure était efficace pour tuer l'algue verte *Caulerpa taxifolia* (non encore détectée au Canada).

L'immersion dans de l'eau de mer chauffée à >25 °C était efficace pour tuer les étoiles de mer *A. rubens* adultes, mais pas les juvéniles (Medcof 1961). Cependant, des expériences sur le terrain ont montré que l'immersion à une température plus chaude, de 40 °C, pendant 60 secondes n'était pas efficace pour tuer *A. amurensis* (substitut de *A. rubens*; Fitridge *et al.* 2012). Une étude présentait des résultats sur les traitements à l'eau de mer chauffée pour *S. paumotanus* sur les coquilles de *M. galloprovincialis* (Asgari et Jahangard 2012). À partir des résultats d'une fourchette de températures et de temps d'exposition testés sur le terrain et en laboratoire, les auteurs ont vérifié que la réduction des températures et des temps d'exposition limitait l'efficacité du traitement sur le ver. Dans des conditions de laboratoire, la mortalité la plus élevée (99 %) a été atteinte après une immersion dans de l'eau de mer à 53 °C pendant 60 secondes et la mortalité la plus faible (~60 %) dans de l'eau à 45 °C pendant 40 secondes. Dans des conditions de terrain, les mortalités les plus élevées obtenues allaient de 92 % (51 °C pendant 45 secondes, au large, dans un système fermé à circulation d'eau de mer chauffée) à 98,4 % (56 °C pendant 30 secondes, à terre; Asgari et Jahangard 2012). Une étude en laboratoire sur le ver à boue *P. hoplura* a démontré que l'immersion dans de l'eau de mer à 70 °C pendant 30 à 45 secondes était inefficace (mortalité de 30,3 à 39,2 %) pour tuer cette espèce (Nel *et al.* 1996). Les bryozoaires immergés dans de l'eau de mer chauffée (37,5 °C pendant 60 minutes, 40 °C pendant 30 minutes ou 42,5 °C pendant 20 minutes) ont été éliminés (mortalité de 100 %) (Piola et Hopkins 2012). Leach (2011) a montré qu'une immersion dans de l'eau de mer chaude (40 °C, 30 minutes) était efficace à 100 % pour des espèces non précisées de polychètes, bryozoaires et éponges. Aucune information n'était disponible sur les traitements par immersion dans de l'eau de mer chaude pour *B. schlosseri*, *D. listerianum*, *A. aspersa*, *Molgula* spp. ou les gastéropodes.

3.1.1.6. Vapeur

Nous avons trouvé peu d'études (2) sur les effets de la vapeur sur les EAE (Davidson *et al.* 2005; Joyce *et al.* 2019). Davidson et ses collaborateurs (2005) ont constaté qu'un traitement à la vapeur (100 °C, 50 lb/po²) pendant 30 secondes entraînait une mortalité de 100 % chez *S. clava*, mais qu'il n'était pas efficace sur les petites moules (*M. edulis*). Joyce et ses collaborateurs (2019) ont examiné l'efficacité de l'exposition à la vapeur (100 °C, 50 lb/po²) pour induire la mortalité de certaines espèces de biosalissures (*M. edulis*, *C. gigas*, *Semibalanus balanoides*, le fucus [*Fucus vesiculosus*] et *Ulva* sp.). Ils ont observé une mortalité totale (100 %) des petites *M. edulis* et *C. gigas* (60 secondes), des grandes *C. gigas* (300 secondes) et de *S. balanoides* (30 secondes). L'application de vapeur pendant 60 secondes a également réduit la biomasse de *F. vesiculosus* et d'*Ulva* sp., avec une dégradation complète (mortalité de 100 %) observée pour ces dernières après une exposition de 120 secondes. Aucune information n'était disponible sur les effets du traitement à la vapeur sur les tuniciers coloniaux (*B. schlosseri*, *B. violaceus*, *D. vexillum*, *D. listerianum*), *C. intestinalis*, *A. aspersa*, *Molgula* spp., les grandes *M. edulis*, les petites et les grandes *M. galloprovincialis*, les petites et les grandes *C. virginica*, les gastéropodes, *C. maenas*, *C. mutica*, *C. fragile*, les étoiles de mer, les polychètes, les bryozoaires, les éponges ou les hydrozoaires.

3.1.2. Efficacité des traitements chimiques

Nous avons examiné divers traitements chimiques pour contrôler les EAE marines à partir de 51 sources documentaires : 32 publications primaires et 19 rapports techniques. Les traitements étaient l'immersion ou le jet de composés à base de chlore (16), d'acide acétique (24), d'acide citrique (3), de solutions de saumure (32), de solutions de saumure et de chaux (2), de chaux hydratée (20) et de Virkon® (2), parfois suivies d'une période d'exposition à l'air. Un aperçu de ces traitements est présenté dans les tableaux 6 et 7 et résumé ci-après. Nous avons pris en compte quelques résultats inédits (6) fournis par des spécialistes pour certains traitements et les avons référencés comme « données inédites » et mis en évidence par deux astérisques en exposant (**) dans les tableaux 6 et 7.

3.1.2.1. Immersion dans des composés à base de chlore

Nous avons trouvé des résultats sur l'efficacité des traitements par chloration dans la documentation (Rajagopal *et al.* 2002, 2003; Carver *et al.* 2003; Ruellet 2004; Williams et Schroeder 2004; Coutts et Forrest 2005; MacNair *et al.* 2006; Denny 2008; Piola *et al.* 2009; Asgari et Jahangard 2012; McCann *et al.* 2013; Haque *et al.* 2014, 2015; Roche *et al.* 2015; Haque et Kwon 2017), mais les études ont testé différents composés chlorés (hypochlorite de sodium, CRT, dioxyde de chlore) mesurés dans des unités non comparables (% et mg/L). Au cours d'expériences en laboratoire, une immersion dans de l'hypochlorite de sodium à 0,006 % pendant 20 minutes n'a pas été efficace (mortalité de 0 %) pour tuer *C. intestinalis* (Carver *et al.* 2003). Une étude pilote (observations qualitatives sur le terrain) menée par Piola et ses collaborateurs (2009) a donné à penser qu'un jet d'hypochlorite de sodium à 1 % pendant 5 secondes pourrait être efficace pour tuer *C. intestinalis* et *B. leachii* lorsque les tuniciers traités étaient laissés pendant une période d'exposition supplémentaire de 30 minutes de séchage à l'air avant d'être rincés à l'eau de mer. Dans la même étude, des jets à plus faible concentration (hypochlorite de sodium à 0,5 %) suivies de 6 heures de séchage à l'air étaient efficaces pour *B. schlosseri*, mais pas lorsqu'elles étaient suivies de 3 heures de séchage à l'air, ce dont on peut déduire que le temps d'exposition à l'air est critique. Cependant, des jets d'hypochlorite de sodium à 0,5 % étaient inefficaces contre *B. leachii* et *C. intestinalis*, même lorsqu'elles étaient suivies d'une période d'exposition de séchage à l'air de 12 heures (Piola *et al.* 2009). Dans des conditions de laboratoire, l'immersion dans des solutions d'hypochlorite de sodium à 0,3 ou 0,6 % a entraîné une mortalité de 100 % de *B. violaceus* en seulement 15 secondes (MacNair *et al.* 2006) sans séchage à l'air. Dans les essais sur le terrain, l'immersion dans des concentrations plus diluées d'hypochlorite de sodium (0,01, 0,02 ou 0,05 %) a pris beaucoup plus de temps (minimum de 12 heures) pour induire une mortalité de 100 % du tunicier solitaire *S. clava* (Coutts et Forrest 2005). Des expériences en laboratoire ont montré une mortalité de 100 % de *D. vexillum* après une immersion de 10 minutes dans une solution d'hypochlorite de sodium à 1 % (McCann *et al.* 2013) et de seulement 30 secondes dans une solution d'hypochlorite de sodium à 1 % (Denny 2008). Contrairement, McCann et ses collaborateurs (2013) ont trouvé que 2 minutes d'immersion dans une solution à 1 % n'étaient efficaces qu'à 50 % sur *D. vexillum*. Des tests en laboratoire effectués par Roche et ses collaborateurs (2015) ont révélé que des immersions de 5, 15 et 30 minutes dans de l'hypochlorite de sodium à 1 % réduisaient considérablement la biomasse de *D. vexillum*, de 50, 65 et 55 %, respectivement. Les mêmes auteurs ont observé une mortalité pour le reste de la biomasse (décoloration, aspect maladif). Sur des moules de semence encrassées par *D. vexillum*, l'immersion dans des concentrations plus faibles (hypochlorite de sodium à 0,1 %) pendant 2 minutes en laboratoire a permis d'obtenir une mortalité d'au moins 90 % (Denny 2008). En outre, des immersions de 2 minutes dans des solutions d'hypochlorite de sodium à 0,25 % ou à 0,5 % (pendant au moins 20 secondes) ont éliminé 100 % de *D. vexillum* (Denny 2008). La même étude a également démontré qu'une immersion dans une solution

d'hypochlorite de sodium à 0,25 % pendant 2 minutes, suivie de 5 heures de séchage à l'air, a tué 100 % de *D. vexillum*.

Rajagopal et ses collaborateurs (2002, 2003) ont constaté que les immersions dans de très faibles concentrations de CRT étaient efficaces à 100 % sur les petites *M. edulis* dans des systèmes de chloration continue, mais avec des temps d'exposition très longs (17 jours à 3 mg/L et 40 jours à 1 mg/L, respectivement). Cependant, à une concentration plus élevée (4 mg/L de CRT), toutes les petites *M. edulis* ont été tuées (mortalité de 100 %) après des immersions de 6,3 jours (25 mm) ou de 7 heures (1,4 mm) (Haque *et al.* 2015). De même, Haque et Kwon (2017) ont montré que les temps requis pour provoquer une mortalité de 100 % de deux groupes de petite taille, 14 et 25 mm, de *M. edulis* dans 4 mg/L de CRT étaient de 124 heures (5,2 jours) et de 150 heures (6,3 jours), respectivement. Les larves véligères de *M. edulis* étaient plus faciles à tuer, des immersions dans 1 mg/L de CRT (20 minutes), 0,1 mg/L (4 heures) et 0,05 mg/L (5 heures) causant une mortalité de 100 % (Haque *et al.* 2014). Cependant, les concentrations de 0,7 mg/L de CRT n'étaient pas efficaces (seulement 16 % de mortalité) sur les larves après 10 minutes d'immersion (Haque *et al.* 2014; Haque et Kwon 2017). Nous avons trouvé moins d'information sur l'efficacité de la chloration contre *M. galloprovincialis* par rapport à *M. edulis*. Une concentration initiale plus élevée d'hypochlorite de sodium à 0,5 % pendant 30 secondes à 2 minutes (suivie ou non d'une période de séchage à l'air de 24 heures) sur de petites *P. canaliculus* (substitut de *M. galloprovincialis*) n'était pas efficace, induisant un peu plus de 6 % de mortalité (Denny 2008). Asgari et Jahangard (2012) ont testé la chloration avec du dioxyde de chlore (et non des concentrations de CRT) et ont constaté qu'une immersion pendant 9 minutes, à des concentrations allant de 0,14 à 0,28 %, n'était pas efficace (seulement 3 % de mortalité) sur les grandes *M. galloprovincialis*. Dans le contexte d'une étude sur le terrain où on a pompé et confiné de l'hypochlorite de sodium dans des enveloppes entourant des piliers de quai, une immersion dans une solution à 0,05 % d'hypochlorite de sodium n'a pas été efficace contre *C. gigas* (taille non précisée, mais présumée grande) même après 12 heures d'exposition (Coutts et Forrest 2005).

Une immersion dans de l'hypochlorite de sodium (5 %) pendant 1 heure n'a pas été efficace pour provoquer la mort de *C. maenas*, selon des expériences réalisées par McKenzie et ses collaborateurs (MPO, données inédites). L'hypochlorite de sodium s'est avéré efficace à 100 % (7 jours après traitement) à une concentration de 0,25 % sur l'algue verte envahissante *Caulerpa taxifolia* après 60 minutes d'immersion (Williams et Schroeder 2004). Des essais sur le terrain menés par Ruellet (2004) ont montré qu'une immersion de 5 minutes dans une solution à 0,5 % d'hypochlorite de sodium n'était pas efficace pour tuer *Polydora* sp. sur les coquilles d'huîtres, même si on retirait la boue des coquilles avant l'immersion. Asgari et Jahangard (2012) ont testé l'efficacité du dioxyde de chlore sur *S. paumotanus* à une concentration de 0,28 % pendant une immersion de 9 minutes et n'ont pas réussi (0 % de mortalité) à tuer les vers.

Enfin, nous n'avons trouvé aucune information sur l'utilisation de traitements par chloration pour *D. listerianum*, *A. aspersa*, *Molgula* spp., les grandes *M. edulis*, les petites et les grandes *C. virginica*, les petites *C. gigas*, les gastéropodes, *C. mutica*, les cirripèdes, les étoiles de mer, *C. fragile*, les bryozoaires, les éponges ou les hydrozoaires.

3.1.2.2. Immersion dans de l'acide acétique ou jet d'acide acétique (avec et sans séchage à l'air)

L'immersion dans de l'acide acétique à 4 % pendant 1 minute dans des essais en laboratoire a été efficace pour tuer les tuniciers coloniaux *B. schlosseri* et *B. leachii*, mais pas l'immersion dans une concentration plus faible (2 %) pendant 4 minutes (Forrest *et al.* 2007). De même, l'immersion dans de l'acide acétique à 5 % a causé une mortalité de 100 % de *B. violaceus* en

seulement 15 secondes (MacNair *et al.* 2006). Un autre tunicier colonial, *D. vexillum*, a connu une mortalité de 100 % après avoir été immergé pendant 2 minutes dans de l'acide acétique à 10 % (McCann *et al.* 2013), tandis qu'une étude de Roche et ses collaborateurs (2015) permet de penser qu'une immersion de 5 minutes dans de l'acide acétique à la moitié de cette concentration (5 %) pourrait induire une mortalité de 65 %. Cependant, Roche et ses collaborateurs (2015) ont démontré des résultats contradictoires dans la même étude, où *D. vexillum* ne présentait qu'une mortalité de 45 à 50 % après des temps d'exposition plus longs (15 et 30 minutes à la même concentration de 5 %). Sur le terrain, l'immersion de naissains de moule encrassés de tuniciers dans de l'acide acétique à 4 % pendant 10 minutes a entraîné une mortalité d'environ 95 % de *D. vexillum*, mais des expériences en laboratoire ont montré qu'une immersion pendant 1 à 3 minutes à la même concentration provoquait une mortalité de 80 à 85 % du tunicier (Denny 2008). Sur le terrain, Rolheiser et ses collaborateurs (2012) ont montré que l'immersion dans de l'acide acétique à 5 % et 0,25 % pendant seulement 30 secondes était efficace pour induire la mortalité de *D. vexillum*. Les résultats de plusieurs essais sur le terrain menés par Denny (2008) ont indiqué que des concentrations plus faibles (2 %) et les temps d'exposition associés (1 à 10 minutes) étaient moins efficaces (~45 à 82 %) pour causer la mortalité de *D. vexillum*.

Dans des conditions contrôlées, une immersion de 1 minute dans de l'acide acétique à 4 %, suivie d'une période d'exposition de 24 heures au séchage à l'air (dans des armoires à température contrôlée pour simuler le transport interrégional) a été efficace pour tuer *B. schlosseri*, *B. leachii* et le tunicier solitaire *C. intestinalis* (Forrest *et al.* 2007). Une immersion plus longue (5 minutes) dans de l'acide acétique à 5 % et une exposition de 1 heure au séchage à l'air, ont été nécessaires dans des expériences en laboratoire pour atteindre une mortalité de 100 % des stades adultes de *B. schlosseri*, *B. violaceus*, *D. vexillum* et des stades juvéniles de *D. listerianum*, *C. intestinalis* et *A. aspersa* (Carman *et al.* 2016). Des essais sur le terrain réalisés par Denny (2008) ont montré que l'ajout d'une période de séchage à l'air (de 1 à 41 heures) n'améliorait pas l'efficacité (mortalité moyenne de 77 %) d'un traitement à l'acide acétique à 2 % sur *D. vexillum*, comparativement aux résultats pour des immersions dans de l'acide acétique à 2 % seulement (mortalité de 45 à 82 %).

Forrest et ses collaborateurs (2007) ont testé l'effet du rinçage des tuniciers à l'eau de mer entre une immersion dans l'acide acétique et une période de séchage. Ils ont constaté que le rinçage entre les deux périodes influe sur l'efficacité du traitement, selon l'espèce, la concentration et la durée des immersions. En effet, les immersions de 1 minute dans de l'acide acétique à 2 % suivies de 24 heures de séchage à l'air n'ont pas été efficaces sur *B. schlosseri* et *B. leachii* lorsque l'on rinçait les tuniciers entre les deux étapes. Sans l'étape du rinçage, le même traitement (2 %, 1 minute) s'est avéré efficace sur ces espèces de tuniciers, ainsi que sur *C. intestinalis*. Lorsque la durée de l'immersion était de 3 minutes au lieu de 1 minute, le traitement était efficace sur les deux espèces, avec ou sans une étape de rinçage ajoutée avant la période de séchage à l'air de 24 heures. Forrest et ses collaborateurs (2007) ont également observé que le rinçage ne modifiait pas l'efficacité d'une immersion de 1 minute dans de l'acide acétique à 2 %, suivie d'une période de séchage de 24 heures, sur *C. intestinalis*. Les mêmes auteurs ont également testé l'effet de l'inversion des étapes du séchage à l'air et de l'immersion, observant qu'un séchage à l'air de 24 heures suivi d'une immersion de 1 minute dans de l'acide acétique à 4 % était efficace sur de nombreuses EAE, notamment *B. schlosseri*, *B. leachii*, *C. intestinalis*, *Cladophora* sp., les térébellides, *B. neretina* et *W. subtorquata* (substitut de *C. pallasiana*). Avec une concentration de 2 %, le même traitement inversé s'est avéré efficace sur les térébellides immergés pendant 1 minute, mais une immersion de 3 minutes était nécessaire pour *B. neretina* (Forrest *et al.* 2007).

Les jets d'acide acétique étaient moins efficaces que les immersions pour contrôler les salissures sur les boudins de moules. MacNair et ses collaborateurs (2006) ont indiqué qu'un jet de 1 minute (2 passages de 30 secondes) d'acide acétique à 5 % appliqué avec un pulvérisateur commercial muni de plusieurs buses a entraîné une mortalité de 90 % chez *B. violaceus* et a éliminé la plupart des autres organismes salissants. Un jet d'acide acétique à 4 % pendant 3 secondes suivi d'un séchage à l'air de 1 heure n'a provoqué qu'une mortalité de 81 % chez *D. vexillum* (Denny 2008). D'après des essais contrôlés sur le terrain avec l'acide acétique, un jet d'acide acétique à 5 % (5 secondes) sur des plaques encrassées par des tuniciers, suivi d'une période d'exposition à l'air de 30 minutes (à l'ombre) était efficace à 65 % pour tuer *B. schlosseri*, *B. leachii* et *C. intestinalis* et une période de 10 minutes était efficace à environ 95 % pour tuer *D. vexillum* (Piola *et al.* 2009). Piola et ses collaborateurs (2009) ont également montré qu'une période de 30 minutes d'exposition à l'air (à l'ombre) était totalement efficace (mortalité de 100 %) pour tuer *D. vexillum*. De plus, ces auteurs ont testé l'effet de concentrations plus élevées d'acide acétique et ont constaté qu'un traitement à 10 % d'acide acétique pendant 5 secondes, suivi de 30 minutes d'exposition au séchage à l'air (à l'ombre), était efficace à 95 % pour éliminer *B. schlosseri* et *B. leachii*.

L'ascidie jaune *C. intestinalis* semble plus sensible à l'acide acétique que les tuniciers coloniaux. Dans des expériences en laboratoire, des immersions dans de l'acide acétique à 5 % pendant 5 à 10 secondes ont été jugées inefficaces pour l'espèce (Carver *et al.* 2003), mais les immersions pendant 10 secondes, 1 minute et 4 minutes (à la même concentration) étaient efficaces (Carver *et al.* 2003; Forrest *et al.* 2007; Sievers *et al.* 2019). Sur le terrain, Gill et ses collaborateurs (2007) ont observé une mortalité de 99 à 100 % de *C. intestinalis* lorsqu'ils les ont immergés dans de l'acide acétique à 5 % pendant 15 secondes. Contrairement, les immersions dans de l'acide acétique à 5 % pendant 30 secondes en laboratoire (Carver *et al.* 2003) et de 5 à 10 secondes sur le terrain (Locke *et al.* 2009) n'étaient efficaces qu'à 95 % et entre 70 et 95 % pour tuer *C. intestinalis*, respectivement. Selon Sievers et ses collaborateurs (2019), une immersion de 30 secondes dans des concentrations plus faibles d'acide acétique (2 %) a induit une mortalité de 66 % de *C. intestinalis*, bien qu'une immersion de 4 minutes dans la même concentration n'ait pas été efficace (Forrest *et al.* 2007). Dans d'autres applications de traitement, un jet d'acide acétique à 5 % était considérablement moins efficace (mortalité de 10 à 20 %) ou n'était pas efficace sur *C. intestinalis* par rapport à l'immersion (Forrest *et al.* 2007; Gill *et al.* 2007, 2008; Sievers *et al.* 2019). Cependant, dans des conditions de terrain, lorsqu'ils ont pulvérisé des sacs d'huîtres avec de l'acide acétique à 5 % pendant 30 secondes et qu'ils les ont laissés exposés pendant 30 secondes avant de retourner à l'eau, Carver et ses collaborateurs (2003) ont mesuré une vaste fourchette d'efficacité (mortalité de 60 à 100 %) pour *C. intestinalis*, dépendant en grande partie de la densité du peuplement des tuniciers (Carver *et al.* 2003).

Comme *C. intestinalis*, l'ascidie plissée, *S. clava*, a affiché des réactions variables aux immersions dans de l'acide acétique. Sur le terrain, à l'aide de pieux de quai enveloppés, Coutts et Forrest (2005) ont indiqué qu'une immersion dans de l'acide acétique à 1 % pendant 1 minute n'était pas efficace pour tuer *S. clava*, mais que 10 minutes étaient efficaces à 100 % à cette concentration. Les auteurs ont prouvé que les immersions dans de l'acide acétique à 2 % et à 5 % pendant 5 minutes et 1 minute, respectivement, étaient efficaces à 100 % pour tuer *S. clava*. Davidson et ses collaborateurs (2005) ont constaté qu'une immersion de 15 secondes dans de l'acide acétique à 5 % était suffisante pour tuer de 99 à 100 % de *S. clava* sur des boudins de moules sur le terrain. Au contraire, les immersions dans de l'acide acétique à 2 % et à 5 % pendant 60 secondes dans les tests en laboratoire étaient respectivement efficaces à 0 % et seulement à environ 50 % sur *S. clava* (Sievers *et al.* 2019), tandis qu'un jet d'acide acétique à 5 % sur des boudins de moules sur le terrain était peu (de 5 à 60 %) ou pas efficace pour tuer *S. clava* (Davidson *et al.* 2005; Gill *et al.* 2008). Seuls Sievers et ses

collaborateurs (2019) ont testé l'efficacité de l'acide acétique chauffé en laboratoire sur plusieurs EAE attachées à des mollusques commerciaux, notamment les tuniciers solitaires *C. intestinalis* et *S. clava*. Ils ont montré qu'une immersion dans de l'acide acétique à 2 % chauffé à 40 °C ou 50 °C causait une mortalité de 100 % de *C. intestinalis* après 10 secondes, mais une durée de 60 secondes aux deux températures était nécessaire pour atteindre une mortalité de 100 % de *S. clava*. S'ils augmentaient la concentration d'acide acétique à 5 %, les températures de 40 à 50 °C et une durée de 10 secondes étaient tout aussi efficaces (100 %) pour tuer *C. intestinalis*. Une immersion pendant 30 secondes dans de l'acide acétique à 2 % chauffé à 40 °C n'a pas été efficace pour tuer *S. clava* (mortalité de 54 %), mais une immersion pendant 60 secondes dans de l'acide acétique à 5 % chauffé à 40 °C a tué près de 100 % du tunicier.

Les traitements courts (15 à 30 secondes) d'immersion dans de l'acide acétique à 5 % ou de jet d'acide acétique à 5 % n'étaient pas efficaces (seulement 7,7 à 60 % de mortalité) sur les petites *M. edulis* dans quelques études (MacNair *et al.* 2006; Sharp *et al.* 2006; Gill *et al.* 2007). Une seule étude a atteint une mortalité de 100 % de petites *M. edulis* et ce résultat a été obtenu par une immersion dans de l'acide acétique à 5 % pendant 5 minutes, suivie d'un séchage à l'air pendant 1 heure (Carman *et al.* 2016). Dans des conditions de terrain, des immersions dans de l'acide acétique à 5 % se sont avérées efficaces pour tuer les petites *M. edulis* après 15 secondes (Davidson *et al.* 2005; Gill *et al.* 2007). En revanche, MacNair et ses collaborateurs (2006) ont observé le contraire après 30 secondes à la même concentration. Néanmoins, l'efficacité du traitement peut dépendre de la taille dans la catégorie des petites tailles de *M. edulis*. Selon Carver et ses collaborateurs (2003), les temps d'immersion de 5 secondes à 1 minute dans de l'acide acétique à 5 % dans des tests en laboratoire ont été efficaces (mortalité survenue, non quantifiée) pour les moules de 10 mm, mais pas pour les moules de 20 mm (non touchées). De plus, une immersion de 5 secondes dans de l'acide acétique à 5 % dans des conditions de terrain n'était pas efficace à plus de 10 à 15 % sur les grandes *M. edulis*, selon Locke et ses collaborateurs (2009). Afin de tester l'effet d'un transport simulé sur de petites *M. edulis*, Vickerson (2009) a montré qu'une immersion de 30 secondes dans de l'acide acétique à 4 %, suivie d'une étape de rinçage et d'une période de 24 heures d'exposition à l'air froid (4 °C, 100 % HR) n'a pas tué les moules.

Le traitement le plus efficace sur les grandes et les petites *P. canaliculus* était une immersion dans la concentration la plus élevée examinée (acide acétique à 10 %) pendant 1 minute, suivie de 24 heures de séchage à l'air, provoquant une mortalité de 69 à 87 % (Denny 2008). Les études dans lesquelles seules des immersions dans de l'acide acétique (jusqu'à 4 minutes) ont été tentées (sans périodes de séchage) n'ont pas donné de résultats de mortalité efficace pour *P. canaliculus* ou *M. galloprovincialis*. Selon Sievers et ses collaborateurs (2019), aucune mortalité (0 %) ne s'est produite chez les petites ou les grandes *M. galloprovincialis* après une simple immersion de 30 secondes dans de l'acide acétique à 2 ou 5 % dans des expériences en laboratoire (pas de séchage à l'air), tandis qu'une immersion de 2 minutes dans de l'acide acétique à 4 ou 8 % était efficace à moins de 5 % sur les petites et les grandes *P. canaliculus* (Forrest *et al.* 2007). Dans des conditions de terrain, une immersion dans de l'acide acétique à 4 % était efficace à 9 % sur les grandes et les petites *P. canaliculus* (Forrest *et al.* 2007). Cahill et ses collaborateurs (2021) ont observé que la mortalité moyenne des petites *P. canaliculus* était de 62 à 65 % après des immersions dans de l'acide acétique à 8 % pendant des périodes de 10, 30 et 60 secondes (durées regroupées; Cahill *et al.* 2021). Forrest et ses collaborateurs (2007) ont évalué l'effet sur *P. canaliculus* d'une étape de rinçage entre une immersion dans de l'acide acétique et une période de séchage à l'air dans des conditions de terrain. Dans des conditions de laboratoire contrôlées, Forrest et ses collaborateurs (2007) ont montré que des immersions de 2 minutes dans de l'acide acétique à 4 et à 8 %, suivies directement d'un séchage à l'air (24 heures; aucune étape de rinçage entre les deux), entraînaient une mortalité

d'au moins 43 % et de 74 %, respectivement, des petites et des grandes *P. canaliculus*. L'ajout d'une étape de rinçage entre une immersion de 4 minutes dans de l'acide acétique à 4 % et un séchage à l'air de 24 heures a ramené l'efficacité du traitement sur les petites et les grandes *P. canaliculus* à moins de 9 % de mortalité dans des conditions de terrain (Forrest *et al.* 2007). Le séchage pendant 24 heures avant une immersion de 4 minutes (étapes inversées; conditions sur le terrain) et de 2 minutes (conditions de laboratoire) dans de l'acide acétique à 4 % n'a pas non plus été efficace sur les petites et les grandes *P. canaliculus*, avec une mortalité d'environ 10 % et de 5 % observée, respectivement (Forrest *et al.* 2007). Les périodes d'immersion testées (2, 4 ou 10 minutes) avec des concentrations d'acide acétique à 0,5 ou 1 % suivies de 24 heures de séchage à l'air n'étaient pas efficaces sur les grandes et les petites *P. canaliculus* (mortalité de 10 % ou moins; Denny 2008). Denny (2008) a également noté un faible pourcentage de mortalité de 5 % lors d'essais en laboratoire sur de grandes *P. canaliculus* après un jet rapide (3 secondes) d'acide acétique à 10 % suivi d'un séchage à l'air de 26 heures.

L'acide acétique chauffé n'était pas plus efficace pour tuer les grandes *M. galloprovincialis*, mais il a eu des effets sur les moules de petite taille. Le pourcentage de mortalité le plus élevé observé pour les grandes *M. galloprovincialis* était d'environ 60 % à une concentration de 5 % d'acide acétique chauffé à 50 °C et une immersion pendant 10 secondes (Sievers *et al.* 2019). Cette étude a obtenu un résultat contradictoire, une immersion dans de l'acide acétique à 5 % chauffé à 50 °C pendant 30 secondes ayant induit seulement ~ 25 % de mortalité chez les grandes *M. galloprovincialis*. Les mêmes auteurs ont montré qu'une concentration plus faible (2 %) ou une température plus basse (40 °C) causait une mortalité de 0 % chez les grands individus. Sievers et ses collaborateurs (2019) ont démontré une mortalité de 100 % chez les petites moules *M. galloprovincialis* dans de l'acide acétique à 2 % chauffé à 50 °C après 30 secondes et une mortalité de 90 % dans de l'acide acétique chauffé à 50 °C après 10 secondes. Aucune mortalité (0 %) n'a été enregistrée chez les petites *M. galloprovincialis* immergées dans de l'acide acétique à 2 % chauffé à 40 °C (30 secondes) ou à 5 % (10 secondes) (Sievers *et al.* 2019).

Pour les grandes *C. virginica*, une immersion dans de l'acide acétique à 5 % pendant 30 secondes a induit une mortalité de 56 %, mais une concentration à 10 % pendant 10 minutes ou à 20 % pendant 5 minutes a été jugée efficace (Carver *et al.* 2010). Dans plusieurs essais sur le terrain menés par Gill et ses collaborateurs (2008), les immersions dans de l'acide acétique à 5 % allant jusqu'à 10 minutes n'ont pas été efficaces pour tuer les petites *C. virginica*. La mortalité totale (100 %) des grandes *C. gigas* a été observée après une immersion de 5 minutes dans de l'acide acétique à 5 % dans des conditions de terrain (Rolheiser *et al.* 2012). La même étude a indiqué que l'immersion dans de l'acide acétique à 5 % pendant 30 secondes ou à des concentrations plus faibles de 0,25 % ou 1,25 % d'acide acétique pendant 10 minutes n'était pas efficace à plus de 40 % sur les grandes *C. gigas*. Les immersions de 1 minute et de 30 secondes à des concentrations de 0,25 % et de 1,25 %, respectivement, ont induit seulement 20 % de mortalité de *C. gigas* (Rolheiser *et al.* 2012). Aucune immersion dans de l'acide acétique (à 1, 2, 4 ou 8 %; de 15 à 60 secondes) testée dans des expériences en laboratoire n'a été efficace (mortalité de 0 %) sur les petites *C. gigas* (Cahill *et al.* 2021). Cahill et ses collaborateurs (2021) ont également observé une mortalité de 0 % lorsque les petites huîtres ont été immergées pendant 30 secondes dans de l'acide acétique à 4 % sur le terrain. Les expériences sur le terrain menées par Coutts et Forrest (2005) sur des pieux de quai enveloppés n'ont révélé aucune efficacité sur *C. gigas* (aucune taille précisée, mais présumée grande) pour les temps d'immersion testés (jusqu'à 10 minutes), quelle que soit la concentration (de 1 à 5 %) d'acide acétique.

Dans des conditions de terrain, une immersion dans de l'acide acétique à 5 % n'était pas efficace pour tuer *Balanus* sp. (1 minute; quelques cirripèdes étaient encore vivants après le traitement; McDonald 2010), ni les adultes ou les œufs du perceur d'huître (*Urosalpinx cinerea*; 10 minutes; Gill *et al.* 2008). Des jets d'acide acétique à 5 % (de 5 à 10 secondes) suivis de 45 secondes de séchage à l'air ont été testés sur des *C. mutica* fixées sur des cordes (Paetzold *et al.* 2008). Bien qu'une mortalité de seulement 89 % ait été observée directement après le traitement (de 2 à 3 heures), on a finalement obtenu 100 % de mortalité 5 à 9 jours après le traitement. Dans les conditions de terrain sur des filins aquacoles, une immersion de 5 minutes ou de 30 secondes dans de l'acide acétique à 5 % était efficace à 100 % sur l'étoile de mer tachetée *Evasterias troschelli* (Rolheiser *et al.* 2012) et sur *A. amurensis*, un substitut de *A. rubens* (Fitridge *et al.* 2014), respectivement. Avec une concentration plus faible (2 %) pendant 30 secondes dans les expériences en laboratoire, une température plus élevée (40 °C) a été nécessaire pour tuer 100 % de *A. amurensis* (Fitridge *et al.* 2012). Des essais en laboratoire (Sharp *et al.* 2006) ont montré que les immersions dans de l'acide acétique à 5 % pendant 15 secondes n'étaient pas efficaces pour tuer *Cladophora* sp. De plus, une expérience exhaustive a examiné les effets d'un jet d'acide acétique à 5 % sur 11 espèces de macroalgues, notamment *U. pinnatifida* et diverses espèces d'ulvoïdes et de Rhodophyta, et a démontré qu'un jet suivi d'une exposition de 10 minutes au séchage à l'air était presque complètement efficace (mortalité de près de 100 %) pour tuer toutes les espèces, à l'exception de l'algue verte *Ulva linza* (Piola *et al.* 2009). Forrest et ses collaborateurs (2007) ont testé les effets de diverses immersions dans de l'acide acétique (durées et concentrations) sur les jeunes stades de *U. pinnatifida*. Une immersion pendant 1 minute dans de l'acide acétique à 4 % ou pendant 4 minutes dans de l'acide acétique à 2 % était efficace à 100 % pour tuer la majorité des tissus des stades jeunes (gamétophytes, plantules et sporophylle) dans des conditions de laboratoire et de terrain (sur des cordes). Forrest et ses collaborateurs (2007) ont également montré que les immersions dans des concentrations plus faibles (acide acétique à 2 %) étaient efficaces sur *Cladophora* sp. après au moins 3 minutes, mais qu'elles devenaient rapidement inefficaces dès que le temps d'exposition diminuait à moins de 3 minutes (1 à 2 minutes). La même étude a démontré qu'une immersion de 1 minute dans de l'acide acétique à 4 % suivie d'une période de séchage à l'air de 24 heures était efficace contre *Cladophora* sp. Forrest et ses collaborateurs (2007) ont également testé l'influence d'une étape de rinçage entre l'immersion dans une concentration plus faible (2 %) d'acide acétique et le séchage à l'air sur la mortalité de *Cladophora* sp. Ils ont trouvé que l'immersion pendant 1 minute sans rincer les algues avant le séchage était efficace, alors qu'il fallait au moins une immersion de 3 minutes dans de l'acide acétique à 2 % pour qu'elle soit efficace si l'algue était rincée avant la période de séchage.

Pour le traitement des biosalissures sur les cages à huîtres, Chinnadurai et ses collaborateurs (2019) ont montré que l'immersion dans de l'acide acétique à 5 % pendant 10 minutes était efficace sur de nombreuses EAE, y compris *H. elegans*, *Polydora* sp., les bryozoaires *Membranipora* sp., *B. neritina* et l'éponge *Leucosolenia* sp. Pour *H. elegans*, les immersions simples pendant 4 minutes dans de l'acide acétique à 4 ou 2 % n'étaient pas efficaces, mais l'ajout d'une période de séchage de 24 heures après l'immersion dans de l'acide acétique à 4 % tuait le ver (sans le rincer entre les périodes d'immersion et de séchage; Forrest *et al.* 2007). Au contraire, l'immersion dans de l'acide acétique à 2 % (4 min) suivie d'une période de séchage à l'air de 24 heures n'a pas agi sur *H. elegans* (Forrest *et al.* 2007). Pour les vers térébellides, Forrest et ses collaborateurs (2007) ont constaté qu'à des concentrations de 4 et 2 % d'acide acétique, il fallait des temps d'immersion d'au moins 2 et 3 minutes, respectivement, pour qu'elles soient efficaces (1 minute n'était pas efficace sur les térébellides). Ces auteurs ont également montré que les immersions dans de l'acide acétique à 4 ou 2 % pendant 1 minute n'étaient efficaces pour les térébellides que lorsqu'elles étaient suivies d'une période de séchage à l'air de 24 heures (Forrest *et al.* 2007). Forrest et ses collaborateurs (2007) ont aussi

remarqué qu'une immersion de 1 minute dans de l'acide acétique à 4 % était efficace pour tuer les bryozoaires *B. neritina* et *W. subtorquata* (substitut de *C. pallasiana*), mais qu'une immersion de 4 minutes dans de l'acide acétique à 2 % était inefficace. Les immersions de 1 minute dans des solutions à 2 %, suivies de 24 heures de séchage à l'air (sans rinçage entre les périodes d'immersion et de séchage à l'air), étaient efficaces pour tuer les deux bryozoaires (Forrest *et al.* 2007). Si les deux bryozoaires étaient rincés à l'eau de mer entre l'immersion et le séchage à l'air, une période d'immersion plus longue, de 4 minutes, dans de l'acide acétique (2 %) était nécessaire pour être efficace (Forrest *et al.* 2007). Le traitement des sacs d'huîtres encrassés par *B. neritina* et *W. subtorquata* et des hydroïdes avec une solution d'acide acétique à 4 % pendant 30 secondes a entraîné l'élimination totale (100 %) de la couverture de biosalissures (Cahill *et al.* 2021). Piola et ses collaborateurs (2009) ont montré qu'une immersion de 5 secondes dans une solution d'acide acétique à 5 % suivie de 12 heures de séchage à l'air n'était pas efficace pour tuer *B. neritina*, et ce résultat n'a pas changé à une concentration plus élevée (20 %) d'acide acétique. Un traitement était efficace à >90 % dans des expériences sur le terrain avec *C. celata*, mais a exigé des concentrations élevées d'acide acétique pendant des périodes relativement longues (10 et 20 % pendant 10 et 5 minutes, respectivement; Carver *et al.* 2010). L'acide acétique a induit une mortalité de 100 % chez *E. crocea* en seulement 10 secondes, avec des immersions dans de l'acide acétique à 2 ou 5 % seul et dans de l'acide acétique chauffé à 2 % chauffé entre 40 à 50 °C (Sievers *et al.* 2019). Nous n'avons trouvé aucune information sur l'utilisation de traitements à l'acide acétique pour *C. fragile*.

3.1.2.3. Immersion dans de l'acide citrique (avec et sans chaleur)

En général, l'acide citrique s'est avéré moins efficace pour éliminer les EAE que l'acide acétique. Trois études ont testé l'efficacité de l'acide citrique sur seulement un nombre relativement petit d'EAE : *C. intestinalis*, *S. clava*, *M. galloprovincialis*, *Cladophora* sp. et *E. crocea*, mais la plupart des résultats provenaient de Sievers *et al.* (2019). Une immersion dans de l'acide citrique à 5 % pendant 10 secondes n'a été efficace qu'à 33 % pour tuer *C. intestinalis* (Sievers *et al.* 2019). Pour *C. intestinalis*, une concentration d'acide citrique à 2 % n'était pas efficace après 5 secondes (Locke *et al.* 2009) et 10 secondes (mortalité de 0 %; Sievers *et al.* 2019). Le chauffage de l'acide citrique a donné de meilleurs résultats, avec une mortalité de 100 % de *C. intestinalis* après une immersion pendant 10 secondes dans une solution à 2 % chauffée à 50 °C, ou pendant 10 secondes dans une solution à 5 % chauffée à 40 °C (Sievers *et al.* 2019). De plus, une immersion de 10 secondes dans une solution à 2 % chauffée à 40 °C a induit une mortalité de 66 % de *C. intestinalis* (Sievers *et al.* 2019). Pour *S. clava*, les résultats étaient moins cohérents en ce qui concerne les immersions dans de l'acide citrique, tout comme pour l'acide acétique. Sievers et ses collaborateurs (2019) ont obtenu une mortalité d'environ 75 % de *S. clava* dans une solution d'acide citrique à 10 % après 30 secondes. L'efficacité a chuté à ~60 % de mortalité dans une immersion d'acide citrique à 5 % après 10 secondes et dans une solution d'acide citrique à 2 % après 30 secondes (Sievers *et al.* 2019). Ces auteurs ont trouvé des résultats contradictoires pour les immersions dans de l'acide citrique à 5 %, une immersion de 30 secondes ne provoquant qu'une mortalité d'environ 45 % de *S. clava* (Sievers *et al.* 2019). Le chauffage de l'acide citrique était plus efficace et a donné des résultats plus cohérents, avec une mortalité de 100 % de *S. clava* pour des immersions dans de l'acide citrique à 5 ou 10 % chauffé à 40 °C ou 50 °C après 10 secondes et dans une solution à 2 % chauffée à 50 °C après 30 secondes (Sievers *et al.* 2019). Une température réduite à 40 °C a induit seulement 60 % de mortalité de *S. clava* pour une immersion dans de l'acide citrique à 2 % après 30 secondes (Sievers *et al.* 2019).

Sur les grandes et les petites *M. galloprovincialis*, la plus grande concentration d'acide citrique testée (10 %) n'était pas efficace (mortalité de 0 %) après une immersion de 10 secondes, mais

une mortalité de 40 à 50 % a été observée après 30 secondes (Sievers *et al.* 2019). À une concentration d'acide citrique à 2 %, une immersion de 30 secondes n'était pas non plus efficace (mortalité de 0 %) sur les grandes *M. galloprovincialis* (Sievers *et al.* 2019). Le chauffage de la solution n'a pas produit de meilleurs résultats, une immersion de 30 secondes dans de l'acide citrique à 10 % chauffé à 50 °C n'ayant pas produit plus de 50 % de mortalité chez les grandes *M. galloprovincialis* (Sievers *et al.* 2019). Aucune mortalité (0 %) n'a été observée chez les grandes *M. galloprovincialis* après une immersion de 30 secondes dans une solution d'acide citrique à 10 % chauffée à une température plus basse (40 °C) ou dans une solution d'acide citrique à 5 % à 50 °C pendant 10 secondes (Sievers *et al.* 2019). Une mortalité totale (100 %) a toutefois été observée chez les petites *M. galloprovincialis*, lorsqu'elles ont été soumises à une immersion dans de l'acide citrique à 2 % chauffé à 50 °C pendant 30 secondes (Sievers *et al.* 2019). Cependant, les résultats n'étaient pas cohérents en ce qui concerne l'efficacité des solutions chauffées d'acide citrique à 5 et 10 % sur les petites *M. galloprovincialis* : les immersions dans de l'acide citrique à 5 % ont donné une fourchette modérée de mortalité de 45 à 50 % lorsque l'acide est chauffé à 40 °C pour une immersion pendant 30 secondes (Sievers *et al.* 2019). De plus, l'exposition à des concentrations d'acide citrique de 10 % a entraîné une mortalité d'environ 85 % chez les moules méditerranéennes lors d'immersions chauffées à 50 °C (10 secondes), une mortalité de 60 à 70 % à 40 °C (30 secondes) et une mortalité de 0 % à 40 °C (10 secondes) (Sievers *et al.* 2019).

L'acide citrique n'était pas efficace sur *Cladophora* sp. pour des immersions pendant 15 à 30 secondes dans une solution à 5 %, chauffée à 30 °C (30 secondes) ou non (Sharp *et al.* 2006). Sievers et ses collaborateurs (2019) ont démontré que l'immersion dans de l'acide citrique à 2 % était efficace à 60 % pour tuer *E. crocea* après 10 secondes, mais qu'une solution à 5 % (10 secondes) était efficace à 100 % (Sievers *et al.* 2019). La même étude a révélé que le chauffage à 40–50 °C de l'acide citrique à 2 % était efficace à 100 % (10 secondes) pour tuer *E. crocea*.

Nous n'avons trouvé aucune étude sur le traitement à l'acide citrique de nombreux groupes d'espèces, y compris les tuniciers coloniaux, *A. aspersa*, *Molgula* spp., *M. edulis*, les huîtres (*C. virginica* et *C. gigas*), les gastéropodes, *C. maenas*, *C. mutica*, les étoiles de mer, *C. fragile*, les polychètes, les bryozoaires ou les éponges.

3.1.2.4. Immersion dans de la saumure (avec et sans séchage à l'air)

L'efficacité de l'immersion dans de la saumure (avec et sans séchage à l'air) est bien décrite dans la documentation, avec 28 sources différentes. La mortalité des espèces de tuniciers attachées aux huîtres et exposées à une immersion dans de la saumure (70 ppm) a été étudiée dans Carman *et al.* (2010). Cette étude a montré que les immersions de 10 minutes suivies d'un séchage à l'air pendant 2 heures étaient efficaces pour plusieurs espèces, notamment *B. schlosseri*, *B. violaceus*, *D. vexillum*, *D. listerianum*, *C. intestinalis*, *S. clava*, *A. aspersa* et l'ascidie solitaire *Molgula manhattensis*. Une étude plus récente a indiqué qu'une immersion de 10 secondes dans de la saumure (70 ppm), suivie de 1 heure de séchage à l'air, avait suffi pour provoquer une mortalité de 100 % chez certaines des mêmes espèces (*B. schlosseri*, *B. violaceus*, *D. vexillum*, juvéniles de *D. listerianum*, juvéniles de *C. intestinalis* et *A. aspersa*; Carman *et al.* 2016). Afin de réduire le risque de transfert d'EAE sur les mollusques entre les plans d'eau, le Comité des introductions et des transferts (CIT) de l'Île-du-Prince-Édouard, ci-après le CIT-Î.-P.-É. du MPO, en collaboration avec le ministère des Pêches et des Collectivités de l'Île-du-Prince-Édouard (Division de l'aquaculture) et PEI Aquaculture Alliance, a élaboré un protocole qui recommande des options de traitement (C. Mills, MPO, données inédites). Selon ce protocole, une immersion de 30 secondes dans de la saumure à 300 ppm suivie de 1 heure de séchage à l'air était efficace pour tuer *B. schlosseri* et *B. violaceus*. À des concentrations plus faibles (62 ppm) de la saumure, McCann et ses collaborateurs (2013) ont

constaté que des temps d'immersion de plus de 4 heures étaient nécessaires pour obtenir une efficacité à 100 % pour *D. vexillum* en laboratoire lorsque les immersions n'étaient pas suivies d'une exposition au séchage à l'air. De plus, Rolheiser et ses collaborateurs (2012) ont montré que sur le terrain, l'immersion dans une saumure de 70 ppm pendant 10 minutes (sans exposition à l'air) n'avait pas d'effet sur *D. vexillum* incrusté sur *C. gigas*, car la salissure de l'espèce augmentait 5 semaines après le traitement une fois remise à l'eau. De même, des expériences en laboratoire avec des solutions de saumure saturée (300 ppm) ont montré que les immersions de 15 secondes et de 8 minutes sans exposition au séchage à l'air n'étaient pas efficaces pour tuer *B. violaceus* (MacNair *et al.* 2006) et *C. intestinalis* (mortalité de 25 %; Carver *et al.* 2003), respectivement. De plus, Gill et ses collaborateurs (2007) ont observé qu'une immersion de 30 secondes dans une solution de saumure saturée de 300 ppm n'était pas efficace pour tuer *C. intestinalis* sur le terrain.

MacNair et ses collaborateurs (2006) ont effectué plusieurs essais, en utilisant une immersion dans de la saumure saturée (300 ppm) suivie d'une période de séchage à l'air, sur des boudins de moules et des engins d'aquaculture encrassés par des tuniciers envahissants. La saumure saturée était efficace pour réduire l'encrassement par *B. violaceus*, avec une immersion de 5 minutes suivie de 1 heure de séchage à l'air efficace à 100 %, mais une immersion de 1 minute suivie de la même période de séchage à l'air, ou plus longtemps (24 heures), n'était pas assez longue pour assurer la mortalité totale (près de 100 %) des espèces de tuniciers. Gill et ses collaborateurs (2007), cependant, ont constaté qu'une immersion de 15 secondes dans une solution à 300 ppm suivie de 1 heure de séchage à l'air n'était pas efficace pour tuer *C. intestinalis*. Davidson et ses collaborateurs (2005) ont observé qu'une immersion dans une saumure saturée (concentration non précisée, mais considérée comme étant de 300 ppm) pendant 10 secondes était efficace à 75 % pour tuer les juvéniles de *S. clava* dans des conditions de laboratoire. Dans des conditions de terrain, un temps d'immersion plus long, de 5 minutes, dans de la saumure saturée (300 ppm) suivi de 30 minutes de séchage à l'air était efficace à 100 % pour tuer *S. clava* (Minchin et Duggan 1988). Des expériences en laboratoire ont démontré que les immersions seules dans de la saumure saturée (sans séchage à l'air ultérieur) étaient presque efficaces à 100 % pour causer la mortalité de *Molgula* spp. après 10 minutes (Loosanoff 1960), mais pourtant elles étaient considérées comme efficaces après seulement 3 minutes selon MacNair et Smith (1999). Medcof (1961) a constaté qu'une immersion de 3 minutes dans de la saumure saturée suivie d'une exposition de 1 heure à l'air était suffisante pour tuer *Molgula* spp. et que l'exposition à l'air n'était pas nécessaire si le temps d'immersion était augmenté à 10 minutes. Une immersion de 1 minute dans de la saumure saturée (300 ppm) suivie de 1 heure de séchage à l'air était efficace à 100 % pour tuer *Molgula* spp. (Loosanoff 1960).

Une immersion de 30 secondes dans de la saumure saturée (300 ppm) suivie de 1 heure de séchage à l'air n'a pas été efficace pour tuer les grandes *M. edulis*, car cette option de traitement recommandée tirée du protocole du CIT-Î.-P.-É. du MPO visait à traiter les moules de taille commerciale pour *B. schlosseri* et *B. violaceus* (Mills, MPO, données inédites). Le traitement le plus efficace pour l'encrassement par des *M. edulis* (18 mm) récemment fixées sur les huîtres et les sacs d'huîtres était une immersion dans de la saumure à 300 ppm pendant 6 minutes suivie de 24 heures de séchage à l'air, qui a induit une mortalité moyenne de 97 % (Mallet *et al.* Mallet Research Services Ltd., données inédites). Cependant, MacNair et ses collaborateurs (2006) ont montré qu'une immersion dans de la saumure à 300 ppm pendant 10 minutes, suivie d'un séchage à l'air de 24 heures, n'était efficace qu'à 39 % pour tuer les petites *M. edulis* dans des conditions de terrain. Les mêmes auteurs ont constaté qu'une immersion dans de la saumure à 300 ppm pendant 2 minutes suivie de 1 heure de séchage à l'air était efficace sur *M. edulis*, bien que la taille des moules n'ait pas été précisée pour ce traitement. La plupart des traitements par immersion dans de la saumure (de 70 à 360 ppm)

pendant 30 minutes ou moins (avec et sans période de séchage à l'air) sur de petites *M. edulis* et sur des grandes et des petites *C. virginica*, ainsi que des immersions de 1 heure ou moins sur *C. gigas* étaient complètement inefficaces (mortalité de 0 % ou pas efficace) ou ont entraîné une mortalité très faible (moins de 30 %; Minchin et Duggan 1988; MacNair et Smith 1999; Ruellet 2004; MacNair *et al.* 2006; MacNair 2009; Sharp *et al.* 2006; Bourque et Myrand 2007; Gill *et al.* 2008; Carver *et al.* 2010; Rolheiser *et al.* 2012; Carman *et al.* 2016; Landry *et al.*, MPO, données inédites; Mallet *et al.*, Mallet Research Services Ltd., données inédites). Vickerson (2009) a testé les effets d'une simulation de transport de moules dans des conditions froides et humides après des immersions dans de la saumure. L'étude a montré qu'une immersion dans de la saumure à 300 ppm pendant 30 secondes suivie de 24 heures d'exposition à l'air froid et humide (4 °C, 100 % HR) ne tuait pas les petites *M. edulis* (de 30 à 40 mm). L'ajout d'une étape de rinçage entre l'immersion et l'exposition à l'air n'a pas fait de différence et l'inversion des étapes, c'est-à-dire l'exposition à l'air (24 heures, 4 °C, 100 % HR) suivie de l'immersion dans de la saumure saturée (30 secondes) n'était pas plus efficace (Vickerson 2009). Pour les grandes *M. galloprovincialis*, les immersions dans de la saumure à 350 ppm (sur le terrain ou en laboratoire) pendant 30 minutes ou moins n'ont pas été efficaces, induisant seulement une mortalité de 0 à 21 % (Asgari et Jahangard 2012). Le seul traitement efficace contre les grandes *M. galloprovincialis* dans les expériences en laboratoire était une immersion rapide de 10 secondes dans une solution de saumure réfrigérée (-20 °C) à 350 ppm, qui a provoqué une mortalité de 90 % des moules (Asgari et Jahangard 2012). Cependant, le même traitement était moins efficace (mortalité de 17 %) avec une immersion de seulement 5 secondes (Asgari et Jahangard 2012).

Une immersion dans de la saumure saturée (300 ppm) pendant 3 minutes suivie de 30 minutes de séchage à l'air était efficace à 100 % pour tuer la crépidule commune de l'Atlantique (*Crepidula fornicata*; Loosanoff 1960). Pour les jeunes stades de *U. cinerea* et l'escargot de mer (*Eupleura caudata*), une immersion dans de la saumure saturée (300 ppm) pendant 5 minutes, seule, ou 3 minutes suivie de plusieurs heures de séchage à l'air a été jugée efficace (Loosanoff 1960). Gill et ses collaborateurs (2008) ont montré que l'immersion dans de la saumure à 300 ppm jusqu'à 10 minutes (sans séchage à l'air) n'était pas efficace chez les adultes et les œufs de *U. cinerea*. Pour *C. maenas*, les essais de McKenzie et ses collaborateurs (MPO, données inédites) ont révélé qu'une immersion dans de la saumure saturée (300 ppm) pendant 1 heure suivie de plusieurs heures de séchage à l'air n'était pas efficace, car les crabes se sont rétablis après le traitement lorsqu'ils ont été remis dans l'eau de mer. De même, une immersion dans de la saumure saturée (300 ppm) pendant 1 minute n'était pas efficace pour tuer *Balanus* sp. (McDonald 2010). La saumure saturée (300 ppm) était efficace pour tuer *A. rubens* après 2 minutes (Medcof 1961) ou 30 secondes (Loosanoff 1960) et 100 % efficace après une immersion de 1 minute suivie d'une période de séchage (durée non précisée; Loosanoff 1960).

L'immersion dans de la saumure saturée (300 ppm) pendant 15 minutes suivie de 1 heure de séchage à l'air était un traitement prometteur pour tuer *C. fragile* (mortalité de 100 %) dans des tests de laboratoire (Landry *et al.*, MPO, données inédites) et est confirmée par des résultats similaires (mortalité de 100 % après 15 minutes d'immersion dans une saumure à 300 ppm) dans une étude sur le terrain de MacNair (2002). Les immersions pendant 15 ou 10 minutes, combinées au séchage à l'air pendant 2 ou 24 heures, respectivement, étaient également des combinaisons efficaces à 100 % (MacNair 2002). Cependant, MacNair et Smith (1999) ont constaté que seule, une immersion de 3 minutes dans de la saumure saturée (sans séchage à l'air) n'était pas efficace pour tuer *C. fragile* sur les collecteurs de *C. virginica* sur le terrain. Pour de nombreuses espèces de macroalgues (46 taxons), les immersions dans de la saumure à 400 ppm pendant 30 minutes ont été efficaces pour réduire la diversité des algues sur les coquilles de *C. gigas*, à l'exception de quelques taxons résistants (p. ex. *Cladophora* spp., *Ulva*

spp.; Mineur *et al.* 2007). Contrairement, une immersion de 15 secondes dans une solution de saumure à 300 ppm s'est avérée efficace pour tuer *Cladophora* sp. en laboratoire et sur le terrain (Sharp *et al.* 2006; MacNair 2009).

L'immersion dans de la saumure saturée, suivie ou non d'un séchage à l'air, peut être efficace pour tuer les polychètes. La serpule tubicole *H. elegans* fait exception, puisque l'immersion pendant 20 minutes dans de la saumure saturée n'était efficace qu'à 59,4 % (Arakawa 1980). Velayudhan (1983) a montré par des expériences en laboratoire qu'une concentration plus forte de la saumure réduisait le temps nécessaire pour obtenir une efficacité à 100 % pour tuer *P. ciliata*. Il a constaté qu'il fallait de 19 à 21 heures, 8,5 heures et 7,75 heures, respectivement, pour que les solutions de saumure à 42,3, 60 et 78 ppm soient efficaces à 100 % pour tuer le ver. De même, une immersion dans de la saumure saturée (300 ppm) pendant 5 minutes était efficace contre *P. ciliata* (Medcof 1961). Une autre étude en laboratoire a montré qu'une immersion dans de la saumure à 50 ppm était efficace à 100 % pour tuer le spirographe (*Sabella spallanzanii*) en 24 heures (Jute et Dunphy 2017). Asgari et Jahangard (2012) ont observé dans des expériences en laboratoire qu'une immersion rapide de 10 secondes dans une solution de saumure à 350 ppm réfrigérée (-20 °C) était efficace à 100 % pour tuer *S. paumotanus*, mais qu'à la même concentration et à température ambiante pendant 30 minutes, l'efficacité était réduite à 94,1 %. Sur le terrain, ils ont constaté qu'une immersion de 20 minutes dans de la saumure à 350 ppm était efficace à 79,1 % pour tuer le ver tubicole (Asgari et Jahangard 2012). Une immersion dans de la saumure saturée à 300 ppm pendant 1 minute était efficace pour tuer *P. websteri* vivant sur des coquilles de *C. virginica* sur le terrain, lorsqu'elle était suivie d'au moins 2 heures de séchage à l'air (Nell 2007). Cependant, des immersions plus longues de 6 et 15 minutes dans de la saumure saturée, suivies de 24 heures de séchage à l'air, étaient efficaces à 85 % et à 90 % pour tuer *P. websteri*, respectivement, dans les essais de Carver et Mallet (Mallet Research Services Ltd., données inédites). Dans les essais en laboratoire, une immersion de 30 minutes dans de la saumure saturée (360 ppm) suivie d'une période de séchage à l'air de plusieurs heures (nuit) était efficace à près de 100 % pour tuer *Polydora* spp. sur les coquilles d'huîtres (Ruellet 2004). Gryder (2002) a montré qu'une immersion dans une solution de saumure à plus de 70 ppm pendant 15 minutes, suivie de 15 minutes de séchage à l'air, était efficace pour tuer les vers *Polydora* spp. Medcof (1961) a constaté qu'un séchage pendant 1 heure, suivi d'un trempage dans de la saumure saturée pendant 1 minute, était également une méthode efficace pour tuer les vers *Polydora* spp. et les éponges *Cliona* spp. Pour l'éponge jaune *C. celata* fixée à des coquilles de *C. virginica*, une immersion de 5 minutes dans une solution de saumure à 270 ppm était efficace à 100 % dans des expériences sur le terrain (Carver *et al.* 2010). Avec une immersion de 6 minutes, ces auteurs ont observé qu'une période de séchage supplémentaire de 1 heure assurait une mortalité de 100 % de cette éponge (Carver *et al.* 2010). Bien que l'espèce n'ait pas été précisée, la mortalité des *Cliona* spp. était de 100 % après une immersion pendant 10 minutes dans de la saumure saturée (300 ppm) suivie de 1 heure de séchage à l'air lors du traitement des huîtres d'élevage (Loosanoff 1960). Une immersion de 5 minutes dans de la saumure saturée sans période de séchage a également été considérée comme efficace sur les éponges jaunes (Medcof 1961). Nous n'avons trouvé aucune information sur l'utilisation des traitements à base d'une solution de saumure sur les petites *M. galloprovincialis*, *C. mutica*, les bryozoaires ou les hydrozoaires.

3.1.2.5. Immersion dans de la saumure saturée et de la chaux hydratée (avec séchage à l'air)

L'immersion dans un mélange de saumure saturée (300 ppm) et de chaux hydratée (hydroxyde de calcium; 4 %), suivie d'une période de séchage à l'air, était un traitement recommandé par le CIT-Î.-P.-É. du MPO pour traiter les *C. virginica* infestées par des tuniciers coloniaux avant les

transferts (C. Mills, MPO, données inédites). Selon ce protocole, une immersion de 30 secondes dans cette solution, suivie de 1 heure de séchage à l'air, était efficace pour tuer *B. schlosseri* et *B. violaceus*. Comme prévu, les petites et les grandes *C. virginica* n'ont pas été tuées après une immersion de 30 secondes dans cette solution suivie de 1 heure de séchage à l'air (C. Mills, MPO, données inédites). Selon Ramsay (2022), une immersion pendant au moins 1 minute dans cette solution suivie d'au moins 30 minutes de séchage à l'air est nécessaire pour être efficace pour tuer *C. intestinalis*. L'auteur a démontré qu'une immersion de 30 secondes provoquait une mortalité élevée, sans être complètement efficace pour tuer *C. intestinalis*, puisque quelques individus ont survécu en dépit de leur état maladif. Aucune information sur ce traitement à base d'un mélange de saumure et de chaux n'était disponible pour les autres EAE.

3.1.2.6. Immersion dans de la chaux hydratée ou jet de chaux hydratée (avec et sans séchage à l'air)

La plupart des informations trouvées dans la documentation sur la chaux hydratée portaient sur les tuniciers, en s'intéressant moins à d'autres épibiontes de mollusques. L'immersion dans des solutions allant de 4 à 20 % de chaux hydratée pour contrôler les tuniciers sur les engins d'aquaculture a donné des résultats mitigés. Ramsay et ses collaborateurs (2014) ont constaté qu'une immersion de 2 minutes dans une solution à 4 % était modérément efficace (80 %) pour tuer les tuniciers *C. intestinalis* et *S. clava*. Des résultats similaires ont été observés pour *C. intestinalis* dans des essais en laboratoire (Carver *et al.* 2003) et sur des boudins de moules (Gill *et al.* 2007), des immersions dans une solution à 4 % causant une mortalité de 70 % après 8 minutes et de 50 à 80 % après 15 secondes, respectivement. Pour éradiquer plusieurs espèces des collecteurs de naissain de *C. virginica*, McDonald et ses collaborateurs (2010) ont signalé qu'une immersion dans de la chaux hydratée à 4 % pendant 1 minute était efficace pour tuer *B. schlosseri*, *B. violaceus*, *C. intestinalis*, *S. clava*, *Molgula* spp., les étoiles de mer, les bryozoaires et les hydroïdes (espèces non précisées pour les trois derniers groupes). Une immersion dans de la chaux à 4 % pendant 1 ou 3 minutes était également efficace pour tuer *Molgula* spp. (MacNair et Smith 1999; Locke *et al.* 2009).

L'encrassement par *D. vexillum* était réduit de 80 à 96 % après une immersion de 2 à 4 minutes dans une solution de chaux entre 4 et 5 % sur le terrain (Denny 2008; Switzer *et al.* 2011). Denny (2008) a également démontré qu'une solution de chaux hydratée à 10 % était efficace à 99 % pour tuer *D. vexillum* avec des temps d'exposition similaires, mais qu'une solution de chaux à 20 % pendant seulement 20 secondes n'était pas efficace. Des expériences sur le terrain et en laboratoire menées par Rolheiser et ses collaborateurs (2012) ont confirmé ces résultats et démontré que l'exposition de la chaux hydratée à 4 % pendant 5 minutes était la plus efficace (92,3 %) pour réduire la couverture par *D. vexillum*. MacNair et ses collaborateurs (2006) ont testé des immersions dans de la chaux à 4 % sur des boudins de moules pendant des durées plus courtes (15 secondes) pour lutter contre *B. violaceus*, mais tous les tuniciers se sont complètement rétablis (mortalité de 0 %) après avoir été remis à l'eau 7 jours après le traitement.

L'exposition à l'air après une immersion dans de la chaux ou un jet de chaux peut parfois assurer une mortalité plus élevée et est couramment utilisée pour tuer les tuniciers sur les engins encrassés afin d'obtenir des résultats constamment efficaces (MacNair *et al.* 2006; Ramsay *et al.* 2014; Ramsay 2014b). Les bouées exposées à l'air pendant 10 ou 15 minutes après une immersion de 15 secondes dans une solution de chaux (4 %) ont révélé une mortalité de 80 et 90 % de *B. violaceus*, 7 jours après le traitement, respectivement (MacNair *et al.* 2006). De plus, une immersion dans une solution de chaux hydratée à 4 % pendant 15 secondes, suivie d'une exposition de 20 minutes à l'air, a entraîné une mortalité de 100 % des *C. intestinalis* encrassant les bouées (Gill *et al.* 2007). D'après les évaluations visuelles

qualitatives, les jets de chaux hydratée à 20 % pendant 5 secondes étaient également efficaces pour tuer les *B. schlosseri* et *B. leachii* qui poussaient sur des plaques encrassées laissées exposées à l'air pendant 6 heures après le traitement, mais ce même traitement a nécessité des expositions plus longues (12 heures) pour être efficace contre *C. intestinalis* (Piola *et al.* 2009). Les mêmes auteurs ont également constaté qu'un jet de chaux hydratée à 5 % (5 secondes) était suffisant pour tuer *B. leachii* lorsqu'il était exposé par la suite à l'air pendant 12 heures. Gill et ses collaborateurs (2008) ont montré qu'une immersion de 1 minute dans de la chaux à 4 % suivie de 5 minutes d'exposition à l'air était efficace pour causer la mortalité de *C. intestinalis* et de *S. clava*, mais pas contre *B. violaceus*. On a appliqué des jets de chaux hydratée à 4 % (5 secondes) suivis d'une exposition à l'air (au moins 45 secondes) pour lutter contre les tuniciers sur les boudins de moules et ils se sont avérés efficaces pour *S. clava* (Ramsay *et al.* 2014; Ramsay 2014b).

Les immersions dans de la chaux hydratée (4 %) pendant 3 heures au maximum se sont révélées inefficaces (mortalité de 0 à 78 %) contre les *M. edulis*, quelle que soit leur taille (MacNair *et al.* 2006; Gill *et al.* 2007; Ramsay *et al.* 2014; Comeau *et al.* 2017; Landry *et al.*, MPO, données inédites; MacNair, ministère des Pêches et des Collectivités de l'Île-du-Prince-Édouard, données inédites) et pour les petites et grandes *C. virginica* (mortalité de 0 à 15 % ou inefficace; MacNair et Smith 1999; Gill *et al.* 2008; Locke *et al.* 2009; Carver *et al.* 2010; Comeau *et al.* 2017; Landry *et al.*, MPO, données inédites). Une immersion dans de la chaux hydratée à 4 % pendant 30 secondes, suivie d'une exposition à l'air pendant 24 heures dans des conditions de transport à froid simulées (4 °C, 100 % HR) n'a pas non plus été efficace pour tuer les petites *M. edulis* (Vickerson 2009). L'inversion des étapes en commençant par exposer les moules à l'air (24 heures), puis en les immergeant (30 secondes) dans les mêmes conditions n'a pas non plus été efficace (Vickerson 2009). De même, l'exposition à un jet de 5 secondes de chaux à 4 % suivie de 90 secondes de séchage à l'air s'est avérée inefficace (mortalité de 0 %) pour les grandes *M. edulis* (Comeau *et al.* 2017). Une immersion de 30 secondes suivie de 1 heure de séchage à l'air (Landry *et al.*, MPO, données inédites) a induit une très faible mortalité des petites *M. edulis* (2 %) et des petites *C. virginica* (0 %). De plus, des temps d'exposition plus longs (15 et 30 minutes) avaient tendance à augmenter la mortalité (53 à 78 %) des petites *M. edulis* dans la même étude (Landry *et al.*, MPO, données inédites). Les immersions dans de la chaux hydratée (1 à 4 %) en laboratoire et sur le terrain n'étaient pas très efficaces (mortalité de 0 à 60 %) sur les grandes *C. gigas* lorsqu'elles étaient immergées pendant 10 minutes ou moins (Switzer *et al.* 2011; Rolheiser *et al.* 2012).

Dans des conditions de terrain, une immersion dans de la chaux hydratée à 4 % n'était pas efficace pour tuer les cirripèdes (15 minutes; McDonald 2010) et les adultes ou les œufs de *U. cinerea* (10 minutes; Gill *et al.* 2008). Dans des essais sur le terrain, une immersion dans de la chaux hydratée à 4 % pendant 2 minutes n'a pas été mortelle pour *C. maenas* (Ramsay *et al.* 2014). Une immersion de 5 minutes dans une solution à 4 % s'est avérée efficace à 100 % pour tuer *C. fragile* (MacNair 2002), mais pas les expositions plus courtes (1 minute; MacNair et Smith 1999). Une courte immersion (30 secondes) dans de la chaux hydratée à 4 %, combinée à 1 heure de séchage à l'air, a été efficace à 100 % pour tuer *C. fragile* (Landry *et al.*, MPO, données inédites). De plus, MacNair (2002) a observé une mortalité de près de 100 % de *C. fragile* après des immersions dans de la chaux hydratée à 4 % pendant 15 minutes et 1 minute, suivies de 2 et 24 heures de séchage à l'air, respectivement. En laboratoire, une immersion de 10 minutes dans de la chaux hydratée à 4 % n'a été efficace qu'à 32 % pour tuer *C. celata* (Carver *et al.* 2010). Un jet de chaux hydratée (5 secondes) suivi de 12 heures de séchage à l'air n'a pas été efficace pour éliminer *B. neritina* (dans des solutions de chaux à 5 %, 10 %, 20 %) ou *W. subtorquata* (substitut de *C. pallasiana*; solution de chaux à 5 %) des plaques de fixation (Piola *et al.* 2009). Cependant, un jet de chaux hydratée à 10 % pendant 5 secondes, suivi de 30 minutes de séchage à l'air, et un jet de chaux hydratée à 20 % pendant

5 secondes, suivi de 3 heures de séchage à l'air, étaient efficaces pour tuer *W. subtorquata* (Piola *et al.* 2009). Aucune information n'était disponible pour les traitements à la chaux hydratée sur *D. listerianum*, *A. aspersa*, *M. galloprovincialis*, les petites *C. gigas*, *C. mutica*, les macroalgues ou les polychètes.

3.1.2.7. Immersion dans du Virkon®

Très peu d'informations étaient disponibles pour les traitements au Virkon®; seulement deux publications présentaient des résultats pour le traitement de *C. intestinalis* sur des boudins de moules (*M. edulis*). Paetzold et Davidson (2011) ont atteint une mortalité de 100 % chez les juvéniles de *C. intestinalis* dans des expériences en laboratoire avec une immersion dans du Virkon® à 3 % pendant 30 secondes. Les chercheurs ont également observé que l'efficacité pour tuer les juvéniles de *C. intestinalis* diminuait à 95 % lors de l'immersion de ces tuniciers dans une solution à 1 % pendant 60 secondes. Gill et ses collaborateurs (2007) ont testé des immersions dans une solution de Virkon® à 3 % pendant 15 secondes et ont obtenu une mortalité de 5 à 13 % pour *C. intestinalis* sur du matériel de boudinage et des cages dans des conditions de terrain. Ils ont aussi observé que le traitement au Virkon® n'était pas efficace pour tuer le tunicier lorsqu'il était appliqué sur des bouées. Les immersions dans une solution à 1 % pendant 60 secondes et dans une solution à 3 % pendant 30 ou 60 secondes n'étaient pas efficaces pour *M. edulis* (taille non précisée, mais supposée grande), induisant seulement une mortalité de 0 à 16,7 % (Paetzold et Davidson 2011).

3.2. ÉVALUATION DES EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LA SURVIE DES MOLLUSQUES ET DES MACROALGUES DÉPLACÉS

3.2.1. Répercussions des traitements physiques sur les espèces de mollusques déplacées

Les traitements physiques décrits dans la documentation pour l'atténuation et le contrôle des EAE marines sur le produit destiné à être déplacé ont été regroupés dans les catégories suivantes : (1) lavage sous pression, (2) séchage à l'air, (3) immersion dans de l'eau douce ou jet d'eau douce et (4) immersion dans de l'eau chaude et vapeur. En tout, nous avons examiné 32 sources documentaires (25 publications primaires et 7 rapports techniques) qui portaient sur divers traitements physiques, notamment le lavage à l'eau de mer sous pression (3), le séchage à l'air (11), les traitements à l'eau douce (11) et à la chaleur (eau douce ou eau de mer chaude et vapeur; 19) ou une combinaison de ceux-ci, pour traiter les espèces transférées (tableau 8). Nous donnons ici un aperçu de chaque traitement physique, soutenu par la documentation appropriée. Quelques résultats inédits (3) communiqués par des spécialistes ont également été inclus pour certains traitements physiques. Les résultats sont présentés par espèce déplacée présente sur les deux côtes canadiennes (Atlantique, Pacifique ou les deux) et pour les catégories de petites et de grandes tailles d'espèces déplacées (voir la section 2.1).

3.2.1.1. Lavage sous pression (jet à basse et haute pression)

Nous n'avons trouvé que trois articles contenant de l'information sur les répercussions de l'eau sous pression sur les espèces d'élevage. Dans une étude sur le terrain menée par Arens et ses collaborateurs (2011a), les traitements à haute pression (700 lb/po²) et à basse pression (40 lb/po²) (à l'aide d'un nettoyeur haute pression commercial à une seule buse rotative) appliqués sur les boudins de moules n'ont fait apparaître aucun effet détectable sur les petites ou les grandes *M. edulis*. Dans une autre étude, Arens et ses collaborateurs (2011b) ont constaté une survie de 100 % des petites *M. edulis* exposées à 700 lb/po² pendant 10 secondes. Curtis et ses collaborateurs (2021) ont observé que le traitement de grandes *C. gigas* avec une buse à pression plus élevée, à 2 000 lb/po², pendant 30 secondes, causait une

perte importante des huîtres des grappes sur les filins de suspension, mais ils n'étaient pas certains que le lavage sous pression lui-même aurait provoqué une véritable mortalité des huîtres (c.-à-d. que les huîtres pouvaient encore être viables). Nous n'avons trouvé aucune information sur les répercussions du lavage sous pression sur *O. edulis*, *C. virginica*, *A. irradians*, *P. magellanicus* ou *M. galloprovincialis*.

3.2.1.2. Séchage à l'air

Dans une expérience de tolérance thermique menée dans des conditions de terrain, Seuront et ses collaborateurs (2019) ont observé qu'aucune (0 %) *M. edulis*, petite ou grande, n'a survécu à une exposition au séchage à l'air à l'extérieur pendant 6 heures à 41 °C. Dans des expériences en laboratoire sur la tolérance à la chaleur, Leblanc et ses collaborateurs (2005) ont noté une survie de 100 % lorsque de grandes *M. edulis* étaient exposées à des températures comprises entre 20 et 41 °C pendant 3 heures, mais que seules 52,2 % des petites moules survivaient à une exposition au séchage à l'air de 11 heures à 27 °C. Selon Mallet et ses collaborateurs (Mallet Research Services Ltd., données inédites), 92 % des petites *M. edulis* ont survécu après 24 heures d'exposition à l'air dans des conditions contrôlées de laboratoire. Afin de mesurer les répercussions d'une période de transport simulée sur les moules, Vickerson (2009) a montré que les petites *M. edulis* n'avaient pas été touchées après une exposition de 24 heures à l'air froid et humide (4 °C, 100 % HR). En essayant de déterminer une norme industrielle compatible pour le traitement des boudins de *M. edulis*, Leblanc et ses collaborateurs (2007) n'ont observé qu'une survie de 62 % des petites *M. edulis* après 40 heures d'exposition au séchage à l'air (21 °C, 34 % HR) dans des conditions de terrain. Selon Arakawa (1980), la survie des petites *M. edulis* dépendrait davantage des conditions météorologiques que de la durée de l'exposition à l'air. Ils ont signalé que de courtes périodes d'exposition à l'air (de 2 à 3 heures) dans des conditions de faible HR avaient eu une incidence sur la survie des petites *M. edulis*, mais que celles-ci n'avaient pas été touchées lorsqu'elles étaient exposées à des conditions atmosphériques à forte HR pendant de plus longues périodes d'exposition (de 5 à 6 heures). Lors d'essais sur la tolérance au séchage à l'air des petites *M. edulis* et *C. virginica* sur des capteurs de naissain à disque de captage sur le terrain, Comeau (MPO, données inédites) a déterminé qu'une durée d'exposition aussi courte que 1 jour (de 17 à 31 °C) avait eu un effet très faible sur les petites *M. edulis* (survie de 94,6 %), mais qu'une durée d'exposition plus longue augmentait le nombre de moules perdues de ces capteurs de naissain et n'entraînait qu'une survie de 1 % après 5 jours (de 8 à 31 °C). Le séchage à l'air pendant 1 jour (de 17 à 31 °C) n'a eu aucune répercussion (survie à 100 %) sur les petites *C. virginica* (naissain), mais des expositions de 5 jours (de 8 à 31 °C) ont réduit la survie des huîtres à 68 % et des expositions de 11 jours (de 4 à 36 °C) à 1 % (Comeau, MPO, données inédites). D'autres études, qui ont démontré que *C. virginica* avait une tolérance à l'exposition à l'air plus élevée que *M. edulis* (Mayrand *et al.* 2015), confirment encore les résultats de Comeau (MPO, données inédites). Cependant, les résultats de Mallet et ses collaborateurs (Mallet Research Services Ltd., données inédites) ont montré que les petites *C. virginica* (de 1 à 2 mm) étaient fortement touchées (seulement 2 % de survie) après 24 heures de séchage à l'air, ce qui contraste avec les résultats de Comeau. D'autres expériences sur le terrain ont montré que 95 % des petites (de 35 à 65 mm) *C. virginica* ont survécu après avoir été exposées à l'air pendant 72 heures, entreposées dans un bâtiment de quai pour éviter les variations météorologiques causées par le soleil, le vent et la pluie (Mayrand *et al.* 2015).

Hopkins et ses collaborateurs (2016) ont testé la résistance de *M. galloprovincialis* au séchage à l'air dans des conditions de laboratoire afin de déterminer le temps nécessaire pour atteindre une mortalité de 100 %. Pour les grandes *M. galloprovincialis*, la mortalité (touchée) a commencé à se produire après 4 jours de séchage à l'air et aucune survie (0 %) n'a été

enregistrée après 11 jours d'exposition à 18 °C (Hopkins *et al.* 2016). Dans une autre expérience en laboratoire de la même étude, les grandes *M. galloprovincialis* n'ont pas survécu (0 %) à une exposition à l'air de 7 jours à une température moyenne de 20,3 °C (Hopkins *et al.* 2016). Les petites *M. galloprovincialis* étaient moins résistantes que les grandes et ont affiché une faible survie, de 20 %, après 6 heures d'exposition à l'air dans des conditions de terrain (18,5 °C, 95 % HR); elles n'ont pas survécu (0 %) à une exposition de 24 heures dans des conditions similaires en laboratoire (Hopkins *et al.* 2016). Cependant, Asgari et Jahangard (2012) ont observé une survie de 100 % des grandes *M. galloprovincialis* après 24 heures, sur le terrain et en laboratoire, à des températures de 14 à 18 °C (HR non précisée).

Crassostrea gigas semblait l'espèce la plus résistante au séchage à l'air dans des conditions de laboratoire à 18 °C, les grands individus ayant survécu jusqu'à 7 jours avant que la mortalité ne commence à se produire et durant jusqu'à 34 jours avant que l'on enregistre une survie de 0 % (Hopkins *et al.* 2016). Dans des essais en plein air visant à simuler des conditions sur le terrain, dans une plus large fourchette de températures (de 9,5 à 32,2 °C) et une HR élevée (95 %), les mêmes auteurs ont observé que la mortalité commençait à se produire plus tôt, après 72 heures (3 jours), avec quelques *C. gigas* survivant jusqu'à 16 jours avant de mourir (Hopkins *et al.* 2016). Nous n'avons trouvé aucune information sur les effets du séchage à l'air sur *O. edulis*, *A. irradians* ou *P. magellanicus*.

3.2.1.3. Immersion dans de l'eau douce ou jet d'eau douce (avec et sans séchage à l'air)

Selon la plupart des résultats trouvés dans la documentation, les traitements à l'eau douce semblent moins nocifs pour les mollusques que les autres traitements physiques (Nel *et al.* 1996; Asgari et Jahangard 2012; Ramsay 2015a; Landry *et al.*, MPO, données inédites). Des immersions dans de l'eau douce jusqu'à 12 heures dans des réservoirs à débit continu (conditions contrôlées; Ramsay 2015a) ou 48 heures dans des tests en laboratoire (Landry *et al.*, MPO, données inédites) ont entraîné une survie de 100 % des petites *M. edulis*. Au cours de plusieurs essais, Ramsay (2015a) a également observé une survie de 100 % de *M. edulis* pendant les immersions en eau douce (jusqu'à 24 heures; 11–14 °C), que les moules soient conservées dans des poches en filet, des tuyaux en PVC ou des boudins, ou qu'elles soient agglutinées ensemble. De plus, 100 % des petites *M. edulis* dans des boudins ont survécu lorsqu'elles ont été immergées pendant 24 heures dans de l'eau douce dans des réservoirs à débit continu à une échelle industrielle (Ramsay 2015a). Une immersion dans de l'eau douce pendant 24 heures lors d'essais en laboratoire ou des jets avec un tuyau d'arrosage pendant 10 minutes, tous deux suivis de 1 heure de séchage à l'air, ont révélé une survie élevée (plus de 90 %) des petites *M. edulis* dans les boudins une semaine après le traitement (Carman *et al.* 2016). Les petites *C. virginica* ont également affiché une survie élevée (de 97 à 100 % et 96 %) dans des conditions de laboratoire après des immersions dans de l'eau douce de 24 heures et 48 heures, respectivement (Landry *et al.*, MPO, données inédites). Dans une autre expérience en laboratoire, on a observé que *C. virginica* (taille non précisée, mais supposée grande) pouvait survivre à des expositions à des salinités réduites avec un effet négligeable ou nul, y compris seulement à une immersion dans de l'eau douce pendant 72 heures ou lorsqu'elle est suivie d'une période de stockage à l'air froid (3 °C) jusqu'à 14 jours (Brown 2012). L'eau douce était l'un des rares traitements pour lesquels des résultats de survie étaient disponibles pour les petits *P. magellanicus*. Une immersion de 10 minutes dans de l'eau à faible salinité (de 4 à 6 ppm), après un acclimatement préalable à 10 °C, a produit une survie de 100 % après 24 heures, mais ce taux a chuté à 80 % après 1 semaine (Landry *et al.*, MPO, données inédites). Cependant, les auteurs ont également observé que la survie diminuait à 80 % après 24 heures pour le même traitement lorsque les pétoncles étaient pré-acclimatés à seulement 4 °C (Landry *et al.*, MPO, données inédites).

Une courte immersion dans de l'eau douce (30 minutes) pendant des essais en laboratoire a entraîné une survie de 100 % chez les grandes *M. galloprovincialis* (Asgari et Jahangard 2012). Près de 100 % des individus de *Mytilus* sp. (espèce non identifiée, provenant du Pacifique) soumis à plus de 5 jours dans de l'eau douce à 10 °C ont survécu pendant des mois après le traitement (Forrest et Blakemore 2006). D'après leurs résultats, les auteurs pensent qu'une immersion de deux jours dans de l'eau douce était un traitement sûr pour satisfaire à leur critère de survie de 90 % pour les moules (Forrest et Blakemore 2006). Dans des conditions de terrain, de 98 à 99 % des petites et des grandes *P. canaliculus* (substitut de *M. galloprovincialis*) ont survécu après une immersion dans de l'eau douce pendant 10 minutes suivie d'une période de séchage à l'air de 24 heures (Denny 2008).

Une immersion de 10 minutes dans de l'eau douce dans des conditions de terrain a entraîné une survie de 80 % des grandes *C. gigas*, mais celles-ci étaient plus résistantes lorsque la salinité était plus élevée, avec une survie de 100 % enregistrée pour la même durée d'immersion à une salinité de 5 ppm (Rolheiser *et al.* 2012). Nell (2007) a montré que *C. gigas* (taille non précisée, mais supposée grande) n'était pas touchée après une immersion dans de l'eau douce pendant 12 heures dans des conditions de terrain. Une survie élevée (95,8 %) a été observée chez les petites *C. gigas* après une immersion dans de l'eau douce pendant 12 heures lors d'essais en laboratoire, mais la survie a diminué à 88,5 % dans des conditions de terrain (Nel *et al.* 1996). De plus, les petites *O. angasi* (substitut de *O. edulis*) ont survécu à 100 % après une immersion dans de l'eau douce de 30 secondes (Fitridge *et al.* 2014). Nous n'avons trouvé aucune information sur les effets des traitements à l'eau douce sur *O. edulis* ou *A. irradians*.

3.2.1.4. Immersions dans de l'eau douce ou de l'eau de mer chaude et vapeur

Les résultats présentés dans la documentation sur les traitements chauffés ont montré que la température, la durée et la taille des organismes influençaient toutes la survie, des températures plus élevées et des durées plus longues ayant tendance à être plus nocives pour les mollusques, et les petits animaux étant dans la plupart des cas plus vulnérables aux traitements thermiques que les plus gros (Rajagopal *et al.* 2005b; Asgari et Jahangard 2012; Sievers *et al.* 2019; Landry *et al.*, MPO, données inédites). Bien que la plupart des résultats concernent l'immersion dans de l'eau de mer chauffée, deux études (Forrest et Blakemore 2006; Landry *et al.*, MPO, données inédites) ont testé les effets des immersions dans de l'eau douce chauffée sur les mollusques.

3.2.1.4.1. Immersion dans de l'eau douce chaude

Forrest et Blakemore (2006) ont observé lors d'essais en laboratoire que les petites *M. edulis* étaient peu touchées par une immersion dans de l'eau douce à 55 °C pendant 5 secondes, les moules maintenant leur critère de survie d'une fixation de 90 %. Les auteurs ont également noté que, à des températures plus basses (de 10 à 20 °C), des immersions plus longues (de 3 à 5 jours) dans de l'eau douce diminuaient la fixation des moules selon leur critère cible de 90 % (résultats non présentés, Forrest et Blakemore 2006). Dans d'autres expériences en laboratoire, Landry et ses collaborateurs (MPO, données inédites) ont montré que les petites *C. virginica* avaient complètement survécu (survie à 100 %) à des immersions dans de l'eau douce à 40 °C pendant 5 minutes (pour les conditions de prétraitement à 4 et 10 °C) et à 30 °C pendant 10 minutes (pour l'état de prétraitement à 4 °C). Lorsque les huîtres avaient été pré-acclimatées à 10 °C, ce dernier traitement (30 °C, 10 minutes) a réduit leur survie à 89 % (Landry *et al.*, MPO, données inédites). Les auteurs ont également testé les effets des immersions dans de l'eau douce chauffée sur *P. magellanicus*, observant que la température de l'acclimatement préalable n'avait aucun effet sur les résultats, 100 % des petits *P. magellanicus* ayant survécu à une immersion dans de l'eau chauffée à 30 °C pendant 10 minutes (Landry *et al.*, MPO,

données inédites). Néanmoins, une légère augmentation de la température à 40 °C pendant 1 minute a entraîné une très faible survie (seulement 3 %) (Landry *et al.*, MPO, données inédites).

3.2.1.4.2. Immersion dans de l'eau de mer chaude

L'immersion dans de l'eau de mer chauffée était le traitement physique le plus décrit, en termes de nombre de sources et de gamme de variation des traitements testée dans la documentation. Les résultats pour *M. edulis* étaient bien documentés comparativement à d'autres espèces. Les grandes *M. edulis* avaient survécu à 0 % dans des expériences sur un site d'exploitation après une immersion de seulement 20 secondes à 60 °C, tandis que les moules immergées pendant seulement 5 secondes avaient survécu à environ 65 % (McDonald 2010). Best et ses collaborateurs (2014) ont observé un effet nul ou faible sur la survie des grandes et des petites *M. edulis* après une immersion de 1 minute à 55 °C en laboratoire. Arakawa (1980) a fourni un guide pour l'élimination des salissures marines sur les huîtres d'élevage, y compris les moules indésirables attachées aux cordes des collecteurs. Les résultats de Koganezawa (1972), présentés dans Arakawa (1980), décrivaient les données pour deux groupes de moules de petite taille (de 10 à 20 mm et de 40 à 50 mm). Koganezawa (1972) a montré que les *M. edulis* de 40 à 50 mm avaient entièrement survécu (100 %) à une immersion chauffée à 50 °C pendant 60 secondes, à 55 °C pendant 20 secondes et à 60 °C pendant 10 secondes dans des conditions de terrain. La survie des moules a diminué à 90 % à 55 °C pour une immersion de 30 secondes. Les résultats sur le terrain de la même étude ont démontré que les moules (*M. edulis*, de 40 à 50 mm) étaient vulnérables aux immersions dans de l'eau de mer chauffée à 50 °C pendant 15 à 20 secondes (survie de 70 à 90 %) et à 60 °C pendant 15 à 30 secondes (survie de 40 à 80 %), tombant à 0 % de survie à 60 °C pendant 1 minute (Koganezawa 1972). Pour le groupe des *M. edulis* plus petites (de 10 à 20 mm), une survie de 100 % a été observée après des immersions à 55 °C pendant 5 secondes et à 60 °C pour une immersion pendant 1 seconde (Koganezawa 1972). Une immersion à 50 °C pendant 15 secondes a produit une survie de 90 % pour ce groupe de taille (de 10 à 20 mm) et après 30 secondes, la survie était nulle (0 %). De même, une immersion entre 55 et 60 °C pendant 15 secondes a également été fatale (survie de 0 %) aux petites moules (de 10 à 20 mm) (Koganezawa 1972). Dans une autre étude, Leach (2011) a montré qu'une immersion chauffée à 60 °C pendant 15 minutes avait des effets négatifs (survie de 0 %) sur les petites *M. edulis*, tandis qu'une immersion à 40 °C pendant 30 minutes entraînait une survie d'environ 60 %. Selon Davidson et ses collaborateurs (2005), les petites *M. edulis* fixées à des bouées en polystyrène ont également été touchées, avec une mortalité élevée des moules après une immersion de 4 secondes dans de l'eau de mer chauffée entre 60 et 80 °C. Dans des expériences contrôlées, McDonald (2010) n'a observé aucune survie (0 %) des petites *M. edulis* après une immersion dans de l'eau de mer à 60 °C pendant 15 secondes, alors qu'il avait obtenu une survie d'environ 60 % en réduisant le temps d'immersion à 5 secondes.

Les expériences d'immersion menées à 40 °C n'ont pas offert une meilleure survie pour les petites *M. edulis*. Comme le montrent Landry et ses collaborateurs (MPO, données inédites), la survie des moules n'était que de 13 % (pré-acclimatement à 10 °C) et de 67 % (pré-acclimatement à 4 °C) après une immersion dans de l'eau de mer chauffée à 40 °C pendant 5 minutes dans des conditions de laboratoire. Cependant, Landry et ses collaborateurs (MPO, données inédites) ont obtenu une survie de 100 % des petites *M. edulis* après une immersion pendant 10 minutes dans de l'eau de mer à 30 °C (dans les deux conditions de pré-acclimatement à 4 et à 10 °C). Une durée plus longue de l'immersion d'eau de mer chauffée, de 6 heures, et une légère augmentation de la température, à 32,6 °C, ont eu une incidence négative sur la survie des petites *M. edulis*, réduite à 24 % (Leblanc *et al.* 2005). En outre, Gonzalez et Yevich (1976) ont observé qu'une population entière de petites *M. edulis*

dans un canal d'effluents (conditions de champ naturel) n'a pas survécu (0 %) après avoir été exposée pendant 3 jours à des températures de l'eau de mer comprises entre 28 et 30 °C.

Gonzalez et Yevich (1976) ont montré qu'après une période d'acclimatement (température augmentée à un taux d'environ 1 °C/jour de 2,5 à 25 °C), les petites moules *M. edulis* exposées à l'eau de mer chauffée affichaient une survie de 100 % à 26 °C après 24 heures et une survie de 94 % à 27 °C après 48 heures. La même étude a également démontré que l'immersion à 28 °C entraînait une survie de 50, 20 et 0 % des petites *M. edulis* après 3, 4 et 6 jours, respectivement (Gonzalez et Yevich 1976). Rajagopal et ses collaborateurs (2005a), dans des expériences d'acclimatement en laboratoire (acclimatement préalable à 20 °C pendant 2 semaines), ont démontré qu'une température de 36 °C pendant 70 minutes ou plus et de 41 °C pendant 1 minute ne permettait aucune survie (0 %) chez les petites *M. edulis*.

Lors d'expériences en laboratoire, des immersions dans de l'eau de mer chauffée entre 45 et 48 °C pendant 80 secondes (Asgari et Jahangard 2012), à 40 °C pendant 60 secondes et à 50 et 60 °C pendant une durée plus courte de 10 secondes ont toutes entraîné une survie à 100 % des grandes *M. galloprovincialis* (Sievers *et al.* 2019). Asgari et Jahangard (2012) ont observé une survie allant de 93 à 95 % des grandes *M. galloprovincialis* après des immersions de 55 à 65 secondes dans de l'eau de mer chauffée à 51 °C. Une légère hausse de 2 °C à 53 °C a été suffisante pour réduire légèrement la survie des grandes moules entre 87 et 93 %, avec des durées de 55 à 70 secondes (Asgari et Jahangard 2012). De plus, pour les immersions à 50 °C, l'augmentation de la durée à 30 secondes a réduit la survie des grandes *M. galloprovincialis* à environ 60 % (Sievers *et al.* 2019). Avec des durées de 60 secondes, les immersions dans de l'eau de mer chauffée à 50 °C ont entraîné une survie de 0 % des grandes *M. galloprovincialis* (Sievers *et al.* 2019). Les petites *M. galloprovincialis* étaient plus touchées par la température et les durées d'immersion que les grandes, mais elles ont tout de même survécu à des expositions de 60 secondes à 40 °C (Sievers *et al.* 2019). L'immersion à 50 °C pendant 10 secondes a réduit la survie des petites *M. galloprovincialis* à environ 75 %, mais aucune n'a survécu à des immersions dans de l'eau de mer chauffée à 50 °C pendant 30 secondes et à 60 °C pendant 10 secondes (Sievers *et al.* 2019). Dans des conditions de terrain, Asgari et Jahangard (2012) ont montré que la survie des grandes *M. galloprovincialis* variait de 97 à 100 % après des immersions dans des systèmes fermés à circulation d'eau de mer chauffée entre 46 et 51 °C pendant 40 à 45 secondes. À des températures plus élevées de 60 à 65 °C, la survie chutait entre 42 et 46 % pour les grandes *M. galloprovincialis* après une immersion de 30 secondes (Asgari et Jahangard 2012). Pendant une exposition plus longue (5 minutes), les petites et les grandes *M. galloprovincialis* n'ont pas survécu (0 %) à 50 °C, mais on a mesuré une survie de 99 et de 95 %, respectivement, pour les grandes et les petites moules à 35 °C (Piola et Hopkins 2012).

Mayrand et ses collaborateurs (2015) ont testé l'effet des immersions dans de l'eau de mer chauffée sur la destruction de deux groupes de taille des petites *C. virginica* dans des poches de culture dans des conditions de terrain et ont constaté que les huîtres de 35 à 45 mm étaient plus sensibles (~ 50 % de survie) que les huîtres de 55 à 65 mm (survie à 95 %) à une immersion de 15 secondes dans l'eau de mer à 60 °C. Les mêmes auteurs ont également constaté que toutes les huîtres avaient une plus grande survie (évaluée 1 mois après le traitement) lorsque le traitement était appliqué en août par rapport à juin (résultats non présentés dans les tableaux). Des essais thermiques menés à 60 °C sur de petites *C. virginica* immergées pendant 5 à 15 secondes, puis à 30 secondes ont révélé une survie d'environ 95 à 99 % et de 5 %, respectivement (McDonald 2010). Cependant, le même rapport a montré qu'environ 90 % des grandes *C. virginica* ont survécu à une immersion à 60 °C pendant 30 secondes (McDonald 2010). De plus, selon le mois d'application du traitement, Rousselle (2012) a obtenu des résultats de survie variables pour deux groupes de petite taille (de 35 à

45 mm, de 55 à 65 mm) de *C. virginica* placées dans des poches et immergées dans de l'eau de mer à 60 °C pendant 15 secondes. La survie du plus grand groupe d'huîtres variait de 40 % (août) à 60 % (juin), tandis que celle du plus petit groupe demeurait autour de 50 % les deux mois (Rousselle 2012). Les traitements à l'eau de mer chauffée (40 °C, 60 secondes; 50 °C, 10 secondes) n'ont eu aucune incidence (survie à 100 %) sur les petites *O. angasi*, mais des durées plus longues (50 °C, 30 secondes; survie à 0 %), des températures plus élevées (60 °C, 10 secondes; survie à 60 %) ou des deux paramètres (60 °C, 30 secondes; survie à 0 %) ont réduit la survie des huîtres (Fitridge *et al.* 2012).

L'huître *C. gigas* semblait plus résistante à la chaleur sur le plan des durées d'exposition à des températures plus élevées que les autres espèces de mollusques. Toutes les petites *C. gigas* ont survécu (100 %) à des immersions dans de l'eau de mer chauffée à 50 °C pendant 60 secondes (Koganezawa 1972) ou à 70 °C pendant 30 à 40 secondes (Nel *et al.* 1996) lors d'essais en laboratoire. Cependant, cette dernière étude a montré que la survie des huîtres diminuait à 91,3 % après un temps d'exposition de 45 secondes à 70 °C (Nel *et al.* 1996). Dans des conditions de terrain, les mêmes auteurs ont noté que les petites *C. gigas* étaient plus vulnérables au traitement thermique, avec une survie de seulement 88,8 % après une immersion dans de l'eau de mer à 70 °C pendant 40 secondes (Nel *et al.* 1996). Koganezawa (1972) a constaté qu'une immersion dans de l'eau de mer chauffée à 55 °C pendant 60 secondes, à 60 °C pendant 15 à 30 secondes et à 60 °C pendant 60 secondes réduisait la survie des petites *C. gigas* à 90 %, entre 80 et 92 % et 40 %, respectivement. Dans le contexte de leur étude, Rajagopal et ses collaborateurs (2005b) ont testé la tolérance thermique de *C. gigas* et ont constaté que la tolérance de l'espèce aux températures plus élevées était plus grande que celle d'autres animaux de salissures marines, y compris *M. edulis*. Ils ont démontré que trois groupes de taille de *C. gigas* (11, 35 et 54 mm – catégorie « petite »), qui avaient été acclimatés à 20 °C pendant 2 semaines avant le traitement, avaient des capacités de résistance thermique différentes (Rajagopal *et al.* 2005b). À 40 °C, le groupe de 11 mm a survécu à 96 minutes d'exposition avant de mourir, comparativement au groupe de 54 mm qui a survécu jusqu'à 167 minutes (Rajagopal *et al.* 2005b). Aucune huître des trois groupes de taille n'a survécu à une immersion dans de l'eau de mer à 43 °C pendant 60 minutes (Rajagopal *et al.* 2005b). Piola et Hopkins (2012) ont montré que, à des températures similaires, le naissain (classé dans la catégorie « petite taille ») de *C. gigas* était plus sensible aux traitements à l'eau de mer chauffée que les juvéniles (également classés parmi les « petites tailles ») et les adultes (« grande taille »). Ils ont observé une survie de 76,7 % (37,5 °C, 60 minutes), de 50 % (40 °C, 30 minutes) et de 13,3 % (42,5 °C, 20 minutes) chez le naissain d'huîtres, une survie totale (100 %) chez les grandes huîtres soumises aux trois traitements de température/durée et ont remarqué que les huîtres juvéniles n'avaient été que légèrement touchées (toujours 98 % de survie) par le traitement le plus sévère (42,5 °C, 20 minutes).

3.2.1.4.3. Vapeur

Les petites *M. edulis* dans des boudins exposées pendant 30 secondes à de la vapeur à 100 °C (appliquée à 50 lb/po²) avant d'être immédiatement remises à l'eau après le traitement n'avaient pas été touchées (Davidson *et al.* 2005). Joyce et ses collaborateurs (2019) ont montré que lorsque *M. edulis* et *C. gigas* étaient considérées comme des EAE, un jet continu de vapeur pendant 60 secondes induisait une survie de 0 % des petits individus. Une survie de 0 % des grandes *C. gigas* a également été notée, mais seulement après 300 secondes d'exposition avec la même intensité de jet de vapeur. Nous n'avons trouvé aucune information sur les effets du traitement à la vapeur sur *O. edulis*, *A. irradians* ou *P. magellanicus*.

3.2.2. Effets des traitements chimiques sur les espèces de mollusques déplacées

Divers traitements chimiques testés sur des espèces de mollusques déplacés traités dans la documentation ont été pris en compte, pour un total de 31 sources (22 publications primaires et 9 rapports techniques ont été consultés). Quelques résultats inédits (4) fournis par des spécialistes ou travaux inédits ont été intégrés pour certains traitements. Ces traitements étaient l'immersion dans des composés à base de chlore (8), de l'acide acétique (16), de l'acide citrique (1), des solutions de saumure (16), des solutions de saumure et de chaux (1), de la chaux hydratée (12) et du Virkon® (1), parfois suivie d'une période d'exposition au séchage à l'air. Nous donnons un aperçu des effets de ces traitements sur les mollusques en tant qu'espèces déplacées dans les tableaux 9 et 10 et les résumons ci-après. Les résultats sont présentés pour les espèces déplacées présentes sur les deux côtes canadiennes (Atlantique, Pacifique ou les deux) et pour les catégories de petites et de grandes tailles d'espèces déplacées (voir la section 2.1).

3.2.2.1. Immersion dans des composés à base de chlore ou jet de composés à base de chlore (avec ou sans séchage à l'air)

Pour les traitements par chloration, différents types de composés (p. ex. hypochlorite de sodium, dioxyde de chlore) et d'unités (% , mg/L) ont été utilisés. Des études sur le contrôle des salissures marines par les moules dans les systèmes industriels d'eau de refroidissement par chloration continue ont montré que les immersions dans de très faibles concentrations de CRT entraînaient une survie de 0 % des petites *M. edulis* après des temps d'exposition de 40 jours à 1 mg/L et de 17 jours à 3 mg/L (Rajagopal *et al.* 2002, 2003). Haque et ses collaborateurs (2015) ont montré qu'une concentration plus forte de chlore avait des effets physiologiques sur deux groupes de petite taille de *M. edulis* (1,4 et 25 mm) et réduisait la survie plus rapidement. À une concentration plus élevée de 4 mg/L de CRT, ces auteurs ont observé une survie de 0 % chez les moules de 1,4 et de 25 mm après des temps d'immersion de 7 et 6,3 jours, respectivement. De même, à la même concentration de CRT (4 mg/L), Haque et Kwon (2017) ont noté une survie de 0 % de deux groupes de petite taille (14 et 25 mm) après 5,2 et 6,3 jours, respectivement. Dans des conditions de laboratoire, Haque et ses collaborateurs (2014) se sont concentrés sur les effets de la chloration comme méthode de contrôle des larves véligères de *M. edulis*. Ils ont constaté que les larves n'avaient pas survécu (0 %) après des immersions dans des solutions à 1 mg/L (20 minutes), 0,1 mg/L (4 heures) et 0,05 mg/L (5 heures) de CRT. Cependant, une très courte durée d'exposition de 10 minutes à une concentration de 0,7 mg/L de CRT a produit une survie de 84 % (Haque *et al.* 2014; Haque et Kwon 2017).

Nous avons trouvé moins d'information sur les effets de la chloration contre *M. galloprovincialis* par rapport à *M. edulis*. Asgari et Jahangard (2012) ont testé les effets du dioxyde de chlore comme méthode de contrôle des polychètes sur *M. galloprovincialis*. Une immersion de 9 minutes dans des concentrations initiales de dioxyde de chlore allant de 0,14 à 0,28 % n'était pas nocive pour les grandes *M. galloprovincialis*, avec une survie élevée (97 %). L'immersion dans de l'hypochlorite de sodium à 0,5 % (concentration initiale) pendant 30 secondes (suivie ou non d'une période de séchage à l'air de 24 heures) des petites *P. canaliculus* (substitut de *M. galloprovincialis*) a entraîné une survie de plus de 94 %, tout comme l'immersion seule pendant 2 minutes dans de l'hypochlorite de sodium à 0,5 % (Denny 2008). Dans une étude sur le terrain réalisée par Coutts et Forrest (2005) pour réduire les salissures marines sur les structures de quai submergées, des solutions d'hypochlorite de sodium à des concentrations initiales comprises entre 0,01 et 0,05 % ont été confinées dans les enveloppes entourant des pieux de quai. Les auteurs ont observé que *C. gigas* (taille non précisée mais supposée grande) a survécu aux traitements après 12 heures d'exposition (Coutts et Forrest 2005).

Nous n'avons trouvé aucune information sur les effets des traitements composés à base de chlore sur *O. edulis*, *C. virginica*, *A. irradians* ou *P. magellanicus*.

3.2.2.2. Immersion dans de l'acide acétique ou jet d'acide acétique (avec et sans séchage à l'air)

Un certain nombre d'études et de rapports ont testé l'acide acétique comme méthode d'atténuation et de contrôle des tuniciers et des algues sur les boudins, les collecteurs et les bouées dans les fermes mytilicoles (Carver *et al.* 2003; Davidson *et al.* 2005; MacNair *et al.* 2006; Sharp *et al.* 2006; Gill *et al.* 2007; Locke *et al.* 2009). En général, ces études ont noté que les petites *M. edulis* étaient faiblement touchées (survie de 85 à 92,3 %) après un traitement par jet ou n'étaient pas touchées après des immersions dans de l'acide acétique à 5 % pendant des durées allant de 5 à 30 secondes (Carver *et al.* 2003; MacNair *et al.* 2006; Gill *et al.* 2007; Locke *et al.* 2009). Une survie de 85 à 90 % a été observée chez les grandes *M. edulis* après une immersion de 5 secondes dans de l'acide acétique à 5 % (Locke *et al.* 2009), mais Davidson et ses collaborateurs (2005) et Gill et ses collaborateurs (2007) ont constaté des effets sur les petites *M. edulis* dans des conditions de terrain semblables. Ces auteurs ont décrit les répercussions (résultats qualitatifs) en termes de mortalité, de perte de poids et de croissance réduite. Sharp et ses collaborateurs (2006) ont testé une immersion de 20 secondes dans de l'acide acétique à 5 % sur des capteurs de naissain pour *M. edulis* (les capteurs étaient rincés à l'eau de mer après le traitement) et ont observé que 40 % seulement des moules restaient attachées et ne montraient pas de signes d'ouverture de la coquille (considérés comme une survie) 24 heures après le traitement. Carver et ses collaborateurs (2003) ont testé les effets d'immersions dans de l'acide acétique à 5 % en laboratoire sur deux groupes de taille (10 et 20 mm, catégorie « petite ») de *M. edulis* pendant 5 à 10 secondes, 30 secondes et 1 minute. Ils ont observé que le groupe de 10 mm était touché, avec une mortalité dans un essai pour chaque durée, mais que le groupe de 20 mm est resté non touché dans tous les essais. Carman et ses collaborateurs (2016), qui cherchaient à contrôler les tuniciers dans les fermes mytilicoles, ont remarqué une survie de 0 % des petites *M. edulis* lorsque les boudins étaient immergés en laboratoire dans des bains d'acide acétique à 5 % pendant 5 minutes, suivis d'une période de séchage à l'air pendant 1 heure à température ambiante. Vickerson (2009) a testé les répercussions sur l'activité de fixation du byssus des petites *M. edulis* d'immersions dans de l'acide acétique à 4 %, suivies d'une période d'exposition à l'air simulant le transport interrégional dans des conditions de laboratoire. L'auteur a observé que les *M. edulis* de 40 mm (petites) étaient touchées après une immersion sans séchage à l'air pendant 30 secondes dans de l'acide acétique à 4 %. Cependant, il n'y avait pas d'effet sur les moules après une immersion pendant 30 secondes si elles étaient rincées avant 24 heures d'exposition au froid et à l'humidité (4 °C; 100 % HR; Vickerson 2009). Au contraire, l'activité de fixation du byssus était touchée (détachement) si les petites moules n'étaient pas rincées entre les périodes d'immersion (30 secondes) et d'exposition à l'air (24 heures; 4 °C; 100 % HR). Vickerson (2009) a également observé que l'utilisation de glace pendant l'exposition de 24 heures à l'air (simulation de transport à 1–2 °C au lieu de 4 °C, 100 % HR) après l'immersion (30 secondes) diminuait considérablement l'activité du byssus (touchée) et que cette situation ne se produisait que lors du traitement des moules avec de l'acide acétique et non avec de la chaux ou de la saumure. L'inversion des étapes de l'exposition de 24 heures à l'air (4 °C, 100 % HR) et de l'immersion (30 secondes) avait également une incidence sur les moules (Vickerson 2009).

Sievers et ses collaborateurs (2019) ont testé les effets des immersions dans de l'acide acétique à 2 et 5 % dans des expériences en laboratoire sur de grandes et petites *M. galloprovincialis* et ont évalué leur survie 48 heures après le traitement. Ils ont constaté que

100 % des individus avaient survécu à des immersions de 30 secondes dans les deux concentrations.

Dans des conditions de terrain, Forrest et ses collaborateurs (2007) ont testé des immersions dans de l'acide acétique à 4 %, avec et sans période de séchage à l'air de 24 heures, afin d'évaluer la survie (1 mois après le traitement) des grandes et des petites *P. canaliculus* (substitut de *M. galloprovincialis*). La survie était constamment ≥ 91 %, que l'immersion de 4 minutes dans de l'acide acétique à 4 % ait été suivie ou non de 24 heures de séchage à l'air. Dans ces expériences sur le terrain, le fait que les moules soient dégroupées ou attachées à des filins de culture n'a pas eu d'incidence sur leur survie, mais uniquement lorsque les moules avaient été rincées à l'eau avant le séchage à l'air (Forrest *et al.* 2007). Le fait de ne pas rincer les moules avant le transport réduisait leur survie à < 67 % pour les moules attachées et à < 37 % pour les moules dégroupées (résultats non présentés dans les tableaux; Forrest *et al.* 2007). En inversant les étapes de ce traitement, c'est-à-dire en commençant par le séchage à l'air pendant 24 heures suivi d'une immersion pendant 4 minutes dans de l'acide acétique à 4 % ou 8 %, les auteurs ont observé > 90 % de survie chez les grandes et les petites *P. canaliculus*. Les mêmes auteurs ont également testé les effets des immersions dans de l'acide acétique à 4 et 8 % pendant 2 minutes sur les grandes et les petites *P. canaliculus* dans des expériences en laboratoire (Forrest *et al.* 2007). Ils ont évalué la fixation des moules sur les cordes 24 heures après le traitement et n'ont observé aucune incidence majeure dans l'un ou l'autre traitement, car la fixation des moules était constamment > 95 %. Cependant, ils ont montré que l'ajout d'une période de séchage à l'air de 24 heures après une immersion de 2 minutes dans de l'acide acétique (à 4 et 8 %) avait un effet sur *P. canaliculus*, en particulier lorsque les individus n'étaient pas rincés à l'eau de mer avant l'exposition à l'air. Les traitements sans rinçage avaient un impact sur les moules et réduisaient l'attachement byssal à < 57 % et < 26 % à des concentrations de 4 et 8 % d'acide acétique, respectivement (Forrest *et al.* 2007). Pour contrer la réduction de la fixation des moules et maximiser leur survie, les chercheurs ont inversé les étapes et ont entrepris les traitements d'immersion (à 4 et 8 %, 2 minutes) après la phase d'exposition à l'air de 24 heures. Les résultats concordaient avec les observations sur le terrain où la survie moyenne était d'environ 95 % pour les grandes et les petites *P. canaliculus* dans des conditions de laboratoire (Forrest *et al.* 2007).

Au cours de plusieurs expériences avec différents types de traitements, y compris l'acide acétique, Denny (2008) a traité *P. canaliculus* pour atténuer la propagation de *D. vexillum* afin de réduire sa propagation par les transferts aquacoles. L'auteur a observé la survie de 98,5 % des petites et des grandes *P. canaliculus* après immersion dans de l'acide acétique à 0,5 % pendant 10 minutes, suivie de 24 heures de séchage à l'air (Denny 2008). Avec une concentration légèrement plus élevée d'acide acétique à 1 %, le même traitement (10 minutes + 24 heures de séchage à l'air) a réduit la survie entre 90 et 95 % (Denny 2008). À une forte concentration (10 %) d'acide acétique, la survie de *P. canaliculus* a chuté de 13 à 31 % après une immersion pendant 1 minute suivie de 24 heures de séchage à l'air (Denny 2008). Néanmoins, à la même concentration (10 %), l'application d'acide acétique par jet pendant 3 secondes, au lieu de l'immersion, suivie de 26 heures de séchage à l'air, a entraîné une survie de plus de 95 % de *P. canaliculus*. Denny (2008) a réalisé son expérience de jet à l'aide de poches en filet étalées à plat dans un bac et sur lesquelles il a pulvérisé de l'acide acétique à l'aide d'un tuyau d'arrosage muni d'une buse de pulvérisation; la période de séchage à l'air était destinée à simuler le temps de transport. Cahill et ses collaborateurs (2021) ont observé que la survie moyenne des petites *P. canaliculus* était de 35 à 38 % après des immersions dans de l'acide acétique à 8 % pendant 10, 30 et 60 secondes (durées regroupées). Ces auteurs ont suggéré un traitement à l'acide acétique à 2 % pendant 60 secondes pour assurer la survie de *P. canaliculus*.

Sievers et ses collaborateurs (2019) ont testé les effets de l'acide acétique (à 2 ou 5 %) chauffé sur deux groupes de petits (15 et 50 mm) *O. angasi* et des petites et des grandes *M. galloprovincialis*. Pour *O. angasi*, des expériences en laboratoire ont montré que les deux groupes d'huîtres ont complètement survécu (100 %) à une immersion pendant 30 secondes dans de l'acide acétique à 5 % chauffé à 40 °C. Le groupe de 50 millimètres a également complètement survécu (100 %) après 10 secondes dans de l'acide acétique à 2 % chauffé à 50 °C, mais le même traitement a ramené la survie du groupe de 15 millimètres à ~40 %. Les deux groupes d'huîtres ont affiché une survie de 0 % après une immersion pendant 30 secondes dans de l'acide acétique à 2 % chauffé à 50 °C (Sievers *et al.* 2019). Le chauffage de l'acide acétique à 50 °C dans des expériences en laboratoire a également réduit la survie des petites et des grandes *M. galloprovincialis* (Sievers *et al.* 2019). Sievers et ses collaborateurs (2019) ont observé que 100 % des petites et des grandes *M. galloprovincialis* avaient survécu à des immersions pendant 30 ou 10 secondes dans de l'acide acétique à 2 ou 5 % chauffé à 40 °C, mais qu'une immersion dans de l'acide acétique à 5 % chauffé à 50 °C réduisait la survie à ~75 % après 30 secondes et à environ 10 % après 10 secondes, pour les grandes et les petites moules, respectivement. Cependant, pour les grandes *M. galloprovincialis*, Sievers et ses collaborateurs (2019) ont obtenu une survie d'environ 40 % lorsqu'ils les ont immergées pendant 10 secondes dans le même traitement (5 %, 50 °C), tandis qu'une immersion de 10 secondes dans de l'acide acétique à 5 % chauffé à 40 °C assurait la survie de 100 % des petites moules. Une augmentation du temps d'immersion à 30 secondes était suffisante pour réduire la survie à 80 %. À des concentrations d'acide acétique à 2 %, la survie des petites *M. galloprovincialis* était de 0 % après une immersion de 30 secondes à 50 °C (Sievers *et al.* 2019).

L'acide acétique était le traitement pour lequel le plus d'information était disponible pour *O. edulis* et *O. angasi* (substitut pour *O. edulis*), bien qu'il ne s'agisse que de deux documents (Carver *et al.* 2003; Sievers *et al.* 2019). Dans des essais en laboratoire, des immersions pendant 30 secondes dans de l'acide acétique à 2 et 5 % ont produit une survie à 100 % d'*O. angasi* (Sievers *et al.* 2019). Toujours dans des essais en laboratoire, Carver et ses collaborateurs (2003) ont constaté qu'une immersion de 1 minute dans de l'acide acétique à 5 % n'avait aucun effet sur un groupe d'*O. edulis* de 20 mm, mais qu'elle avait un effet sur un groupe de 10 mm (deux petits groupes). Dans des conditions de terrain, Carver et ses collaborateurs (2003) ont observé une survie de 80 % des petites *O. edulis* après un jet d'acide acétique (5 %) pendant 30 secondes suivi d'une période de séchage à l'air de 30 secondes; les grandes huîtres n'avaient pas été touchées.

En ce qui concerne les grandes *C. virginica*, Carver et ses collaborateurs (2010) ont obtenu une survie de seulement 44 % après une courte immersion (30 secondes) dans de l'acide acétique à 5 % sur un site de culture alors qu'ils traitaient des coquilles pour les débarrasser d'éponges perforantes jaunes. Ils ont également constaté que l'espèce avait été touchée après une immersion de 10 minutes dans de l'acide acétique à 10 % ou de 5 minutes dans de l'acide acétique à 20 %, avec un déclin de la survie des grandes *C. virginica* (non quantifiée; Carver *et al.* 2010).

Dans des plateaux flottants d'ostréiculture, Rolheiser et ses collaborateurs (2012) ont observé une survie de 60 % des grandes *C. gigas* après une immersion pendant 30 secondes dans de l'acide acétique à 4 %, mais une survie de 0 % après une immersion de 5 minutes. À des concentrations plus faibles, une immersion de 30 secondes dans de l'acide acétique à 1,25 % n'a eu aucun effet (survie à 100 %) sur les grandes *C. gigas*, mais des immersions de 1 minute (acide acétique à 1,25 %) et de 10 minutes (acide acétique à 0,25 %) ont entraîné une survie de 80 % et de 60 % des huîtres, respectivement (Rolheiser *et al.* 2012). À la suite d'une exposition à diverses concentrations d'acide acétique (1, 2, 4 et 8 %) et à différents temps d'immersion

(15, 30, 45 et 60 secondes) dans des conditions de laboratoire, Cahill et ses collaborateurs (2021) ont observé une survie de 100 % des petites *C. gigas* et aucun effet pendant des mois après tous les traitements. Ils ont également noté, dans des conditions de terrain, que 100 % des petites *C. gigas* avaient survécu à une immersion dans de l'acide acétique à 4 % pendant 30 secondes (Cahill *et al.* 2021) et ont suggéré que ce traitement (4 %, 30 secondes) était prometteur pour assurer la survie de l'espèce (Cahill *et al.* 2021). Dans leur étude sur des pieux de quai enveloppés, Coutts et Forrest (2005) ne ciblaient pas *C. gigas* (taille non précisée mais supposée grande), mais ont signalé qu'elle n'avait pas été touchée et avait survécu à des expositions de 10 minutes à des concentrations d'acide acétique de 1 à 5 %.

Nous n'avons trouvé aucune information sur les effets du traitement à l'acide acétique sur *A. irradians* ou *P. magellanicus*.

3.2.2.3. Immersion dans de l'acide citrique (avec et sans chaleur)

Tous les résultats sur l'acide citrique ont été extraits de Sievers *et al.* (2019), dont le but était de traiter les biosalissures des bivalves d'élevage. Parmi de multiples traitements, ces auteurs ont testé les effets de l'acide citrique non chauffé et chauffé sur *O. angasi* (substitut de *O. edulis*) et *M. galloprovincialis*.

Sievers et ses collaborateurs (2019) ont également constaté que la survie des grandes *M. galloprovincialis* était de 100 % après des immersions dans de l'acide citrique à 2 % pendant 30 secondes et de 10 % pendant une durée plus courte de 10 secondes. Une immersion de 30 secondes dans de l'acide citrique à 10 % a diminué la survie à ~ 50–60 %. Le chauffage de la solution n'a pas eu d'incidence sur les moules, une survie de 100 % étant observée pour les grandes *M. galloprovincialis* immergées pendant 30 secondes dans de l'acide citrique à 10 % chauffé à 40 °C. Les individus ont également survécu (100 %) à une immersion pendant 10 secondes à une concentration plus faible (5 %) d'acide citrique, pendant que la température était simultanément portée à 50 °C. Cependant, la survie des grandes *M. galloprovincialis* n'était que de 50 à 60 % après une immersion de 10 ou 30 secondes dans de l'acide citrique à 10 % chauffé à 50 °C. La survie des petites *M. galloprovincialis* était complète (100 %) après une immersion de 10 secondes dans de l'acide citrique à 10 %, mais une augmentation du temps d'exposition à 30 secondes a diminué la survie (~60 %). Les petites *M. galloprovincialis* étaient plus vulnérables à l'acide citrique chauffé que les grandes. Lors d'une immersion dans de l'acide citrique à 10 % chauffé à 40 °C, les petites *M. galloprovincialis* ont complètement survécu (100 %) à une durée de 10 secondes, mais un temps plus long (30 secondes) a réduit leur survie à seulement 30–40 %. Une immersion de 30 secondes dans de l'acide citrique à 5 % chauffé à 40 °C a donné une fourchette de valeurs de la survie (de 50 à 55 %). En outre, l'augmentation de la concentration d'acide citrique à 10 % et de la température à 50 °C avec une exposition de 10 secondes a ramené la survie des petites *M. galloprovincialis* à approximativement 15 %. Une survie de 0 % des petites *M. galloprovincialis* a été enregistrée après leur immersion pendant 30 secondes dans une solution d'acide citrique à 2 % chauffée à 50 °C.

Sievers et ses collaborateurs (2019) ont également testé le traitement sur deux groupes de taille (15 et 50 mm, catégorie « petite ») d'*O. angasi*. Les deux groupes de taille ont entièrement survécu (100 %) à une immersion pendant 30 secondes dans de l'acide citrique à 10 %, mais les résultats étaient contradictoires pour le groupe de 50 millimètres : la survie a chuté à 75 % quand le temps d'immersion était réduit à 10 secondes. En ce qui concerne l'acide citrique chauffé, les deux groupes de taille ont survécu à 100 % à une immersion dans de l'acide citrique à 2 % chauffé à 50 °C pendant 10 secondes. À une concentration de 10 %, les huîtres n'ont survécu à une immersion de 30 secondes que lorsque la température a été abaissée à

40 °C. Cependant, *O. angasi* n'a pas survécu aux immersions dans de l'acide citrique à 2 % chauffé à 50 °C pendant 30 secondes.

3.2.2.4. Immersion dans de la saumure (avec et sans séchage à l'air)

La plupart des mollusques ont facilement survécu aux traitements à la saumure, avec une survie de près de 100 % (MacNair *et al.* 2006; Carver *et al.* 2010; Rolheiser *et al.* 2012; Landry *et al.*, MPO, données inédites). Dans un environnement de laboratoire, les immersions dans de la saumure saturée à 300 ppm pendant 15 minutes ont entraîné une survie élevée (98 à 100 %) des petites *M. edulis* (Landry *et al.*, MPO, données inédites). L'ajout de 1 heure de séchage à l'air après ce traitement (300 ppm, 15 minutes) n'a eu aucune incidence sur la survie (100 %) (Landry *et al.*, MPO, données inédites). Les immersions dans de la saumure à 300 ppm pendant 1 minute et 30 secondes suivies de 1 heure et 24 heures de séchage à l'air, respectivement, n'ont eu aucune incidence (survie à 100 %) sur *M. edulis*, bien que la taille des moules n'ait pas été précisée (MacNair *et al.* 2006). Cependant, Landry et ses collaborateurs (MPO, données inédites) ont observé que la survie des petites *M. edulis* diminuait entre 77 et 82 % après une immersion pendant 30 minutes dans de la saumure à 300 ppm. Mallet et ses collaborateurs (Mallet Research Services Ltd., données inédites) ont établi que, dans des conditions de laboratoire, la survie des petites moules (de 3 à 18 mm) diminuait à 83 % après une immersion de 6 minutes dans de la saumure saturée à 300 ppm, et à 3 % lorsque la même immersion était suivie d'un séchage à l'air pendant 24 heures. Leurs résultats ont montré que l'immersion dans de la saumure (83 % de survie) ou le séchage à l'air (92 % de survie) séparément entraînaient une plus grande survie du naissain de moule que lorsque les deux traitements étaient combinés. Selon Bourque et Mayrand (2007), la survie des petites (9 à 15 mm) *M. edulis* sur des capteurs immergés jusqu'à 60 secondes dans une solution de saumure à 300 ppm dans des conditions de terrain variait de 84 % (25 °C) à 95 % (18 °C) en fonction de la température. Sharp et ses collaborateurs (2006) ont évalué les effets de l'immersion dans de la saumure sur les petites *M. edulis* 24 et 48 heures après le traitement en laboratoire et ont observé qu'une immersion de 30 secondes dans de la saumure à 300 ppm n'avait aucune incidence sur elles. Dans des conditions de terrain, MacNair (2009) a constaté que le traitement des capteurs de naissain de moule par des immersions dans de la saumure à 300 ppm pendant 15 secondes n'avait également aucune incidence sur les petites *M. edulis* et que les naissains de moule traités étaient plus gros à la fin des essais que les naissains non traités. L'ajout d'une période de séchage à l'air après l'immersion dans la saumure semble diminuer la survie des petites *M. edulis* dans deux études. Carman et ses collaborateurs (2016) ont obtenu une survie de 70 à 92 % des petites *M. edulis* après une immersion pendant 20 secondes dans de la saumure à 70 ppm suivie de 1 heure de séchage à l'air dans des conditions de laboratoire. Pour traiter les capteurs de naissain attachés à des filières pour tuer les tuniciers dans des conditions de terrain, une immersion dans de la saumure saturée à 300 ppm pendant 10 minutes suivie de 24 heures de séchage à l'air a réduit la survie de *M. edulis* (la taille n'était pas précisée) à 61 % (MacNair *et al.* 2006). La même étude a révélé une certaine mortalité de *M. edulis* (non quantifiée) dans un essai comportant une immersion pendant 2 minutes (300 ppm), suivie de 1 heure de séchage à l'air (MacNair *et al.* 2006). Vickerson (2009) a montré que les petites *M. edulis* n'étaient pas touchées à la suite d'une immersion de 30 secondes dans de la saumure saturée (300 ppm), suivie d'une exposition à l'air de 24 heures, simulant des conditions de transport (4 °C, 100 % HR). Le même auteur a indiqué que l'inversion des étapes de l'exposition à l'air (24 heures) et de l'immersion (30 secondes) n'avait également aucune incidence sur la survie des petites *M. edulis*. Le protocole du CIT-Î.-P.-É. du MPO recommande de traiter les petites moules contre les tuniciers coloniaux en les immergeant 30 secondes dans de la saumure à 300 ppm, puis en les séchant à l'air pendant 1 heure avant les transferts.

Tous les résultats pour *C. virginica* ont révélé une survie très élevée (>90 %) après des immersions dans de la saumure. Dans des conditions de terrain, 100 % des grandes *C. virginica* placées dans des boudins en filet ont survécu à une seule immersion dans de la saumure (270 ppm) pendant 10 minutes et à une immersion pendant 6 minutes suivie d'une période de séchage à l'air de 18 heures (Carver *et al.* 2010). Des essais en laboratoire menés par Landry et ses collaborateurs (MPO, données inédites) ont indiqué une survie de 100 et 90 % des petites *C. virginica* après des immersions dans de la saumure saturée à 300 ppm pendant 15 et 30 minutes, respectivement, et de 100 % après une immersion de 30 secondes suivie de 1 heure de séchage à l'air. Mallet et ses collaborateurs (Mallet Research Services Ltd., données inédites) ont montré que les petites (naissain, 1 à 2 mm) *C. virginica* avaient complètement survécu (100 %) après une immersion dans de la saumure saturée (300 ppm) pendant 6 minutes, mais que la survie était nulle (0 %) si on ajoutait une période de séchage à l'air de 24 heures. MacNair et Smith (1999) ont étudié l'efficacité des traitements à la saumure et à la chaux pour tuer *C. fragile* et *Molgula* sp. sur les capteurs de naissain d'huîtres et ont observé que 100 % des petites *C. virginica* survivaient lorsqu'elles étaient immergées dans de la saumure saturée (300 ppm). De plus, les petites *C. virginica* n'avaient pas été touchées après une immersion dans une solution de saumure à 300 ppm pendant une durée maximale de 10 minutes, selon Gill et ses collaborateurs (2008), qui cherchaient dans cette étude à tuer les perceurs d'huître en les exposant à plusieurs types de traitement. Un seul résultat était disponible pour les petites *O. edulis*, où une immersion pendant 1 heure dans de la saumure saturée (300 ppm) assurait la survie à 100 % des huîtres (Minchin et Duggan 1988). En ce qui concerne *P. magellanicus*, les résultats de Landry et ses collaborateurs (MPO, données inédites) indiquent une survie plus faible que celle d'autres mollusques. Dans des expériences en laboratoire, les chercheurs ont obtenu une survie de 87 à 89 % et de 24 % après des immersions pendant 1 et 5 minutes dans de la saumure à 300 ppm, respectivement (Landry *et al.*, MPO, données inédites).

Un seul rapport a fourni des résultats sur les impacts des solutions de saumure saturée sur les grandes *M. galloprovincialis*. Asgari et Jahangard (2012) ont examiné la survie dans des conditions de laboratoire après des traitements visant à éliminer les polychètes et ont montré que 100 % des grandes *M. galloprovincialis* avaient survécu à une immersion de 20 minutes dans de la saumure à 350 ppm, mais la prolongation de la durée du traitement à 30 minutes a réduit la survie à 96,3 %. De plus, le même traitement (350 ppm, 20 minutes) a eu des effets (survie de 79 %) sur les grandes *M. galloprovincialis* dans des conditions de terrain (Asgari et Jahangard 2012). L'équipe a également testé les effets d'une solution de saumure à 350 ppm réfrigérée à -20 °C sur les grandes moules, mais a constaté que même à des temps d'exposition très courts (5 et 10 secondes), la survie chutait à 83 % et 10 %, respectivement.

Rolheiser et ses collaborateurs (2012) ont signalé une survie de 100 % des grandes *C. gigas* après des immersions jusqu'à 10 minutes dans une solution de saumure à 70 ppm à un site d'ostréiculture. Ruellet (2004) a indiqué que la survie des grandes *C. gigas* diminuait à 75 % après une immersion de 30 minutes dans de la saumure saturée à 300 ppm suivie de plusieurs heures de séchage à l'air (nuit). Une autre étude a montré que dans des conditions de terrain, 100 % des petites *C. gigas* avaient survécu à une immersion pendant 1 heure dans de la saumure saturée (300 ppm; Minchin et Duggan 1998). Nous n'avons trouvé aucune information sur les effets de la saumure sur *A. irradians*.

3.2.2.5. Immersion dans de la saumure saturée et de la chaux hydratée (avec séchage à l'air)

L'immersion dans une solution de saumure saturée (300 ppm) et de chaux hydratée (4 %), suivie d'une période de séchage à l'air, est recommandée par le CIT-Î.-P.-É. du MPO pour le traitement de *C. virginica* afin d'atténuer les effets des tuniciers coloniaux avant les transferts.

Comme le suggère le protocole, les grandes et les petites *C. virginica* ne sont pas touchées après une immersion pendant 30 secondes dans la solution de saumure et de chaux suivie de 1 heure de séchage à l'air.

3.2.2.6. Immersion dans de la chaux hydratée (avec et sans séchage à l'air)

Ramsay et ses collaborateurs (2014) ont effectué des essais sur le terrain pour tester des traitements à la chaux hydratée comme stratégie de gestion pour permettre aux mytiliculteurs de tuer *S. clava*. Ils ont montré que 100 % des petites *M. edulis* sur les capteurs de naissain avaient survécu à des immersions dans de la chaux à 4 % pendant 1 à 2 minutes. Les grandes *M. edulis* ont survécu (de 85 à 90 %) à une immersion dans 4 % de chaux pendant 1 minute (MacNair, ministère des Pêches et des Collectivités de l'Île-du-Prince-Édouard, données inédites). Dans des conditions de terrain semblables, MacNair et ses collaborateurs (2006) ont obtenu une survie de 98 % des *M. edulis* dans des boudins (taille non précisée, mais présumée grande) après une immersion de 15 secondes dans de la chaux hydratée à 4 %. En utilisant le même traitement (4 %, 15 secondes) dans des conditions de terrain, Gill et ses collaborateurs (2007) ont enregistré des résultats semblables à ceux de MacNair et ses collaborateurs (2006) sur de petites *M. edulis* dans des boudins, avec une survie de 98 à 100 %. Dans des expériences en laboratoire, la plupart des résultats de différents essais ont révélé une survie plus faible pour les petites *M. edulis*, de 31 à 47 % et de 22 à 23 % après des immersions dans de la chaux hydratée à 4 % pendant 30 et 15 minutes, respectivement. Locke et ses collaborateurs (2009) laissent entendre que, selon MacNair (comm. pers.), la mortalité s'est produite chez les *M. edulis* dans des boudins (taille non précisée, mais présumée grande) après des immersions dans de la chaux hydratée à 4 % pendant 1 minute et que la mortalité augmentait si les valves des moules restaient ouvertes pendant les traitements (ce qui vaut également pour d'autres traitements par immersion). Grâce à plusieurs essais en laboratoire, Vickerson (2009) a montré qu'une immersion pendant 30 secondes dans de la chaux à 4 % causait du stress et commençait à avoir un effet sur les petites *M. edulis*, chez qui il a observé une diminution de l'activité de fixation du byssus par rapport aux organismes témoins (24 heures après le traitement). Les moules ont été directement remises à l'eau après l'immersion, et les impacts ont été observés 24 heures après le traitement (Vickerson 2009). Le même auteur a également testé l'ajout d'une période d'exposition à l'air de 24 heures dans des conditions froides et humides (4 °C, 100 % HR) avant et après une immersion de 30 secondes dans de la chaux (4 %). Mais, en opposition au traitement par immersion seulement (30 secondes), il n'a observé aucun impact sur l'activité de fixation du byssus avec l'ajout de l'étape d'exposition à l'air (24 heures) avant ou après l'immersion.

Dans des expériences préliminaires en laboratoire, Comeau et ses collaborateurs (2017) ont montré que 100 % de *M. edulis* (taille non précisée, mais présumée grande) avaient survécu à des expositions répétées de 30 minutes à de la chaux hydratée à 4 % pendant une période de 3 heures pendant 3 jours consécutifs (mais avec peu d'individus et des concentrations variables de chaux). En menant des expériences dans un laboratoire portatif installé sur le quai, Comeau et ses collaborateurs (2017) ont indiqué que 100 % des grandes *M. edulis* avaient survécu après avoir été soumises à des jets manuels de chaux hydratée à 4 % pendant 5 secondes, suivis de 90 secondes d'exposition à l'air. Landry et ses collaborateurs (MPO, données inédites) ont également constaté une survie élevée de 98 % chez les petites *M. edulis* après une immersion dans de la chaux hydratée à 4 % pendant 30 secondes, suivie d'une exposition de 1 heure au séchage à l'air.

La chaux hydratée n'a pas eu d'effets observables sur *C. virginica*, les immersions dans des solutions à 4 % dans des conditions de laboratoire ou de terrain pendant 1 à 30 minutes n'ayant eu aucun effet (survie à 100 %) sur les grandes et petites huîtres (MacNair et Smith 1999; Gill *et al.* 2008; Locke *et al.* 2009; Carver *et al.* 2010; Landry *et al.*, MPO, données inédites).

Comeau et ses collaborateurs (2017) n'ont détecté aucune mortalité (survie à 100 %) de *C. virginica* et de *A. irradians* (tailles non précisées, mais supposées grandes) dans leur expérience préliminaire en laboratoire 14 jours après des expositions répétées de 30 minutes à de la chaux hydratée à 4 % sur une période de 3 heures pendant 3 jours consécutifs. Cependant, ces derniers résultats reposaient sur très peu d'individus (maximum de 6 par espèce) et les concentrations de chaux ont varié au cours de cet essai (Comeau *et al.* 2017). Les petites *C. virginica* ont survécu à 100 % dans des expériences en laboratoire où elles ont été immergées dans de la chaux hydratée à 4 % pendant 30 secondes, puis exposées à 1 heure de séchage à l'air (Landry *et al.*, MPO, données inédites). C'est pour *P. magellanicus* que la chaux hydratée semblait être la plus nocive comparativement aux autres mollusques, comme l'ont noté Landry et ses collaborateurs (MPO, données inédites) dans des expériences en laboratoire. Ces auteurs ont montré que l'immersion dans une solution à 4 % pendant 30 secondes réduisait la survie des petits pétoncles à 37 % (pétoncles pré-acclimatés à 10 °C) ou à 14 % (pré-acclimatement à 4 °C).

Rolheiser et ses collaborateurs (2012) ont testé différentes concentrations de chaux hydratée (1, 2 et 4 %) et divers temps d'immersion sur de grandes *C. gigas* en laboratoire (1 et 5 minutes d'exposition) et dans des conditions de terrain (0,5, 1, 5 et 10 minutes) sur un site aquacole dans des plateaux submergés fixés à des filières. Ils ont constaté que 100 % des grandes *C. gigas* avaient survécu à une immersion dans de la chaux hydratée à 4 % pendant 5 minutes en laboratoire. Au contraire, les immersions dans de la chaux hydratée à 4 % pendant 30 secondes et 1 minute sur le terrain ont réduit la survie des huîtres à 80 % et 40 %, respectivement. Les huîtres soumises à de la chaux hydratée à 2 % seulement pendant 10 minutes sur le terrain avaient survécu à 100 %. Switzer et ses collaborateurs (2011), utilisant également des plateaux d'huîtres submergés à un site aquacole, n'ont atteint que 64 % de survie des grandes *C. gigas* après 4 minutes d'immersion dans de la chaux hydratée à 4 %.

Nous n'avons trouvé aucune information sur les effets de la chaux hydratée sur *O. edulis* ou *M. galloprovincialis*.

3.2.2.7. Virkon®

Une seule publication présentait des résultats sur le Virkon® et ses effets sur les mollusques. Paetzold et Davidson (2011) ont observé, dans des expériences en laboratoire, que 100 % de *M. edulis* (taille non précisée, mais supposée grande) ont survécu à une immersion dans une solution de Virkon® à 1 % pendant 60 secondes. Cependant, l'augmentation de la concentration à 3 % a réduit la survie à 94,4 et 83,3 % après 30 et 60 secondes, respectivement. Nous n'avons trouvé aucune information sur les effets du Virkon® pour d'autres espèces d'élevage dans la documentation.

3.2.3. Effets des traitements physiques et chimiques sur les macroalgues déplacées

Nous n'avons trouvé qu'un seul rapport sur les répercussions des traitements sur la survie des macroalgues cultivées au Canada; ce document décrivait une méthode de désinfection utilisant de l'hypochlorite de sodium pour les *Saccharina* spp. en éclosure (Taigneaux *et al.* 2013). Les stratégies de lutte sur les macroalgues ou les algues cultivées décrites dans la documentation sont principalement des méthodes alternatives ou préventives (voir la section 3.3.; p. ex. lutte biologique, nettoyage manuel, choix de l'emplacement) visant à réduire au minimum l'effet des espèces de bio-salissures sur les macroalgues cultivées (p. ex. Bannister *et al.* 2019). Quelques publications ont fourni de l'information sur les traitements physiques et chimiques testés sur des macroalgues cultivées ailleurs (pas au Canada; Yan *et al.* 2011; Li *et al.* 2018a; Meichssner *et al.* 2020; Du *et al.* 2021; Kang et Kim 2022). L'efficacité de certains

traitements contre les EAE ou d'autres macroalgues, décrite à la section 3.1, a également été considérée dans la présente section comme des exemples d'effets potentiels de ces traitements sur la survie des macroalgues (même s'il ne s'agit pas de macroalgues cultivées; tableau 11).

3.2.3.1. Séchage à l'air

Dans le but principal de maintenir les macroalgues en vie tout en éliminant des thalles la plupart des organismes de salissures marines, Meichssner et ses collaborateurs (2020) ont testé des traitements d'exposition à l'air sur des *F. vesiculosus* et *F. serratus* cultivés pendant toute une saison sur un site aquacole. Ils ont montré que la croissance des macroalgues conservées dans des paniers était légèrement touchée (pas plus de 10 à 20 % de perte de poids humide des algues) si elles étaient séchées à l'air trois fois par semaine pendant toute une saison, dans une zone ombragée ou pendant la nuit pour éviter l'exposition directe au soleil et les températures extrêmes. Selon les protocoles aquacoles pour l'algue rouge *Pyropia yezoensis*, le séchage à l'air par émergence peut être utilisé comme méthode de contrôle des épibiontes (Li *et al.* 2018a). Cette espèce est très résistante à la dessiccation (2 à 40 minutes) et peut se rétablir après seulement 1 heure de réhydratation (remise dans l'eau de mer), comme l'indique l'efficacité photochimique optimale mesurée (Li *et al.* 2018a). En effet, les thalles séchés à l'air se sont complètement rétablis même après avoir subi des pertes d'eau relatives entre 40 et 70 %. Dans une autre étude en laboratoire, Du et ses collaborateurs (2021) ont observé une diminution rapide de l'activité photosynthétique avec une perte d'eau accrue lorsque les thalles de *P. yezoensis* étaient traités par séchage à l'air. Cependant, la récupération des thalles après ce traitement n'était pas précisée. Kim et Garbary (2007) ont montré qu'un traitement par séchage à l'air de 1 heure réduisait la survie (perte de 10 % de leur masse) de l'algue envahissante *C. fragile* et que la survie de *U. pinnatifida* était également touchée (survie de ~40 %) après une exposition de 6 heures à l'air à 20 °C (Forrest et Blakemore 2006).

3.2.3.2. Immersion dans de l'eau douce

Smit et ses collaborateurs (2003) ont montré que les immersions dans de l'eau douce pendant 3 heures dans des conditions de laboratoire n'avaient causé aucun dommage visuel à la macroalgue rouge *Gracilaria gracilis*, mais ont mesuré une diminution importante du taux de croissance 1 semaine après le traitement. Les thalles de l'algue verte envahissante *C. fragile* exposés à une immersion dans de l'eau douce de 3 heures (0 usp; suivie d'une période de récupération de 60 heures) ou à une immersion de 3 heures dans une solution hyposaline (8 usp; période de récupération de 50 heures) ont complètement récupéré après avoir été remis dans de l'eau de mer (Kim et Garbary 2007). Dans une autre étude, Forrest et Blakemore (2006) ont enregistré une survie de 0 % des plantules de l'algue envahissante *U. pinnatifida* après une immersion dans de l'eau douce pendant 10 minutes.

3.2.3.3. Immersion dans de l'eau de mer chaude

Les immersions dans l'eau de mer chauffée peuvent avoir de fortes répercussions sur la survie des macroalgues (Mineur *et al.* 2007; Forrest et Blakemore 2006; Landry *et al.*, MPO, données inédites). Williams et Schroeder (2004) ont constaté que presque tous les fragments de l'algue envahissante *C. taxifolia* étaient morts à la suite d'une immersion de 1 heure dans l'eau de mer à 72 °C, et qu'une immersion de 30 secondes dans l'eau de mer à 50 °C avait des effets sur *C. fragile* (Landry *et al.*, MPO, données inédites). Les premiers effets de l'exposition à de l'eau de mer chaude (35 °C) sur la survie (survie à 80 %) de *U. pinnatifida* ont commencé à se manifester après environ 1 minute (Forrest et Blakemore 2006), et une immersion pendant 3 secondes dans de l'eau de mer entre 80 et 85 °C a également eu une incidence négative sur la survie des *Ulva* spp. (Mineur *et al.* 2007).

3.2.3.4. Immersion dans de l'hypochlorite de sodium (avec ou sans nettoyage à la main et séchage à l'air)

Les écloséries canadiennes utilisent l'hypochlorite de sodium sur les varechs *Saccharina latissima* et *S. longicruris* selon un processus en deux étapes. La première étape consiste à nettoyer physiquement les organismes salissants (p. ex. macroalgues épiphytes, bryozoaires, vers tubicoles, hydrozoaires, gastéropodes, cirripèdes) des sores du varech en les cueillant et en les essuyant à la main avec du coton ou du papier absorbant (Tamigneaux *et al.* 2013; Clark, Cascadia Seaweed Corp., données inédites). Après cette étape de nettoyage manuel, l'une des options est d'immerger les sores pendant 1 minute dans de l'hypochlorite de sodium à 0,1 % (dilué avec de l'eau de mer stérilisée), puis à les rincer plusieurs fois à l'eau de mer stérilisée avant de les laisser sécher à l'air pendant 12 à 16 heures (Clark, Cascadia Seaweed Corp., données inédites). L'autre option est une immersion de 2 minutes dans de l'hypochlorite de sodium à 0,003 %, suivie d'une étape de rinçage (rinçage double dans des bains séparés) à l'aide d'eau de mer stérilisée, avant d'essuyer manuellement les sores secs avec du papier buvard (Tamigneaux *et al.* 2013).

La seule autre étude de traitement des macroalgues à base d'hypochlorite de sodium trouvée dans la documentation a montré que, 7 jours après le traitement, ce produit chimique n'avait eu aucun effet aigu détectable (survie de 100 %) sur des fragments de l'algue *C. taxifolia* à une concentration de 0,001 % après 30 minutes d'immersion (Williams et Schroeder 2004). Cependant, les auteurs ont observé une mortalité après 14 jours, atteignant 40 % 77 jours après le traitement, ce qui suggère un effet chronique.

3.2.3.5. Immersion dans de l'acide acétique ou jet d'acide acétique

Forrest et ses collaborateurs (2007) ont montré que les immersions dans de l'acide acétique à 2 % pendant 1 à 2 minutes n'avaient pas d'incidence sur la survie de *Cladophora* sp. Ces mêmes auteurs ont également montré qu'une immersion (acide acétique à 2 %) pendant 1 à 2 minutes suivie d'une exposition à l'air de 24 heures n'avait pas de répercussions sur la survie de l'espèce, tant qu'un rinçage était appliqué entre l'immersion et l'exposition à l'air. Cependant, lorsque l'exposition à l'air de 24 heures avait lieu avant le même traitement, *Cladophora* sp. n'a pas survécu (données qualitatives). Forrest et ses collaborateurs (2007) ont évalué la survie des gamétophytes de *U. pinnatifida* deux semaines après le traitement par immersion dans de l'acide acétique à 2 % pendant 1 minute (suivie d'un rinçage à l'eau de mer après le traitement) et n'ont remarqué aucun effet sur cette espèce de macroalgue (survie à 100 %).

Une expérience exhaustive a étudié les effets d'un jet d'acide acétique à 5 % sur 11 espèces de macroalgues, dont *U. pinnatifida*, *U. linza* et diverses espèces de *Rhodophyta* (Piola *et al.* 2009). Ces auteurs ont démontré qu'un jet d'acide acétique à 5 % pendant 1 minute, suivi d'une exposition de 1 minute au séchage à l'air, éliminait (absence) toutes les espèces de macroalgues, à l'exception de *U. linza* (Piola *et al.* 2009).

3.2.3.6. Immersion dans de l'acide citrique

La seule étude dans la documentation qui décrivait le traitement d'une macroalgue cultivée (*Porphyra haitanensis*) avec de l'acide citrique (pH = 2,0) a montré qu'une immersion de 3 minutes entraînait une survie de 90,9 % (Yan *et al.* 2011).

3.2.3.7. Immersion dans de la saumure

Une étude sur la réaction photosynthétique (effets sublétaux) de *P. yezoensis* aux immersions à salinité élevée a montré une perte d'eau de 30 et 40 % chez cette macroalgue après une immersion de 10 minutes dans des solutions de saumure à 80 et 100 ppm, respectivement (Du *et al.* 2021). Bien que l'efficacité photochimique optimale n'ait pas été inhibée à 40 % de perte

d'eau, d'autres paramètres photosynthétiques ont été interrompus, ce qui indique une certaine incidence (bien qu'elle ne soit pas décrite dans Du *et al.* 2021). Les mêmes auteurs ont également observé qu'une solution de saumure à une concentration ≥ 100 ppm causait une déformation évidente du thalle. Sharp et ses collaborateurs (2006) et MacNair (2009) ont constaté qu'une immersion de 15 secondes dans une solution de saumure à 300 ppm avait des répercussions sur la survie de *Cladophora* sp. dans des conditions de laboratoire. De plus, MacNair (2009) a mentionné que des temps d'immersion plus courts réduisaient considérablement les répercussions négatives sur l'algue. Mineur et ses collaborateurs (2007) ont testé un traitement à la saumure (400 ppm, 30 minutes) sur la survie des macroalgues, mais ont seulement indiqué que ce produit chimique réduisait considérablement la survie des assemblages de macroalgues et que seuls quelques taxons résistants étaient capables de survivre, y compris *Cladophora* spp., *Ulva* spp. et *Porphyra* sp.

3.3. OPTIONS PROACTIVES DE GESTION DES BIOSALISSURES : STRATÉGIES DE PRÉVENTION SPATIALE ET TEMPORELLE ET AUTRES PRATIQUES D'ÉLEVAGE

Bien qu'une combinaison de plusieurs stratégies d'atténuation des EAE contribue à une gestion intégrée et durable des parasites dans les systèmes d'aquaculture marine (voir Cahill *et al.* 2022), l'objectif de la présente analyse documentaire était de fournir de l'information sur les méthodes réactives existantes utilisées pour atténuer le risque de propagation des EAE d'invertébrés épibiontes et de macroalgues pendant les déplacements des mollusques et des macroalgues et d'évaluer l'efficacité de ces méthodes pour tuer ou éliminer rapidement les biosalissures par les EAE. Par conséquent, l'efficacité d'autres méthodes proactives de gestion des biosalissures – qui nécessitent généralement plus de temps avant d'avoir un effet sur les EAE indésirables, comme les revêtements antisalissures et les filets bioactifs (alliage de cuivre), les contrôles biologiques, les mesures préventives telles que l'entretien saisonnier des engins et de l'équipement aquacoles, le retrait manuel/mécanique et les traitements répétitifs – n'ont pas été évalués ici. Néanmoins, certaines de ces mesures proactives pourraient être appliquées avant le transport d'organismes déplacés ou utilisées conjointement avec des traitements physiques ou chimiques réactifs pour éliminer les EAE des mollusques et des macroalgues décrits dans les sections 3.1.1 et 3.1.2. Plusieurs de ces stratégies proactives de gestion des biosalissures pourraient réduire la présence, la densité et l'abondance des EAE sur les espèces d'élevage, augmentant ainsi l'efficacité des traitements physiques et chimiques permettant d'éliminer les EAE lorsque les espèces d'élevage sont déplacées. C'est pourquoi ces méthodes sont brièvement mentionnées ci-après.

3.3.1. Stratégies de prévention spatiales et temporelles

L'une des principales mesures de prévention des biosalissures pour la culture de bivalves et de macroalgues consiste à éviter de placer les baux de culture dans des endroits où les risques de biosalissures sont élevés (Sievers *et al.* 2014; Watts *et al.* 2015; Bannister *et al.* 2019), mais cela n'est souvent pas possible, car les aquaculteurs sont souvent limités par l'attribution des espaces autorisés. Cependant, le choix de zones de culture où le mouvement de l'eau est accru semble réduire l'infestation par les biosalissures sur les produits d'élevage (Bannister *et al.* 2019; partenariats COI-UNESCO et FEM-PNUD-OMI GloFouling 2022). Étant donné que les températures de l'eau et les proliférations de phytoplancton influencent la période de l'établissement des larves des espèces de salissures marines, une pratique courante dans la culture de mollusques et de macroalgues dans les climats tempérés consiste à récolter les produits d'élevage au printemps avant la hausse des températures de la mer et les proliférations de phytoplancton, lorsque cela est possible, pour éviter les grands épisodes de salissures (Getchis 2014; Stévant *et al.* 2017; Bannister *et al.* 2019; partenariats COI-UNESCO

et FEM-PNUD-OMI GloFouling 2022). Le choix de semis de macroalgues sains, exempts de bioalissures, ainsi que le moment de la plantation des macroalgues, sont des pratiques industrielles courantes dans la culture d'algues, utilisées pour contrôler les impacts des bioalissures pendant toute la durée de la culture (Bannister *et al.* 2019). La culture d'algues tout au long de l'année dans certaines régions est limitée, car certains producteurs d'algues sont forcés de récolter en mai-juin pour éviter d'abondantes bioalissures par les épiphytes en été (voir plus de détails dans Stévant *et al.* 2017).

Il n'est peut-être pas possible d'éviter directement les périodes naturelles de pointe du recrutement des organismes de bioalissures dans les zones où la pression des salissures est persistante, mais cette stratégie d'atténuation peut être utile dans les endroits où le moment de l'établissement de certaines espèces salissantes est prévisible. Les mesures préventives directes dans l'ostréiculture hors fond, comme la culture d'huîtres à une plus grande hauteur (au-dessus du niveau de la marée moyenne ou à au moins 0,5 m au-dessus du substrat de vase), semblent réduire les infestations continues par le ver à boue (Bower 2004; Nell 2007), en particulier dans les zones où l'amplitude des marées et le renouvellement de l'eau par les marées sont bons (Nell 2007). Les mesures d'atténuation indirectes et préventives, comme l'extraction et le transfert de mollusques, doivent être prises au printemps avant le nouvel établissement des bioalissures (Medcof 1961). On a recouru à la modification du calendrier des routines de culture pour éviter le recrutement maximal des salissures marines ou au retrait temporaire des produits de culture de la profondeur à laquelle les organismes salissants préfèrent s'établir comme mesure d'atténuation préventive pour la culture de bivalves et de macroalgues (Arakawa 1980; ministère de l'Agriculture, des Pêches et de l'Aquaculture de l'Île-du-Prince-Édouard 2003; ministère de l'Agriculture et de l'Aquaculture du Nouveau-Brunswick 2008; Getchis 2014; Sievers *et al.* 2014; Atalah *et al.* 2017; Bannister *et al.* 2019). De plus, le report du tri par tailles et du reboudinage des bivalves, après les pics d'établissement intense des bioalissures, pourrait réduire davantage la quantité de salissures marines sur les engins et les produits de culture (Sievers *et al.* 2014).

Il a également été démontré que des densités plus fortes d'ensemencement des espèces d'élevage diminuent le recrutement des EAE, réduisant en particulier les taux de salissures par les cirripèdes sur les coques (Dunham et Marshall 2012) et l'abondance des ascidies plissées sur les moules bleues (N. MacNair, ministère des Pêches et des Collectivités de l'Île-du-Prince-Édouard, données inédites), et cette pratique est appliquée dans la culture d'algues pour permettre aux frondes de surpasser ou d'exclure des bioalissures nuisibles potentielles (Getchis 2014). L'ensemencement de *M. edulis* à densité moyenne (~250 individus par 30 cm de boudins de moules), comparativement à un ensemencement à densité faible (90 individus pour 30 cm de boudin) et forte (500 individus pour 30 cm de boudin), a été associé à la biomasse la plus faible des *C. intestinalis* nouvellement établies pendant les mois d'été (Ramsay *et al.* 2008). Toutefois, la variation de la densité de mise en charge (226, 453 et 679 individus/m²) pour le grossissement biologique de *C. gigas* n'a pas réduit de façon notable l'intensité des bioalissures (Marshall et Dunham 2013). Même si le résultat de l'augmentation de la densité de mise en charge des mollusques sur les taux et l'abondance des bioalissures peut varier en fonction d'un certain nombre de facteurs (p. ex. espèces d'élevage, température, saison, stade biologique), cette pratique d'élevage proactive peut aider à réduire l'intensité des bioalissures des bivalves et des macroalgues dans les sites aquacoles, améliorant ainsi la probabilité que des traitements chimiques efficaces tuent toutes les bioalissures restantes sur les espèces d'élevage avant leur déplacement à des fins d'introduction et de transfert.

Il existe d'autres pratiques d'élevage normalisées pour lutter contre les EAE dans l'élevage de bivalves marins au Canada, notamment en coulant les bivalves d'élevage dans des eaux plus profondes et en pratiquant la rotation périodique ou le retournement des enclos de

conchyliculture à la surface pour favoriser la dessiccation régulière des biosalissures. Certains mytiliculteurs ont testé le coulage de filières de moules (*M. edulis*) pour les désencrasser naturellement du crabe commun (*Cancer irroratus*) et considèrent cette technique comme une méthode efficace de lutte biologique, car ils ont observé visuellement une réduction des salissures des moules sur le terrain (Leblanc *et al.* 2003). Ainsi, cette méthode préventive de lutte contre les biosalissures était couramment utilisée deux à trois fois au cours de la saison de croissance par l'industrie mytilicole de l'Île-du-Prince-Édouard. Bien que le poids humide des moules ait augmenté et que les coquilles des moules provenant des boudins désencrassés aient été plus longues que celles des moules des boudins témoins, les indices d'état des moules des boudins désencrassés étaient inférieurs à ceux des témoins et la méthode s'est avérée inefficace pour réduire de façon notable les salissures des moules sur une période de 7 mois (LeBlanc *et al.* 2003). Bien que la rotation ou le retournement périodique des enclos de mollusques puisse être plus efficace pour réduire les salissures sur les mollusques ou les engins de culture que la modification de la profondeur des mollusques et des engins pour la lutte biologique naturelle, cette méthode est principalement limitée aux espèces d'élevage robustes telles que les huîtres. Au Nouveau-Brunswick et à l'Île-du-Prince-Édouard, certains ostréiculteurs contrôlent donc les organismes salissants indigènes en retournant les parcs à huîtres 1 jour (24 heures complètes) par semaine de mai/juin à octobre, exposant ainsi divers côtés des parcs et des huîtres à l'air (Gill *et al.* 2008; Mallet *et al.* 2009). Le retournement du système OysterGro® et des poches à huîtres s'est avéré efficace pour lutter non seulement contre les espèces envahissantes *B. violaceus*, *S. clava* et *C. intestinalis*, mais aussi contre les salissures indigènes sur les huîtres et les engins d'élevage à l'Île-du-Prince-Édouard dans la plupart des environnements, avec une mortalité minimale des huîtres (<5 %) (Gill *et al.* 2008). Dans les zones où les cirripèdes sont fortement établis, le retournement des poches flottantes pour permettre la dessiccation en surface a été efficace pour éliminer les cirripèdes (*Balanus improvisus*) et les moules (*M. edulis*) établis sur les poches d'huîtres (*C. virginica*), mais pas nocifs pour les huîtres dans les poches (Mallet *et al.* 2009). Il a été recommandé de retourner les poches flottantes d'huîtres après l'établissement des cirripèdes (une fois à la mi-août) et celui des moules (une fois à la mi-octobre), cette méthode étant probablement suffisante pour contrôler la majeure partie des biosalissures sur les poches d'huîtres (Mallet *et al.* 2009). Lors d'essais subséquents (de 2012 à 2014), Mallet (Mallet Research Services Ltd., données inédites) a déterminé que la fréquence optimale du retournement pour éliminer les salissures par les cirripèdes, les moules et d'autres huîtres sur les huîtres d'élevage était toutes les 2 semaines, mais il a noté que cette opération avait une incidence sur la croissance des huîtres. D'après ses résultats, le protocole de dessiccation le plus recommandé pour le contrôle des biosalissures consiste à retourner les cages OysterGro® pendant une période de dessiccation de 48 heures pour les huîtres de grande taille (>50 mm), mais de retourner les poches flottantes contenant de petites huîtres (<50 mm) seulement pendant 24 heures toutes les trois semaines de juin à septembre. Cette procédure préventive doit être effectuée en tenant compte de l'intensité des biosalissures et en évitant le stress thermique excessif en réduisant le temps d'exposition lorsque les températures de l'air dépassent 25 °C (Mallet, Mallet Research Services Ltd., données inédites). Dans certaines régions où les salissures par les EAE de tuniciers sont importantes, Gill et ses collaborateurs (2008) ont montré que le retournement des poches flottantes d'huîtres toutes les deux semaines, une fois que les tuniciers commencent à s'établir, devrait maintenir les poches flottantes propres et exemptes de salissures. Bien que cette méthode de dessiccation puisse réduire les salissures par les espèces de biosalissures problématiques sur les petites et les grandes huîtres à l'échelle d'une ferme aquacole sur une plus longue période, elle peut ne pas s'appliquer à tous les stades biologiques (p. ex. naissain de mollusques ou juvéniles plus petits) avant leur déplacement dans un autre plan d'eau pour atteindre la maturité. Lors du transfert de naissain de mollusques ou de très petits juvéniles dans un autre site ou une autre exploitation à des fins de grossissement, une méthode

d'atténuation réactive différente (c.-à-d. un traitement physique ou chimique) pour ces stades biologiques plus petits est probablement nécessaire pour réduire le risque d'introduction ou de transfert des EAE.

3.3.2. Gradients de profondeur et contrôle biologique

Dans la culture de bivalves en suspension, la densité des biosalissures a tendance à diminuer à mesure que la profondeur augmente (Claereboudt *et al.* 1994; MacNair *et al.* 2006; Nell 2007; Fitridge *et al.* 2012; Watts *et al.* 2015), probablement en raison des exigences d'établissement propres à chaque espèce, qui sont liées à divers facteurs environnementaux tels que l'intensité lumineuse, la température, la pression, la nourriture et les nutriments (Cowie 2009). Par exemple, l'ajustement de la profondeur des filières de macroalgues peut réduire au minimum l'établissement ou la survie de quelques organismes de biosalissures (Getchis 2014). En plus des gradients de profondeur, l'orientation de la surface peut être un facteur important à prendre en compte, car certaines espèces utilisées comme agents de contrôle biologique se sont avérées plus efficaces sur les surfaces verticales que sur les surfaces diagonales ou sur la face inférieure des surfaces (Atalah *et al.* 2016).

La gestion des biosalissures marines en aquaculture par le contrôle biologique a donné des résultats variables, selon les espèces cultivées, les méthodes et les emplacements d'élevage, ainsi que le choix et la densité des espèces de contrôle biologique. La faune d'invertébrés benthiques peut être utile pour contrôler naturellement la croissance des EAE biosalissantes. Par exemple, on sait que de petits escargots des familles des Cypraeidae et des Lamellariidae, ainsi que certaines espèces de crabes, se nourrissent de *B. violaceus*, de *B. schlosseri* et d'autres ascidies coloniales au Japon (Arakawa 1980). À l'Île-du-Prince-Édouard, les boudins de moules sur les filières sont abaissés temporairement (de 7 à 10 jours) dans la colonne d'eau jusqu'à ce qu'ils effleurent le fond marin afin d'encourager l'élimination des salissures marines, comme la deuxième série de naissains de moules, des boudins par les crabes communs (*C. irroratus*) et les étoiles de mer (ministère de l'Agriculture, des Pêches et de l'Aquaculture de l'Île-du-Prince-Édouard 2003). Étant donné que les crabes communs indigènes consommaient beaucoup plus de *C. intestinalis* que les crabes verts envahissants (*C. maenas*) (Carver *et al.* 2003), on a présumé que l'abaissement des boudins de moules encrassés plus près du fond marin (c.-à-d. le fait de donner aux crabes un meilleur accès aux boudins encrassés) était une méthode naturelle de contrôle biologique potentiellement bénéfique pour l'élimination des EAE et des espèces indigènes salissantes (MacNair, ministère des Pêches et des Collectivités de l'Île-du-Prince-Édouard, comm. pers.).

L'effet de broutage de la crevette à rostre cours indigène du Chili (*Rhynchocinetes typus*) a été testé sur des pétoncles péruviens (*Argopecten purpuratus*) dans des paniers japonais, montrant que *R. typus* avait réduit d'environ 25 % la couverture du bryozoaire envahissant *B. neritina* et les densités des tuniciers *C. intestinalis* et *Pyura chilensis* d'environ 15 %, soit une diminution globale de 50 % des salissures sur les filets (Dumont *et al.* 2009). De plus, les pétoncles affichaient une mortalité plus faible et une croissance légèrement plus élevée lorsque des crevettes brouteuses étaient présentes que lorsqu'elles étaient absentes (Dumont *et al.* 2009). On a constaté que l'oursin bonnet de prêtre indigène (*Tripneustes gratilla*) réduisait considérablement l'abondance de l'algue envahissante *Kappaphycus* spp. dans un environnement semi-contrôlé (parcs clôturés construits autour de trois parcelles récifales naturelles de 0,25 m²) en cinq mois (Conklin et Smith 2005). Dans la mer d'Irlande, les oursins (*Echinus esculentus* et *Psammechinus miliaris*) et les bernard-l'hermite (*Pagarus* spp.) ont éliminé efficacement les salissures des paniers japonais de coquilles Saint-Jacques (*Pecten maximus*), réduisant le poids des salissures sur les filets d'environ 50 % et limitant considérablement les salissures hydroïdes (à entre 0 et 10 %) sur les coquilles des pétoncles

(Ross *et al.* 2004). En fait, les oursins ont été considérés comme l'organisme de contrôle biologique le plus efficace testé, éliminant efficacement les hydroïdes (*Tubularia* sp. et *Bougainvillia* sp.) et les tuniciers solitaires (*Ascidia* sp.) des filets de pétoncles et supprimant ainsi la nécessité de nettoyer manuellement les filets, une opération exigeante en main-d'œuvre (Ross *et al.* 2004). De ce fait, la polyculture des pétoncles (*P. maximus*) et des oursins a été suggérée comme méthode efficace et respectueuse de l'environnement d'atténuation des bio-salissures pour la culture du pétoncle (Ross *et al.* 2004). Au Venezuela, l'oursin multicolore (*Lytechinus variegatus*) a également réduit les salissures sur les filets de culture suspendus (de 74 %) et sur les coquilles de l'huître perlière (*Pinctada imbricata*) (de 71 %) (Lodeiros et García 2004). En Colombie-Britannique (Canada), des oursins verts (*Strongylocentrotus droebrachiensis*) ont été élevés avec des moules (*Mytilus* spp.) afin d'atténuer les bio-salissures sur les filets anti-prédateurs entourant les moules (Sterling *et al.* 2016). Bien que la densité des oursins n'ait pas eu d'incidence considérable sur la croissance des moules, des densités plus fortes (90 et 120 individus/filet) ont réduit l'intensité des salissures (le pourcentage d'occlusion nette) sur les filets d'environ 40 % comparativement à ceux dont la densité d'oursins était plus faible (30 individus/filet) (Sterling *et al.* 2016). Une étude canadienne en laboratoire a révélé que même si l'oursin *S. droebrachiensis* était efficace pour brouter les ascidies envahissantes (*S. clava*, *B. schlosseri*, *B. violaceus* et *D. vexillum*), il choisissait de brouter d'autres aliments qu'il préfère (le varech) plutôt que les ascidies lorsqu'il avait le choix (Epelbaum *et al.* 2009). De plus, le broutage des oursins peut être moins efficace pour réduire les bio-salissures lorsque les salissures sont bien établies; une étude canadienne a révélé que *S. droebrachiensis* n'a pas réussi à contrôler les salissures par le tunicier colonial *D. vexillum* sur des *C. gigas* fortement encrassées (Switzer *et al.* 2011).

Bien que les brouteurs puissent contribuer à la gestion réussie des bio-salissures pour une culture de mollusques donnée, ils peuvent dans certains cas également contribuer à la propagation accidentelle de certains organismes de bio-salissures. S'ils se trouvent dans des conditions environnementales optimales pour s'épanouir, les bigorneaux (*Littorina littorea*) ont présenté un grand potentiel de lutte contre les algues dans l'ostréiculture (*C. gigas*) dans le nord-ouest de l'Espagne en réduisant le temps de grossissement, la main-d'œuvre et les coûts de production en broutant diverses espèces de macroalgues (*Enteromorpha compressa*, *E. prolifera*, *Ulva* sp., *Ceramium nodulosum* et *Polysiphonia* sp.) (Cigarria *et al.* 1998). Cependant, on soupçonnait que le broutage par le bigorneau (*Littorina* spp.) des frondes de l'algue non indigène *Sargassum muticum* dans le sud de l'Angleterre avait favorisé la propagation de cette algue en coupant des fragments fertiles partis ensuite à la dérive (Critchley *et al.* 1986).

Des essais menés en Chine avec le poisson-lapin à point nacré (*Siganus fuscescens*) ont réussi à réduire les bio-salissures sur les bivalves tout en améliorant leur rendement de croissance sur six mois (Li *et al.* 2018b). Certaines espèces de poissons, ainsi que des invertébrés herbivores (p. ex. des amphipodes et des isopodes), ont été utilisées comme méthodes de contrôle biologique pour la culture de macroalgues (voir des études et des auteurs précis dans Bannister *et al.* 2019), avec des résultats mitigés.

3.3.3. Méthodes manuelles et mécaniques de retrait

L'élimination des organismes de bio-salissures peut se faire en nettoyant manuellement ou mécaniquement les organismes d'élevage et les structures sur lesquelles et dans lesquelles ils sont cultivés ou simplement en déplaçant les espèces cultivées des structures salies sur ou dans des structures propres. Bien que coûteux et long, le nettoyage ou le changement des parcs de culture (p. ex. filets, poches en filet, plateaux, cages) peut être bénéfique pour certaines espèces d'élevage. Par exemple, le changement systématique des filets pour éliminer

les organismes salissants a entraîné une augmentation de 68 % de la masse des muscles adducteurs du pétoncle géant (*P. magellanicus*) dans la baie des Chaleurs (Canada; Claereboudt *et al.* 1994). Le changement de filet est la pratique normale pour traiter les établissements importants de *C. intestinalis* et d'autres ascidies dans la pectiniculture sur la côte Est, bien que les pétoncles aient tendance à être plus sensibles au stress que divers organismes salissants et doivent être manipulés avec soin (Carver, Mallet Research Services Ltd., comm. pers.). Le raclage à la main et le rinçage à l'eau de mer pourraient être la seule option pour traiter les pétoncles avant les déplacements (Carver, Mallet Research Services Ltd., comm. pers.). Le changement de parc est une pratique établie dans la culture commerciale en plateaux suspendus de *C. gigas* en Colombie-Britannique (Canada).

Le nettoyage manuel par brossage, raclage, culbutage ou lavage sous pression a été utilisé pour éliminer les invertébrés et les macroalgues biosalissants (Nell 2007; ministère de l'Agriculture et de l'Aquaculture du Nouveau-Brunswick 2008; Paetzold et Davidson 2010; Arens *et al.* 2011a, b; Paetzold *et al.* 2012; Getchis 2014; Bannister *et al.* 2019; Hood *et al.* 2020; partenariats COI-UNESCO et FEM-PNUD-OMI GloFouling 2022). Des méthodes de nettoyage manuel indirect (p. ex. Wave-Brush), se déplaçant librement et indépendamment sous l'influence des vagues et des courants, ont été utilisées pour l'autonettoyage de conteneurs d'huîtres empilés (Sala et Lucchetti 2008). Le nettoyage manuel direct et régulier des biosalissures sur les coquilles d'huîtres perlières (*Pinctata* spp.) a toujours été lié à l'amélioration du rendement des huîtres sans effets délétères sur leur survie (Taylor *et al.* 1997; Southgate et Beer 1997, 2000). Taylor et ses collaborateurs (1997) ont recommandé un nettoyage mensuel des huîtres afin de maximiser leur croissance et de réduire les déformations des coquilles.

La modification des niveaux d'envasement près de certaines espèces d'élevage peut influencer leur survie ou prévenir leur infestation. Par exemple, il a été démontré que l'étouffement était une méthode manuelle très efficace pour tuer les bigorneaux perceurs en enterrant ces mollusques dans une fine couche du dépôt du fond (Loosanoff 1960). La profondeur à laquelle les cages à huîtres sont placées semble directement proportionnelle au niveau d'infestation par les vers à boue (c.-à-d. que les huîtres dans les cages les plus proches du fond marin ont tendance à être plus infestées; Ruellet 2004). Dans la culture des huîtres sur le fond, l'envasement des huîtres a donné des résultats contradictoires avec un succès irrégulier dans la lutte contre les infestations par le ver à boue (Morse *et al.* 2015). De plus, quelques études ont montré que des infestations par le ver à boue se produisent encore chez les huîtres cultivées en surface, même lorsque les niveaux d'envasement de la colonne d'eau sont élevés (Loosanoff et Engle 1943; Clements *et al.* 2018).

Au Canada, le nettoyage mécanique des organismes dans les sites de conchyliculture peut avoir lieu plusieurs fois au cours de la saison de croissance, ainsi que pendant le traitement final des mollusques adultes avant l'emballage pour le transport ou la vente. En règle générale, les moules peuvent être nettoyées mécaniquement ou manuellement lors de la collecte et de la récolte du naissain pour les dégrouper, les trier par tailles et les remettre dans des boudins pendant l'entretien des cultures (double boudinage au besoin) et lorsque les adultes sont récoltés pour la vente. Les huîtres peuvent elles aussi être nettoyées lorsque le naissain est recueilli et récolté pour le tri par tailles et la remise dans des poches ou le déplacement dans des parcs plus grands ou plus propres pendant l'entretien régulier des cultures (culbutage et éclaircissage au besoin) et lors de la récolte finale (Ramsay, ministère des Pêches et des Collectivités de l'Île-du-Prince-Édouard, comm. pers.). Cependant, l'élimination manuelle ou mécanique de certains organismes biosalissants dans le milieu marin peut causer une fragmentation (Paetzold et Davidson 2012), qui entraîne une propagation encore plus poussée des EAE. En raison de la repousse rapide de ses tissus résiduels et de l'absence de prédateurs

herbivores indigènes, l'algue envahissante *Kappaphycus* spp. s'est rapidement rétablie après un retrait manuel exigeant en main-d'œuvre à Hawaï (Conklin et Smith 2005). La cueillette à la main de l'algue non indigène *S. muticum* dans le sud de l'Angleterre a été jugée très exigeante en main-d'œuvre et en temps (Gray et Jones 1977); elle a donc été abandonnée comme méthode de retrait pour l'élimination à grande échelle (Critchley *et al.* 1986). Selon la sensibilité écologique des zones touchées et en l'absence de stratégies de contrôle chimique ou biologique, Critchley et ses collaborateurs (1986) ont recommandé d'utiliser le nettoyage mécanique par aspiration comme stratégie d'élimination uniquement en dernier recours, puisque la régénération due à la fragmentation pourrait encore se produire. Afin de prévenir le rétablissement des macroalgues indésirables, le retrait manuel des *Sargassum horneri* des récifs rocheux du sud de la Californie (É.-U.) a été jugé plus efficace lorsqu'il était effectué sur de plus grandes zones (>60 m²) dans des sites d'introduction ciblés et nouveaux et pendant les années où l'eau était plus fraîche, favorisant la croissance et la production d'algues indigènes (Marks *et al.* 2017).

Même si le retrait manuel périodique des épiphytes et des animaux biofouling est couramment pratiqué sur les infrastructures ou pour certaines espèces de macroalgues/bivalves d'élevage, elle demeure exigeante en main-d'œuvre et peut endommager les espèces d'élevage (Switzer *et al.* 2011; Bannister *et al.* 2019; voir plus de références dans partenariats COI-UNESCO et FEM-PNUD-OMI GloFouling 2022). De ce fait, les contrôles biologiques propres à l'espèce sont de plus en plus considérés comme la méthode de nettoyage des biofouling qui endommage le moins les algues et les bivalves d'élevage (Bannister *et al.* 2019; partenariats COI-UNESCO et FEM-PNUD-OMI GloFouling 2022).

4. DISCUSSION

Bien que certaines méthodes proactives aient été brièvement mentionnées dans les présents travaux, cette analyse documentaire résume principalement l'efficacité des traitements physiques et chimiques existants pour éliminer ou tuer diverses EAE (méthodes réactives) ainsi que les effets de ces traitements sur les espèces de mollusques et de macroalgues déplacées. Plusieurs traitements (p. ex. séchage à l'air, eau douce, eau de mer chauffée, acide acétique, saumure) ont été jugés efficaces pour tuer certaines EAE, tout en n'ayant peut-être pas d'effet sur les espèces déplacées. Cependant, les traitements étaient fondamentalement propres à l'espèce et à l'environnement, avec de grandes fourchettes en pourcentage de mortalité des EAE et de survie des espèces déplacées par rapport à la durée, à l'intensité ou à la méthode d'application; à l'emplacement; à la période de l'année et à l'espèce. En raison de cette dépendance à l'égard du contexte, il est difficile de tirer des conclusions générales concernant le traitement des EAE dans les trois océans du Canada et leurs répercussions sur les espèces d'intérêt qui sont déplacées. Dans de nombreux cas, des traitements plus stricts ou plus sévères sont généralement nécessaires (p. ex. températures plus chaudes, concentrations chimiques accrues et temps d'exposition plus longs) pour qu'un traitement donné soit efficace pour tuer le plus grand nombre d'EAE ciblées. D'après les résultats des traitements propres aux espèces présentés dans les tableaux 5 à 10, nous avons déterminé ceux qui répondaient aux critères « efficace » pour tuer l'EAE (mortalité à 100 %) sans avoir d'incidence sur les espèces déplacées (survie de 90 à 100 %) pour guider les décisions de gestion futures (tableaux 12 et 13 pour les traitements physiques et chimiques, respectivement). Les niveaux d'incertitude associés sont présentés pour chaque EAE ou groupe fonctionnel pour la mortalité des EAE et pour la survie des espèces déplacées.

4.1. TRAITEMENTS PHYSIQUES LÉTAUX POUR LES EAE ET LES ÉPIBIONTES AVEC UNE INCIDENCE NULLE OU FAIBLE SUR LES MOLLUSQUES

Parmi les différentes options de traitements physiques présentées dans la documentation, seules celles qui étaient pleinement efficaces (mortalité à 100 %) pour tuer un large éventail d'EAE tout en assurant la survie (de 90 à 100 %) des espèces déplacées ont été prises en compte pour une évaluation plus approfondie et sont présentées dans un tableau sommaire (tableau 12). Selon ces critères de sélection, au moins une option de traitement pour chaque type de traitement physique (lavage sous pression, séchage à l'air, eau douce, chaleur) a été retenue et les traitements les plus utiles pour chaque type de traitement sont présentés (tableau 12). Pour chaque option de traitement retenue, les résultats obtenus (« efficace », « inefficace » ou « aucune donnée ») pour chaque EAE/groupe taxonomique et espèce déplacée sont présentés dans le tableau sommaire, avec leur niveau d'incertitude correspondant (le cas échéant). Étant donné que nous n'avons trouvé que des données limitées pour certains traitements physiques (jet d'eau douce, jet d'eau douce + séchage à l'air, eau douce chauffée), elles ne pouvaient pas être considérées comme des options viables pour traiter une vaste gamme d'EAE.

4.1.1. Eau de mer sous pression

La documentation publiée contenait relativement peu d'information sur les traitements à l'eau de mer sous pression (à basse ou à haute pression) pour les EAE marines (ou les épibiontes marins) et les données limitées disponibles portaient principalement sur le retrait des organismes des infrastructures (p. ex. boudins de moules, poches/plateaux d'huîtres) plutôt que sur les effets du traitement sur la mortalité des EAE ou les effets sur les mollusques. Il est donc très difficile de déterminer un traitement précis à l'aide d'eau de mer sous pression qui pourrait s'appliquer à l'ensemble des EAE en ayant des répercussions nulles ou faibles (survie >90 %) sur les mollusques déplacés (tableau 12). Seules quatre publications ont indiqué que l'eau de mer à haute pression (de 700 à 2 000 lb/po²) pendant diverses durées (jusqu'à 30 secondes) pourrait être une méthode efficace (mais pas toujours à 100 %) pour éliminer certaines macroalgues et certains tuniciers sur les mollusques d'élevage (Coutts 2006; Forrest et Blakemore 2006; Paetzold *et al.* 2012; Ramsay 2014a). Une pression élevée (2 000 lb/po²) éliminerait complètement les jeunes stades des EAE de macroalgues (Forrest et Blakemore 2006) et *D. vexillum* (lorsqu'elle est suivie d'une période de séchage à l'air de 48 heures; Coutts 2006). Cependant, les études qui ont évalué les effets du lavage à haute pression sur la survie des espèces déplacées ont surtout utilisé une pression de 700 lb/po² ou moins, ce qui a conduit à la suggestion que cette pression pourrait être une option viable (tableau 12). Compte tenu du nombre limité d'études, les jets à haute pression à 700 lb/po² pendant 10 secondes n'ont pas été efficaces pour éliminer *B. schlosseri* et *B. violaceus*, les petites et les grandes *M. edulis*, *C. maenas*, les gastéropodes ou les étoiles de mer, tandis qu'une pression légèrement inférieure, entre 400 et 600 lb/po² s'est avérée efficace sur *C. intestinalis*, bien qu'aucune durée de traitement n'ait été fournie.

Nous n'avons trouvé aucune donnée sur la mortalité pour d'autres taxons d'EAE et sur la survie de presque tous les mollusques d'élevage sélectionnés. Curtis et ses collaborateurs (2021), cependant, ont constaté que le lavage sous pression avait des conséquences négatives sur les grosses huîtres élevées en grappes sur des filins de suspension, car ils ont observé des pertes importantes (en raison du fait que les huîtres avaient été « soufflées » des grappes par le jet) de *C. gigas* avec un lavage à haute pression ($\geq 2\,000$ lb/po²) après seulement 10 secondes, et des pertes nettement plus importantes après 30 secondes. Malgré ces pertes, les auteurs ont constaté que les coquilles d'huîtres étaient demeurées en bon état sous une pression de 2 000 lb/po², mais que leur état était de passable à mauvais avec une pression de 3 000 lb/po².

Pour prévenir la perte d'huîtres, ils ont suggéré de placer des filets derrière les grappes d'huîtres pour récupérer les individus soufflés pendant le traitement. Ils ont également observé que les huîtres étaient beaucoup plus touchées par le traitement par lavage sous pression en juin qu'en juillet, ce qui signifie une certaine variation de la saisonnalité dans les répercussions (Curtis *et al.* 2021); d'autres facteurs pourraient donc également être importants si cette méthode était adoptée à grande échelle au Canada.

Une autre conséquence négative du lavage sous pression pour éliminer les bio-salissures des bivalves d'élevage dans le milieu marin est la fragmentation des organismes éliminés (Paetzold et Davidson 2010; Paetzold *et al.* 2012; Curtis *et al.* 2021), qui pourrait accroître le risque de propagation des EAE, en particulier des tuniciers coloniaux et solitaires. Cette méthode a été abandonnée dans certaines régions du Canada, car les effets non intentionnels remarqués dans les essais de lavage à haute pression ont indiqué que les *C. intestinalis* non endommagés étaient capables de se fixer à nouveau à un nouveau substrat, tout comme les individus endommagés, ce qui augmentait probablement le rejet de gamètes (Carver, Mallet Research Services Ltd., comm. pers.). Ainsi, lorsqu'on utilise le lavage sous pression comme traitement, des mesures de contrôle sont nécessaires pour éviter le rejet de propagules des EAE dans le milieu marin.

L'eau de mer sous pression à 700 lb/po² pendant 10 secondes était la seule option qui assurait la survie d'au moins une espèce déplacée (*M. edulis*). Cette option de traitement n'a pas eu d'incidence sur les petites (incertitude modérée) ou les grandes (incertitude élevée) *M. edulis*, mais n'a pas non plus été efficace sur les EAE pour lesquelles l'information était disponible. L'eau de mer sous pression avec une plus grande force (p. ex. 2 000 lb/po²) est probablement efficace sur quelques EAE (*D. vexillum* et gamétophytes des macroalgues), mais aucune donnée n'était disponible sur les effets de ce traitement sur la plupart des espèces déplacées. Compte tenu du manque de données, des recherches supplémentaires sur l'efficacité des jets à basse et à haute pression sur les EAE marines et sur la survie des mollusques déplacés sont nécessaires.

4.1.2. Séchage à l'air

Le séchage à l'air est couramment mentionné dans la documentation primaire et secondaire (p. ex. rapports techniques) comme une méthode de contrôle des EAE marines. Ce traitement s'est avéré efficace (bien qu'il nécessite de longs temps d'exposition) pour tuer de nombreux taxons salissants dans bien des contextes d'application différents (Medcof 1961; Arakawa 1980; MacNair 2002; Coutts et Forrest 2005; Davidson *et al.* 2005; MacNair *et al.* 2006; Pannell et Coutts 2007; Carman *et al.* 2010; Hillock et Costello 2013; Hopkins *et al.* 2016, Bernier *et al.*, MPO, données inédites). Comme l'ont décrit Hillock et Costello (2013) et Inglis et ses collaborateurs (2012), cette méthode peut être facilement appliquée dans de nombreuses situations, notamment pour les transferts en aquaculture. Cependant, l'efficacité de ce traitement dépend de l'abondance des organismes présents, de l'espèce, du stade biologique et des conditions environnementales locales (température, humidité relative). Par exemple, il pourrait falloir de 2 à 8 semaines à 10 °C et dans des conditions d'humidité relative élevée, pour obtenir une efficacité à 100 % pour tuer *S. clava* et les macroalgues, respectivement (Forrest et Blakemore 2006; voir des exemples de temps de séchage à l'air pour certains groupes dans l'examen de Hilliard et Polglaze 2006). Des temps d'exposition aussi longs ne peuvent être considérés comme efficaces dans le contexte des déplacements des mollusques et des macroalgues d'élevage, et il convient d'étudier de manière plus approfondie des durées plus courtes pour les traitements par exposition au séchage à l'air avant de les utiliser selon les suggestions.

En tant que traitement létal potentiel pour un large éventail de taxons d'EAE avec des répercussions nulles ou faibles (≥ 90 % de survie des espèces déplacées), un traitement par séchage à l'air pendant 24 heures serait probablement suffisant pour tuer *C. intestinalis* (faible incertitude); *B. schlosseri*, *B. violaceus* et *S. clava* (incertitude modérée); et *D. listerianum*, *D. vexillum*, *A. aspersa*, les petites *M. galloprovincialis*, certains polychètes, *Codium fragile* et quelques macroalgues (incertitude élevée; tableau 12). Cependant, ce traitement n'est probablement pas efficace contre les petites *M. edulis*, les grandes *M. galloprovincialis*, les petites *C. virginica*, les gastéropodes, les cirripèdes, les bryozoaires et les éponges. Il convient de faire remarquer que nous avons relevé des niveaux d'efficacité contradictoires (« efficace » et « inefficace ») des traitements par séchage à l'air dans différentes études pour la même espèce ou dans le même groupe taxonomique, en particulier pour *C. fragile* (MacNair 2002; Kim et Garbary 2007) et diverses espèces de polychètes (Forrest *et al.* 2007; Asgari et Jahangard 2012). Par exemple, Kim et Garbary (2007) ont constaté qu'une exposition à l'air de 17 heures était efficace pour tuer *C. fragile*, tandis qu'une période de 24 heures était considérée comme inefficace par MacNair (2002). Ces résultats contradictoires concernant l'efficacité pour la même espèce pourraient s'expliquer par le fait que l'efficacité du séchage à l'air est fortement corrélée aux conditions de température et d'humidité, qui sont probablement différentes d'une étude à l'autre. De même, les résultats contradictoires pour les polychètes pourraient être un artefact du regroupement de tous les polychètes biosalissants, y compris ceux protégés par des tubes ou par des coquilles de bivalves (espèces perceuses) et ceux qui ne sont pas protégés par une enveloppe rigide. Un traitement par séchage à l'air pendant 24 heures permettrait la survie des petites *M. edulis* et *C. virginica* (incertitude modérée) et des grandes *M. galloprovincialis* (incertitude élevée), même si les petites *M. galloprovincialis* seraient probablement touchées.

Aucune donnée n'était disponible pour de nombreux taxons (grandes *C. virginica*, petites *C. gigas*, *O. edulis*, *A. irradians*, *P. magellanicus*, *C. mutica*, *H. sanguineus*, étoiles de mer, hydrozoaires), mais les grandes *M. edulis* (avec ajout de chaleur; Seuront *et al.* 2019), les grandes *C. gigas* (de 72 heures à 16 jours; Hopkins *et al.* 2016) et *C. maenas* (7 j à 29 °C; Darbyson *et al.* 2009) ont été tuées efficacement en utilisant des temps de séchage prolongés ou en ajoutant de la chaleur.

En résumé, le séchage à l'air, suivi d'une immersion dans de l'eau de mer chauffée, étaient les traitements physiques les plus étudiés dans la documentation. L'option de séchage à l'air pendant 24 heures était efficace pour tuer plusieurs EAE tout en ayant un effet sur quelques espèces déplacées seulement. Reposant surtout sur des résultats qualitatifs, cette option de traitement était principalement efficace sur les tuniciers, mais pas sur les organismes à coquille, à enveloppe dure ou calcaires. D'autres recherches sur les effets du séchage à l'air comme traitement des bivalves sont nécessaires, car nous n'avons trouvé aucune donnée sur la survie pour la majorité des espèces déplacées examinées (tableau 12).

4.1.3. Immersion dans de l'eau douce ou jet d'eau douce (avec et sans séchage à l'air)

Il a été démontré que les traitements à l'eau douce sont généralement sans danger pour les espèces d'élevage (p. ex. *M. edulis* et *C. virginica*), peuvent être facilement appliqués dans certaines situations et pourraient être un outil utile pour contrôler de nombreuses EAE marines. Plusieurs publications primaires et rapports techniques ont mentionné l'immersion dans de l'eau douce comme un traitement efficace pour tuer les tuniciers. Cependant, aucun consensus ne se dégageait dans la documentation sur les durées d'immersion efficaces pour atteindre une mortalité de 100 %, avec des durées allant de 3 à 24 heures entre les espèces de tuniciers et au sein de celles-ci (Coutts et Forrest 2005; MacNair *et al.* 2006; Dijkstra *et al.* 2008; McCann

et al. 2013; Ramsay 2015a, b, c; Carman *et al.* 2016). Dans l'ensemble, un traitement par immersion de 24 heures dans de l'eau douce serait probablement efficace pour tuer de nombreuses EAE marines, notamment *S. clava*, *C. fragile* et *C. mutica* (faible incertitude); *B. schlosseri*, *B. violaceus*, divers polychètes (incertitude modérée), *D. vexillum* et les macroalgues (incertitude élevée) et les éponges (très grande incertitude; Medcof 1961; Takeuchi *et al.* 2003; Forrest et Blakemore 2006; Ashton *et al.* 2007; Kim et Garbary 2007; Moore *et al.* 2007; Nell 2007; Jute et Dunphy 2017; Landry *et al.*, MPO, données inédites; tableau 12). Cependant, il est important de noter que ce traitement est probablement inefficace pour tuer les petites *M. edulis*, les petites ou les grandes *C. virginica* et *H. sanguineus*. Bien qu'une immersion de 24 heures n'ait pas été testée sur les espèces suivantes, les immersions dans de l'eau douce n'ont pas été efficaces contre *C. intestinalis* après 12 heures (Ramsay, ministère des Pêches et des Collectivités de l'Île-du-Prince-Édouard, données inédites), les grandes *M. galloprovincialis* après 30 minutes (Asgari et Jahangard 2012), les petites et les grandes *C. gigas* après 12 heures (Nel *et al.* 1996; Nell 2007), *C. maenas* après 1 heure (McKenzie *et al.*, MPO, données inédites) et les hydrozoaires après 30 secondes (Fitridge *et al.* 2014). Il n'y avait pas de données sur la mortalité pour d'autres groupes taxonomiques d'EAE.

En ce qui concerne la survie des organismes déplacés, un traitement par immersion de 24 heures dans de l'eau douce n'aurait aucun effet (survie >90 % ou non touchée) sur les petites *M. edulis* (incertitude modérée) et les grandes (incertitude élevée) et sur les petites (très grande incertitude) *C. virginica* (Gill *et al.* 2008; Brown 2012; Mayrand *et al.* 2015; Ramsay 2015a; Comeau, MPO, données inédites; Landry *et al.*, MPO, données inédites). Bien que *C. gigas* (Nel *et al.* 1996; Rolheiser *et al.* 2012), *M. galloprovincialis* (Asgari et Jahangard 2012), *O. angasi* (substitut de *O. edulis*; Fitridge *et al.* 2014) et *P. magellanicus* (Landry *et al.*, MPO, données inédites) aient survécu à des temps d'immersion plus courts (de 30 secondes à 12 heures), on ne sait pas si ces espèces survivraient à un traitement par immersion de 24 heures et aucune donnée n'était disponible dans la documentation pour les autres espèces déplacées.

Quelques études ont révélé que la probabilité d'éliminer les tuniciers coloniaux était accrue lorsqu'ils étaient exposés à un séchage à l'air après une immersion dans de l'eau douce (Denny 2008; Brown 2012; Carman *et al.* 2016). D'après ces études, une immersion pendant 8 heures dans de l'eau douce suivie de 1 heure de séchage à l'air pourrait être efficace à 100 % pour tuer les tuniciers coloniaux (*B. schlosseri*, *B. violaceus*, *D. vexillum* et *D. listerianum*; grande incertitude), mais ce traitement n'était pas efficace contre les petites *M. edulis* et les grandes *C. virginica* (Brown 2012; Carman *et al.* 2016). Un jet d'eau douce de 10 minutes suivi d'un séchage à l'air de 1 heure serait probablement efficace pour les quatre tuniciers coloniaux (grande incertitude), mais est demeuré inefficace pour les petites *M. edulis*. Nous n'avons trouvé aucune information pour l'ensemble des autres EAE et épibiontes sélectionnés au sujet des options de traitement ajoutant un séchage à l'air à une immersion dans de l'eau douce ou un jet d'eau douce.

En ce qui concerne la survie des mollusques déplacés, nous n'avons trouvé aucune donnée sur la plupart des espèces, à l'exception des petites *M. edulis* et des grandes *C. virginica*, qui n'étaient pas touchées (grande incertitude) après une immersion de 8 heures suivie de 1 heure de séchage à l'air (tableau 12). Avec différents paramètres, *P. canaliculus* (substitut de *M. galloprovincialis*) a survécu à une immersion de 10 minutes dans de l'eau douce suivie de 24 heures de séchage à l'air (Denny 2008). *Mytilus edulis* (petite) était la seule espèce pour laquelle l'information était disponible pour un jet de 10 minutes suivi de 1 heure de séchage à l'air et n'était pas touchée (grande incertitude).

En résumé, une immersion de 24 heures dans de l'eau douce demeure une option efficace pour contrôler de nombreuses EAE, et la documentation suggère qu'elle a de très faibles

répercussions sur les moules et les huîtres. Si les tuniciers coloniaux sont les EAE ciblées, un traitement par immersion dans de l'eau douce ou jet d'eau douce combiné à un séchage à l'air serait probablement efficace. Cependant, moins d'information sur l'efficacité de ce traitement combiné (c.-à-d. immersion dans de l'eau douce ou jet d'eau douce avec séchage à l'air) était disponible pour d'autres EAE. En outre, les niveaux d'incertitude pour une immersion de 8 heures suivie d'un séchage à l'air de 1 heure et pour un jet de 10 minutes suivi d'une période de séchage à l'air de 1 heure étaient plus élevés pour les EAE et pour les espèces déplacées par rapport à une immersion plus longue de 24 heures sans séchage à l'air.

4.1.4. Immersion dans de l'eau de mer chaude

Plusieurs études ont montré que les traitements à l'eau de mer chauffée étaient efficaces contre de nombreux groupes taxonomiques d'EAE et d'épibiontes marins, mais que les températures efficaces (de 35 à 90 °C) et les durées (de 3 secondes à 2,7 heures) étaient très variables d'une espèce à l'autre et d'une étude à l'autre (Koganezawa 1972; Gonzalez et Yevich 1976; Carver *et al.* 2003; Williams et Schroeder 2004; Davidson *et al.* 2005; Rajagopal *et al.* 2005a, b; Forrest et Blakemore 2006; Mineur *et al.* 2007; McDonald 2010; Asgari et Jahangard 2012; Best *et al.* 2014; Sievers *et al.* 2019; Landry *et al.*, MPO, données inédites). D'après les résultats, la température, la durée, l'espèce et la taille de l'organisme ont eu des effets variables sur le pourcentage de mortalité, des températures plus élevées et des durées plus longues ayant tendance à être plus nocives, et les organismes de plus petite taille étant généralement plus vulnérables aux traitements thermiques (Rajagopal *et al.* 2005b; Asgari et Jahangard 2012; Sievers *et al.* 2019; Landry *et al.*, MPO, données inédites).

Parmi les différentes options de traitements à l'eau de mer chauffée présentées dans la documentation, seules celles qui étaient les plus efficaces pour tuer un large éventail d'EAE tout en assurant la survie des espèces déplacées ont été prises en compte pour une évaluation plus approfondie et sont présentées dans un tableau sommaire (tableau 12). D'après les trois options décrites dans le tableau 12 (immersions à 50 °C pendant 60 secondes, à 60 °C pendant 10 secondes et à 60 °C pendant 30 secondes), une immersion à 60 °C pendant 10 secondes semble être la plus efficace pour éliminer le plus grand nombre d'EAE tout en maintenant le plus grand nombre d'espèces déplacées en vie. Les macroalgues (Forrest et Blakemore 2006), *C. intestinalis* (Sievers *et al.* 2019; Piola et Hopkins 2012), les petites et les grandes *M. edulis* et les petites *M. galloprovincialis* (Koganezawa 1972; McDonald 2010; Sievers *et al.* 2019) ont tous été tués efficacement (incertitude modérée) à l'aide de ce traitement, ainsi que les *C. maenas* et les hydrozoaires juvéniles, bien qu'avec une grande incertitude (Asgari et Jahangard 2012; Best *et al.* 2014; Sievers *et al.* 2019). Ce même traitement pourrait être utilisé pour tuer les étoiles de mer (Medcof 1961) et *C. fragile* (Landry *et al.*, MPO, données inédites), mais l'incertitude est très grande. Cependant, cette option de traitement (60 °C pendant 10 secondes) serait probablement inefficace contre *S. clava*, les grandes *M. galloprovincialis*, les petites et les grandes *C. virginica*, les petites *C. gigas* et diverses espèces de polychètes. Nous n'avons trouvé aucune donnée sur la mortalité associée à l'immersion dans de l'eau de mer chauffée (60 °C pendant 10 secondes) pour *H. sanguineus* et certains groupes taxonomiques sélectionnés (gastéropodes et éponges; tableau 12).

Bien que ces espèces n'aient pas été testées avec les mêmes paramètres, l'immersion dans de l'eau de mer chauffée semble prometteuse (mortalité de 100 %) pour tuer *B. leachii* (substitut de *B. violaceus*), *D. vexillum* et les bryozoaires (42,5 °C pendant 20 minutes; Piola et Hopkins 2012); les *C. maenas* adultes (de 32 à 45 °C pendant 1 heure; McKenzie *et al.*, MPO, données qualitatives inédites); *C. mutica* (30 °C pendant 48 heures; Ashton *et al.* 2007); et les cirripèdes (40 °C pendant 30 minutes; Leach 2011).

En ce qui concerne les répercussions sur les espèces déplacées, quelques espèces de mollusques survivront probablement (≥ 90 %) si elles sont exposées au traitement (60 °C pendant 10 secondes) avant d'être déplacées (Nel *et al.* 1996; McDonald 2010; Piola et Hopkins 2012), notamment les petites *C. gigas* (faible incertitude), les petites *C. virginica* (55 à 65 mm; incertitude modérée) et les grandes *C. virginica* (très grande incertitude, d'après les résultats qualitatifs). Cependant, le même traitement (60 °C pendant 10 secondes) aurait probablement un effet sur les petites et les grandes *M. galloprovincialis* et *M. edulis*, les petites (35 à 45 mm) *C. virginica* et les petites *O. edulis* (Koganezawa 1972; FitrIDGE *et al.* 2014; McDonald 2010; Rousselle 2012; Mayrand *et al.* 2015; Sievers *et al.* 2019; tableau 12).

Les immersions chauffées étaient souvent courtes (60 secondes ou moins), et une durée réduite à 10 secondes nécessitait une température de 60 °C pour tuer efficacement les EAE. L'augmentation du temps d'immersion à 30 secondes à 60 °C a accru le nombre de taxons pouvant être tués, mais les petites *C. virginica* (55 à 65 mm) passent d'une survie modérément incertaine à « touchée ». Selon les cotes d'incertitude obtenues, les huîtres (traitement inefficace pour causer la mortalité) semblent plus résistantes que les moules (mortalité modérément incertaine) à la plupart des immersions chauffées (tableau 12). Plus l'eau dans laquelle les bivalves sont immergés est chaude, plus ils sont susceptibles d'être touchés, ce qui, à son tour, entraîne un niveau d'incertitude plus élevé pour leur survie, en particulier pour les petits bivalves. La prudence est de mise pour déterminer les répercussions immédiates par rapport à celles à long terme du traitement à l'eau de mer chauffée sur les mollusques. En effet, les résultats préliminaires des essais de traitement dans des installations aquacoles présentés dans la documentation ont montré que les huîtres traitées à l'eau de mer chauffée (immersion à 60 °C) étaient fortement touchées et souvent entièrement tuées en raison des effets à long terme du traitement (Mallet *et al.*, Mallet Research Services Ltd., données inédites; Ramsay, ministère des Pêches et des Collectivités de l'Île-du-Prince-Édouard, comm. pers.) – une conclusion qui n'est pas évidente à partir d'essais de courte durée.

4.1.5. Vapeur

L'application de vapeur (jet d'eau de mer chaude à 50 lb/po²) à 100 °C pendant 5 minutes serait probablement efficace pour tuer diverses EAE marines (ou épibiontes) présentes sur des espèces déplacées, avec une incertitude modérée à très élevée, y compris *S. clava*, les petites *M. edulis*, les deux tailles de *C. gigas*, les cirripèdes et plusieurs espèces de macroalgues (Davidson *et al.* 2005; Joyce *et al.* 2019). Cependant, aucune information n'était disponible pour des traitements similaires sur d'autres espèces ou groupes taxonomiques ou sur la survie de la plupart des mollusques déplacés (à l'exception des petites *M. edulis* et des deux tailles de *C. gigas*, qui étaient touchées; tableau 12). Comme très peu d'information sur la survie des mollusques aux traitements à la vapeur étaient disponibles, des recherches supplémentaires sont nécessaires avant que ce traitement ne soit considéré comme une option pour le traitement des mollusques déplacés.

4.2. TRAITEMENTS CHIMIQUES LÉTAUX POUR LES EAE ET LES ÉPIBIONTES AVEC UNE RÉPERCUSSION NULLE OU FAIBLE SUR LES MOLLUSQUES

Bien que de nombreux traitements chimiques aient été testés et se soient avérés efficaces pour réduire certaines espèces de bio-salissures, tous les types de traitement chimique ne sont pas réalisables dans un environnement de terrain à l'échelle de la conchyliculture. Nous avons comparé les options de traitement chimique qui étaient efficaces pour tuer plusieurs EAE (tableaux 6 à 7) et celles qui avaient une incidence faible ou nulle sur la survie des mollusques déplacés (tableaux 9 à 10) afin de déterminer celles qui pourraient causer une mortalité de 100 % sur un large éventail d'EAE tout en assurant la survie de 90 à 100 % des espèces

déplacées. Nous avons déterminé au moins une option pour chaque type de traitement chimique (hypochlorite de sodium, acide acétique, acide citrique, saumure, chaux hydratée, saumure + chaux hydratée, Virkon®) et résumé les options répondant à ces critères dans le tableau 13. Les résultats pour chaque EAE/groupe taxonomique (efficace, inefficace ou aucune donnée) et les espèces déplacées (non touchée, touchée et aucune donnée) sont présentés dans ce tableau avec leur niveau d'incertitude (le cas échéant).

4.2.1. Immersion dans de l'hypochlorite de sodium

Nous avons trouvé un large éventail de traitements à l'hypochlorite de sodium, avec des concentrations (de 0,006 à 5 %) et des temps d'exposition (de 5 secondes à 12 heures) variables dans la documentation (Rajagopal *et al.* 2002, 2003; Carver *et al.* 2003; William et Schroeder 2004; Coutts et Forrest 2005; Davidson *et al.* 2005; MacNair *et al.* 2006; Denny 2008; Asgari et Jahangard 2012; McCann *et al.* 2013; Haque *et al.* 2014, 2015; Haque et Kwon 2017; McKenzie, MPO, données inédites), ce qui rend difficile la comparabilité de la mortalité des EAE et de la survie des mollusques déplacés. De plus, lorsqu'on ajoute de l'hypochlorite de sodium à de l'eau de mer, les ions d'hypobromite et l'acide hypobromeux (les biocides primaires) se forment rapidement, de sorte que toutes les matières organiques dans l'eau de mer se lient à ces oxydants, les inactivant (Taylor 2006) et réduisant l'efficacité de l'hypochlorite de sodium en tant que biocide (Piola *et al.* 2009).

Quelques études sur les tuniciers coloniaux et les moules bleues font état d'une relation inverse entre la concentration d'hypochlorite de sodium et le temps d'immersion, suggérant que des concentrations plus élevées d'hypochlorite de sodium nécessitaient des temps d'exposition plus courts pour induire une mortalité de 100 % (Rajagopal *et al.* 2002, 2003; MacNair *et al.* 2006; Denny 2008; Haque *et al.* 2014, 2015). Cependant, la prise en compte de la taille (ou des stades) des moules est une considération importante pour déterminer la durée d'exposition requise pour obtenir une mortalité de 100 %, car un temps d'exposition plus long peut être nécessaire pour atteindre le même niveau de mortalité chez les grandes moules que chez les plus petites (Haque *et al.* 2005). Aucun consensus ne se dégagait dans la documentation au sujet des concentrations ou des temps d'immersion efficaces pour les études examinant des concentrations plus élevées, avec des résultats contradictoires sur la concentration la plus létale (~1 %) et les temps d'exposition les plus létaux pour *D. vexillum* (Denny 2008, mortalité de 100 % à 1 % pendant 30 secondes; McCann *et al.* 2013, de 50 à 65 % de mortalité à 1 % pendant de 5 à 30 minutes). Néanmoins, une immersion dans de l'hypochlorite de sodium à 0,5 % pendant 20 secondes a été jugée efficace pour tuer *D. vexillum* (incertitude élevée) et *B. violaceus* (très grande incertitude), tandis qu'une immersion dans 0,01 % pendant 12 heures peut tuer *S. clava* (incertitude très élevée; tableau 13). L'hypochlorite de sodium était également efficace pour tuer 100 % des macroalgues avec d'autres paramètres (0,0125 % pendant 60 minutes; Williams et Schroeder 2004; tableau 6). Cependant, la première option de traitement susmentionnée (0,5 % d'hypochlorite de sodium pendant 20 secondes) ne serait pas efficace pour tuer les petites *M. galloprovincialis*, diverses espèces de polychètes et *C. maenas*. La deuxième option de traitement à l'hypochlorite de sodium présentée dans le tableau 12 (0,01 % pendant 12 heures) était également inefficace pour les grandes *C. gigas*. En ce qui concerne la survie des espèces déplacées, les petites *M. galloprovincialis* et les grandes *C. gigas* survivront probablement à ce traitement (0,01 % pendant 12 heures) avec une incertitude élevée et très élevée, respectivement, et les grandes *M. galloprovincialis* survivraient (survie >90 %), mais avec des paramètres différents (0,5 %, de 30 secondes à 2 minutes), et les petites *M. edulis* seraient probablement touchées (0 % de survie) lorsqu'elles seraient exposées à 3 mg/L de CRT (tableau 9).

L'efficacité du jet d'hypochlorite de sodium a été mal examinée, une seule étude (Piola *et al.* 2009) ayant indiqué qu'une période d'exposition à l'air après un traitement par jet de 5 secondes (hypochlorite de sodium à 1 %) était efficace pour tuer certaines espèces de tuniciers. Cependant, une concentration plus faible (hypochlorite de sodium à 0,5 %) n'était généralement pas efficace pour tuer ces tuniciers et ces petites moules, même lorsqu'elle était suivie d'une plus longue période d'exposition à l'air (Piola *et al.* 2009).

En résumé, les options de traitement pour les immersions dans de l'hypochlorite de sodium étaient efficaces sur certaines espèces de tuniciers coloniaux et solitaires, sans répercussions sur deux espèces déplacées (*M. galloprovincialis* et *C. gigas*), mais tous les résultats s'accompagnaient d'un niveau d'incertitude élevé ou très élevé. D'autres recherches sur l'efficacité de l'hypochlorite de sodium comme méthode d'atténuation pour d'autres taxons d'EAE sont nécessaires pour mieux comprendre son efficacité globale (voir les taxons sans données dans le tableau 13).

4.2.2. Immersion dans de l'acide acétique ou jet d'acide acétique (avec et sans séchage à l'air)

L'un des traitements les mieux étudiés dans la documentation pour tuer les EAE marines était l'acide acétique (immersion/jet avec ou sans exposition à l'air). Il s'est avéré très efficace pour contrôler un grand nombre d'espèces salissantes cosmopolites, dont les tuniciers solitaires et coloniaux, les moules (*M. edulis*), les huîtres (*C. virginica*, *C. gigas*) et *C. mutica*, ainsi que certaines macroalgues, les bryozoaires, les hydrozoaires, les éponges et les vers polychètes (Carver *et al.* 2003, 2010; Coutts et Forrest 2005; Davidson *et al.* 2005; MacNair *et al.* 2006; Sharp *et al.* 2006; Forrest *et al.* 2007; Gill *et al.* 2007; Paetzold *et al.* 2008; Piola *et al.* 2009; Rolheiser *et al.* 2012; McCann *et al.* 2013; Carman *et al.* 2016; Chinnadurai *et al.* 2019; Sievers *et al.* 2019; Cahill *et al.* 2021). Bien que plusieurs options de traitement par immersion dans de l'acide acétique (de 4 à 5 % pour des durées variant de 5 à 30 minutes; de 1 à 2 % pendant 30 secondes à 10 minutes) aient été testées dans la documentation (tableau 6), seules celles (de 4 à 5 % pendant 30 secondes, 1 minute et 5 minutes) qui ont été jugées efficaces pour tuer les EAE et maintenir en vie les espèces déplacées ont été prises en compte pour la suite de l'évaluation.

D'après des études qui ont montré une mortalité de 100 %, une immersion dans de l'acide acétique entre 4 et 5 % pendant 5 minutes est probablement une bonne option de traitement pour tuer *C. intestinalis*, *B. violaceus*, les petites *M. edulis* et les bryozoaires (faible incertitude); *D. vexillum*, *S. clava*, quelques jeunes stades de macroalgues, les hydrozoaires (incertitude modérée); et *B. schlosseri*, les grandes *C. gigas*, les étoiles de mer et les polychètes (grande incertitude), mais elle n'est pas efficace pour tuer les petites et les grandes *M. galloprovincialis*, les petites *C. virginica* et les gastéropodes (tableau 12). Cependant, les grandes huîtres (*C. gigas* et *C. virginica*) et les petites et grandes moules (*M. edulis*) peuvent être touchées pendant le traitement des espèces biosalissantes à l'acide acétique entre 4 et 5 % pendant 30 secondes, 1 minute ou 5 minutes (tableau 13). Aucune donnée sur l'immersion dans de l'acide acétique n'était disponible pour de nombreux taxons (plusieurs tuniciers, *C. maenas*, *H. sanguineus*, *C. mutica* et *C. fragile*), bien que ce type de traitement chimique ait causé une mortalité de 100 % chez les éponges avec d'autres paramètres de traitement (10 % pendant 10 minutes; Carver *et al.* 2010; tableau 13). Les immersions dans de l'acide acétique entre 4 et 5 % pendant 15 secondes ont été considérées comme inefficaces (mortalité de 10 à 15 %) pour tuer les grandes *M. edulis* en tant qu'épibionte, mais leur survie était encore jugée touchée (de 85 à 90 %), car elle était inférieure à l'exigence du seuil de survie de 90 % pour les espèces déplacées (tableau 13). En utilisant d'autres paramètres, les immersions dans de l'acide acétique n'étaient pas efficaces pour les grandes *M. edulis* (de 4 à 5 % pendant 5 secondes;

Locke *et al.* 2009), les grandes *C. virginica* (de 4 à 5 % pendant 30 secondes; Carver *et al.* 2010), les petites *C. gigas* (de 4 à 5 % pendant de 15 à 60 secondes; Cahill *et al.* 2021) et les cirripèdes (de 4 à 5 % pendant 1 minute; McDonald *et al.* 2010). L'incertitude élevée, qui provient des résultats contradictoires, donne à penser que l'efficacité de deux options de traitement (30 secondes et 1 minute, de 4 à 5 %) pour causer la mortalité des polychètes pourrait être un artefact du regroupement de toutes les espèces de polychètes biosalissantes ensemble, y compris celles qui sont protégées par des tubes ou par des coquilles de bivalves (espèces perceuses) et celles qui ne sont pas protégées par une enveloppe rigide. En termes de survie, les petites et les grandes *M. edulis*, les grandes *C. virginica* et les grandes *C. gigas* ont été touchées par les trois options de traitement (30 secondes, 1 et 5 minutes) dans de l'acide acétique entre 4 et 5 %. L'information sur certaines espèces déplacées était disponible pour les deux durées plus courtes (30 secondes et 1 minute), les petites et les grandes *M. galloprovincialis* et les petites *O. edulis* ayant survécu jusqu'à une immersion de 1 minute avec une incertitude faible et modérée, respectivement. Les petites *C. gigas* ont survécu à une immersion de 30 secondes (faible incertitude), mais l'incertitude passait à modérée pour une immersion de 1 minute. Les essais de l'efficacité de l'immersion dans de l'acide acétique menés par Sievers et ses collaborateurs (2019) sur *M. galloprovincialis* visaient principalement à contrôler les tuniciers solitaires (*C. intestinalis* et *S. clava*) et l'hydroïde *E. crocea* sur les boudins de moules d'élevage afin de réduire leur propagation pendant les activités aquacoles (p. ex. transferts). De ce fait, les concentrations et les temps d'exposition testés étaient généralement faibles pour maintenir en vie les moules d'élevage. Les résultats ont prouvé que *M. galloprovincialis* a complètement survécu (100 %), mais après seulement une immersion très courte de 30 secondes dans de l'acide acétique. Il convient de souligner les résultats contradictoires, présentés dans la documentation, sur la survie des petites *C. gigas* exposées à des concentrations d'acide acétique entre 4 et 5 % pendant 30 secondes et 1 minute (Cahill *et al.* 2021), ce qui explique leur placement dans les catégories d'incertitude faible et modérée par rapport aux grandes *C. gigas*, touchées après seulement 30 secondes (Rolheiser *et al.* 2012). Les plans des expériences et les conditions environnementales pourraient expliquer les résultats contradictoires, mais une autre explication potentielle pourrait résider dans la légère différence entre les concentrations utilisées dans chaque étude : Cahill et ses collaborateurs (2021) ont utilisé de l'acide acétique à 4 % sur de petites huîtres, Rolheiser et ses collaborateurs (2012) ont testé de l'acide acétique à 5 % sur de plus grandes huîtres. La prudence est donc recommandée lors du choix de la durée et des concentrations pour une immersion dans de l'acide acétique entre 4 et 5 % pour traiter différentes tailles d'huîtres.

Les immersions dans une concentration plus élevée d'acide acétique (de 4 à 5 % plutôt que de 1 à 2 %) pendant 4 et 5 minutes, suivies d'une exposition à l'air (24 heures et 1 heure, respectivement) ont été mortelles pour un large éventail de taxons (tableau 6). Une immersion de 5 minutes dans de l'acide acétique entre 4 et 5 %, suivie de 1 heure de séchage à l'air, pourrait être une bonne option de traitement, car elle a causé une mortalité de 100 % chez les tuniciers (*B. schlosseri*, *B. violaceus*, *D. vexillum*, *D. listerianum*, *C. intestinalis* et *A. aspersa*) (Forrest *et al.* 2007; Carman *et al.* 2016) ainsi que la mortalité à 100 % des petites *M. edulis* (Carman *et al.* 2016), mais avec une grande incertitude (tableau 13). Cependant, on manquait de données pour de nombreux taxons pour cette option de traitement (tableau 13). À l'aide d'une autre option de traitement (immersion de 4 minutes avec 24 heures de séchage à l'air), *C. intestinalis*, *B. schlosseri*, *B. violaceus* et diverses espèces de macroalgues, les polychètes (incertitude élevée) et les bryozoaires (très grande incertitude) étaient tués efficacement (Forrest *et al.* 2007). Une immersion dans de l'acide acétique (de 4 à 5 %) pendant 4 minutes suivie de 24 heures de séchage à l'air n'a pas été efficace pour causer la mortalité des petites ou des grandes *M. galloprovincialis*, mais la survie de cette espèce était touchée sur le terrain (Forrest *et al.* 2007). Les petites *M. edulis* seraient touchées après les deux traitements

combinés (4 minutes suivies de 24 heures de séchage à l'air et 5 minutes suivies de 1 heure de séchage à l'air; Carman *et al.* 2016; Vickerson 2009).

Lorsque l'on compare les options les plus efficaces choisies pour l'acide acétique (tableau 13), l'ajout d'une période de séchage à l'air n'est pas plus avantageux que la courte immersion sans séchage à l'air en ce qui concerne les différentes EAE qui peuvent être tuées et la survie des espèces déplacées. Après une immersion de 5 minutes dans de l'acide acétique entre 4 et 5 % sans séchage à l'air, les espèces déplacées ont commencé à être touchées et elles l'étaient encore après l'ajout du séchage à l'air. L'acide acétique peut être nocif pour les moules et Vickerson (2009) a démontré que c'était le traitement le plus dur pour les petites *M. edulis*, comparativement aux traitements à la chaux et à la saumure. Cependant, Vickerson (2009) a observé des répercussions plus faibles sur la fixation des moules lorsque l'exposition à l'air se produisait avant l'immersion ou lorsque les moules étaient rincées avant la période d'exposition à l'air. Forrest et ses collaborateurs (2007) ont observé des résultats similaires avec *P. canaliculus* (substitut de *M. galloprovincialis*), la survie dans un contexte de terrain ayant été maximisée lorsque l'immersion était entreprise après l'exposition à l'air ou par l'ajout d'une étape de rinçage entre les deux.

En résumé, les traitements à l'acide acétique sont efficaces sur la plus grande gamme de taxons d'EAE, avec ou sans séchage à l'air. Le temps d'immersion dans de l'acide acétique entre 4 et 5 % est un facteur important à considérer pour permettre la survie des espèces déplacées, en particulier les petits organismes, qui ont tendance à être plus vulnérables à des expositions plus longues. On a montré qu'une immersion de 5 minutes dans de l'acide acétique (sans séchage à l'air) touchait déjà les mollusques déplacés et que ceux-ci l'étaient encore avec l'ajout d'une période de séchage à l'air (tableau 13). L'acide acétique était le traitement chimique le plus étudié dans la documentation et pourrait être un traitement prometteur pour les mollusques d'élevage, selon les quelques études qui ont testé de courtes immersions (moins de 1 minute). Cependant, d'autres recherches sont nécessaires pour évaluer plus précisément les valeurs optimales des concentrations d'acide acétique, des temps d'immersion et des temps d'exposition à l'air pour l'efficacité à tuer les EAE et l'effet sur les espèces déplacées (survie), ainsi que les effets de l'ajout d'une étape de rinçage ou de l'inversion des étapes de l'exposition à l'air et de l'immersion.

4.2.3. Immersion dans de l'acide citrique

D'après les trois seules études trouvées dans la documentation pour l'acide citrique (Sharp *et al.* 2006; Locke *et al.* 2009; Sievers *et al.* 2019), l'immersion pendant 10 secondes sans séchage à l'air dans de l'acide citrique (à 5 %) était efficace à 100 % pour tuer les hydrozoaires (grande incertitude), mais n'était pas efficace pour tuer *C. intestinalis*, *S. clava*, les macroalgues ou *M. galloprovincialis*, bien que les petites *O. edulis* (incertitude élevée; comme l'indique la survie de son substitut *O. angasi*) et *M. galloprovincialis* puissent survivre (tableau 13). L'immersion dans de l'acide citrique chauffé semble une meilleure option pour traiter les mollusques, en particulier pour tuer *C. intestinalis*, *S. clava* et *E. crocea* (mortalité de 100 % en chauffant de l'acide citrique à 2 ou 5 % à 50 °C pendant 10 secondes), cependant, les petites *M. galloprovincialis* étaient également tuées (mortalité de 100 %) lorsque ce traitement a été appliqué pendant plus de 20 secondes (Sievers *et al.* 2019). L'efficacité de l'acide citrique comme traitement d'atténuation demeure inconnue pour de nombreuses espèces de biosalissures comme les tuniciers coloniaux, *M. edulis*, *C. virginica*, *C. gigas*, les gastéropodes, *C. maenas*, *H. sanguineus*, *C. mutica*, les cirripèdes, les étoiles de mer, *C. fragile*, les polychètes, les bryozoaires et les éponges (tableau 13).

L'acide citrique est efficace à 100 % sur les hydrozoaires, mais n'est pas un traitement largement couvert dans la documentation. D'autres recherches sont nécessaires pour évaluer

son efficacité sur un plus large éventail de taxons d'EAE et pour comprendre les répercussions sur la survie des espèces déplacées.

4.2.4. Immersion dans de la saumure (avec et sans séchage à l'air)

L'immersion dans la saumure sans séchage à l'air n'était pas toujours efficace pour contrôler les infestations de tuniciers (McCann *et al.* 2013; Rolheiser *et al.* 2012). Même à une concentration saturée (300 ppm), MacNair et ses collaborateurs (2006) ont noté que les traitements par immersion dans de la saumure n'étaient efficaces pour réduire la couverture de tuniciers sur les engins d'aquaculture et les boudins de moules que lorsqu'ils étaient suivis d'une période d'exposition à l'air. Parmi les nombreuses combinaisons de traitements à la saumure testées dans la documentation et examinées ici (voir les colonnes sur la saumure dans le tableau 7), trois (immersion dans une solution à 300 ppm pendant 15 minutes, immersion dans une solution à 300 ppm pendant 15 minutes plus 2 heures de séchage à l'air, immersion dans une solution à 300 ppm pendant 30 secondes plus 1 heure de séchage à l'air) ont été considérées comme des options de traitement possibles pour la suite de l'évaluation (tableau 13). Sur ces trois options, le traitement combiné par immersion dans de la saumure (solution à 300 ppm pendant 15 minutes) et séchage à l'air (2 heures) semblait assurer une mortalité de 100 % d'un plus large éventail d'espèces de biosalissures indésirables, mais il n'a pas été testé sur des espèces déplacées (tableau 13). Cependant, les petites *M. edulis* avaient survécu à un traitement combiné par immersion dans de la saumure et séchage à l'air avec différents paramètres : 30 secondes suivies de 24 heures d'exposition à l'air (à 4°C et 100 % HR; Vickerson 2009); 15 minutes suivies de 1 heure de séchage à l'air (Landry *et al.*, MPO, données inédites) et 30 secondes plus 1 heure de séchage à l'air (Mills, MPO, données inédites). Ce traitement combiné était efficace pour tuer les tuniciers coloniaux (*B. schlosseri*, *D. vexillum* et *D. listerianum*) et solitaires (*C. intestinalis*, *S. clava*, *A. aspersa* et *Molgula* spp.; faible incertitude); *B. violaceus*, *C. fragile* et les éponges (*Cliona* spp.; incertitude modérée); les polychètes (*Polydora* spp., résultat qualitatif, grande incertitude); et les gastéropodes (très grande incertitude). Cependant, il ne l'était pas pour tuer les petites *M. edulis* (lorsqu'elles sont considérées comme un épibionte), les grandes *C. gigas* et *C. maenas*. Il n'existait pas de données pour ce traitement combiné de saumure/séchage à l'air (immersion dans une solution à 300 ppm pendant 15 minutes plus 2 heures de séchage à l'air; tableau 13) appliqué à de nombreuses EAE. Il convient de faire remarquer que la troisième option de traitement (immersion dans une solution de saumure à 300 ppm pendant 30 secondes suivie de 1 heure de séchage à l'air) est également probablement efficace sur les tuniciers coloniaux (*B. schlosseri*, *B. violaceus*, *D. vexillum*, *D. listerianum*) et *C. intestinalis* (incertitude faible ou modérée). Nous n'avons pas trouvé dans la documentation de traitement combiné par saumure et séchage à l'air pour les EAE de macroalgues, mais une immersion dans de la saumure (à 300 ppm pendant 15 minutes) était jugée efficace pour causer la mortalité (d'après les résultats qualitatifs seulement) de certaines espèces de macroalgues (faible incertitude; tableau 13).

L'option de traitement par immersion de 15 minutes dans une solution de saumure à 300 ppm sans séchage à l'air était inefficace (mortalité de 0 à 30 %) pour tuer les petites *M. edulis*, *C. virginica*, les petites *C. gigas* et les grandes *M. galloprovincialis* (Minchin et Dungan 1988; MacNair *et al.* 2006; Sharp *et al.* 2006; Bourque et Myrand 2007; Gill *et al.* 2008; MacNair 2009; Carver *et al.* 2010; Carman *et al.* 2016; Landry *et al.*, MPO, données inédites). Néanmoins, la survie de certains bivalves d'élevage, tels que les petits *P. magellanicus*, était tout de même touchée (survie de 24 à 89 % lorsqu'ils sont immergés dans une solution de saumure à 300 ppm pendant 5 et 2 minutes, respectivement) par des traitements à la saumure saturée, probablement en raison de leur incapacité à fermer complètement leurs valves pendant les traitements. D'après des essais en laboratoire, les petites *M. edulis* et *C. virginica* seraient moins touchées par une exposition à court terme à une immersion dans de la saumure sans

séchage à l'air (6 minutes) si elles pouvaient expulser la saumure en étant replongées immédiatement dans l'eau de mer après le traitement (Mallet *et al.*, Mallet Research Services Ltd., données inédites). De même, le même traitement n'avait aucun effet sur *O. edulis*. Autrement, lorsque l'immersion était combinée à une période de séchage à l'air (24 heures), une mortalité élevée était probable pour les deux espèces (Mallet *et al.*, Mallet Research Services Ltd., données inédites). Ces deux espèces de mollusques ont affiché une survie de 100 % avec une incertitude modérée à très élevée pour la troisième option (immersion de 30 secondes dans de la saumure suivie de 1 heure de séchage à l'air), mais davantage d'espèces déplacées survivaient à l'immersion pendant 15 minutes sans séchage à l'air (par rapport aux deux autres options), et avec une incertitude plus faible pour *M. edulis* et *C. virginica*.

L'option de traitement par immersion de 30 secondes suivie de 1 heure de séchage à l'air n'était efficace que sur les tuniciers, y compris *B. schlosseri* (faible incertitude), *B. violaceus*, *D. vexillum*, *D. listerianum* et *C. intestinalis* (incertitude modérée). Ce traitement pourrait assurer la survie de certaines espèces déplacées, notamment des petites *M. edulis* et des petites et des grandes *C. virginica* (incertitude modérée à très élevée, respectivement; tableau 13). Nous n'avons trouvé aucune donnée sur la mortalité associée à l'immersion dans de la saumure (avec ou sans séchage à l'air) pour *H. sanguineus*, *C. mutica*, les bryozoaires et les hydrozoaires.

4.2.5. Immersion dans de la chaux hydratée (avec et sans séchage à l'air)

L'utilisation de chaux hydratée est très courante dans les industries de la mytiliculture et de l'ostréiculture pour lutter contre les prédateurs (p. ex. les étoiles de mer) et les tuniciers salissants sur les capteurs de naissain de moule, les boudins de moules et les engins d'aquaculture (Ramsay 2014b; Ramsay *et al.* 2014). On a constaté que l'immersion dans de la chaux hydratée, suivie d'un séchage à l'air, améliorerait l'efficacité du traitement pour seulement deux tuniciers solitaires (*C. intestinalis* et *S. clava*; MacNair *et al.* 2006; Gill *et al.* 2007) et *C. fragile* (MacNair 2002). De même, divers jets de chaux hydratés suivis de traitements par exposition à l'air se sont avérés efficaces pour tuer très peu d'EAE. De ce fait, aucune de ces options de traitement n'a été évaluée ou présentée plus en détail dans le tableau sommaire, car elles n'étaient pas efficaces pour tuer un large éventail d'EAE tout en assurant la survie de la plupart des espèces déplacées.

Parmi les nombreuses options de traitement par immersion dans de la chaux hydratée (à 20 % pendant 20 secondes; à 10 % pendant 2 minutes; à 5 % pendant 2 minutes; à 4 % pendant 15 secondes et 1, 2, 4, 5, 8, 10 minutes et 3 heures; à 2 % pendant 5 à 10 minutes; à 1 % pendant 30 secondes) qui se trouvent dans la documentation (tableau 6), seule la plus efficace pour tuer un large éventail d'EAE (immersion dans une solution à 4 % pendant 5 minutes) a été envisagée de manière plus approfondie (tableau 13). Ce traitement a été jugé efficace pour tuer *Molgula* spp. (faible incertitude), *C. fragile* (incertitude modérée), *B. violaceus* et *S. clava* (incertitude élevée), *B. schlosseri*, les étoiles de mer, les bryozoaires et les hydrozoaires (très grande incertitude; tableau 13). La cote d'incertitude très élevée attribuée à l'efficacité de ce traitement pour tuer les étoiles de mer, les bryozoaires et les hydrozoaires était principalement attribuable au fait qu'une seule étude était disponible pour les espèces de ces divers groupes d'invertébrés (tableau 13). Les immersions dans de la chaux hydratée n'étaient pas efficaces pour tuer *C. intestinalis*, *D. vexillum*, les gastéropodes, *C. maenas*, les cirripèdes ou les éponges (tableau 12). Néanmoins, cette méthode a assuré la survie (>90 %) de la plupart des bivalves d'élevage, en particulier des petites et des grandes *C. virginica* (faible incertitude), des grandes *M. edulis* (incertitude modérée), ainsi que des grandes *C. gigas* et de *A. irradians* (incertitude élevée), à l'exception des petits *P. magellanicus*, dont la survie était inférieure à

37 % lorsqu'ils étaient immergés dans des concentrations de chaux hydratée à 4 % pendant 1 minute ou moins (tableau 13). Nous n'avons trouvé aucune donnée sur l'efficacité des immersions dans de la chaux hydratée sur les petites et les grandes *M. galloprovincialis*, les petites et les grandes *O. edulis*, les petits *A. irradians*, les grands *P. magellanicus* et les petites *C. gigas*, ni sur *D. listerianum*, *A. aspersa*, les polychètes, *C. mutica*, *H. sanguineus* et les macroalgues (tableau 13).

Une immersion de 5 minutes s'est révélée efficace pour tuer de nombreux tuniciers, les bryozoaires, les hydrozoaires et *C. fragile* tout en maintenant en vie plusieurs espèces de mollusques déplacées, notamment *A. irradians*, pour lequel l'immersion dans de la chaux était la seule option de traitement disponible dans la documentation (survie à 100 % de très peu d'individus exposés à des concentrations variables de chaux pendant 3 heures; Comeau *et al.* 2017). Cependant, un traitement par immersion de 5 minutes n'était pas efficace pour tuer plusieurs EAE (c.-à-d. les gastéropodes, *C. maenas*).

4.2.6. Immersion dans un mélange de saumure et de chaux hydratée (avec séchage à l'air)

Un seul rapport était disponible sur les effets d'une solution de saumure et de chaux sur les EAE (Ramsay 2022). Néanmoins, le CIT-Î.-P.-É. du MPO recommande l'immersion dans une solution de saumure à 300 ppm et de chaux à 4 % comme traitement efficace pour lutter contre certains tuniciers envahissants (*B. violaceus* et *B. schlosseri*), affirmant qu'un trempage de 30 secondes dans cette solution suivi d'un minimum de 1 heure de séchage à l'air tue ces tuniciers sans répercussions sur *C. virginica* (Mills, MPO, données inédites). D'après les résultats qualitatifs, l'option choisie d'une immersion de 1 minute dans cette solution suivie de 1 heure de séchage à l'air est nécessaire pour être efficace contre *C. intestinalis* (très grande incertitude), puisqu'il a été démontré que 30 secondes étaient insuffisantes pour tuer cette espèce (Ramsay 2022). En ce qui concerne les tuniciers *B. schlosseri* et *B. violaceus*, une immersion de 1 minute est efficace, bien qu'avec une grande incertitude en raison du manque d'études combinant des solutions de saumure et de chaux.

Bien que nous n'ayons trouvé qu'une seule étude de ce genre combinant les deux traitements chimiques dans la documentation (Ramsay 2022), plusieurs études ont montré que les immersions dans de la saumure et de la chaux hydratée, utilisées séparément mais à des concentrations similaires, suivies d'une exposition à l'air, étaient efficaces pour tuer les tuniciers et les macroalgues (MacNair 2002; MacNair *et al.* 2006; Gill *et al.* 2007; Mineur *et al.* 2007; Carman *et al.* 2010, 2016). On suppose donc que leur combinaison serait au moins aussi efficace, car une efficacité réduite est peu probable. Cependant, des essais supplémentaires de cette combinaison de traitement à la saumure et à la chaux hydratée sont nécessaires afin d'évaluer sa comparabilité avec d'autres types de traitement décrits dans le présent document et son incidence sur d'autres espèces déplacées.

4.2.7. Virkon®

D'après les données limitées sur l'efficacité du Virkon® (3 %, 30 s), il est probablement efficace pour causer une mortalité de 100 % des juvéniles de *C. intestinalis* (incertitude élevée; Paetzold et Davidson 2011) tout en assurant la survie (94,4 %) des grandes *M. edulis* (incertitude élevée; tableau 13). Cependant, une immersion pendant 15 secondes dans une solution à 3 % n'est pas efficace pour tuer les adultes de *C. intestinalis*, ce qui montre l'importance du temps d'immersion (Gill *et al.* 2007). Étant donné que ce désinfectant et virucide est plus couramment utilisé dans l'industrie de la pisciculture, son application et son efficacité pour causer la mortalité de nombreuses EAE biosalissantes et ses répercussions sur de nombreuses espèces déplacées demeurent inconnues (voir les taxons sans données dans le tableau 13). Il convient

donc d'approfondir l'étude de l'utilisation du Virkon® pour de nombreuses espèces afin d'évaluer son aptitude potentielle en tant que méthode de traitement pour le déplacement des mollusques et des macroalgues d'élevage.

4.3. CONCEPTUALISATION D'UN OUTIL DE DÉCISION

Le choix de l'option de traitement la plus appropriée pour maximiser à la fois la mortalité des EAE et la survie des espèces de mollusques déplacés, dans le contexte des déplacements des organismes marins, dépend de l'EAE, ou de l'éventail d'EAE, à traiter et des espèces à déplacer. Le tableau 14 est une conceptualisation du processus permettant d'obtenir des conseils de traitement en fonction de l'EAE et des espèces déplacées; cette conceptualisation pourrait être utilisée comme outil de décision de gestion pour répondre à deux scénarios différents : atténuer une gamme d'EAE ou cibler une seule EAE.

Si l'intention est d'atténuer une gamme d'EAE, la première étape serait de déterminer les options de traitement physique et chimique efficaces possibles dans les tableaux 12 et 13 qui incluraient tous les groupes d'EAE préoccupants (p. ex. tuniciers coloniaux, bryozoaires, *Codium fragile*) et qui assureraient également une survie élevée de l'espèce déplacée (p. ex. petite *Mytilus edulis*; voir le scénario A, étape 2A du tableau 14). Toutefois, si l'objectif est d'assurer la mortalité d'une EAE donnée (p. ex. *Ciona intestinalis*) sur une seule espèce déplacée (p. ex. la petite *Mytilus edulis*), il faudra d'abord déterminer les options possibles de traitement physique et chimique efficace à partir des tableaux 12 et 13 pour *C. intestinalis* (voir le scénario B, étape 2B du tableau 14). Si on ne trouve pas de traitement couvrant davantage d'EAE pour assurer le niveau souhaité de mortalité de *C. intestinalis* ou de survie des petites *M. edulis*, on pourra alors choisir une option de traitement optimale pour ces espèces dans les tableaux 5 à 7 pour la mortalité des EAE et dans les tableaux 8 à 10 pour la survie des espèces déplacées (voir le scénario B, étape 3B du tableau 14).

Il faudra évaluer la faisabilité/l'applicabilité des traitements à partir des options de traitement déterminées dans les scénarios A et B (hors de la portée de notre travail actuel), car elles dépendent du contexte et il convient de définir le ou les traitements optimaux dans une situation donnée.

4.4. TRAITEMENTS LÉTAUX POUR LES EAE ET LES ÉPIBIONTES AVEC UNE RÉPERCUSSION NULLE OU FAIBLE SUR LES MACROALGUES

La plupart des mesures d'atténuation décrites dans la documentation sur la culture de macroalgues portaient sur des méthodes préventives visant à éviter les bioalissures (p. ex. le moment, l'emplacement, la lutte biologique; Smit *et al.* 2003; Førde *et al.* 2015; Bannister *et al.* 2019). Cependant, d'autres méthodes de traitement d'atténuation sont nécessaires pour atténuer davantage le risque de transfert d'EAE lors du déplacement de macroalgues des sites de culture dans de nouveaux emplacements.

Un seul rapport a été trouvé sur les répercussions des traitements sur la survie des macroalgues cultivées au Canada (Tamigneaux *et al.* 2013). D'après les renseignements reçus d'experts des côtes de l'Atlantique et du Pacifique (Clark, Cascadia Seaweed Corp., comm. pers.; Tamigneaux, Cégep de la Gaspésie et des Îles, comm. pers.), un protocole, comprenant plusieurs étapes de décontamination, est appliqué au nettoyage des sores (fragments reproducteurs) de *Saccharina* spp. dans les écloséries avant la culture sur un site. Pour éviter l'établissement d'*Ulva* spp. et d'*Ectocarpus siliculosus* sur les cordes de culture, le protocole est appliqué à la source dans le laboratoire/l'éclosérie pour assurer une culture monospécifique de *Saccharina* spp., au lieu de traiter les frondes et les cordes après la croissance (Tamigneaux, Cégep de la Gaspésie et des Îles, comm. pers.). Le transfert de plantules cultivées des

écloseries aux sites de culture concerne généralement de petits individus (de 2 à 4 mm) précédemment cultivés dans de l'eau de mer stérilisée. Un traitement physique ou chimique sévère pourrait facilement avoir des effets dévastateurs sur la survie de ces petites plantules et est donc évité (Tamigneaux, Cégep de la Gaspésie et des Îles, comm. pers.). Même si ce protocole n'est pas utilisé pour la même application (c.-à-d. nettoyer les sores dans les écloseries avant la culture), nous supposons qu'il serait probablement efficace pour les déplacements des macroalgues.

D'après les résultats des répercussions des traitements physiques et chimiques sur les macroalgues cultivées ailleurs et sur d'autres espèces de macroalgues non cultivées, seuls quelques traitements efficaces pourraient assurer la survie des macroalgues déplacées. Dans l'ensemble, la survie de plusieurs espèces de macroalgues semble grandement touchée par les traitements physiques, y compris le séchage à l'air (Forrest et Blakemore 2006; Kim et Garbary 2007; Meichssner *et al.* 2020), l'eau douce (Smit *et al.* 2003; Forrest et Blakemore 2006) et l'eau de mer chaude (Williams et Schroeder 2004; Forrest et Blakemore 2006; Mineur *et al.* 2007; Landry *et al.*, MPO, données inédites). Par exemple, en tant qu'espèce intertidale cultivée, *P. yezoensis* subit une émergence et une submersion périodiques pendant les pratiques de culture et est connue pour sa tolérance à la dessiccation et à une forte perte d'eau (jusqu'à 70 %; Li *et al.* 2018a; Du *et al.* 2021). Des résultats similaires ont également été observés pour d'autres espèces de macroalgues intertidales du même genre qui peuvent subir une perte de poids de 90 % et se rétablir rapidement après avoir été submergées à nouveau (Contreras-Porcia *et al.* 2011; Guajardo *et al.* 2016; Li *et al.* 2018a). Li et ses collaborateurs (2018a) ont montré que les thalles de *P. yezoensis* présentaient une tolérance accrue à la perte d'eau lorsqu'ils étaient périodiquement exposés au séchage à l'air comparativement à ceux qui n'étaient jamais exposés à l'air (submergés). Cependant, bien que cette algue rouge ait affiché une résistance au séchage à l'air et puisse se rétablir rapidement de la déshydratation, les effets des pertes d'eau élevées sont demeurés observables au niveau cellulaire (Li *et al.* 2018a; Du *et al.* 2021). Il convient de tenir compte de ces effets sublétaux existants lorsque l'on envisage le séchage à l'air comme traitement possible des macroalgues.

Nous avons trouvé des études limitées sur l'efficacité des traitements chimiques pour éliminer les épiphytes associés aux macroalgues cultivées et les impacts de ces traitements sur celles-ci. Les immersions dans de l'hypochlorite de sodium (Williams et Schroeder 2004; Tamigneaux *et al.* 2013; Clark, Cascadia Seaweed Corp., données inédites), de l'acide acétique (Forrest *et al.* 2007; Piola *et al.* 2009), de la saumure (Sharp *et al.* 2006; Mineur *et al.* 2007; MacNair 2009; Du *et al.*, 2021) et de l'acide citrique (Yan *et al.* 2011) étaient des options chimiques qui pourraient être des traitements prometteurs pour certaines espèces cultivées. En fait, certaines espèces de macroalgues cultivées en Asie, comme *Porphyra haitanensis* et *Neopyropia yezoensis*, ont survécu à des immersions à des concentrations élevées d'environ 10 % d'acide chlorhydrique (Yan *et al.* 2011; Kang et Kim 2022). Il a été démontré que les immersions dans de la saumure étaient moins nocives pour les macroalgues que le séchage à l'air, même à des taux de perte d'eau équivalents (p. ex. 40 %), puisque la macroalgue demeure en plein contact avec l'eau (Du *et al.* 2021). Le séchage à l'air pourrait ainsi être plus nocif pour les thalles que les immersions chimiques en général, même pour les taxons les plus résistants, en raison des effets qui pourraient se produire au niveau cellulaire. Un facteur important à prendre en considération est que certaines espèces de macroalgues marines intertidales (p. ex. *Porphyra* spp., *P. yezoensis*, *Ulva* spp. et *Cladophora* spp.) présentaient une plus grande résistance au stress que des espèces de macroalgues infratidales, dont certaines sont cultivées au Canada (p. ex. *Saccharina* spp.; Hansen *et al.* 2006; Li *et al.* 2018a; Du *et al.* 2021).

En résumé, étant donné que les effets de ces traitements sur les macroalgues cultivées au Canada sont inconnus et pourraient avoir une incidence sur leur survie, il n'est pas possible de

recommander l'un ou l'autre des traitements ci-dessus et de nouvelles recherches pour déterminer les traitements appropriés pour éliminer les épiphytes d'EAE sur les macroalgues déplacées sont nécessaires.

4.5. ADÉQUATION DES PRATIQUES PROACTIVES DE GESTION DES BIOSALISSURES PAR RAPPORT À L'ATTÉNUATION POUR LES ESPÈCES D'ÉLEVAGE DÉPLACÉES

Bien qu'il existe de nombreuses techniques de prévention et d'élimination des biosalissures (voir les techniques générales énumérées dans COI-UNESCO et FEM-PNUD-OMI 2022), elles ne peuvent pas toutes être applicables aux activités d'aquaculture des mollusques marins et de culture des macroalgues ou aux transferts de ces organismes d'élevage dans d'autres plans d'eau. Étant donné que les méthodes de contrôle biologique, par opposition aux méthodes chimiques, produisent rarement des effets secondaires indésirables tels que la pollution ou le développement d'une résistance aux pesticides, elles peuvent sembler le choix le plus respectueux de l'environnement pour éliminer les organismes salissants attachés aux mollusques d'élevage et aux macroalgues. Cependant, dans certains cas, il a été démontré que l'utilisation d'agents biologiques ciblés pour lutter contre les biosalissures par des EAE n'a pas d'effet immédiat sur les biosalissures non désirées, y compris les EAE (Critchley *et al.* 1986; Sumi et Scheibling 2005; Switzer *et al.* 2011) ou a des effets négatifs sur des espèces indigènes ou d'élevage non ciblées (Sumi et Scheibling 2005; Epelbaum *et al.* 2009). De plus, les déplacements d'organismes mobiles en tant qu'agents de contrôle biologique peuvent être particulièrement difficiles lorsqu'ils sont utilisés dans la mytiliculture ou l'ostréiculture sur filins de suspension, car il est possible qu'ils ne restent pas assez longtemps sur l'infrastructure d'élevage pour réduire les biosalissures (p. ex. Comeau *et al.* 2012). Le contrôle biologique, même lorsqu'il est efficace pour lutter contre les espèces de biosalissures sur des mollusques ou des macroalgues, nécessite souvent beaucoup de temps (jusqu'à plusieurs mois) avant qu'un effet ne soit observable (Cigarria *et al.* 1998; Carver *et al.* 2003; Conklin et Smith 2005; Dumont *et al.* 2009; Atalah *et al.* 2016; Li *et al.* 2018a) et peut être mieux combiné avec d'autres stratégies d'atténuation des salissures.

Les méthodes de traitement manuelles (cueillette manuelle, brossage, limage) et mécaniques (récolte et culbutage avec de l'équipement motorisé) peuvent être utilisées de façon répétée dans les sites aquacoles ou seulement lorsque le produit est récolté avant d'être transféré dans un autre plan d'eau. Ces méthodes manuelles varient selon les organismes cultivés, sont souvent longues et coûteuses, doivent être menées à plusieurs reprises tout au long de la saison de croissance et peuvent stresser certains organismes cultivés destinés à être transférés dans d'autres plans d'eau ou à la commercialisation.

Bien que les traitements répétitifs soient souvent des pratiques d'élevage qui peuvent réduire les biosalissures sur les espèces cultivées (Davidson *et al.* 2016), ils ne constituent pas une option logistique lorsqu'on envisage un traitement d'atténuation avant de déplacer une espèce d'élevage dans le contexte de l'introduction et du transfert de mollusques et de macroalgues, car on a plutôt besoin immédiatement d'un traitement d'atténuation qui est souvent propre à l'espèce.

4.6. LIMITES ET SOURCES D'INCERTITUDE

La présente analyse documentaire se limitait aux espèces d'invertébrés marins et de macroalgues, en mettant l'accent sur les EAE épibiontes. Les espèces transportées à l'intérieur (p. ex. vivant dans l'eau du manteau), de même que les virus, les bactéries, le phytoplancton et les protozoaires, n'étaient pas visées par ces travaux. Une analyse documentaire distincte sur

le sujet serait nécessaire pour répondre à la nécessité de déterminer des mesures d'atténuation pour ces types d'organismes.

Plusieurs limites et sources d'incertitude ont été cernées dans ce document de recherche. L'approche monospécifique (ou pour des taxons similaires) adoptée dans de nombreuses études a rendu les comparaisons entre les études difficiles et a souvent conduit à des résultats contradictoires ou contre-intuitifs, probablement en raison de différences non déclarées dans le plan expérimental ou d'autres facteurs. Bien que divers traitements se soient avérés efficaces pour tuer certaines EAE, ils étaient fondamentalement propres à l'espèce et à l'environnement, avec de grandes fourchettes de la mortalité associée. De ce fait, aucun traitement unique ayant une faible incidence sur les espèces déplacées n'a été jugé applicable à toutes les EAE marines.

Nous avons observé de nombreuses lacunes dans l'information concernant les EAE ciblées, les espèces déplacées et les traitements. Très peu de données étaient disponibles pour la plupart des stades juvéniles des EAE (peut-être le stade le plus sensible). Pour toutes les espèces qui n'ont pas été classées dans des catégories de taille, nous avons supposé que la plupart des résultats concernaient les stades adultes, d'après les preuves fournies dans les publications, mais pas expressément énoncées. Nous avons également présumé que si un traitement fonctionnait pour les adultes d'une EAE, il serait également efficace sur les juvéniles (Loosanoff 1960; Medcof 1961).

Les espèces ayant des historiques d'invasions plus longs ont généralement été étudiées de manière plus approfondie que celles dont l'invasion remonte à moins longtemps. De même, certains traitements ont été relativement bien étudiés dans différents travaux (p. ex. immersion dans de l'eau chaude, séchage à l'air, eau douce et acide acétique), mais d'autres l'ont peu été (p. ex. eau de mer sous pression, chloration, acide citrique et Virkon®). Les stratégies de lutte contre certains groupes d'EAE, comme les crustacés (y compris *C. maenas* et *H. sanguineus*), les étoiles de mer, les bryozoaires et les éponges, étaient relativement pauvres en données. Nous avons dû alors consulter la documentation sur d'autres espèces à utiliser comme substituts pour combler certaines lacunes. Aucune information n'était disponible dans la documentation pour de nombreuses espèces déplacées ciblées, comme la palourde du Pacifique (palourde japonaise [*Ruditapes philippinarum* anciennement dénommé *Venerupis philippinarum*], palourde lustrée [*Nuttallia obscurata*], panope du Pacifique [*Panopea generosa*]), *C. islandica* et *O. edulis* (nous avons surtout utilisé des renseignements provenant du substitut *O. angasi* dans le présent travail, à l'exception de Carver *et al.* 2003 et Fitridge *et al.* 2014; tableau 2).

Très peu d'information était disponible pour les macroalgues, que ce soit en tant qu'EAE/épibiontes ou qu'espèces déplacées (tableaux 1, 2). À l'avenir, on pourrait étudier d'autres groupes taxonomiques d'invertébrés et de macroalgues qui pourraient nécessiter différentes techniques de traitement, et il faudra actualiser les avis scientifiques fondés sur ce document de recherche en conséquence.

4.6.1. Résultats qualitatifs

L'information sur la mortalité et la survie extraite de la documentation a été divisée en deux types de résultats : quantitatifs ou qualitatifs. Les résultats qualitatifs sur la mortalité (efficace/inefficace) ou la survie (touchée/non touchée) ont accru le niveau d'incertitude, car il était difficile de savoir si ces résultats répondaient aux critères d'efficacité pour tuer les EAE (mortalité de 100 %) ou maintenir en vie les espèces déplacées (survie >90 %). Certains auteurs ont peut-être considéré qu'un traitement était qualitativement efficace en fonction de leurs propres critères; cependant, ces résultats n'ont pas toujours été précisés quantitativement

dans l'étude et ont été laissés comme qualitativement efficaces dans le présent document à des fins de catégorisation. Par exemple, une étude en laboratoire recommandait une immersion dans de l'eau de mer chauffée à 70 °C pendant 40 secondes comme traitement efficace pour les applications sur le terrain afin de tuer le ver à boue *P. hoplura*, tout en évitant la mortalité des espèces hôtes cultivées. Cependant, son énoncé sur l'efficacité était trompeur, car les résultats des essais en laboratoire ont démontré que le traitement a induit une mortalité de seulement 30 à 39 % chez le ver (Nel *et al.* 1996). Bien que cette étude particulière puisse constituer une exception, la mortalité déclarée a été jugée insuffisante selon le seuil de mortalité acceptable (100 %) pour cette EAE dans le présent travail. En outre, certaines études ou certains rapports qualitatifs ne mentionnaient pas toujours si les témoins étaient inclus dans leur plan expérimental, contrairement aux études quantitatives, qui donnaient généralement de tels détails sur les témoins dans leur méthodologie. Il convient donc d'être prudent lors de l'examen des seuls résultats qualitatifs.

4.6.2. Plans expérimentaux

La plupart des études publiées différaient par le plan des expériences, l'emplacement (en laboratoire ou sur le terrain) et la méthode de mesure de la survie des espèces déplacées ou de la mortalité des EAE, et tous ces facteurs créaient une incertitude importante pour l'évaluation et la comparaison de l'efficacité (définie ici comme l'élimination ou la mortalité) et de la survie entre les études. D'autres paramètres sont connus pour influencer l'efficacité des traitements. Le séchage à l'air, par exemple, est un traitement bien documenté pour le contrôle des EAE, mais son efficacité dépend fortement de la taille des animaux (Rajagopal *et al.* 2005b; Asgari et Jahangard 2012; Sievers *et al.* 2019; Landry *et al.*, MPO, données inédites), de la température de l'air et de l'humidité relative (Arakawa 1980; Hillock et Costello 2013; Hopkins *et al.* 2016). Ce lien est souvent négligé dans les ouvrages primaires, les études faisant état de l'efficacité du séchage sur une classe de taille des EAE ou une combinaison température/humidité, ce qui peut fausser les interprétations pour une utilisation future en gestion. Ce problème est aggravé par le fait qu'une grande partie des travaux scientifiques sur les traitements présentés dans la documentation primaire ont été réalisés dans des conditions de laboratoire (voir les tableaux 5 à 11) et que les résultats ne se traduisent pas nécessairement par des applications tout aussi pratiques et efficaces sur le terrain. Le séchage de fragments de macroalgues en laboratoire ou dans des conditions contrôlées, par exemple, ne représente pas le même environnement que leur séchage dans des conditions extérieures humides ou ombragées. Quelques études ont obtenu des résultats correspondants entre les milieux de laboratoire et sur le terrain (p. ex. Forrest *et al.* 2007; Cahill *et al.* 2021), bien que la stabilité et l'efficacité des solutions chimiques puissent être très variables dans différentes conditions environnementales (Piola *et al.* 2009; Cahill *et al.* 2021). D'autres recherches sont nécessaires pour comprendre comment divers traitements (p. ex. séchage à l'air, applications de vapeur, immersion chimique) qui ont été jugés efficaces dans des conditions de laboratoire fonctionneront sur le terrain.

D'après l'ensemble de la documentation présentée dans les tableaux de résultats détaillés précédemment, il existe des écarts évidents entre les paramètres des traitements mis à l'essai (p. ex. durée, température, concentration, etc.). Les résultats de la mortalité et de la survie ne sont pas toujours fondés sur des paramètres continus à pleine échelle dans les articles (p. ex. fourchette à grande échelle de concentrations ou de durées croissantes testée dans une étude) et différentes publications ne se complètent pas nécessairement en termes de fourchettes à grande échelle. Cette limite a compliqué, dans certains cas, l'évaluation du niveau d'incertitude associé à l'efficacité contre les EAE et les répercussions sur les espèces déplacées. Des lacunes dans les données ont également été relevées pour les fourchettes de taille des mollusques sur lesquels des tests ont été menés dans la documentation (voir le tableau 3); en effet, la plupart des publications ont indiqué la taille mesurée (en millimètres ou en centimètres),

mais d'autres n'ont fourni que des catégories de taille fondées sur des informations qualitatives (p. ex. adultes ou juvéniles, petits ou grands, semence/naissain, taille commercialisable), ce qui a également contribué à l'incertitude. Le type des mesures de la coquille (hauteur, longueur, largeur; par exemple, voir Rajagopal *et al.* 2005a, b; Rolheiser *et al.* 2012; Cahill *et al.* 2021) en millimètres/centimètres n'a pas été systématiquement précisé pour les mollusques. Souvent, une seule taille était mentionnée et les termes « hauteur » et « longueur » étaient, parfois, utilisés de manière interchangeable. Nous avons supposé que toutes les mesures figurant dans la documentation faisaient référence à la dimension la plus longue (distance maximale entre l'umbo et la marge de la valve ventrale) et étaient toutes décrites comme la longueur de la coquille. Certaines recherches ont également évalué différents groupes de taille dans la même catégorie (p. ex. deux petits groupes), mais comme tous les articles ne précisait pas la taille des organismes utilisés, cela limitait parfois l'interprétation des résultats pour une catégorie donnée (principalement la catégorie « petit ») ou a pu donner des résultats contradictoires.

Une autre considération relative au plan expérimental concerne les quatre espèces de mollusques qui ont été considérées à la fois comme des espèces déplacées et comme des espèces envahissantes dans le présent travail : *M. edulis*, *M. galloprovincialis*, *C. virginica* et *C. gigas*. La plupart des articles mettaient l'accent sur le maintien en vie des mollusques et adaptaient leur plan expérimental pour assurer la survie et réduire les répercussions après le traitement, plutôt que de se concentrer délibérément sur leur mortalité. Même si quelques ouvrages portaient sur l'induction de la mortalité de ces mollusques, il y avait un manque d'information sur les traitements qui pourraient être efficaces pour ces quatre espèces.

4.6.3. Moment de l'évaluation de la mortalité, des effets à long terme ou sublétaux

Les publications incluses dans la présente analyse documentaire évaluaient la mortalité ou la survie des organismes après le traitement sur une large gamme d'échelles de temps (p. ex. immédiate ou minutes, heures, jours, semaines ou mois). Par exemple, certaines études ont testé de courtes durées de traitement en secondes (p. ex. 3, 5 à 10 ou 60 secondes), mais ont évalué la mortalité (efficacité du traitement) après 48 heures (Guenther *et al.* 2011), 8 et 13 jours (Locke *et al.* 2009) ou 24 heures (Joyce *et al.* 2019), respectivement. Quelques études se sont concentrées sur l'évaluation saisonnière de la mortalité, fondée sur des traitements préventifs hebdomadaires, qui n'étaient pas applicables dans le contexte du présent travail. Dans certains cas, des études ont observé que la mortalité évoluait avec le temps, pendant l'évaluation après le traitement. Elles ont permis de constater qu'après l'application d'un traitement, les organismes de biosalissures ne mouraient pas nécessairement tout de suite, mais que les effets du traitement apparaissaient graduellement après quelques jours (Arakawa 1980). Par exemple, un jet d'acide acétique pendant quelques secondes, suivi d'une période rapide d'exposition à l'air, a induit une mortalité de 89 % de *C. mutica* 2 à 3 heures après le traitement, mais une mortalité de 100 % a été observée après plus de 5 jours (Paetzold *et al.* 2008). Dans un autre exemple, en suivant un calendrier d'évaluation quotidien, dans un traitement par séchage à l'air pour *M. galloprovincialis*, il a fallu 4 jours pour que la mortalité commence à se manifester, mais 11 jours pour atteindre la mortalité de 100 % (Hopkins *et al.* 2016). Une telle mortalité différée s'est également produite dans des essais avec de l'eau de mer chauffée, lorsque des stocks d'huîtres (espèces d'élevage) ont été complètement perdus en raison des effets à long terme de la chaleur (Mallet *et al.*, Mallet Research Services Ltd., données inédites). En outre, MacNair (2002) a montré que l'efficacité aiguë du séchage à l'air était presque de 100 % pour tuer *C. fragile* en fragmentant les plantes après 1 mois, mais que certains morceaux d'algues repoussaient en plantes saines après 3 mois. Bien que ces cas aient été soulignés dans les résultats, le moment de l'évaluation de la mortalité et de la survie des EAE ou du produit déplacé résultant du traitement est un aspect variable du plan

expérimental dans les études qui introduit une incertitude quant à l'efficacité et aux effets d'un traitement appliqué sur le terrain sur des espèces destinées au transfert ou au déplacement.

La plupart des études ont évalué les effets aigus sur les mollusques et rarement les effets à long terme (chroniques) et sublétaux (p. ex. Haque *et al.* 2015) d'un traitement pendant les périodes de production. Quelques articles ont évalué les répercussions à long terme des traitements répétés pour l'entretien sur place pendant et après une saison (Gallo-García *et al.* 2004; Gill *et al.* 2008; Hood *et al.* 2020), mais pas dans le contexte d'un traitement unique lors d'un transfert ou d'un déplacement d'organismes. Vickerson (2009) a toutefois étudié les effets à long terme d'un traitement unique par séchage à l'air pendant 24 heures sur de petites (de 30 à 40 mm) *M. edulis* et n'a observé aucun effet aigu d'après l'activité de fixation du byssus, dénotant un faible niveau de stress. À plus long terme, les moules ont affiché un excellent rendement environ 8 mois après avoir été remises à l'eau après le traitement par séchage à l'air. Bien que les résultats qualitatifs « touchée » pour les espèces déplacées englobent quelques cas d'effets sublétaux dans la documentation (p. ex. dommages à la coquille, diminution de la croissance, réduction de la fixation du byssus), il faut faire preuve de prudence dans le contexte de la survie des espèces déplacées, où les effets à long terme du stress du traitement sur les espèces déplacées demeurent généralement inconnus.

4.6.4. Variabilité des paramètres

La variabilité des paramètres dans les milieux naturels peut influencer la stabilité d'un produit chimique soluble, ainsi que son efficacité à tuer une EAE, en fonction des tolérances physiologiques de cette dernière. De nombreuses expériences en laboratoire ont été menées dans des conditions contrôlées, y compris la température ambiante, ce qui peut influencer sur l'efficacité d'un traitement chimique ou d'un séchage à l'air donné, les effets de ce dernier étant connus pour dépendre fortement de la température et de l'humidité relative (Arakawa 1980; MacNair 2002; Forrest et Blakemore 2006). Il faut faire preuve de prudence pour éviter d'extrapoler les résultats d'expériences en laboratoire à des applications à l'échelle du terrain. On sait que la stabilité de l'hypochlorite de sodium, par exemple, est influencée par de nombreux facteurs environnementaux (p. ex. lumière, évaporation, salinité, temps en solution, autres composés chimiques; Delaruelle et Claes 1996; Nicoletti et Magalhães 1996; Piola *et al.* 2009; Haque *et al.* 2014) qui ont le potentiel de diminuer son efficacité, principalement dans des contextes de terrain. Coutts et Forrest (2005) ont démontré que les concentrations initiales d'hypochlorite de sodium peuvent diminuer de 50 % ou plus après avoir été mélangées à de l'eau de mer et continueront de diminuer pendant toute la durée du traitement. Leurs observations ont montré l'importance de conserver le chlore résiduel (libre) disponible (une partie du chlore résiduel total; CRT) en solution stable ou supérieure à la concentration résiduelle effective, en choisissant la concentration initiale appropriée (Coutts et Forrest 2005). Selon Bourque et Mayrand (2007), la survie des petites *M. edulis* immergées dans une solution de saumure dans des conditions de terrain variait selon la température de 84 % à 25 °C à 95 % à 18 °C. Il est important de maintenir les paramètres constants pendant l'application d'un traitement, car l'écart entre les paramètres peut créer des sources d'incertitude. Par exemple, une augmentation de la salinité pendant un traitement à l'eau douce peut augmenter le temps nécessaire pour tuer les organismes salissants qui sont plus tolérants aux salinités faibles ou saumâtres (Coutts et Forrest 2005; Forrest et Blakemore 2006; Brown 2012; Vercaemer *et al.* 2011; Rolheiser *et al.* 2012). De plus, la puissance de certains produits chimiques peut diminuer avec le temps, ce qui les rend moins efficaces pour tuer les EAE. Par exemple, il faut ouvrir et mélanger l'hypochlorite de sodium peu de temps avant le traitement en raison de son instabilité et de sa réactivité chimique (Piola *et al.* 2009). C'est également le cas de la poudre de chaux hydratée, qui réagira avec le dioxyde de carbone lorsqu'elle sera exposée à l'air et redeviendra lentement du calcaire (Ramsay *et al.* 2014). Les sacs de chaux hydratée ne doivent être utilisés

que lorsqu'ils viennent d'être ouverts avant d'être mélangés à de l'eau de mer (Ramsay *et al.* 2014).

Comme mentionné précédemment, la prudence est recommandée pour extrapoler des résultats de traitement obtenus dans des études en laboratoire à l'échelle industrielle, sans effectuer la recherche pertinente sur le terrain. Les milieux industriels peuvent créer des conditions qui permettent aux salissures de survivre parce qu'elles ne sont pas suffisamment exposées à un traitement, comme dans les zones situées profondément dans les grappes de moules ou d'huîtres (Carver *et al.* 2003; Ramsay 2015a). Le lessivage de l'eau salée des espaces interstitiels entre de grandes quantités d'espèces d'élevage et la communauté de biosalissures associée peut modifier la concentration initiale des bains de traitement ou des jets (p. ex. eau douce ou chimique) ou altérer la température d'un traitement et en réduire l'efficacité (MacNair *et al.* 2006). Cet effet de dilution possible pourrait expliquer la variation des résultats obtenus dans différentes études qui ont testé un traitement avec les mêmes paramètres. Il convient également de souligner qu'il est important d'assurer le flux de l'écoulement pour maintenir les paramètres constants (Rajagopal *et al.* 2002; Forrest et Blakemore 2006; Ramsay 2015a). Les systèmes ouverts (encore mieux avec un rinçage rapide pour éviter d'augmenter la salinité; Ramsay, ministère des Pêches et des Collectivités de l'Île-du-Prince-Édouard, comm. pers.) sont plus efficaces pour maintenir des paramètres constants (p. ex. concentration, température, salinité) que les systèmes d'eau stagnante (Arakawa 1980) ou les applications par jet et aident à maximiser l'efficacité d'un traitement ou la survie d'une espèce déplacée donnée. Dans un contexte réel, il est également important de tenir compte de l'étendue de la colonisation par les EAE (épaisseur et couverture) sur les espèces d'élevage, en particulier pour les tuniciers. De plus, les EAE qui sont regroupées (comparativement à un seul échantillon) ou celles qui sont protégées par des couches externes plus épaisses ont plus de chances de survivre, ce qui réduit l'efficacité d'un traitement donné.

L'acclimatement environnemental et la saisonnalité peuvent également avoir une incidence importante sur la mortalité ou la survie d'un organisme pendant les traitements. Les espèces (EAE ou déplacées) acclimatées à des températures plus élevées ou à des salinités plus faibles, par exemple, ont souvent une tolérance plus grande aux immersions dans de l'eau chaude, aux immersions dans de l'eau douce, à la dessiccation ou aux variations du stress physiologique (p. ex. *M. edulis* : Gonzalez et Yevich 1976; Joyce *et al.* 2019; Rajagopal *et al.* 2005a; *C. gigas* : Rajagopal *et al.* 2005b; Joyce *et al.* 2019; *C. maenas* : Best *et al.* 2014; macroalgues : William et Schroeder 2004). Il faut examiner en particulier le choix du moment de l'année pour traiter différentes tailles d'organismes d'élevage ou déplacés afin d'éliminer les EAE avant de les transférer dans d'autres endroits, car la survie des petites huîtres a été évaluée à 50 % après une immersion dans de l'eau de mer chaude en juin, contre 89 % pour le même type de traitement effectué en août (Mayrand *et al.* 2015). Ces facteurs doivent être pris en compte dans le choix du type de traitement et du moment où il est préférable de l'appliquer.

4.6.5. Sensibilité des mollusques à valves bâillantes

On soupçonne que la plupart des traitements chimiques (p. ex. hypochlorite de sodium, acide acétique, chaux hydratée) sont plus nocifs pour les mollusques à valves bâillantes (William et Schroeder 2004; MacNair *et al.* 2006; MacNair 2009; Organisation mondiale de la santé animale 2009; Roche *et al.* 2015; Landry *et al.*, MPO, données inédites), et les lacunes dans les connaissances sur leur survie après une exposition directe des tissus mous aux produits chimiques limitent les applications de traitements agressifs. Étant donné que les pétoncles ont tendance à être plus sensibles au stress que les organismes salissants et qu'ils doivent être manipulés avec soin (Carver, Mallet Research Services Ltd., comm. pers.), le raclage à la main et le rinçage à l'eau de mer pourraient être la seule option pour les traiter avant les

déplacements (Carver, Mallet Research Services Ltd., comm. pers.). Une mortalité élevée s'est également produite chez les moules *P. canaliculus* pendant des immersions chimiques lorsque leurs valves étaient ouvertes et le fait de les secouer avant le traitement pourrait réduire l'exposition chimique des tissus internes en provoquant la fermeture de la valve (Forrest *et al.* 2007).

4.6.6. Effet de la taille de l'organisme

Il a été démontré que la taille est statistiquement corrélée à la survie des mollusques dans divers traitements (Rajagopal *et al.* 2002; Haque et Kwon 2017; Cahill *et al.* 2021). Les résultats tirés de la documentation sur les traitements chauffés, par exemple, ont montré que la température et les durées influençaient la survie, mais les résultats étaient propres à la taille, les individus plus petits étant plus vulnérables aux traitements thermiques que les plus grands (Rajagopal *et al.* 2005b; Asgari et Jahangard 2012; Rousselle 2012; Mayrand *et al.* 2015; Sievers *et al.* 2019; Landry *et al.*, MPO, données inédites). Comme les organismes de plus petite taille sont généralement plus vulnérables à la chaleur ou aux produits chimiques, plus ils grossissent, plus ils deviennent tolérants à un traitement, et on peut parfois l'observer avec une différence de taille relativement faible, comme 10 mm ou moins (Rajagopal *et al.* 2002; Haque et Kwon 2017; Hopkins *et al.* 2016; Cahill *et al.* 2021). La taille des espèces déplacées n'est peut-être pas toujours la même (p. ex. la variation de taille dans un boudin de moules) et représente une source d'incertitude qui doit être prise en compte en ce qui concerne la dureté d'un traitement donné, en particulier pour les organismes de plus petite taille.

Étant donné que le stade précis du cycle biologique des mollusques était rarement précisé dans la documentation, nous avons ici séparé les mollusques en deux catégories de taille (« petit » et « grand ») afin de faciliter l'interprétation des résultats. En effet, nous avons aussi relevé des interprétations contradictoires des tailles entre les publications (p. ex. adultes de 25 mm [Haque et Kwon 2017] et semences de 15 à 30 mm (Vickerson 2009), et parfois la taille en millimètres était inconnue). Ainsi, les résultats étaient parfois contradictoires, et différents groupes de petite taille (p. ex. de 8 à 10 mm, de 35 à 45 mm) des mêmes espèces testées dans la documentation appartiennent à la même catégorie de taille. Notre catégorie de taille « petite » (les semences, les juvéniles et les petits adultes) pour les espèces de mollusques demeure imprécise pour fournir des recommandations de traitement exactes aux gestionnaires pour des stades biologiques donnés. Cette incertitude est principalement due au manque de précision dans la documentation elle-même, limitant la possibilité de la décomposer davantage en catégories plus petites pour améliorer la précision.

Dans certains cas, l'industrie peut se concentrer sur l'élimination des organismes récemment établis sur les espèces d'élevage, y compris les petites moules et huîtres et d'autres épibiontes (Carver, Mallet Research Services Ltd., comm. pers.). Cependant, il y a une lacune importante dans les données pour les jeunes stades des EAE et des épibiontes et les traitements dans les pratiques de l'industrie qui seraient principalement appliqués sur les petites (jeunes) espèces déplacées, qui ont tendance à être plus vulnérables. Dans ce contexte, nous supposons que les traitements efficaces contre les adultes des EAE seront efficaces à leurs stades plus précoces, mais les incertitudes demeurent quant à la survie des espèces déplacées de petite taille.

4.6.7. Traitements combinés

Les combinaisons de traitements peuvent être plus efficaces que les approches de traitement unique pour de nombreuses espèces, bien que les recherches à ce sujet fassent largement défaut. L'inclusion d'une étape de séchage à l'air après le trempage dans de la chaux hydratée (MacNair *et al.* 2006; Ramsay *et al.* 2014) et le lavage sous pression (Coutts 2006; Coutts et Forrest 2007) se sont révélés plus mortels pour les tuniciers que l'une ou l'autre de ces

applications seule. Fitridge et ses collaborateurs (2014) ont également testé l'ajout d'une période de séchage à l'air avant et après l'immersion dans de la chaux à 4 % et ont montré que l'efficacité du traitement pour tuer *S. clava* était accrue par rapport à l'immersion seule. D'autres données permettent de penser que la combinaison d'applications froides/de chaleur et chimiques peut également renforcer l'efficacité du traitement, les immersions dans de l'acide plus chaud (acétique et citrique) nécessitant moins de temps pour tuer les tuniciers solitaires (Sievers *et al.* 2019), et les immersions réfrigérées (-20 °C) augmentant l'efficacité de la saumure pour tuer les polychètes (Asgari et Jahangard 2012). L'information sur les traitements à la saumure réfrigérée était rare dans la documentation (Asgari et Jahangard 2012; Cox *et al.* 2012), mais est convaincante, montrant la capacité de tuer une gamme d'organismes salissants, y compris les huîtres (Cox *et al.* 2012). Cependant, les effets des traitements combinés réfrigérés sur les mollusques doivent faire l'objet d'une étude plus approfondie, car des résultats contradictoires ont été obtenus en ce qui concerne la survie (Fitridge *et al.* 2014; Asgari et Jahangard 2012; Cox *et al.* 2012). Plusieurs exemples de combinaisons ou de mélange de deux produits chimiques à la fois ont été testés. Étant donné que les résultats de la mortalité à la suite d'une immersion dans de la saumure variaient selon les espèces, les chercheurs ont introduit de la chaux dans les solutions de saumure pour tester son efficacité à causer la mortalité des espèces de tuniciers salissants indésirables. Des essais récents menés par le ministère des Pêches et des Collectivités de l'Île-du-Prince-Édouard ont révélé qu'une immersion de 1 minute dans une solution de saumure saturée à 300 ppm mélangée à de la chaux hydratée à 4 %, suivie de 1 heure de séchage à l'air, était efficace pour causer la mortalité de *C. intestinalis* (Ramsay 2022). Dans une autre étude, MacNair et ses collaborateurs (2006) ont suggéré une combinaison de deux produits chimiques pour tuer *B. violaceus* sur des boudins de moules infestés (p. ex. un trempage dans de l'acide acétique à 5 % suivi d'un trempage dans de la saumure à 300 ppm et d'une période de séchage à l'air).

Il n'est pas facile de vérifier la contribution relative spécifique de chaque produit chimique dans un traitement chimique combiné, ce qui limite donc l'évaluation de chacun de ces produits chimiques à son efficacité globale. De plus, l'efficacité globale et les effets des traitements combinés peuvent différer selon l'ordre des étapes (p. ex. séchage à l'air avant l'immersion plutôt qu'après; Forrest *et al.* 2007; Vickerson 2009). Les lacunes actuelles dans les connaissances sur l'effet et l'efficacité des traitements combinés potentiels ne permettent pas de les prendre en compte dans le présent document de recherche, mais des recherches futures devraient tenir compte des effets cumulatifs des traitements, et de leur ordre, sur les EAE, de même que de leurs répercussions sur la survie des espèces déplacées.

4.7. FAISABILITÉ ET AUTRES CONSIDÉRATIONS

Bien que de nombreuses options de traitement efficaces aient été tirées de la documentation pour le contrôle d'une variété d'EAE marines, tout en assurant la survie des espèces déplacées, un certain nombre de considérations peuvent limiter leur utilité dans le monde réel, dans le contexte du déplacement d'espèces pour l'introduction et les transferts. Ces considérations comprennent notamment la facilité d'application et l'aspect pratique dans les conditions de terrain, les dangers connexes pour la santé et la sécurité, les coûts et l'élimination. Par exemple, il se peut que de l'eau douce en quantité suffisante ne soit pas facilement accessible dans certains endroits; ou qu'il ne soit pas possible de chauffer ou de refroidir les traitements par immersion dans certains sites; ou encore que cela soit trop coûteux ou long pour certaines petites exploitations (Ramsay, ministère des Pêches et des Collectivités de l'Île-du-Prince-Édouard, comm. pers.). Bien qu'ils sortent de la portée du présent document de recherche, des traitements particuliers s'accompagneront de considérations logistiques.

Certains traitements jugés inefficaces (ou comme pouvant être efficaces, mais présentant des niveaux élevés d'incertitude) peuvent être efficaces à des concentrations, des pressions, des températures et/ou des temps d'exposition différents. Des recherches futures pourraient peaufiner ces méthodes de traitement et discerner le moment où elles deviennent efficaces (p. ex. efficacité du traitement à l'hypochlorite de sodium à tous les stades biologiques des moules).

5. CONCLUSIONS

La présente analyse documentaire a permis de cerner (1) plusieurs options de traitement applicables à de nombreuses EAE tout en maintenant les espèces déplacées en vie, (2) les principales incertitudes et lacunes dans les connaissances qui subsistent et (3) les besoins futurs en matière de recherche.

- D'après les études publiées examinées dans le cadre du présent travail, aucun traitement unique n'a été jugé applicable à toutes les EAE tout en maintenant la survie des mollusques ou des macroalgues dans le contexte des déplacements d'espèces.
- De nombreuses options de traitement physique et chimique se sont avérées efficaces (mortalité à 100 % ou efficace) pour tuer diverses espèces d'EAE ou d'épibiontes.
- Bien des options de traitement physique et chimique ont été recensées comme ayant des effets nuls ou faibles (>90 % de survie) sur les espèces de mollusques déplacées.
- Bien que la documentation ait permis de déterminer un grand nombre d'options de traitement efficaces pour contrôler une variété d'EAE marines, tout en assurant la survie des espèces déplacées, un certain nombre de considérations peuvent limiter leur utilité dans des contextes réels. Ces considérations comprennent notamment la facilité d'application et l'aspect pratique, les dangers connexes pour la santé et la sécurité, les coûts, la durée et l'élimination.
- Peu d'options de traitement physique et chimique applicables à un grand nombre d'EAE, tout en maintenant en vie des espèces de mollusques déplacées, ont été recensées (voir les tableaux 12 et 13).
- Le type de traitement le plus approprié (parmi les options de traitement les plus applicables résumées dans les tableaux 12 et 13) dépend des EAE, ou de la gamme d'EAE, à traiter et des espèces à déplacer (consulter la conceptualisation du processus permettant d'obtenir des conseils de traitement, en fonction des EAE et des espèces déplacées, dans le tableau 14).
- D'autres EAE deviendront probablement problématiques et ne sont pas abordées dans le présent document.
- Les principales incertitudes et lacunes dans les connaissances sont les suivantes :
 - Incertitude dans l'interprétation lors de la comparaison d'études ayant différents plans expérimentaux, échelles et méthodes de mesure de la mortalité ou de l'élimination des EAE/épibiontes et avec l'utilisation de données quantitatives et qualitatives.
 - Incertitude pour extrapoler les résultats des études en laboratoire aux conditions de terrain.
 - Nous avons trouvé très peu d'information sur la survie des macroalgues et aucun traitement efficace pour tuer les EAE associées aux macroalgues cultivées au Canada. D'autres recherches sont nécessaires sur les méthodes de traitement des macroalgues déplacées.

-
- Compte tenu de ces incertitudes et des lacunes dans les connaissances, certains types précis de déplacements ou de préoccupations liées aux EAE peuvent nécessiter une expérience précise en laboratoire ou sur le terrain pour déterminer l'efficacité du traitement.
 - Il faut élaborer des normes pour les principales espèces envahissantes et déplacées recensées.
 - Des recherches futures nécessaires doivent porter sur :
 - Des traitements combinés et leur efficacité à tuer les EAE/épibiontes et leurs effets sur les espèces déplacées (p. ex. combiner les immersions chimiques/jet et la chaleur ou différents types de produits chimiques), notamment répartir le niveau de mortalité associé aux deux étapes.
 - Effets sublétaux et chroniques des traitements sur les espèces déplacées.
 - Traitements qui pourraient être appliqués aux mollusques et aux macroalgues sur le terrain ou à l'échelle de l'industrie (par opposition aux études en laboratoire).
 - L'effet de la variation saisonnière de divers traitements physiques et chimiques sur leur efficacité contre les EAE et leurs effets sur les espèces déplacées.
 - L'effet de la taille de l'EAE et de l'espèce déplacée sur l'efficacité et les effets de divers traitements physiques et chimiques, respectivement.
 - L'efficacité des traitements visant à éliminer les EAE tout en assurant la survie des mollusques et des macroalgues d'élevage dans les conditions océaniques futures (hausse de la température et du [CO₂] et diminution de l'oxygène dissous et de la salinité).

6. REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier Chantal Coomber et Jérôme Légère, qui ont fait partie de l'équipe d'analyse documentaire et ont consolidé les résultats des traitements. Les auteurs remercient également le comité directeur et les participants à la réunion qui ont fourni des commentaires et des conseils utiles : Randy Angus, Brittany Beauchamp, Ellen Careen, Claire Carver, Jennifer Clarke, Jennifer Diment, Suzanne Dobson, André Drapeau, Johannie Duhaime, Darrell Green, Mark Higgins, Shelley Jepps, Joanne Liutkus, Lynn Lush, Cynthia McKenzie, Chris McKindsey, Chris Mills, Edward Parker, Nico Prins, Aaron Ramsay, Sarah Rooney, Lisa Setterington et Éric Tamigneaux. Nous sommes très reconnaissants à Patrick Cahill (examineur externe) qui a fourni de nombreux commentaires écrits pertinents. Nous remercions également le président (Gilles Olivier) et le rapporteur (Alex Tuen), qui ont assuré la tenue d'une réunion efficace et sans heurts. Enfin, nous remercions Chris McKindsey, qui a procédé à l'examen final du document. Ce travail a été financé par le MPO (Gestion nationale de l'aquaculture, Programme national sur les EAE et programmes des Sciences).

7. REFERENCES CITED

- Arakawa, K.Y. 1980. [Prevention and removal of fouling on cultured oysters: a handbook for growers](#). Maine Sea Grant Technical Report 56: iii + 38 p. [Accédé le 26 juin 2023].
- Arens, C.J., Paetzold, S.C., Ramsay, A., and Davidson, J. 2011a. [Pressurized seawater as an antifouling treatment against the colonial tunicates *Botrylloides violaceus* and *Botryllus schlosseri* in mussel aquaculture](#). *Aquat. Invasions* 6(4): 465–476.
- Arens, C.J., Paetzold, S.C., and Davidson, J. 2011b. [The effect of high-pressure spraying for tunicate control on byssal thread characteristics in the cultured blue mussel \(*Mytilus edulis* Linnaeus, 1758\)](#). *Aquat. Invasions* 6(4): 507–510.

-
- Asgari, L., and Jahangard, S. 2012. [Development of commercial mitigation methods for white polychaete tubeworm *Pomatosceros taeniata* fouling in Australian blue mussel offshore farm](#). Australian Government Fisheries Research and Development Corporation. 57 p. [Accédé le 26 juin 2023].
- Ashton, G.V., Willis, K.J., Burrows, M.T., and Cook, E.J. 2007. [Environmental tolerance of *Caprella mutica*: implications for its distribution as a marine non-native species](#). Mar. Environ. Res. 64(3): 305–312.
- Atalah, J., Newcombe, E.M., and Zaiko, A. 2016. [Biocontrol of fouling pests: effect of diversity, identity and density of control agents](#). Mar. Environ. Res. 115: 20–27.
- Atalah, J., Rabel, H., and Forrest, B.M. 2017. [Modelling long-term recruitment patterns of blue mussels *Mytilus galloprovincialis*: a biofouling pest of green-lipped mussel aquaculture in New Zealand](#). Aquac. Environ. Interact. 9: 103–114.
- Bannister, J., Sievers, M., Bush, F., and Bloecher, N. 2019. [Biofouling in marine aquaculture: a review of recent research and developments](#). Biofouling 35(6): 631–648.
- Best, K., McKenzie, C.H., and Couturier, C. 2014. [Investigating mitigation of juvenile European green crab *Carcinus maenas* for mussels to prevent transfer during Newfoundland mussel aquaculture operations](#). Manag. Biol. Invasions 5(3): 255–262.
- Black, G.A.P., Mohn, R.K., Robert, G., and Tremblay, M.J. 1993. [Atlas of the biology and distribution of the sea scallop *Placopecten magellanicus* and Iceland scallop *Chlamys islandica* in the Northwest Atlantic](#). Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 1915: 40 p. [Accédé le 30 juin 2023].
- Boghren, A.D. (Ed.). 1995. Cold-water aquaculture in Atlantic Canada. 2nd Ed. The Canadian institute for research on regional development, Canada. 672 p.
- Bourque, F., and Myrand, B. 2007. [Traitement des collecteurs de moule à la saumure pour contrer la prédation par les étoiles de mer](#). MAPAQ, DIT. Rapport de recherche et développement No. 160. 20 p. [Accédé le 26 juin 2023].
- Bower, S.M. 2004. [Synopsis of infectious diseases and parasites of commercially exploited shellfish: shell-boring polychaetes of oysters](#). Fisheries and Oceans Canada. [Accédé le 26 juin 2023].
- Brown, S.W. 2012. [Salinity tolerance of the oyster mudworm *Polydora websteri*](#). Honors College. 41 p. [Accédé le 30 juin 2023].
- Cahill, P.L., Atalah, J., Cunningham, S., Day, A., Fletcher, L., South, P., Forrest, B., and Hopkins, G. 2021. [Acetic acid immersion – A reactive pest treatment for bivalve aquaculture](#). Aquaculture 533: 1–11.
- Cahill, P.L., Davidson, I.C., Atalah, J.A., Cornelisen, C., and Hopkins, G.A. 2022. [Toward integrated pest management in bivalve aquaculture](#). Pest Management Science 78(11): 4427–4437.
- Carman, M.R., Morris, J.A., Karney, R.C., and Grunden, D.W. 2010. [An initial assessment of native and invasive tunicates in shellfish aquaculture of the North American east coast](#). J. Appl. Ichthyol. 26(s2): 8–11.
- Carman, M.R., Lindell, S., Green-Beach, E., and Starczak, V.R. 2016. [Treatments to eradicate invasive tunicate fouling from blue mussel seed and aquaculture socks](#). Manag. Biol. Invasions 7(1): 101–110.
-

-
- Carver, C.E., Chrisholm, A., and Mallet, A.L. 2003. Strategies to mitigate the impact of *Ciona intestinalis* (L.) biofouling on shellfish production. *J. Shellfish Res.* 22(3): 621–631.
- Carver, C.E., Theriault, I., and Mallet, A.L. 2010. [Infection of cultured eastern oysters *Crassostrea virginica* by the boring sponge *Ciona celata*, with emphasis on sponge life history and mitigation strategies](#). *J. Shellfish Res.* 29(4): 905–915.
- Chem LibreTexts. 2022. Saturated and unsaturated solutions. [Accédé le 7 juillet 2023].
- Chinnadurai, S., Jagadis, I., Meenakshi, V.K., and Mohamed, K.S. 2019. [Effect of acetic acid treatment on the control of non-indigenous ascidians in farmed Indian pearl oyster *Pinctada fucata*](#). *J. Mar. Biol. Assoc. India* 60(2): 67–74.
- Cigarria, J., Fernandez, J., and Magadan, L.P. 1998. Feasibility of biological control of algal fouling in intertidal oyster culture using periwinkles. *J. Shellfish Res.* 17(4): 1167–1169.
- Cilenti, L., Scirocco, T., Specchiulli, A., Vitelli, M.L., Manzo, C., Fabbrocini, A., Santucci, A., Franchi, M., and Manzo, R. 2018. [Quality aspects of *Crassostrea gigas* \(Thunberg, 1793\) reared in the Varano Lagoon \(southern Italy\) in relation to marketability](#). *J. Mar. Biol. Assoc. UK* 98(1): 71–79.
- Claereboudt, M.R., Bureau, D., Côté, J., and Himmelman, J.H. 1994. [Fouling development and its effect on the growth of juvenile giant scallops \(*Placopecten magellanicus*\) in suspended culture](#). *Aquaculture* 121(4): 327–342.
- Clement, J.C., Bourque, D., McLaughlin, J., Stephenson, M., and Comeau, L.A. 2018. [Wanted dead or alive: *Polydora websteri* recruit to both live oysters and empty shells of the eastern oyster, *Crassostrea virginica*](#). *J. Fish. Dis.* 41(5): 855–858.
- Comeau, L.A., Sonier, R., and Hanson, J.M. 2012. [Seasonal movements of Atlantic rock crab \(*Cancer irroratus* Say\) transplanted into a mussel aquaculture site](#). *Aquacult. Res.* 43: 509–517.
- Comeau, L.A., Sonier, R., Guyondet, T., Landry, T., Ramsay, A., and Davidson, J. 2017. [Behavioural response of bivalve molluscs to calcium dioxide](#). *Aquaculture* 466: 78–85.
- Conklin, E.J., and Smith, J.E. 2005. [Abundance and spread of the invasive red algae, *Kappaphycus* spp., in Kane'ohe Bay, Hawai'i and an experimental assessment of management options](#). *Biol. Invasions* 7: 1029–1039.
- Contreras-Porcia, L., Thomas, D., Flores, V., and Correa, J.A. 2011. [Tolerance to oxidative stress induced by desiccation in *Porphyra columbina* \(Bangiales, Rhodophyta\)](#). *J. Exp. Bot.* 62(6): 1815–1829.
- Coutts, A.D.M. 2006. An evaluation of incursion response tools for invasive species; a case study of *Didemnum vexillum* in the Marlborough Sounds. Cawthron Institute, Nelson, New Zealand. Report No. 1093. 84 p.
- Coutts, A., and Forrest, B. 2005. Evaluation of eradication tools for the clubbed tunicate *Styela clava*. Cawthron Institute, Nelson, New Zealand. Report No. 1110. 48 p.
- Coutts, A.D.M., and Forrest, B.M. 2007. [Development and application of tools for incursion response: Lessons learned from the management of the fouling pest *Didemnum vexillum*](#). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 342(1): 154–162.
- Cowie, P.R. 2009. Chapter 6 – [Biofouling patterns with depth](#). In *Biofouling*. Edited by S. Dürr and J.C. Thomson. Blackwell Publishing Ltd, West Sussex, United Kingdom. 87–99 ISBN 978-1-4051-6926-4. [Accédé le 26 juin 2023].
-

-
- Cox, B., Kosmeyer, P., O'Connor, W., Dove, M., and Johnstone, K. 2012. [Oyster over-catch: cold shock treatment](#). Australian Seafood Cooperative Research Centre Company Ltd., Fisheries Research and Development Corporation, Port Stephens Fisheries Institute, Industry and Investment NSW and Tasmanian Oyster Research Council Ltd., Project No. 2010/734. 38 p. [Accédé le 7 juillet 2023].
- Critchley, A.T., Farnham, W.F., and Morell, S.L. 1986. [An account of the attempted control of an introduced marine Alga, *Sargassum muticum*, in southern England](#). Biol. Conserv. 35(4): 313–332.
- Cunningham, S., Cahill, P.L., and South, P. 2020. [Biosecurity considerations for farming non-native seaweeds: a case study of *Undaria pinnatifida* in New Zealand](#). Prepared for the Ministry of Business, Innovation and Employment: Shellfish Aquaculture Research Platform CAWX1801. Cawthron Report No. 3395. 42 p.
- Curtis, L.J.F., Pearce, C.M., Hodes, V., Nelson, J.C., Wasser, C., Savery, J., and Therriault, T.W. 2021. [Mitigating non-indigenous species movements: effects of pressure-washing intensity and duration on the removal of biofouling and mobile invertebrates from cultured Pacific oysters \(*Crassostrea gigas* \(Thunberg, 1793\)\)](#). Manag. Biol. Invasions 3: 618–639.
- Darbyson, E.A., Hanson, J.M., Locke, A., and Willison, J.H.M. 2009. [Survival of European green crab \(*Carcinus maenus* L.\) exposed to simulated overland and boating-vector transport conditions](#). J. Shellfish Res. 28(2): 377–382.
- Davidson, J., Arsenault, G., MacNair, N., Landry, T., and Bourque, D. 2005. Reproduction, epidemiology and control of the clubbed tunicate, *Styela clava*. AFRI Project Final Report No. 043AR15. PEI Aquaculture Alliance and PEI Aquaculture and Fisheries Research Initiative, Prince Edward Island, Canada. 33 p.
- Davidson, J.D.P., Landry, T., Johnson, G.R., Ramsay, A., and Quijón, P.A. 2016. [A field trial to determine the optimal treatment regime for *Ciona intestinalis* on mussel socks](#). Manag. Biol. Invasions 7(2): 167–179.
- Delaruelle, A., and Claes, A.I. 1966. Chapitre 6 – Les non-métaux. *Dans Chimie minérale*, 7^e Éd. Wesmael-Charlier, Namur, Belgique. 229 p.
- Denny, C.M. 2008. [Development of a method to reduce the spread of the ascidian *Didemnum vexillum* with aquaculture transfers](#). ICES J. Mar. Sci. 65(5): 805–810.
- Diederich, S., Nehls, G., van Beusekom, J.E.E, and Reise, K. 2005. [Introduced Pacific oysters \(*Crassostrea gigas*\) in the northern Wadden Sea: invasion accelerated by warm summers?](#) Helgol. Mar. Res. 59: 97–106.
- Dijkstra, J., Dutton, A., Westerman, E., and Harris, L. 2008. [Heart rate reflects osmotic stress levels in two introduced colonial ascidians *Botryllus schlosseri* and *Botrylloides violaceus*](#). Mar. Biol. 154: 805–811.
- Drapeau, A., Comeau, L.A., Landry, T., Stryhn, H., and Davidson, J. 2006. [Association between longline design and mussel productivity in Prince Edward Island, Canada](#). Aquaculture 261(3): 879–889.
- Du, G., Li, X., Wang, J., Che, S., Zhong, X., and Mao, Y. 2021. [Discrepancy in photosynthetic responses of the red alga *Pyropia yezoensis* to dehydration stresses under exposure to desiccation, high salinity, and high mannitol concentration](#). J. Mar. Sci. Technol. 4: 10–17.
- Dunham, A., and Marshall, R.D. 2012. [Using stocking density modifications and novel growth medium to control shell deformities and biofouling in suspended culture of bivalves](#). Aquaculture 324: 234–241.
-

-
- Dumont, C.P., Urriago, J.D., Abarca, A., Gaymer, C.F., and Thiel, M. 2009. [The native rock shrimp *Rhynchocinetes typus* as a biological control of fouling in suspended scallop cultures](#). *Aquaculture* 292(1): 74–79.
- Epelbaum, A., Pearce, C.M., Barker, D.J., Paulson, A., and Therriault, T.W. 2009. [Susceptibility of non-indigenous ascidian species in British Columbia \(Canada\) to invertebrate predation](#). *Mar. Biol.* 156: 1311–1320.
- Fey, F., Dankers, N., Steenbergen, J., and Goudswaard, K. 2010. [Development and distribution of the non-indigenous Pacific oyster \(*Crassostrea gigas*\) in the Dutch Wadden Sea](#). *Aquac. Int.* 18: 45–59.
- Ferguson, L.F., Davidson, J., Landry, T., Clements, J.C., and Therriault, T.W. 2017. [*Didemnum vexillum*: invasion potential via harvesting and processing of the Pacific oyster \(*Crassostrea gigas*\) in British Columbia, Canada](#). *Manag. Biol. Invasions* 8(4): 553–558.
- Ferguson, L.F., Landry, T., Therriault, T.W., and Davidson, J. 2016. [Effectiveness of a neutral red viability protocol developed for two colonial tunicate species](#). *Manag. Biol. Invasions* 7(2): 181–187.
- Fitridge, I., Sievers, M., Dempster, T., and Keough, M.J. 2014. [Tackling a critical industry bottleneck: developing methods to avoid, prevent & treat biofouling in mussel farms](#). Fisheries, Research and Development Corporation project no. 2010/202. ii + 77 p. University of Melbourne, Australia. ISBN 978 0 7340 5016 8. [Accédé le 26 juin 2023].
- Fitridge, I., Dempster, T., Guenther, J., and de Nys, R. 2012. [The impact and control of biofouling in marine aquaculture: a review](#). *Biofouling* 28(7): 649–669.
- Førde, H., Forbord, S. Handå, A., Fossberg, J., Arff, J., Johnsen, G., and Inge, K. 2015. [Development of bryozoan fouling on cultivated kelp \(*Saccharina latissima*\) in Norway](#). *J. Appl. Phycol.* 28: 1225–1234.
- Forrest, B.M., and Blakemore, K.A. 2006. [Evaluation of treatments to reduce the spread of a marine plant pest with aquaculture transfers](#). *Aquaculture* 257(1): 333–345.
- Forrest, B.M., Hopkins, G.A., Dodgshun, T.J., and Gardner, J.P.A. 2007. [Efficacy of acetic acid treatments in the management of marine biofouling](#). *Aquaculture* 262(2): 319–332.
- Foster, B.A. 1971. [Desiccation as a factor in the intertidal zonation of barnacles](#). *Mar. Biol.* 8(1): 12–29.
- Gallo-García, M. del C., García-Ulloa-Gómez, M., and Godínez-Siordia, D.E. 2004. [Evaluation of two treatments in polychaete worm intensity associated with *Crassostrea gigas* \(Thunberg, 1873\) oyster valves](#). *Cienc. Mar.* 30(3): 455–464.
- Getchis, T.L. (Ed.). 2014. [Northeastern U.S. aquaculture management guide: a manual for the identification and management of aquaculture production hazards](#). 1st Ed. United States Department of Agriculture. 288 p. [Accédé le 26 juin 2023].
- Gill, K., MacNair, N., and Morrison, A. 2007. Investigation into the life cycle, impact on mussel culture and mitigation strategies for the vase tunicate (*Ciona intestinalis*), a new invasive species in the Montague/Brudenell River systems. AFRI Report No. 062AR20. Prince Edward Island, Canada. 73 p.
- Gill, K., Smith, M., MacNair, N., and Maillet, M. J. 2008. Investigation into the management of the invasive species; the oyster drill, the violet tunicate, the clubbed tunicate and the vase tunicate on oyster aquaculture farms. AFRI Report No. 068AR22, Prince Edward Island and New Brunswick, Canada. i + 54 p.
-

-
- Gonzalez, J.G., and Yevich, P. 1976. Response of an estuarine population of the blue mussel *Mytilus edulis* to heated water from a steam generating plant. *Mar. Biol.* 24: 177–189.
- Gosling, E. 2015. *Marine bivalve molluscs*. 2nd Ed. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, United Kingdom. 533 p. ISBN: 9780470674949.
- Gouletquer, P. 1995. [Cycle de reproduction naturelle de l'huître creuse *Crassostrea gigas*](#). Rapport du groupe de travail sur la Reproduction des Mollusques Bivalves d'Aquaculture Marine. Nante, France, 14–15 novembre 1995. 19 p. [Accédé le 30 juin 2023].
- Gray, P.W.G, and Jones, E.B.G. 1977. [The attempted clearance of *Sargassum muticum* from Britain](#). *Environ. Conserv.* 4(4): 303–308.
- Gryder, D. K. 2002. Control of mud blister formation in oysters. Fishery Resource Grant FRG 2000–05. Virginia Institute of Marine Science, Virginia, United States of America. William & Mary Libraries. 9p.
- Guajardo, E., Correa, J.A., and Contreras-Porcía, L. 2016. [Role of abscisic acid \(ABA\) in activating antioxidant tolerance response to desiccation stress in intertidal seaweed species](#). *Planta* 243: 767–781.
- Guardiola, F.A., Cuesta, A., Meseguer, J., and Esteban, M.A. 2012. [Risk of using antifouling biocides in aquaculture](#). *Int. J. Mol. Sci.* 13(2): 1541–1560.
- Guillou, E., Cyr, C., Laplante, J.-F., Bourque, F., Toupoint, N., and Tremblay, R. 2020. [Commercial performance of blue mussel \(*Mytilus edulis*, L.\) stocks at a microgeographic scale](#). *J. Mar. Sci. Eng.* 8(6), 382: 1–21.
- Hancock, D. A. 1969. [Oyster pests and their control](#). Burnham on Crouch, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. Laboratory leaflet (new series) No. 19: 30 p. [Accédé le 26 juin 2023].
- Hansen, J.P., Robertson-Andersson, D., and Troell, M. 2006. [Control of the herbivorous gastropod *Fissurella mutabilis* \(Sow.\) in a land-based integrated abalone-seaweed culture](#). *Aquaculture* 255: 384–388.
- Haque, N., and Kwon, S. 2017. [Assessing the hydrogen peroxide effect along with sodium hypochlorite against marine blue mussels aimed at antifouling usage](#). *Environ. Eng. Res.* 22(1): 108–115.
- Haque, N., Daechul, C., Jeong Mee, L., Dong Su L., and Kwon, S. 2014. [Proactive approach for biofouling control: consequence of chlorine on the veliger larvae of *Mytilus edulis* under laboratory condition](#). *Environ. Eng. Res.* 19(4): 375–380.
- Haque, N., Alam, M., Cho, D., and Kwon, S. 2015. [Sensitivity of veliger larvae of *Mytilus edulis* and mussel of various sizes to chlorination](#). *Toxicol. Environ. Chem.* 97(7): 931–945.
- Haupt, T.M., Griffiths, C.L., Robinson, T.B., and Tonin, A.F.G. 2010. [Oysters as vectors of marine aliens, with notes on four introduced species associated with oyster farming in South Africa](#). *African Zoology* 45(1): 52–62.
- Hick, P.M., Evans, O., Rubio, A., Dhand, N.K., and Whittington, R.J. 2018. [Both age and size influence susceptibility of Pacific oysters \(*Crassostrea gigas*\) to disease caused by *Ostreid herpesvirus-1* \(OsHV-1\) in replicated field and laboratory experiments](#). *Aquaculture* 489: 110–120.
- Hilliard, R., and Polglaze, J. 2006. Review and evaluation of the biofouling protocol for vessels less than 25 m in length. URS Australia Pty Ltd prepared for Australian Quarantine and Inspection Service. Perth, Australia. Report R1216. i + 136 p.
-

-
- Hillock, K.A., and Costello, M.J. 2013. [Tolerance of the invasive tunicate *Styela clava* to air exposure](#). *Biofouling* 29(10): 1181–1187.
- Hilton, A., and Richardson, J.S. 2004. The problem of research on Endangered Species: are experiments on proxy species a solution? Proceedings of the Species at Risk 2004 Pathways to Recovery Conference, 2–6 March 2004. Victoria, British Columbia, Canada. 9p.
- Hood, S., Parker, M., and Webster, D. 2020. Biofouling control strategies. A field guide for Maryland oyster growers. University of Maryland Extension, Maryland, United States of America. 41p.
- Hopkins, G.A., Prince, M., Cahill, P.L., Fletcher, L.M., and Atalah, J. 2016. [Desiccation as a mitigation tool to manage biofouling risks: trials on temperate taxa to elucidate factors influencing mortality rates](#). *Biofouling* 32(1): 1–11.
- Hudson, D.M., Sexton, D.J., Wint, D., Capizzano, C., and Crivello, J.F. 2018. [Physiological and behavioral response of the Asian shore crab, *Hemigrapsus sanguineus*, to salinity: Implications for estuarine distribution and invasion](#). *Peer J.* 6: e5446.
- International Council for the Exploration of the Sea [ICES]. 2005. [Code of Practice on the Introductions and Transfers of Marine Organisms 2005](#). ICES convention and rules of procedure.
- Inglis, G.J., Floerl, O., and Woods, C. 2012. [Scenarios of vessel biofouling risk and their management: an evaluation of options](#). Ministry of Agriculture and Forestry. Wellington, New Zealand. Technical paper No. 2012/07. 122 p. [Accédé le 26 juin 2023].
- IOC-UNESCO, and GEF-UNDP-IMO GloFouling Partnerships. 2022. Best practices in biofouling management vol. 1: Biofouling prevention and management in the marine aquaculture industry. Paris, France. IOC-UNESCO and IMO. IOC Technical Series No. 174: 52 p.
- Joyce, P.W.S., Cuthbert, R.N., Kregting, L., Crane, K., Vong, G.Y.W., Cunningham, E.M., Dick, J.T.A., and Coughlan, N.E. 2019. [Stay clean: direct steam exposure to manage biofouling risks](#). *Mar. Pollut. Bull.* 142: 465–469.
- Jute, A., and Dunphy, B.J. 2017. [The potential efficacy and application of freshwater and hypersaline immersion to control the spread of a marine invasive species](#). *Biol. Invasions* 19:1137–1141.
- Kang, E.J., and Kim, J-H. 2022. [Development of an efficiency criterion for the removal of pest organisms \(ulvoid green algae and diatoms\) from *Neopyropia* aquaculture using the acid wash \(pH shock\) method](#). *Aquaculture* 548: 737677.
- Katsanevakis, S., Zenetos, A., Belchior, C., and Cardoso, A.C. 2013. [Invading European Seas: Assessing pathways of introduction of marine aliens](#). *Ocean. Coastal Manag.* 76: 64–74.
- Kim, K.Y., and Garbary, D.J. 2007. [Photosynthesis in *Codium fragile* \(Chlorophyta\) from a Nova Scotia estuary: responses to desiccation and hyposalinity](#). *Mar. Biol.* 151: 99–107.
- Koganezawa, A. 1972. Higai seibutsu no seitai to sono bojo. III. Murasaki-igai Ecology and prevention of fouling organisms. III. Mussels. *Yoshoku*, 1972(5): 72-74.
- Kozloff, E. 1995. Marine invertebrates of Pacific Northwest. University of Washington Press, Seattle, Washington, United States of America. 539 p. ISBN: 9780295975627.

-
- Lachance, A.A., Myrand, B., Tremblay, R., Koutitonsky, V., and Carrington, E. 2008. [Biotic and abiotic factors influencing attachment strength of blue mussels *Mytilus edulis* in suspended culture](#). *Aquat. Biol.* 2: 119–129.
- Lagarde, F. 2018. Écologie de la reproduction de l'huître *Crassostrea gigas* en lagune méditerranéenne [dissertation]. Biodiversité et Écologie, Sorbonne Université, Paris, France. 204 p. NNT: 2018SORUS470.
- Lamb, A., and Handby, B.P. 2005. Marine life of Pacific Northwest. Harbour Publishing, Madeira Park, British Columbia, Canada. 398 p.
- Lavoie, R.E. 1995. Culture of the American oyster, *Crassostrea virginica*. In Cold-water aquaculture in Atlantic Canada. *Edited by* A. D. Boghen. 2nd Ed. Canadian Institute for Research on Regional Development, Moncton, New Brunswick, Canada. 189–224 p. ISBN 0-88659-033-7.
- Leach, A. 2011. [Testing the efficacy of heated seawater for managing biofouling in ship's sea chests](#). BSc thesis, School of Biological Sciences, University of Wollongong, Australia. [Accédé le 26 juin 2023].
- LeBlanc, A.R., Landry, T., and Miron, G. 2003. [Identification of fouling organisms covering mussel lines and impact of a common defouling method on the abundance of foulers in Tracadie Bay, Prince Edward Island](#). *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2477: vii + 18 p. [Accédé le 26 juin 2023].
- Leblanc, N., Landry, T., Stryhn, H., Tremblay, R., McNiven, M., and Davidson, J. 2005. [The effect of high air and water temperature on juvenile *Mytilus edulis* in Prince Edward Island, Canada](#). *Aquaculture* 243: 185–194.
- Leblanc, N., Davidson, J., Tremblay, R., McNiven, M., and Landry, T. 2007. [The effect of anti-fouling treatments for the clubbed tunicate on the blue mussel, *Mytilus edulis*](#). *Aquaculture* 264: 205–213.
- Leighton, D.L. 1998. Control of Sabellid infestation in green and pink abalones, *Haliotis fulgens* and *H. corrugata*, by exposure to elevated water temperatures. *J. Shellfish Res.* 17(3): 701–705.
- Lemasson, A. 2019. [Preferential parasitism of native oyster *Ostrea edulis* over non-native *Magallana gigas* by a Polydroid worm](#). *Estuar. Coast.* 42(5): 1397–1403.
- Levings, C., Kieser, D., Jamieson, G.S., and Dudas, S. 2002. [Marine and estuarine alien species in the Strait of Georgia, British Columbia](#). In Alien invaders in Canada's waters, wetlands, and forests. *Edited by* R. Claudi, P. Nantel, and E. Muckle-Jeffs. Canadian Forest Service, Natural Resources Canada, Ottawa, Canada. 111–132 p. [Accédé le 26 juin 2023].
- Li, Xi., Wang, Wj., Liu, Fl., Liang, Zr., Sun, Xt., Yao, Hq., and Wang, Fj. 2018a. [Periodical drying or no drying during aquaculture affects the desiccation tolerance of a sublittoral *Pyropia yezoensis* strain](#). *J. Appl. Phycol.* 30: 697–705.
- Li, J., Yang, C., Wang, Q., Du, X., and Deng, Y. 2018b. [Growth and survival of host pearl oyster *Pinctada fucata martensii* \(Dunker, 1880\) treated by different biofouling-clean methods in China](#). *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 207: 104–108.
- Locke, A., Doe, K.G., Fairchild, W.L., Jackman, P.M., and Reese, E.J. 2009. [Preliminary evaluation of effects of invasive tunicate management with acetic acid and calcium hydroxide on non-target marine organisms in Prince Edward Island, Canada](#). *Aquat. Invasions* 4(1): 221–236.
-

-
- Lodeiros, C., and Garcías, N. 2004. [The use of sea urchins to control fouling during suspended culture of bivalves](#). *Aquaculture* 231(1): 293–298.
- Loman, Z.G., Deluca, W.V., and Harrison, D.J. 2021. [How well do proxy species models inform conservation of surrogate species?](#) *Landscape Ecol.* 36: 2863–2877.
- Loosanoff, V.L. 1960. Method for controlling boring sponges and other pests of commercial mollusks. United States Patent office patented US 2955068A. 3 p.
- Loosanoff, V.L., and Engle, J.B. 1943. [Polydora in oysters suspended in the water](#). *Biol. Bull.* 85(1): 69–78.
- Loman, Z.G., Deluca, W.V., and Harrison, D.J. 2021. [How well do proxy species models inform conservation of surrogate species?](#) *Landscape Ecol.* 36: 2863–2877.
- MacDonald, B.A., Bricelj, V.M., and Shumway, S.E. 2006. [Chapter 7 – Physiology: Energy acquisition and utilisation](#). In *Scallops: Biology, Ecology, Aquaculture, and Fisheries*. Edited by S.E. Shumway and G.J. Parsons. *Developments in Aquaculture and Fisheries Science* 35: 417–492.
- MacNair, N. 2002. [Codium fragile treatment trials](#). Report No. AIN10.2002. Aqua Info – Aquaculture Notes. Government of Prince Edward Island, Canada. 4 p. [Disponible sur demande].
- MacNair, N. 2009. [Control of green algae on mussel seed collectors](#). Report No. AIN22.2009. Aqua Info – Aquaculture Notes. Government of Prince Edward Island, Canada. 4 p. [Disponible sur demande].
- MacNair, N., and Smith, M. 1999. Investigations into treatments to control fouling organisms affecting oyster production. *J. Shellfish Res.* 18: 331–331.
- MacNair, N., Morison, A., Mills, C., and Campbell, E. 2006. Investigation into the life cycles, impact on mussel culture and mitigation strategies for two new invasive colonial tunicates, the golden star and the violet tunicate. Savage Harbour PEI: AFRI Report No. 060AR18. PEI Department of Agriculture, Fisheries and Aquaculture, Fisheries and Aquaculture Division, Charlottetown, Prince Edward Island, Canada. iv + 55 p.
- Mallet, A., and Myrand, B. 1995. The culture of the blue mussel in Atlantic Canada. In *Cold-Water Aquaculture in Atlantic Canada*. Edited by A.D. Boghen. 2nd Ed. The Canadian Institute for Research on Regional Development, Moncton, New Brunswick, Canada. 255–296 p. ISBN 0-88659-033-7.
- Mallet, A., Carver, C.E., and Hardy, M. 2009. [The effect of floating bag management strategies on biofouling, oyster growth and biodeposition levels](#). *Aquaculture* 287(3): 315–323.
- Marks, L.M., Reed, D.C., and Obaza, A.K. 2017. [Assessment of control methods for the invasive seaweed *Sargassum horneri* in California, USA](#). *Manag. Biol. Invasions* 8(2): 205–213.
- Marshall, R.D., and Dunham, A. 2013. [Effects of culture media and stocking density on biofouling, shell shape, growth, and survival of the Pacific oyster \(*Crassostrea gigas*\) and the Manila clam \(*Venerupis philippinarum*\) in suspended culture](#). *Aquaculture* 406–407: 68–78.
- Mayrand, E., Sonier, T., and Comeau, L.A. 2015. [Hot water immersion lowers survival, shell growth rate and lysosomal membrane stability of oysters *Crassostrea virginica* \(Gmelin\)](#). *Aquac. Res.* 46(8): 1974–1987.
-

-
- McCann, L.D., Holzer, K.K., Davidson, I.C., Ashton, G.V., Chapman, M.D., and Ruiz, G.M. 2013. [Promoting invasive species control and eradication in the sea: options for managing the tunicate invader *Didemnum vexillum* in Sitka, Alaska](#). Mar. Pollut. Bull. 77: 165–171.
- McDonald, C. 2010. Expansion of the PEI off-bottom oyster aquaculture industry: opportunities, barriers and developments. Prince Edward Island Aquaculture Alliance and Island Oyster Growers Group Workshop, Slemon Park, Prince Edward Island, Canada. Aquaculture Collaboration Research and Development Program. Report No. MG–10–01–007. 201 p.
- McKenzie, C.H., Matheson, K., Caines, S., and Wells, T. 2016. [The development of a rapid response plan to control the spread of the solitary invasive tunicate, *Ciona intestinalis* \(Linnaeus, 1767\), in Newfoundland and Labrador, Canada](#). Manag. Biol. Invasions 7(1): 87–100.
- McKindsey, C.W., Landry, T., O'Beirn, F.X., and Davies, I.M. 2007. [Bivalve aquaculture and exotic species: a review of ecological considerations and management issues](#). J. Shellfish Res. 26(2): 281–294.
- Medcof, J.C. 1961. Oyster farming in the Maritimes. Fish. Res. Board Canada. Bulletin 131: ii + 158 p.
- Meichssner, R., Stegmann, N., Cosin, A.-S., Sachs, D., Bressan, M., Marx, H., Krost, P., and Schulz, R. 2020. [Control of fouling in the aquaculture of *Fucus vesiculosus* and *Fucus serratus* by regular desiccation](#). J. Appl. Phycol. 32: 4145–4158.
- Minchin, D. 1996. [Management of the introduction and transfer of marine molluscs](#). Aquat. Conserv.: Mar. Freshw. Ecosyst. 6(4): 229–244.
- Minchin, D., and Duggan, C.B. 1988. The distribution of the exotic ascidian *Styela clava* Herdman, in Cork Harbour. Ir. Nat. J. 22(9): 388–393.
- Mineur, F., Belsher, T., Johnson, M.P., Maggs, C.A., and Verlaque, M. 2007. [Experimental assessment of oyster transfers as a vector for macroalgal introductions](#). Biol. Conserv. 137(2): 237–247.
- Moore, J.D., Juhasz, C.I., Robbins, T.T., and Grosholz, E.D. 2007. [The introduced sabellid Polychaete *Terebrasabella heterouncinata* in California: Transmission, methods of control and survey for presence in native Gastropod populations](#). J. Shellfish Res. 26(3): 869–876.
- Morse, D.L., Rawson, P.D., and Kraeuter, J.N. 2015. [Mud blister worms and oyster aquaculture](#). The University of Maine, Maine, United States of America. Maine Sea Grant Publications No. 46: 8 p. [Accessed 26 June 2023].
- MPO. 2003. [Profil de la moule bleue \(*Mytilus edulis*\)](#). Ministère des Pêches et Océans Canada, Région du Golfe, Moncton, Nouveau-Brunswick, Canada. 59 p. [Accédé le 30 juin 2023].
- MPO. 2017. Code national sur les introductions et transferts d'organismes aquatiques. Ministère des Pêches et Océans Canada, Fs49-10/2017F-PDF, 44p. [Accédé le 17 novembre 2022].
- Muñoz, I., Martínez Bueno, M.J., Agüera, A., and Fernández-Alba, A.R. 2010. [Environmental and human health risk assessment of organic micro-pollutants occurring in a Spanish marine fish farm](#). Environ. Pollut. 158(5): 1809–1816.
- Myrand, B., Guderley, H., and Himmelman, J.H. 2000. Reproduction and summer mortality of blue mussels *Mytilus edulis* in the Magdalen Islands, southern Gulf of St. Lawrence. Mar. Ecol. Prog. Ser. 197: 193–207.
- NB DAA [New Brunswick Department of Agriculture and Aquaculture]. 2008. [Reference manual for oyster aquaculturists](#). iii + 76p. ISBN 978-1-55471-094-2. [Accédé le 26 juin 2023].
-

-
- Nel, R., Coetzee, P.S., and Van Niekerk, G. 1996. [The evaluation of two treatments to reduce mud worm \(*Polydora hoplura* Claparède\) infestation in commercially reared oysters \(*Crassostrea gigas* Thunberg\)](#). *Aquaculture* 141(1): 31–39.
- Nell, J. 2007. [Controlling mudworm in oysters](#). Primefact 590, New South Wales Department of Primary Industries, Australia. 4 p. [Accédé le 26 juin 2023].
- Nicoletti, M.A., and Magalhães, J.F. 1996. Influence of the container and environmental factors in the stability of sodium hypochlorite. *Bol. Oficina Sanit Panam.* 121(4): 301–309.
- Nunes, A. L., Katsanevakis, S., Zenetos, A., and Cardoso, A. C. 2014. [Gateways to alien invasions in the European seas](#). *Aquat. Invasions* 9(2): 133–144.
- Paetzold, C.S., and Davidson, J. 2010. [Viability of golden star tunicate fragments after high-pressure water treatment](#). *Aquaculture* 303:105–107.
- Paetzold, S.C., and Davidson, J. 2011. [Aquaculture fouling: Efficacy of potassium monopersulphate triple salt based disinfectant \(Virkon® Aquatic\) against *Ciona intestinalis*](#). *Biofouling* 27(6): 655–665.
- Paetzold, S. C., Davidson, J., and Giberson, D. 2008. [Responses of *Mitrella lunata* and *Caprella* spp., potential tunicate micropredators, in Prince Edward Island estuaries to acetic acid anti-fouling treatments](#). *Aquaculture* 285(1): 96–101.
- Paetzold, S.C., Hill, J., and Davidson, J. 2012. [Efficacy of high-pressure seawater spray against colonial tunicate fouling in mussel aquaculture: inter-annual variation](#). *Aquat. Invasions* 7(4): 555–566.
- Pannell, A., and Coutts, A.D.M., 2007. [Treatment methods used to manage *Didemnum vexillum* in New Zealand](#). New Zealand Marine Farming Association Incorporated Report. Submitted to M.A.F. Biosecurity New Zealand. 29 p. [Accédé le 26 juin 2023].
- PEI DAFA [PEI Department of Agriculture, Fisheries and Aquaculture]. 2003. [Mussel culture in Prince Edward Island](#). Report AIN.12.2003. Aqua Info – Aquaculture Notes. Government of Prince Edward Island, Canada. 4 p. [Accédé le 26 juin 2023].
- Piola, R.F., and Hopkins, G.A. 2012. [Thermal treatment as a method to control transfers of invasive biofouling species via vessel sea chests](#). *Mar. Pollut. Bull.* 64(8): 1620–1630.
- Piola, R.F., Dunmore, R.A., and Forrest, B.M. 2009. [Assessing the efficacy of spray delivered 'eco-friendly' chemicals for the control and eradication of marine fouling pests](#). *Biofouling* 26(2): 187–203.
- Porri, F., McQuaid, C.D., and Erlandsson, J. 2016. [The role of recruitment and behaviour in the formation of mussel-dominated assemblages: an ontogenetic and taxonomic perspective](#). *Mar. Biol.* 163: 1–10.
- Raimbault, R. 1964. [Croissance des huîtres atlantiques élevées dans les eaux méditerranéennes françaises](#). *Science et Pêche, Bull. Inform. Document. Inst. Pêches marit* : 126: 1–10. [Accédé le 6 juillet 2023].
- Rajagopal, S., van der Velde, G., and Jenner, H.A. 2002. [Effects of low-level chlorination on zebra mussel, *Dreissena polymorpha*](#). *Water Res.* 36(12): 3029–3034.
- Rajagopal, S., van der Velde, G., Van der Gaap, M., and Jenner, H.A. 2003. [How effective is intermittent chlorination to control adult mussel fouling in cooling water systems?](#) *Water Res.* 37(2): 329–338.
-

-
- Rajagopal, S., van Der Velde, G., van Der Gaag, M., and Jenner, H.A. 2005a. [Factors influencing the upper temperature tolerances of three mussel species in a brackish water canal: size, season and laboratory protocols](#). *Biofouling* 21: 87–97.
- Rajagopal, S., van der Velde, G., Jansen, J., van der Gaag, M., Atsma, G., Janssen-Mommen, J.P., Polman, H., and Jenner, H.A. 2005b. [Thermal tolerance of the invasive oyster *Crassostrea gigas*: feasibility of heat treatment as an antifouling option](#). *Water Res.* 39: 4335–4342.
- Ramsay, A. 2014a. [High-pressure water application to control the vase tunicate and increase mussel productivity](#). Report No. AIN 23.2014. Aqua Info – Aquaculture Notes. Government of Prince Edward Island, Canada. 4 p. [Accédé juillet 2021].
- Ramsay, A. 2014b. [Hydrated lime application by the shellfish industry](#). Report No. AIN 24.2014. Aqua Info – Aquaculture Notes. Government of Prince Edward Island, Canada. 2 p. [Accédé novembre 2020].
- Ramsay, A. 2015a. [Fresh water treatment as a management tool to control the spread of colonial tunicates](#). Report No. AIN 25.2015. Aqua Info – Aquaculture Notes. Government of Prince Edward Island, Canada. 4 p. [Accédé novembre 2020].
- Ramsay, A. 2015b. [Fresh water immersion to control de Vase Tunicate, *Ciona intestinalis*](#). Report No. AIN 26.2015. Aqua Info, Aquaculture Notes. Government of Prince Edward Island, Canada. 4 p. [Accédé novembre 2020].
- Ramsay, A. 2015c. [Fresh water immersion to control the clubbed tunicate, *Styela clava*](#). Report No. AIN 27.2015. Aqua Info – Aquaculture Notes. Government of Prince Edward Island, Canada. 2 p. [Accédé novembre 2020].
- Ramsay, A. 2022. [Lime and brine treatment to control the spread of the vase, *Ciona intestinalis*](#). Report No. AIN 28.2022. Aqua Info, Aquaculture Notes. Government of Prince Edward Island, Canada. 4 p. [Accédé le 26 juin 2023].
- Ramsay, A., Davidson, J., Landry, T., and Stryhn, H. 2008. [The effect of mussel seed density on tunicate settlement and growth for the cultured mussel, *Mytilus edulis*](#). *Aquaculture* 275(1): 194–200.
- Ramsay, A., Gill, K., Morrison, A., and MacNair, N. 2014. Hydrated lime application by the PEI aquaculture industry. Technical Report No. 253. Government of Prince Edward Island, Department of Fisheries, Aquaculture and Rural Development, Aquaculture Division, Prince Edward Island, Canada. i + 28 p.
- Robinson, S.M.C., Parson, G.J., Davidson, L.A., Shumway, S.E., and Blake, N. 2016. [Chapter 18 – Scallop aquaculture and fisheries in Eastern North America](#). In *Scallops: biology, ecology, aquaculture, and fisheries*. Edited by S.E. Shumway and G.J. Parsons. *Developments in Aquaculture and Fisheries Science* 40: 737–779.
- Roche, R.C., Monnington, J.M., Newstead, R.G., Sambrook, K., Griffith, K., Holt, R.H.F., and Jenkins, S.R. 2015. [Recreational vessels as a vector for marine non-natives: developing biosecurity measures and managing risk through an in-water encapsulation system](#). *Hydrobiologia* 750(1): 187–199.
- Rolheiser, K.C., Dunham, A., Switzer, S.E., Pearce, C.M., and Therriault, T.W. 2012. [Assessment of chemical treatments for controlling *Didemnum vexillum*, other biofouling, and predatory sea stars in Pacific oyster aquaculture](#). *Aquaculture* 364–365: 53–60.
- Ross, K.A., Thorpe, J.P., and Brand, A.R. 2004. [Biological control of fouling in suspended scallop cultivation](#). *Aquaculture* 229(1): 99–116.
-

-
- Rousselle, T. 2012. Impact de l'échaudage sur la survie, la croissance et la physiologie de l'huitre de l'est (*Crassostrea virginica*). Thèse MSc. Département de biologie, Faculté des sciences, Université de Moncton, Moncton, Nouveau-Brunswick, Canada. 68 p.
- Ruellet, T. 2004. Infestation des coquilles d'huîtres *Crassostrea gigas* par les polydores en Basse-Normandie: recommandations et mise au point d'un traitement pour réduire cette nuisance. Université de Caen / Basse-Normandie, France. 538 p.
- Sala, A., and Lucchetti, A. 2008. [Low-cost tool to reduce biofouling in oyster longline culture](#). Aquac. Eng. 39(1): 53–58.
- Seuront, L., Nicastro, K.R., Zardi, G.I., and Goberville, E. 2019. [Decreased thermal tolerance under recurrent heat stress conditions explains summer mass mortality of the blue mussel *Mytilus edulis*](#). Sci. Rep. 9: 17498.
- Sharp, G.J., MacNair, N., Campbell, E., Butters, A., Ramsay, A., and Semple, R. 2006. [Fouling of mussel \(*Mytilus edulis*\) collectors by algal mats, dynamics, impacts and symptomatic treatment in P.E.I. Canada](#). Sci. Asia 32(1): 87–97.
- Sievers, M., Dempster, T., Fitridge, I., and Keough, M.J. 2014. [Monitoring biofouling communities could reduce impacts to mussel aquaculture by allowing synchronisation of husbandry techniques with peaks in settlement](#). Biofouling 30(2): 203–212.
- Sievers, M., Dempster, T., Keough, M.J., and Fitridge, I. 2019. [Methods to prevent and treat biofouling in shellfish aquaculture](#). Aquaculture 505: 263–270.
- Smit, A.J., Fourie, A.M., Robertson, B.L., and du Preez, D.R. 2003. [Control of the herbivorous isopod, *Paridotea reticulata*, in *Gracilaria gracilis* tank cultures](#). Aquaculture 217(1): 385–393.
- Southgate, P.C., and Beer, A.C. 1997. [Hatchery and early nursery culture of the blacklip pearl oyster \(*Pinctada margaritifera* L.\)](#). J. Shellfish Res. 16(2): 561–567. [Accessed 26 June 2023].
- Southgate, P.C., and Beer, A.C. 2000. [Growth of blacklip pearl oyster \(*Pinctada margaritifera*\) juveniles using different nursery culture techniques](#). Aquaculture 187(1): 97–104.
- Sterling, A.M., Cross, C.F., and Pearce, C.M. 2016. [Co-culturing green sea urchins \(*Strongylocentrotus droebachiensis*\) with mussels \(*Mytilus* spp.\) to control biofouling at an integrated multi-trophic aquaculture site](#). Aquaculture 464: 253–261.
- Stranga, Y., and Katsanevakis, S. 2021. [Eight years of bioinvasions records: Patterns and trends in alien and cryptogenic species records](#). Manag. Biol. Invasions 12(2): 221–239.
- Stévant, P., Rebours, C., and Chapman, A. 2017. Seaweed aquaculture in Norway: recent industrial developments and future perspectives. Aquacult. Int. 25:1373–1390.
- Stokesbury, K.D.E., and Himmelman, J.H. 1995. [Biological and physical variables associated with aggregations of the giant scallop *Placopecten magellanicus*](#). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 52: 743–753.
- Stokesbury, K.D.E., O'Keefe, C.E., and Harris, B. 2006. [Chapter 17 – Fisheries sea scallop, *Placopecten magellanicus*](#). In Scallops: biology, ecology, aquaculture, and fisheries. Edited by S.E. Shumway and G.J. Parsons. Developments in Aquaculture and Fisheries Science 40: 719–736.
- Sukhotin, A.A., Strelkov, P.P., Maximovich, N.V., and Hummel, H. 2007. [Growth and longevity of *Mytilus edulis* \(L.\) from northeast Europe](#). Mar. Biol. Res. 3(3): 155–167.

-
- Sumi, C.B.T., and Scheibling, R.W. 2005. [Role of grazing by sea urchins in *Strongylocentrotus droebachiensis* in regulating the invasive alga *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* in Nova Scotia](#). Mar. Ecol. Prog. Ser. 292: 203–212.
- Switzer, S.E., Therriault, T.W., Dunham, A., and Pearce, C.M. 2011. [Assessing potential control options for the invasive tunicate *Didemnum vexillum* in shellfish aquaculture](#). Aquaculture 318(1): 145–153.
- Takeuchi, I., Matsumasa, M., and Kikuchi, S. 2003. [Gill ultrastructure and salinity tolerance of *Caprella* spp. \(Crustacea: Amphipoda: Caprellidea\) inhabiting the Sargassum community](#). Fish. Sci. 69: 966–973.
- Tamigneaux, É., Licois, A., Bourdages, D., and Leblanc, M.-J. 2013. Protocole pour la culture de la laminaire à long stipe (*Saccharina longicuris*) et de la laminaire sucrée (*Saccharina latissima*) dans le contexte du Québec. Guide Merinov No. 13-01. 1^{ère} édition. v + 38 p.
- Taylor, C.J.L. 2006. [The effects of biological fouling control at coastal and estuarine power stations](#). Mar. Poll. Bull. 53(1): 30–48.
- Taylor, J.J., Southgate, P.C., and Rose, R.A. 1997. [Fouling animals and their effect on the growth of silver-lip pearl oysters, *Pinctada maxima* \(Jameson\) in suspended culture](#). Aquaculture 153(1): 31–40.
- Velayudhan, T.S. 1983. On the occurrence of shell boring polychaetes and sponges on pearl oyster *Pinctada fucata* and control of boring organisms. In Proceedings of the Symposium on Coastal Aquaculture, Part 2, MBAI, 12–18 January 1980: 614–618.
- Vercaemer, B., Sephton, D., Nicolas, J.M., Howes, S., and Keays, J. 2011. *Ciona intestinalis* environmental control points: field and laboratory investigations. Aquat. Invasions 6(4): 477–490.
- Verlaque, M. 2001. [Checklist of the macroalgae of Thau lagoon \(Hérault, France\), a hot spot of marine species introduction in Europe](#). Oceanol. Acta 24(1): 29–49.
- Verlaque, M., Boudouresque, C.F., and Mineur, F. 2007. Oyster transfers: A major vector for macrophyte introductions. Rapp. Comm. int. Mer Médit. 38: 632.
- Vickerson, A. 2009. Managing the health of mussel (*Mytilus* spp.) seed from Newfoundland: the effects of thermal stressors, transport times, storage conditions and anti-biofouling treatments on the short-term and long-term performance of mussel seed. MSc. Thesis. Memorial University of Newfoundland, Newfoundland and Labrador, Canada. 114 p.
- Wallentinus, I. 2002. [Introduced marine algae and vascular plants in European aquatic environments](#). In Invasive Aquatic Species of Europe. Distribution, impacts and management. Edited by E. Leppäkoski, S. Gollasch, and S. Olenin. Springer, Dordrecht, Netherlands. 27–52.
- Watts, A.M., Goldstien, S.J., and Hopkins, G.A. 2015. [Characterising biofouling communities on mussel farms along an environmental gradient: a step towards improved risk management](#). Aquacult. Environ. Interact. 8: 15–30.
- Wei, H., Li, W., Liu, T., Li, Y., Liu, L., Shu, Y., Zhang, L., Wang, S., Xing, Q., Zhang, L., and Bao, Z. 2021. [Sexual development of the hermaphroditic scallop *Argopecten irradians* revealed by morphological, endocrine and molecular analysis](#). Front. Cell Dev. Biol. 9: 646754.
- Williams, S.L., and Schroeder, S.L. 2004. [Eradication of the invasive seaweed *Caulerpa taxifolia* by chlorine bleach](#). Mar. Ecol. Prog. Ser. 272: 69–76.
-

-
- Wolff, W.J., and Reise, K. 2002. [Oyster imports as a vector for the introduction of alien species into northern and western European coastal Waters](#). In Invasive aquatic species of Europe. Distribution, impacts and management. Edited by E. Leppäkoski, S. Gollasch, and S. Olenin. Springer, Dordrecht, Netherlands. 193–205.
- World Organisation for Animal Health [WOAH, founded as OIE]. 2009. Chapter 1.1.3. – Methods for disinfection of aquaculture establishments. 31–42 p. In Manual of diagnostic tests for aquatic animals. 6th Ed.
- Yan, X.H., Zhong, C.H., Qi, Q.B., and Wang, C.Q. 2011. Effects of refrigeration and acid treatment on the survival of the blades in *Porphyra haitanensis* and *Enteromorpha prolifera*. J. Shanghai Ocean Univ. 20(5): 697–704.

8. TABLEAUX

Tableau 1. Espèces aquatiques envahissantes (EAE) et épibiontes en milieu marin qui ont été évalués dans le présent travail.

Groupe représentatif	Espèces d'EAE et d'épibiontes
Tuniciers coloniaux	Botrylle étoilé (<i>Botryllus schlosseri</i>), botrylloïde violet (<i>Botrylloides violaceus</i>), didemne étendard (<i>Didemnum vexillum</i>) et diplosoma (<i>Diplosoma listerianum</i>)
Tuniciers solitaires	Ascidie plissée (<i>Styela clava</i>), ascidie jaune (<i>Ciona intestinalis</i>), ascidie sale (<i>Ascidella aspersa</i>) et raisin de mer (<i>Molgula manhattensis</i>)
Bivalves	Moule bleue (<i>Mytilus edulis</i>), moule méditerranéenne (<i>Mytilus galloprovincialis</i>), huître de l'Est (<i>Crassostrea virginica</i>) et huître creuse du Pacifique (<i>Crassostrea gigas</i>)
Gastropodes	Crépidules (<i>Crepidula fornicata</i> , <i>Crepidula adunca</i>) et bigorneaux-perceurs (<i>Urosalpinx cinerea</i> , <i>Eupleura caudata</i>)
Crustacés	Crabe vert européen (<i>Carcinus maenas</i>), crabe sanguin (<i>Hemigrapsus sanguineus</i>), caprelle japonaise (<i>Caprella mutica</i>) et balane commune (<i>Semibalanus balanoides</i>)
Étoiles de mer	Étoile de mer commune (<i>Asterias rubens</i>) et étoile de mer tachetée (<i>Evasterias troscheli</i>)
Macroalgues	Algue marine voleuse d'huîtres (<i>Codium fragile</i>), <i>Undaria</i> sp., <i>Cladophora</i> sp., <i>Ulva</i> sp., Rhodophyta, <i>Fucus</i> spp., <i>Gracilaria</i> sp., et <i>Caulerpa</i> sp.
Polychètes	Vers tubicoles (<i>Hydroides elegans</i> , <i>Spirobranchus paumotanus</i> [= <i>Pomatoceros taeniata</i>], <i>Sabella spallanzanii</i>), vers à boue (<i>Polydora ciliata</i> , <i>Polydora hoplura</i> , <i>Polydora websteri</i> , <i>Boccardia polybranchia</i>) et térébellides
Bryozoaires	Bryozoaire encroûtant de varech (<i>Membranipora</i> sp.), bryozoaire brun (bugule commune; <i>Bugula neritina</i>), bryozoaire à croûte rouge (<i>Cryptosula pallasiana</i>) et <i>Schizoporella</i> spp.
Éponges	Éponge perforante (<i>Cliona celata</i>) et éponge calcaire (<i>Leucosolenia</i> sp.)
Hydrozoaires	Hydroïde à bouche rose (<i>Ectopleura crocea</i>)

Tableau 2. Espèces de mollusques et de macroalgues cultivées au Canada (côtes de l'Atlantique et du Pacifique) qui ont été évaluées dans le cadre du présent travail.

Région	Groupe	Espèces déplacées et cultivées
Atlantique et Pacifique	Moules	Moule bleue (<i>Mytilus edulis</i>)
	Macroalgues	Laminaire sucrée (<i>Saccharina latissima</i>)
Atlantique	Huîtres	Huître de l'Est (<i>Crassostrea virginica</i>) et huître plate européenne (<i>Ostrea edulis</i>)
	Pétoncles	Pétoncle de baie (<i>Argopecten irradians</i>), pétoncle géant (<i>Placopecten magellanicus</i>) et pétoncle d'Islande (<i>Chlamys islandica</i>)
	Macroalgues	Laminaire à long stipe (<i>Saccharina longicuris</i>)
Pacifique	Moules	Moule méditerranéenne (<i>Mytilus galloprovincialis</i>)
	Huîtres	Huître creuse du Pacifique (<i>Crassostrea gigas</i>)
	Pétoncles	Pétoncle du Japon (<i>Mizuhopecten yessoensis</i>)
	Palourdes	Palourde japonaise (<i>Ruditapes philippinarum</i> anciennement dénommé <i>Venerupis philippinarum</i>), palourde lustrée (<i>Nuttallia obscurata</i>) et panope du Pacifique (<i>Panopea generosa</i>)
	Macroalgues	Nereocystis de Lutke (<i>Nereocystis luetkeana</i>), algue géante (<i>Macrocystis pyrifera</i>), dulce du Pacifique (<i>Develarea mollis</i>), algue roseau (<i>Neoagarum fimbriatum</i>) et alarie succulente (<i>Alaria marginata</i>)

Tableau 3. Seuils établis pour les espèces de mollusques et les fourchettes de tailles mises à l'essai dans la documentation pour tous les traitements. NS : non spécifié.

Côte (Atlantique/Pacifique)	Espèces déplacées	Seuil de la catégorie de grande taille (≥ mm)	Mesure	Fourchette de tailles mises à l'essai pour les traitements (mm)		Références
				Petite	Grande	
Atlantique et Pacifique	Moule bleue <i>Mytilus edulis</i>	50	Longueur	[1,4 à 44,95]	[50 à 59,3]	Mallet et Myrand 1995; Myrand <i>et al.</i> 2000; MPO 2003; Lamb et Handby 2005; Drapeau <i>et al.</i> 2006; Sukhotin <i>et al.</i> 2007; Lachance <i>et al.</i> 2008; Gosling 2015; Guillou <i>et al.</i> 2020
	Moules <i>Mytilus spp.</i>	50	Longueur	[16 à 36]	-	Mallet et Myrand 1995; Myrand <i>et al.</i> 2000; MPO 2003; Lamb et Handby 2005; Drapeau <i>et al.</i> 2006; Sukhotin <i>et al.</i> 2007; Lachance <i>et al.</i> 2008; Gosling 2015; Guillou <i>et al.</i> 2020
Atlantique	Huître plate européenne <i>(Ostrea edulis)</i>	65	Longueur	[<10 à 40]	[70 à 80]	Raimbault 1964; Boghen 1995; Gosling 2015; Lemasson 2019
	Huître de l'Est <i>Crassostrea virginica</i>	70	Longueur	[6,23 à 65]	NS	Boghen 1995; Kozloff 1995; Lavoie 1995; ministère de l'Agriculture et de l'Aquaculture du Nouveau-Brunswick 2008; Gosling 2015
	Pétoncle de baie <i>Argopecten irradians</i>	40	NS	-	-	Boghen 1995; MacDonald <i>et al.</i> 2006; Gosling 2015; Robinson <i>et al.</i> 2016; Wei <i>et al.</i> 2021
	Pétoncle géant <i>Placopecten magellanicus</i>	70	Hauteur	[6,63 à 22,97]	-	Black <i>et al.</i> 1993; Boghen 1995; Stokesbury et Himmelman 1995; Stokesbury <i>et al.</i> 2006; Robinson <i>et al.</i> 2016
Pacifique	Moule méditerranéenne <i>Mytilus galloprovincialis</i>	50	Longueur	30	[60 à 67]	Mallet et Myrand 1995; Myrand <i>et al.</i> 2000; MPO 2003; Lamb et Handby 2005; Drapeau <i>et al.</i> 2006; Sukhotin <i>et al.</i> 2007; Lachance <i>et al.</i> 2008; Gosling 2015; Porri <i>et al.</i> 2016; Guillou <i>et al.</i> 2020
	Huître creuse du Pacifique <i>Crassostrea gigas</i>	70	Longueur	[14,9 à 60]	[90,94 à 146,61]	Gouilletquer 1995; Kozloff 1995; Diederich <i>et al.</i> 2005; Fey <i>et al.</i> 2010; Cilenti <i>et al.</i> 2018; Hick <i>et al.</i> 2018; Lagarde 2018; Lemasson 2019

Tableau 4. Calculs de la cote d'incertitude pour les traitements efficaces pour tuer le plus grand nombre d'EAE marines ciblées. Un niveau d'incertitude a été attribué à chaque option de traitement par espèce et une cote a été attribuée en fonction du nombre d'études disponibles (peu nombreuses, limitées, nombreuses ou exhaustives), de leur qualité (communication personnelle, rapport technique ou étude examinée par des pairs), ainsi que de leur concordance avec l'option de traitement efficace indiquée (conclusions contradictoires, différentes, généralement en accord ou en accord). Les cotes d'incertitude n'ont pas été calculées pour les traitements inefficaces. La cote finale est fondée sur la somme des cotes obtenues pour les sources de données, leur qualité et leur accord avec l'option de traitement de décontamination indiquée.

Sources des données	Cote	Qualité	Cote	Accord	Cote	Plusieurs espèces	Cote	Cote finale	
Peu nombreuses (1 étude)	0	Communication personnelle	0	Résultats contradictoires	0	Oui	-1	-	Aucune donnée
Limitées (2 études)	1	Rapport technique	1	Conclusions différentes	1	Non	0	Incertitude très élevée	0-1
Nombreuses (3 à 6 études)	2	Examinée par les pairs	2	Généralement en accord	2	-	-	Incertitude élevée	2-3
Exhaustives (≥ 7 études)	3	-	-	En plein accord	3	-	-	Incertitude modérée	4-5
-	-	-	-	-	-	-	-	Incertitude faible	6-8

Tableau 5. Efficacité des traitements physiques contre les EAE marines, où « 100 % » fait référence à une mortalité de 100 % pour une combinaison de traitement donnée sur des organismes adultes (sauf indication contraire). Par « efficace », nous entendons un traitement ayant fait l'objet d'études où le pourcentage de mortalité a été jugé suffisant, mais n'a pas été quantifié. « Retrait » signifie que le résultat n'est pas exprimé en termes de mortalité, mais de réduction de la couverture ou de retrait de l'espèce. NS : non spécifié; * : rapports techniques; ** : données inédites ou non évaluées par des pairs; Δ : expériences en laboratoire d'acclimatement; juv. : le traitement a été appliqué sur les juvéniles ou les jeunes stades; a : *Botrylloides leachii*, substitut de *B. violaceus*; c : *Ciona savignyi*, substitut de *Ciona intestinalis*; e : *Watersipora subtorquata*, substitut de *Cryptosula pallasiana*; g : testé sur différents groupes de taille de la même catégorie de taille; h : *Asterias amurensis*, substitut de *Asterias rubens*; i : plusieurs espèces de crabes, substitués de *Carcinus maenas*; T : expérience sur le terrain. Les expériences en laboratoire sont présentées par défaut. Les références sont indiquées en exposant.

EAE et épibiontes	Eau de mer		Séchage à l'air	Eau douce				Chaleur		
	Jet à basse pression (<60 lb/po ²)	Jet à haute pression (>700 lb/po ²) ± séchage à l'air		Immersion	Jet	Immersion + séchage à l'air	Jet + séchage à l'air	Immersion dans de l'eau douce	Immersion dans de l'eau de mer	Vapeur (100 °C; 50 lb/po ²)
	(pression; temps)	(pression; temps)		(temps)	(temps)	(temps)	(temps d'immersion; temps de séchage)	(durée du jet; temps de séchage)	(température ; temps)	(température; temps)
TUNICIERS COLONIAUX										
Botrylle étoilé <i>Botryllus schlosseri</i>	Inefficace T 40 lb/po ² ; NS ²⁹	Près de 100 % T 700 lb/po ² ; 10 s ³⁰ 84 % T 700 lb/po ² ; NS ²⁹ Retrait inefficace T 2 000–3 000 lb/po ² ; 10,20,30 s ⁴⁵	100 % 5 h (18–19 °C; 92 % HR) ^{19**} Efficace T 24 h ⁴¹	100 % T 24 h ^{22*} 24 h ⁷¹ Près de 100 % 6 h ^{22*} Efficace 12 h ^{22*}	Efficace T 5 min ⁴¹	100 % 8 h; 1 h ¹⁰	100 % 10 min; 1 h (juv.) ¹⁰	-	-	-
Botrylloïde violet <i>Botrylloides violaceus</i>	Inefficace T 40 lb/po ² ; NS ²⁹	Près de 100 % T 700 lb/po ² ; 10 s ³⁰ 84 % T 700 lb/po ² ; NS ²⁹	Près de 100 % T 72 h ^{2*} Efficace T 24 h ⁴¹	100 % T 18–24 h ^{2*} T 24 h ^{22*} 24 h ⁷¹ Près de 100 % 6 h ^{22*} Efficace 12 h ^{22*}	Efficace T 5 min ⁴¹	100 % 8 h; 1 h ¹⁰	100 % 10 min; 1 h ¹⁰	-	^a 100 % 37,5 °C; 60 min ⁹⁶ 40 °C; 30 min ⁹⁶ 42,5 °C; 20 min ⁹⁶	-

EAE et épibiontes	Eau de mer		Séchage à l'air	Eau douce				Chaleur		
	Jet à basse pression (<60 lb/po ²)	Jet à haute pression (>700 lb/po ²) ± séchage à l'air		Immersion	Jet	Immersion + séchage à l'air	Jet + séchage à l'air	Immersion dans de l'eau douce	Immersion dans de l'eau de mer	Vapeur (100 °C; 50 lb/po ²)
	(pression; temps)	(pression; temps)		(temps)	(temps)	(temps)	(temps d'immersion; temps de séchage)	(durée du jet; temps de séchage)	(température; temps)	(température; temps)
		Retrait inefficace T 2 000–3 000 lb/po ² ; 10,20,30 s ⁴⁵								
Didemne étendard <i>Didemnum vexillum</i>	-	Retrait à 100 % T 2 000 lb/po ² ; NS (+48 h séchage à l'air) ^{44*} Retrait inefficace T 2 000–3 000 lb/po ² ; 10,20,30 s ⁴⁵	Efficace T 2 semaines ^{51*} Efficace T 24 h ⁴¹	100 % 4 h ⁴⁹ Inefficace T 10 min ⁹	Efficace 5 min ⁴¹	100 % 8 h; 1 h ¹⁰ 87 % T 10 min; 24 h ⁵ 84 % T 5 min; 24 h ⁵ 74 % T 2 min; 24 h ⁵	100 % 10 min; 1 h ¹⁰	-	100 % 37,5 °C; 60 min ⁹⁶ 40 °C; 30 min ⁹⁶ 42,5 °C; 20 min ⁹⁶	-
Diplosoma <i>Diplosoma listerianum</i>	-	-	Efficace T 24 h ⁴¹	-	Efficace T 5 min ⁴¹	100 % 8 h; 1 h ¹⁰	100 % 10 min; 1 h ¹⁰	-	-	-
TUNICIERS SOLITAIRES										
Ascidie jaune <i>Ciona intestinalis</i>	-	Efficace T 400–600 lb/po ² ; NS ^{48*}	100 % °24 h (18 °C) ²¹ °8 h (juv. 14,5 °C, 95 % HR) ²¹ °T 6 h (9,5–32,2 °C) ²¹ Efficace T 24 h ⁴¹	Près de 100 % 3 h ^{23*} T 12 h ^{25**} 98 % 1 h (larves) ^{70**} 10 % 1 min ¹ Efficace 6 h ^{25**}	Efficace T 5 min ⁴¹	-	-	66 % 40 °C; 60 s ¹	100 % 40 °C; 60 s ¹¹ 50,60 °C; 10 s ¹¹ 37,5 °C; 60 min ⁹⁶ 40 °C; 30 min ⁹⁶ 42,5 °C; 20 min ⁹⁶ 66 % 40 °C; 30 s ¹¹	-

EAE et épibiontes	Eau de mer		Séchage à l'air	Eau douce				Chaleur		
	Jet à basse pression (<60 lb/po ²)	Jet à haute pression (>700 lb/po ²) ± séchage à l'air		Immersion	Jet	Immersion + séchage à l'air	Jet + séchage à l'air	Immersion dans de l'eau douce	Immersion dans de l'eau de mer	Vapeur (100 °C; 50 lb/po ²)
	(pression; temps)	(pression; temps)		(temps)	(temps)	(temps)	(temps d'immersion; temps de séchage)	(durée du jet; temps de séchage)	(température; temps)	(température; temps)
				Inefficace T 3–6 h ^{25**}					Inefficace 60 °C; quelques s ^{50*}	
Ascidie plissée <i>Styela clava</i>	-	-	100 % T 24 h (25–27 °C) ⁴⁷ T 2 semaines (10 °C) ⁴⁷ T Au moins 1 semaine ^{42*} 90 min (juv. 20 °C) ^{46*} 0 % T 24 h ¹¹² Efficace T 24 h ⁴¹	100 % T 3 h ^{24*} 15 s (juv.) ^{46*} 0 % 1 h ¹¹² Efficace 24 h ^{42*}	Efficace 5 min ^{46*} T 5 min ⁴¹				100 % 60 °C; 30 s ¹¹ 60 °C; 15 s ¹¹² 70 °C; 10 s ¹¹² 80–90 °C; 4 s ^{46*} 86 % 50 °C; 60 s ¹¹ 60 °C; 10 s ¹¹ 60–70 % 50 °C; 30 s ¹¹ 40–50 % 50 °C; 10 s ¹¹ ~12–25 % 40 °C; 10, 30, 60 s ¹¹	100 % 30 s ^{46*}
Ascidie sale <i>Ascidella aspersa</i>	-	-	Efficace T 24 h ⁴¹		Efficace T 5 min ⁴¹					

EAE et épibiontes	Eau de mer		Séchage à l'air	Eau douce				Chaleur		
	Jet à basse pression (<60 lb/po ²)	Jet à haute pression (>700 lb/po ²) ± séchage à l'air		Immersion	Jet	Immersion + séchage à l'air	Jet + séchage à l'air	Immersion dans de l'eau douce	Immersion dans de l'eau de mer	Vapeur (100 °C; 50 lb/po ²)
	(pression; temps)	(pression; temps)		(temps)	(temps)	(temps)	(temps d'immersion; temps de séchage)	(durée du jet; temps de séchage)	(température; temps)	(température; temps)
Raisins de mer <i>Molgula</i> spp.	-	-	Efficace 24 h ^{79*}	-	-	-	-	-	-	-
MOLLUSQUES										
Moule bleue <i>Mytilus edulis</i>	GRANDE ≥50 mm	Inefficace T 40 lb/po ² ; NS ²⁹	Inefficace T 700 lb/po ² ; NS ²⁹	100 % T 6 h (41 °C) ⁶² 0 % 3 h (20–41 °C) ⁶⁰	-	-	-	-	-	100 % 60 °C; 20 s ^{26*} ~35 % 60 °C; 5 s ^{26*} Inefficace 55 °C; 1 min ⁴⁰
	PETITE < 50 mm	Inefficace T 40 lb/po ² ; NS ²⁹	0 % T 700 lb/po ² ; 10 s ⁶⁷ Inefficace T 700 lb/po ² ; NS ²⁹	100 % T 6 h (41 °C) ⁶² 99 % T 5 jours (8–31 °C) ^{18**} 47,8 % 11 h (27 °C; 55,6 % HR) ⁶⁰ 38 % T 40 h (21 °C; 34 % HR) ⁴ 5,6 % T 24 h (17–31 °C) ^{18**} Efficace T 2–3 h (HR faible) ^{89*}	0 % 12 h ^{22*} 24–48 h ^{39**} T 24 h (11–14 °C) ^{22*}	-	10 % 8 h; 1 h ¹⁰	10 % 5 min; 1 h ¹⁰	Inefficace 55 °C; 5 s ³⁵	100 % 9T 50 °C; 30 s (10–20 mm) ^{95*} 9T 55 °C; 15 s (10–20 mm) ^{95*} 9T 60 °C; 5 s (10–20 mm) ^{95*} 9T 60 °C; 60 s (40–50 mm) ^{95*} 60 °C; 15 s ^{26*} 60 °C; 15 min ⁹⁹ 28 °C; 6 jours ^{56Δ} 41 °C; 1 min ^{54Δ} 36 °C; 84 min ^{54Δ} T 28–30 °C; 3 jours ⁵⁶ 87 % 40 °C; 5 min (10 °C) ^{39**} 80 % 28 °C; 4 jours ^{56Δ}

EAE et épibiontes		Eau de mer		Séchage à l'air	Eau douce				Chaleur		
		Jet à basse pression (<60 lb/po ²)	Jet à haute pression (>700 lb/po ²) ± séchage à l'air		Immersion	Jet	Immersion + séchage à l'air	Jet + séchage à l'air	Immersion dans de l'eau douce	Immersion dans de l'eau de mer	Vapeur (100 °C; 50 lb/po ²)
		(pression; temps)	(pression; temps)	(temps)	(temps)	(temps)	(temps d'immersion; temps de séchage)	(durée du jet; temps de séchage)	(température ; temps)	(température; temps)	(temps)
				Inefficace T 5–6 h (HR élevée) ^{89*} 24 h (4 °C, 100 % HR) ¹¹¹						76 % 32,6 °C; 6 h ⁶⁰ 50 % 28 °C; 3 jours ^{56A} ~40 % 60 °C; 5 s ^{26*} 40 °C; 30 min ⁹⁹ 20–60 % ⁹ T 60 °C; 15–30 s (40–50 mm) ^{95*} 33 % 40 °C; 5 min (4 °C) ^{39**} 10–30 % ⁹ T 50 °C; 15–20 s (10–20 mm) ^{95*} 6 % 27 °C; 48 h ^{56A} 0 % 30 °C; 10 min ^{39**} 26 °C; 24 h ^{56A} ⁹ T 50 °C; 5 s (40–50 mm) ^{95*} ⁹ T 55 °C; 20 s (40–50 mm) ^{95*} ⁹ T 60 °C; 1 s (40–50 mm) ^{95*}	

EAE et épibiontes		Eau de mer		Séchage à l'air	Eau douce				Chaleur		
		Jet à basse pression (<60 lb/po ²)	Jet à haute pression (>700 lb/po ²) ± séchage à l'air		Immersion	Jet	Immersion + séchage à l'air	Jet + séchage à l'air	Immersion dans de l'eau douce	Immersion dans de l'eau de mer	Vapeur (100 °C; 50 lb/po ²)
		(pression; temps)	(pression; temps)	(temps)	(temps)	(temps)	(temps d'immersion; temps de séchage)	(durée du jet; temps de séchage)	(température; temps)	(température; temps)	(temps)
										Efficace 60–80 °C; 4 s ^{46*} Inefficace 55 °C; 1 min ⁴⁰	
Moule méditerranéenne <i>Mytilus galloprovincialis</i>	GRANDE ≥ 50 mm	-	-	100 % 11 jours (18 °C) ²¹ 7 jours (20,3 °C) ²¹ 0 % 24 h (18 °C) ^{17*} T 24 h (14–16 °C) ^{17*} Inefficace 4 jours (18 °C) ²¹	0 % 30 min ^{17*}		1–2 % T 10 min; 24 h ⁵			100 % 50 °C; 60 s ¹¹ 50 °C; 5 min ⁹⁶ 54–58 % T 60 à 65 °C; 30 s ^{17*} ~40 % 50,60 °C; 30 s ¹¹ 7–13 % 53 °C; 55–70 s ^{17*} 5–7 % 51 °C; 55–65 s ^{17*} 0–3 % T 45–51 °C; 40–45 s ^{17*} 1 % 35 °C; 5 min ⁹⁶ 0 % 45–48 °C; 80 s ^{17*} 40 °C; 60 s ¹¹ 50,60 °C; 10 s ¹¹	-

EAE et épibiontes		Eau de mer		Séchage à l'air	Eau douce				Chaleur		
		Jet à basse pression (<60 lb/po ²)	Jet à haute pression (>700 lb/po ²) ± séchage à l'air		Immersion	Jet	Immersion + séchage à l'air	Jet + séchage à l'air	Immersion dans de l'eau douce	Immersion dans de l'eau de mer	Vapeur (100 °C; 50 lb/po ²)
		(pression; temps)	(pression; temps)		(temps)	(temps)	(temps)	(temps d'immersion; temps de séchage)	(durée du jet; temps de séchage)	(température; temps)	(température; temps)
	PETITE < 50 mm	-	-	100 % 24 h (18 °C; 95 % HR) ²¹ 80 % T 6 h (18,5 °C; 95 % HR) ²¹ 8 % 24 h (3–18 mm) ^{107**}	-	-	-	-	-	100 % 50 °C; 30 s ¹¹ 60 °C; 10 s ¹¹ 50 °C; 5 min ⁹⁶ ~25 % 50 °C; 10 s ¹¹ 5 % 35 °C; 5 min ⁹⁶ 0 % 40 °C; 60 s ¹¹	-
Moules <i>Mytilus</i> spp.	PETITE < 50 mm	-	-	-	Près de 0 % 5 jours (10 °C) ³⁵	-	-	-	-	-	-
	GRANDE ≥ 50 mm	-	-	-	Inefficace 72 h ⁹¹	-	Inefficace 72 h + 8 jours (3 °C) ⁹¹	-	-	~10 % 60 °C; 30 s ^{26*}	-
Huître de l'Est <i>Crassostrea virginica</i>	PETITE < 70 mm	-	-	99 % T 11 jours (naissain; 4–36 °C) ^{18**} 98 % 24 h (3–18 mm) ^{107**} 32 % T 5 jours (naissain; 8–31 °C) ^{18**} 5 % T 72 h (35–65 mm) ²⁰	0–4 % 24–48 h ^{39**}	-	-	-	11 % 30 °C; 10 min (10 °C) ^{39**} 0 % 40 °C; 5 min ^{39**} 30 °C; 10 min (4 °C) ^{39**}	~95 % 60 °C; 30 s ^{26*} 40–90 % ⁹ T 60 °C; 15 s (45–55 mm) ²⁷ 30–50 % ⁹ T 60 °C; 15 s (35–45 mm) ²⁷ ~50 % ⁹ T 60 °C; 15 s (35–45 mm) ²⁰ ~1–5 % 60 °C; 5–15 s ^{26*}	-

EAE et épibiontes		Eau de mer		Séchage à l'air	Eau douce				Chaleur			
		Jet à basse pression (<60 lb/po ²)	Jet à haute pression (>700 lb/po ²) ± séchage à l'air		Immersion	Jet	Immersion + séchage à l'air	Jet + séchage à l'air	Immersion dans de l'eau douce	Immersion dans de l'eau de mer	Vapeur (100 °C; 50 lb/po ²)	
		(pression; temps)	(pression; temps)	(temps)	(temps)	(temps)	(temps d'immersion; temps de séchage)	(durée du jet; temps de séchage)	(température; temps)	(température; temps)	(temps)	
				0 % T 1 jour (naissain; 17–31 °C) ^{18**}							5 % ⁹ T 60 °C; 15 s (55–65 mm) ²⁰	
Huître du Pacifique (géante) <i>Crassostrea gigas</i>	GRANDE ≥ 70 mm	-	-	100 % 34 jours (18 °C) ²¹ T 16 jours (9,5–32,2 °C; 95 % HR) ²¹ Inefficace 7 jours (18 °C) ²¹ T 72 h (9,5–32,2 °C; 95 % HR) ²¹	20 % T 10 min ⁹ Inefficace T 12 h ^{82*}	-	-	-	-	-	0 % 37,5 °C; 60 min ⁹⁶ 40 °C; 30 min ⁹⁶ 42,5 °C; 20 min ⁹⁶	100 % 300 s ³⁶
	PETITE < 70 mm	-	-	-	11,5 % T 12 h ⁸⁵ 4,2 % 12 h ⁸⁵	-	-	-	-	-	100 % ⁹⁴ 43 °C; 60 min (11, 35, 54 mm) ⁹⁴ ⁹⁴ 40 °C; 96 min (11 mm) ⁹⁴ ⁹⁴ 40 °C; 167 min (54 mm) ⁹⁴ 60 % T 60 °C; 60 s ^{95*} 86,7 % ⁹⁴ 42,5 °C; 20 min (naissain) ⁹⁶ 50 % ⁹⁴ 40 °C; 30 min (naissain) ⁹⁶ 23,3 %	100 % 60 s ³⁶

EAE et épibiontes		Eau de mer		Séchage à l'air	Eau douce				Chaleur		
		Jet à basse pression (<60 lb/po ²)	Jet à haute pression (>700 lb/po ²) ± séchage à l'air		Immersion	Jet	Immersion + séchage à l'air	Jet + séchage à l'air	Immersion dans de l'eau douce	Immersion dans de l'eau de mer	Vapeur (100 °C; 50 lb/po ²)
		(pression; temps)	(pression; temps)		(temps)	(temps)	(temps)	(temps d'immersion; temps de séchage)	(durée du jet; temps de séchage)	(température ; temps)	(température; temps)
										⁹ 37,5 °C; 60 min (naissain) ⁹⁶ 8–20 % T 60 °C; 15–30 s ^{95*} 11,2 % T 70 °C; 40 s ⁸⁵ 8,7 % 70 °C; 45 s ⁸⁵ 2 % ⁹ 42,5 °C; 20 min (juv.) ⁹⁶ 0 % T 50 °C; 60 s ^{95*} 70 °C; 30 à 40 s ⁸⁵ ⁹ 37,5 °C; 60 min (juv.) ⁹⁶ ⁹ 40 °C; 30 min (juv.) ⁹⁶	
Crépidules <i>Crepidula fornicata</i> <i>Crepidula adunca</i>		-	Retrait inefficace 2 000–3 000 lb/po ² ; 10,20,30 s ⁴⁵	-	-	-	-	-	-	-	-
Bigorneau-perceur <i>Urosalpinx</i> spp.		-	-	Inefficace 8 jours ^{109*}	-	-	-	-	-	-	-

EAE et épibiontes	Eau de mer		Séchage à l'air	Eau douce				Chaleur		
	Jet à basse pression (<60 lb/po ²)	Jet à haute pression (>700 lb/po ²) ± séchage à l'air		Immersion	Jet	Immersion + séchage à l'air	Jet + séchage à l'air	Immersion dans de l'eau douce	Immersion dans de l'eau de mer	Vapeur (100 °C; 50 lb/po ²)
	(pression; temps)	(pression; temps)		(temps)	(temps)	(temps)	(temps d'immersion; temps de séchage)	(durée du jet; temps de séchage)	(température; temps)	(température; temps)
CRUSTACÉS, ÉTOILES DE MER ET MACROALGUES										
Crabe vert <i>Carcinus maenas</i>	-	Retrait inefficace 2 000–3 000 lb/po ² ; 10,20,30 s ⁴⁵	100 % T 7 jours (29 °C) ⁵³ 50 % T 2,5–4,4 jours (29 °C) ⁵³	Inefficace (adultes) 1 h ^{104**}	-	-	-	-	100 % (juv) 45–55 °C; 1 min ⁴⁰ 55 °C; 5 s ⁴⁰ Efficace (adultes) 32–45 °C; 1 h ^{104**} Inefficace (juv.) 40 °C; 1 min ⁴⁰ 20–50 °C; 5 s ⁴⁰	-
Caprelle japonaise (<i>Caprella mutica</i>) <i>Caprella</i> spp.	-	-	-	100 % [≤ 15 ppm]; 48 h ⁸⁸ 24 h ⁹² 10–64 % [13–16 ppm]; 24 h ⁹² 0 % [> 21 ppm]; 24 h ⁹²	-	-	-	-	100 % 30 °C; 48 h ⁸⁸	-
Cirripèdes <i>Balanus</i> spp. Balanidae <i>Semibalanus balanoides</i>	-	-	92 % 10,8 jours (0 % HR; 10 °C) ⁹⁷	-	-	-	-	-	100 % 40 °C; 30 min ⁹⁹ ~99 % 60 °C; 25 s ^{26*}	100 % 30 s ³⁶

EAE et épibiontes	Eau de mer		Séchage à l'air	Eau douce				Chaleur		
	Jet à basse pression (<60 lb/po ²)	Jet à haute pression (>700 lb/po ²) ± séchage à l'air		Immersion	Jet	Immersion + séchage à l'air	Jet + séchage à l'air	Immersion dans de l'eau douce	Immersion dans de l'eau de mer	Vapeur (100 °C; 50 lb/po ²)
	(pression; temps)	(pression; temps)		(temps)	(temps)	(temps)	(temps d'immersion; temps de séchage)	(durée du jet; temps de séchage)	(température; temps)	(température; temps)
Étoiles de mer <i>Asterias rubens</i> Ophiures	-	Retrait inefficace 2 000–3 000 lb/po ² ; 10,20,30 s ⁴⁵	-	-	-	-	-	-	Efficace 25 °C; NS (trempage) ^{79*} Inefficace 27 °C; NS (juv.; trempage) ^{79*} ^h T 40 °C; 60 s ⁹⁸	-
Voleuse d'huîtres <i>Codium fragile</i>	-	-	Efficace 17 h (20 °C; 72–75 % HR) ³⁷ Inefficace 5 h (20 °C; 72–75 % HR) ³⁷ T 24 h ^{33*}	100 % 24 h ^{39**} Efficace 14 h ³⁷ Inefficace 6 h ³⁷	-	-	-	-	100 % 50 °C; 30 s ^{39**}	-
Macroalgues <i>Undaria</i> sp. <i>Cladophora</i> sp. <i>Ulva</i> sp. <i>Rhodophyta</i> sp. <i>Fucus</i> spp. <i>Caulerpa</i> sp.	-	Retrait à 100 % 2 000 lb/po ² ; 2 s (gamétophytes) ³⁵	100 % (gamétophytes) 3 jours (10 °C; 55–85 % HR) ³⁵ 12 h (20 °C; 55–85 % HR) ³⁵ 6 semaines (20 °C; > 95 % HR) ³⁵ Inefficace (gamétophytes) 8 semaines (10 °C; > 95 % HR) ³⁵	100 % (gamétophytes) 22 h (20 °C) ³⁵ 43 h (10 °C) ³⁵ (plantules) 10 min (10 ou 20 °C) ³⁵	-	-	-	-	100 % 35 °C; 10 min ³⁵ 45 °C; 45 s ³⁵ 55 °C; 5 s ³⁵ Efficace 80–85 °C; 3 s ³⁸ 72 °C; 1 h ⁷⁷	100 % 120 s ³⁶ Inefficace 60 s ³⁶

EAE et épibiontes		Eau de mer		Séchage à l'air	Eau douce				Chaleur		
		Jet à basse pression (<60 lb/po ²)	Jet à haute pression (>700 lb/po ²) ± séchage à l'air		Immersion	Jet	Immersion + séchage à l'air	Jet + séchage à l'air	Immersion dans de l'eau douce	Immersion dans de l'eau de mer	Vapeur (100 °C; 50 lb/po ²)
		(pression; temps)	(pression; temps)		(temps)	(temps)	(temps)	(temps d'immersion; temps de séchage)	(durée du jet; temps de séchage)	(température; temps)	(température; temps)
POLYCHÈTES											
Vers tubicoles	Serpulidae <i>Hydroides elegans</i> <i>Spirobranchus paumotanus</i> (=Pomatoceros taeniata)	-	-	100 % 24 h ^{17*} 90–100 % 12 h ^{17*} 7 % T 24 h ^{17*} 92–96,2 % T 3–6 h (HR élevée) ^{89*} Efficace T 1–2 jours (HR faible) ^{89*} Inefficace 24 h (ambiante, HR élevée) ³	64,9 % 2 h ^{89*} 40 % 30 min ^{17*}	-	-	-	-	99 % 53 °C; 60 s ^{17*} 98 % T 56 °C; 30 s ^{17*} 97 % 51 °C; 80 s ^{17*} 94 % T 51 °C; 30 s ^{17*} 89–92 % T 51 °C; 40–45 s ^{17*} ~60 % 45 °C; 40 s ^{17*}	-
	Sabellidés <i>Sabella spallanzanii</i>	-	-	-	100 % 20 min ⁶⁸ 64 s (juv.) ⁸³ 4 h ⁸³	-	-	-	100 % 29,5 °C; 24 h ⁸⁷ 33 °C; 3 h ⁸⁷ 36 °C; 30 min ⁸⁷	-	-
Vers à boue (Spionidae)	<i>Polydora ciliata</i>	-	-	Efficace T 7–10 jours (à l'ombre) ^{82*}	100 % 6 h ⁷⁸	-	-	-	-	-	-
	<i>Polydora hoplura</i>	-	-	-	9,3–25,9 % 6–12 h ⁸⁵ Efficace T 12 h ^{82*, 85}	-	-	-	-	30,3–39,2 % 70 °C; 30–45 s ⁸⁵	-

EAE et épibiontes		Eau de mer		Séchage à l'air	Eau douce				Chaleur		
		Jet à basse pression (<60 lb/po ²)	Jet à haute pression (>700 lb/po ²) ± séchage à l'air		Immersion	Jet	Immersion + séchage à l'air	Jet + séchage à l'air	Immersion dans de l'eau douce	Immersion dans de l'eau de mer	Vapeur (100 °C; 50 lb/po ²)
		(pression; temps)	(pression; temps)	(temps)	(temps)	(temps)	(temps d'immersion; temps de séchage)	(durée du jet; temps de séchage)	(température; temps)	(température; temps)	(temps)
	<i>Polydora websteri</i>	-	-	100 % 14 jours (3 °C) ⁹¹	25–60 % 72 h ⁹¹ Efficace 12–16 h ^{79*} T 2 jours ^{82*}	-	100 % 72 h; 8 jours (3 °C) ⁹¹ ~95 % 72 h; 4 jours (3 °C) ⁹¹	-	-	-	-
	<i>Boccardia polybranchia</i>	-	-	-	100 % 15 min ¹¹⁰ Inefficace 8,5 h ¹¹⁰	-	-	-	-	-	-
Térébellides		-	-	Inefficace 24 h (HR élevée) ³	-	-	-	-	-	-	-
Polychètes (non identifiés)		-	-	-	-	-	-	-	-	100 % 40 °C; 30 min ⁹⁹	-
BRYOZOAIRES											
Bryozoaire encroûtant de varech <i>Membranipora</i> sp.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bryozoaire brun (bugule commune) <i>Bugula neritina</i>		-	-	Inefficace 24 h (HR élevée) ³	-	-	-	-	-	100 % 37,5 °C; 60 min ⁹⁶ 40 °C; 30 min ⁹⁶ 42,5 °C; 20 min ⁹⁶	-
Bryozoaire à croûte rouge <i>Cryptosula pallasiana</i>		-	-	Inefficace 24 h (HR élevée) ³	-	-	-	-	-	-	-
Bryozoaires		-	-	-	-	-	-	-	-	100 % 40 °C; 30 min ⁹⁹	-

EAE et épibiontes	Eau de mer		Séchage à l'air	Eau douce				Chaleur		
	Jet à basse pression (<60 lb/po ²)	Jet à haute pression (>700 lb/po ²) ± séchage à l'air		Immersion	Jet	Immersion + séchage à l'air	Jet + séchage à l'air	Immersion dans de l'eau douce	Immersion dans de l'eau de mer	Vapeur (100 °C; 50 lb/po ²)
	(pression; temps)	(pression; temps)		(temps)	(temps)	(temps)	(temps d'immersion; temps de séchage)	(durée du jet; temps de séchage)	(température; temps)	(température; temps)
ÉPONGES										
Éponge jaune <i>Cliona celata</i>	-	-	Inefficace 18 h (~25 °C) ⁸¹	-	-	-	-	-	-	-
Éponge jaune <i>Cliona</i> spp.	-	-	-	Efficace 12–16 h ^{79*}	-	-	-	-	-	-
Éponge calcaire <i>Leucosolenia</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Porifères (espèce non précisée)	-	-	-	-	-	-	-	-	100 % 40 °C; 30 min ⁹⁹	-
HYDROZOAIRE										
Hydroïde à bouche rose <i>Ectopleura crocea</i>	-	-	-	0 % 30 s ⁹⁸	-	-	-	-	100 % 40 °C; 10 s ¹¹	-
Hydroïde(espèce non précisée)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

¹Carver *et al.* (2003), ²MacNair *et al.* (2006), ³Forrest *et al.* 2007, ⁴Leblanc *et al.* 2007, ⁵Denny (2008), ⁹Rolheiser *et al.* (2012), ¹⁰Carman *et al.* (2016), ¹¹Sievers *et al.* (2019), ¹⁷Asgari et Jahangard (2012), ^{18*}Comeau (MPO, données inédites), ^{19**}Bernier *et al.* (MPO, données inédites), ²⁰Mayrand *et al.* (2015), ²¹Hopkins *et al.* (2016), ²²Ramsay (2015a), ²³Ramsay (2015b), ²⁴Ramsay (2015c), ^{25**}Ramsay (ministère des Pêches et des Collectivités de l'Île-du-Prince-Édouard, données inédites – essais de 2020), ²⁶McDonald (2010), ²⁷Rousselle (2012), ²⁹Arens *et al.* (2011a), ³⁰Paetzold *et al.* (2012), ³³MacNair (2002), ³⁵Forrest et Blakemore (2006), ³⁶Joyce *et al.* (2019), ³⁷Kim et Garbary (2007), ³⁸Mineur *et al.* (2007), ^{39**}Landry *et al.* (MPO, données inédites), ⁴⁰Best *et al.* (2014), ⁴¹Carman *et al.* (2010), ^{42*}Coutts et Forrest (2005), ^{44*}Coutts (2006), ⁴⁵Curtis *et al.* (2021), ^{46*}Davidson *et al.* (2005), ⁴⁷Hillock et Costello (2013), ^{48*}Ramsay (2014a), ⁴⁹McCann *et al.* (2013), ^{50*}Gill *et al.* (2007), ^{51*}Pannell et Coutts (2007), ⁵³Darbyson *et al.* (2009), ⁵⁴Rajagopal *et al.* (2005a), ⁵⁶Gonzalez et Yevich (1976), ⁶⁰Leblanc *et al.* (2005), ⁶²Seuront *et al.* (2019), ⁶⁷Arens *et al.* (2011b), ⁶⁸Jute et Dunphy (2017), ^{70**}Bourque *et al.* (MPO, données inédites), ⁷¹Dijkstra *et al.* (2008), ⁷⁷Williams et Schroeder (2004), ⁷⁸Velayudhan 1983, ⁷⁹Medcof (1961), ⁸¹Carver *et al.* (2010), ^{82*}Nell (2007), ⁸³Moore *et al.* (2007), ⁸⁵Nel *et al.* (1996), ⁸⁷Leighton (1998), ⁸⁸Ashton *et al.* (2007), ^{89*}Arakawa (1980), ⁹¹Brown (2012), ⁹²Takeuchi *et al.* (2003), ⁹⁴Rajagopal *et al.* (2005b), ⁹⁵Koganezawa (1972), ⁹⁶Piola et Hopkins (2012), ⁹⁷Foster (1971), ⁹⁸Fitridge *et al.* (2014), ⁹⁹Leach (2011), ^{104**}McKenzie *et al.* (données inédites), ^{107**}Mallet *et al.* (Mallet Research Services Ltd., données inédites – essais de 2008), ¹⁰⁹Hancock, (1969), ¹¹⁰Ruellet (2004), ¹¹¹Vickerson (2009), ¹¹²Minchin et Duggan (1988).

Tableau 6. Efficacité des traitements chimiques (chloration, acide acétique et acide citrique) contre les EAE marines, « 100 » indiquant une mortalité de 100 % pour une combinaison de traitement donnée sur des organismes adultes (sauf indication contraire). Par « efficace », nous entendons un traitement ayant fait l'objet d'études où le pourcentage de mortalité a été jugé suffisant, mais n'a pas été quantifié. Les résultats avec des concentrations chimiques supérieures à celles indiquées dans les titres des colonnes sont fournis entre crochets. Pour les traitements par chloration, tous les résultats se rapportent à l'hypochlorite de sodium par défaut, les autres composés à base de chlore sont précisés avec des symboles (§, #) en indice. Les résultats pour l'immersion dans un produit chloré ou le jet d'un produit chloré avec séchage à l'air sont présentés dans la même colonne, le jet étant présenté comme option par défaut et l'immersion figurant entre parenthèses lorsqu'elle est utilisée. NS : non spécifié; conc. : concentration du produit chimique; * : rapports techniques; ** : données inédites ou non évaluées par des pairs; § : Chlore résiduel total de la solution d'hypochlorite de sodium (CRT); # : Dioxyde de chlore; a : *Botrylloides leachii*, substitut de *Botrylloides violaceus*; b : *Perna canaliculus*, substitut de *Mytilus galloprovincialis*; e : *Watersipora subtorquata*, substitut de *Cryptosula pallasiana*; g : testé sur différents groupes de taille de la même catégorie de taille; h : *Asterias amurensis*, substitut de *Asterias rubens*; T : expérience sur le terrain. Les expériences en laboratoire sont présentées par défaut. Les références sont indiquées en exposant.

EAE et épibiontes	Chloration		Acide acétique					Acide citrique			
	Immersion	Jet ou immersion + séchage à l'air	Immersion		Jet	Immersion + séchage à l'air	Jet + séchage à l'air	Immersion chauffée	Immersion	Immersion chauffée	
	(conc.; temps)	(conc.; temps; temps de séchage)	[4-5 %] (conc.; temps)	[1-2 %] (conc.; temps)	[4-5 %] (temps)	[4-5 %] (temps d'immersion; temps de séchage)	[1-2 %] (temps d'immersion; temps de séchage)	[4-5 %] (durée du jet; temps de séchage)	(conc.; temp.; temps d'immersion)	(conc.; temps)	(conc.; temp.; temps d'immersion)
TUNICIERS COLONIAUX											
Botrylle étoilé <i>Botryllus schlosseri</i>	-	Efficace T [0,5 %]; 5 s; 6 h ⁸ Inefficace T [0,5 %]; 5 s; 3 h ⁸	Efficace 1 min ³	Inefficace 4 min ³	-	100 % 5 min; 1 h ¹⁰ Efficace 1 min; 24 h ³ 24 h (séchage d'abord); 1 min ³	Efficace 1 min; 24 h (pas de rinçage) ³ 3 min; 24 h ³ Inefficace 1 min; 24 h (+ rinçage) ³	95 % [10 %]; 5 s; 30 min ⁸ 65 % 5 s; 30 min ⁸	-	-	-
Botrylloïde violet <i>Botrylloides violaceus</i>	100 % [0,3 ou 0,6 %]; 15 s ^{2*}	^a Efficace T [1 %]; 5 s; 30 min ⁸ ^a Inefficace [0,5 %]; 5 s; 12 h ⁸	100 % 15 s ^{2*} Efficace ^a 1 min ³	^a Inefficace 4 min ³	90 % T 1 min ^{2*}	100 % 5 min; 1 h ¹⁰ Efficace ^a 1 min; 24 h ³ ^a 24 h (séchage d'abord); 1 min ³	^a Efficace 3 min; 24 h ³ 1 min; 24 h (pas de rinçage) ³ ^a Inefficace 1 min; 24 h (+ rinçage) ³	^a 95 % [10 %]; 5 s; 30 min ⁸ ^a 65 % 5 s; 30 min ⁸	-	-	-

EAE et épibiontes	Chloration		Acide acétique						Acide citrique		
	Immersion	Jet ou immersion + séchage à l'air	Immersion		Jet	Immersion + séchage à l'air		Jet + séchage à l'air	Immersion chauffée	Immersion	Immersion chauffée
	(conc.; temps)	(conc.; temps; temps de séchage)	[4-5 %] (conc.; temps)	[1-2 %] (conc.; temps)	[4-5 %] (temps)	[4-5 %] (temps d'immersion; temps de séchage)	[1-2 %] (temps d'immersion; temps de séchage)	[4-5 %] (durée du jet; temps de séchage)	(conc.; temp.; temps d'immersion)	(conc.; temps)	(conc.; temp.; temps d'immersion)
Didemne étendard <i>Didemnum vexillum</i>	100 % [0,5 %]; 20 s ⁵ [0,25 %]; 2 min ⁵ [1 %]; 10 min ⁴⁹ [1 %]; 30 s ⁵ >90 % [0,1 %]; 2 min ⁵ 50 % [1 %]; 2 min ⁴⁹ [1 %]; 5 min ⁵² 65 % [1 %]; 15 min ⁵² 55 % [1 %]; 30 min ⁵²	100 % [0,25 %]; 2 min (immersion); 5 h ⁵	100 % [10 %]; 2 min ⁴⁹ 95 % T 10 min ⁵ 80-85 % 1-3 min ⁵ 65 % 5 min ⁵² 45-50 % 15-30 min ⁵² Efficace T 30 s ⁹	45-82 % T 1- 10 min ⁵ Efficace T [0,25 %]; 30 s ⁹	-	100 % 5 min; 1 h ¹⁰	77 % (moyenne) T 20 s- 10 min; 1- 41 h ⁵	100 % 5 s; 30 min ⁸ ~95 % 5 s; 10 min ⁸ 81 % T 3 s; 1 h ⁵	-	-	-
Diplosoma <i>Diplosoma listerianum</i>	-	-	-	-	-	100 % 5 min; 1 h (juv.) ¹⁰	-	-	-	-	-
TUNICIERS SOLITAIRES											
Ascidie jaune <i>Ciona intestinalis</i>	0 % [0,006 %]; 20 min ¹	Efficace T 1 %; 5 s; 30 min ⁸ Inefficace T 0,5 %; 5 s; 12 h ⁸	100 % 1 min ¹ 10 s ¹¹	66 % 30 s ¹¹ Inefficace 4 min ³	10-20 % T (NS) ^{50*} Inefficace T (NS) ^{6*}	100 % 5 min; 1 h (juv.) ¹⁰ Efficace 1 min; 24 h ³	Efficace 1 min; 24 h (rinçage/pas de rinçage) ³	60-100 % T 30 s; 30 s ¹ 65 % 5 s; 30 min ⁸	100 % [2 %]; 40 °C, 50 °C; 10 s ¹¹ [5 %]; 40 °C, 50 °C; 10 s ¹¹	33 % [5 %]; 10 s ¹¹ 0 % [2 %];	100 % [2 %]; 50 °C; 10 s ¹¹ [5 %]; 40 °C; 10 s ¹¹

EAE et épibiontes	Chloration		Acide acétique						Acide citrique		
	Immersion	Jet ou immersion + séchage à l'air	Immersion		Jet	Immersion + séchage à l'air		Jet + séchage à l'air	Immersion chauffée	Immersion	Immersion chauffée
	(conc.; temps)	(conc.; temps; temps de séchage)	[4-5 %] (conc.; temps)	[1-2 %] (conc.; temps)	[4-5 %] (temps)	[4-5 %] (temps d'immersion; temps de séchage)	[1-2 %] (temps d'immersion; temps de séchage)	[4-5 %] (durée du jet; temps de séchage)	(conc.; temp.; temps d'immersion)	(conc.; temps)	(conc.; temp.; temps d'immersion)
			95 % 30 s ¹ 70–95 % T 5–10 s ⁷ Efficace 4 min ³ Inefficace 5–10 s ¹			24 h (séchage d'abord); 1 min ³				10 s ¹¹ Inefficace [~2 %]; 5 s ⁷	66 % [2 %]; 40 °C; 10 s ¹¹
Ascidie plissée <i>Styela clava</i>	100 % T [0,01 %]; 12 h ^{42*} T [0,02 %]; 12 h ^{42*} T [0,05 %]; 12 h ^{42*}	-	100 % T 1 min ^{42*} 99–100 % T 15 s ^{46*} ~50 % 60 s ¹¹	100 % T 5– 10 min ^{42*} 0 % 60 s ¹¹ Inefficace T 1 min ^{42*}	5–60 % T NS ^{46*} Inefficace T NS ^{6*}	-	-	-	100 % [2 %]; 40 °C, 50 °C; 60 s ¹¹ Près de 100 % [5 %]; 40 °C; 60 s ¹¹ 54 % [2 %]; 40 °C; 30 s ¹¹	~75 % [10 %]; 30 s ¹¹ ~60 % [5 %]; 10 s ¹¹ [2 %]; 30 s ¹¹ ~45 % [5 %]; 30 s ¹¹	100 % [5 %]; 40, 50 °C; 10 s ¹¹ [2 %]; 50 °C; 30 s ¹¹ [10 %]; 40 °C; 10 s ¹¹ 60 % [2 %]; 40 °C; 30 s ¹¹
Ascidie sale <i>Asciella aspersa</i>	-	-	-	-	-	100 % 5 min; 1 h (juv.) ¹⁰	-	-	-	-	-
Raisins de mer <i>Molgula</i> spp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

EAE et épibiontes		Chloration		Acide acétique						Acide citrique		
		Immersion	Jet ou immersion + séchage à l'air	Immersion		Jet	Immersion + séchage à l'air		Jet + séchage à l'air	Immersion chauffée	Immersion	Immersion chauffée
		(conc.; temps)	(conc.; temps; temps de séchage)	[4-5 %] (conc.; temps)	[1-2 %] (conc.; temps)	[4-5 %] (temps)	[4-5 %] (temps d'immersion; temps de séchage)	[1-2 %] (temps d'immersion; temps de séchage)	[4-5 %] (durée du jet; temps de séchage)	(conc.; temp.; temps d'immersion)	(conc.; temps)	(conc.; temp.; temps d'immersion)
MOLLUSQUES												
Moule bleue <i>Mytilus edulis</i>	GRANDE ≥ 50 mm	-	-	10-15 % T 5 s ⁷	-	-	-	-	-	-	-	-
	PETITE < 50 mm	100 % [1 mg/L]; 40 j ^{61§} ⁹ [4 mg/L]; 7 h (1,4 mm) ^{59§} [4 mg/L]; 5,2 jours (14 mm) ^{57§} [4 mg/L]; 6,3 jours (25 mm) ^{57§,5} ^{9§} [0,1 mg/L]; 4 h (larves) ^{58§} [1 mg/L]; 20 min (larves) ^{58§} [0,05 mg/L]; 5 h (larves) ^{58§} [3 mg/L]; 17 jours ^{75§} 16 % [0,7 mg/L]; 10 min (larves) ^{57§,58} §	-	60 % 20 s ³⁴ 12,2 % 15 s ^{2'} Efficace ⁹ 5-10 s, 30 s, 1 min (10 mm) ¹ T 15 s ^{46', 50'} Inefficace ⁹ 5-10 s, 30 s, 1 min (20 mm) ¹ T 30 s ^{2'}	-	15 % T NS ^{50'} 7,7 % 30 s ^{2'}	100 % 5 min; 1 h ¹⁰ Inefficace 30 s (+rinçage); 24 h (4 °C); 100 % HR) ¹¹¹	-	-	-	-	-

EAE et épibiontes		Chloration		Acide acétique					Acide citrique			
		Immersion	Jet ou immersion + séchage à l'air	Immersion		Jet	Immersion + séchage à l'air		Jet + séchage à l'air	Immersion chauffée	Immersion	Immersion chauffée
				(conc.; temps)	(conc.; temps; temps de séchage)		[4-5 %] (conc.; temps)	[1-2 %] (conc.; temps)				
Moule méditerranéenne <i>Mytilus galloprovincialis</i>	GRANDE ≥ 50 mm	3 % [0,14–0,28 %]; 9 min ^{17*}	-	^b9 % T 4 min ³	0 % 30 s ¹¹	-	^b69–87 % [10 %]; 1 min; 24 h ⁵	^b5–10 % 10 min; 24 h ⁵	^b5 % [10 %]; 3 s; 26 h ⁵	~60 % [5 %]; 50 °C; 10 s ¹¹	~40–50 % [10 %]; 30 s ¹¹	~40–50 % [10 %]; 50 °C; 30 s ¹¹
				^b5 % [4, 8 %]; 2 min ³			^b74 % [8 %]; 2 min (pas de rinçage); 24 h ³	^b1,5 % [0,5 %]; 10 min; 24 h ⁵		~25 % [5 %]; 50 °C; 30 s ¹¹	0 % [2 %]; 30 s ¹¹	0 % [10 %]; 40 °C; 30 s ¹¹
				0 % 30 s ¹¹			^b43 % [4 %]; 2 min (pas de rinçage); 24 h ³			0 % [2 %]; 50 °C; 30 s ¹¹		0 % [5 %]; 50 °C; 10 s ¹¹
							^b10 % T 24 h (séchage d'abord); 4 min ³			0 % [5 %]; 40 °C; 30 s ¹¹		
							^b9 % T [4 %]; 4 min (rinçage); 24 h ³					
							^b5 % 24 h (séchage d'abord); 2 min ³					

EAE et épibiontes		Chloration		Acide acétique						Acide citrique		
		Immersion	Jet ou immersion + séchage à l'air	Immersion		Jet	Immersion + séchage à l'air		Jet + séchage à l'air	Immersion chauffée	Immersion	Immersion chauffée
		(conc.; temps)	(conc.; temps; temps de séchage)	[4-5 %] (conc.; temps)	[1-2 %] (conc.; temps)	[4-5 %] (temps)	[4-5 %] (temps d'immersion; temps de séchage)	[1-2 %] (temps d'immersion; temps de séchage)	[4-5 %] (durée du jet; temps de séchage)	(conc.; temp.; temps d'immersion)	(conc.; temps)	(conc.; temp.; temps d'immersion)
	PETITE < 50 mm	^b 6 % [0,5 %]; 30 s–2 min ⁵	^b 6 % [0,5 %]; 30 s (immersion); 24 h ⁵	62–65 % (moyenne) T [8 %]; 10, 30, 60 s (regroupé) ¹²	0 % 30 s ¹¹	-	^b 69–87 % [10 %]; 1 min; 24 h ⁵	^b 5–10 % 10 min; 24 h ⁵	-	100 % [2 %]; 50 °C; 30 s ¹¹	~40 % [10 %]; 30 s ¹¹	100 % [2 %]; 50 °C; 30 s ¹¹
				^b 9 % T 4 min ³			^b 74 % [8 %]; 2 min (pas de rinçage); 24 h ³	^b 1,5 % [0,5 %]; 10 min; 24 h ⁵		90 % [5 %]; 50 °C; 10 s ¹¹	0 % [10 %]; 10 s ¹¹	~85 % [10 %]; 50 °C; 10 s ¹¹
				5 % [4, 8 %]; 2 min ³			^b 43 % [4 %]; 2 min (pas de rinçage); 24 h ³			0 % [2 %]; 40 °C; 30 s ¹¹		~60–70 % [10 %]; 40 °C; 30 s ¹¹
				0% 30 s ¹¹			^b 10 % T 24 h (séchage d'abord); 4 min ³			5 % ; 40 °C; 10 s ¹¹		~45–50 % [5 %]; 40 °C; 30 s ¹¹
							^b 9 % T [4 %]; 4 min (+ rinçage); 24 h ³					0 % [10 %]; 40 °C; 10 s ¹¹
							^b 5 % 24 h (séchage d'abord); 2 min ³					
Huître de l'Est <i>Crassostrea virginica</i>	GRANDE ≥ 70 mm	-	-	56 % T 30 s ⁸¹ Efficace T [10 %]; 10 min ⁸¹	-	-	-	-	-	-	-	-

EAE et épibiontes		Chloration		Acide acétique						Acide citrique		
		Immersion	Jet ou immersion + séchage à l'air	Immersion		Jet	Immersion + séchage à l'air		Jet + séchage à l'air	Immersion chauffée	Immersion	Immersion chauffée
				(conc.; temps)	(conc.; temps)		[4-5 %] (conc.; temps)	[1-2 %] (conc.; temps)				
				T [20 %]; 5 min ⁸¹								
	PETITE < 70 mm	-	-	Inefficace T 10 min ^{6*}	-	-	-	-	-	-	-	-
Huitre du Pacifique (géante) <i>Crassostrea gigas</i>	GRANDE ≥ 70 mm	Inefficace T [0,05 %]; 12 h ^{42*}	-	100 % T 5 min ⁹ 40 % T 30 s ⁹ Inefficace T 10 min ^{42*}	40 % T [0,25, 1,25 %]; 10 min ⁹ 20 % T [0,25%]; 1 min ⁹ T [1,25 %]; 30 s ⁹ Inefficace T 10 min ^{42*}	-	-	-	-	-	-	-
	PETITE < 70 mm	-	-	0 % T 30 s ¹² [4,8 %]; 15-60 s ¹²	0 % 15-60 s ¹²	-	-	-	-	-	-	-
Crépidules <i>Crepidula fornicata</i> <i>Crepidula adunca</i>		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bigorneaux-perceurs <i>Urosalpinx cinerea</i> <i>Eupleura caudata</i>		-	-	Inefficace T 10 min ^{6*}	-	-	-	-	-	-	-	-

EAE et épibiontes	Chloration		Acide acétique						Acide citrique		
	Immersion	Jet ou immersion + séchage à l'air	Immersion		Jet	Immersion + séchage à l'air		Jet + séchage à l'air	Immersion chauffée	Immersion	Immersion chauffée
	(conc.; temps)	(conc.; temps; temps de séchage)	[4-5 %] (conc.; temps)	[1-2 %] (conc.; temps)	[4-5 %] (temps)	[4-5 %] (temps d'immersion; temps de séchage)	[1-2 %] (temps d'immersion; temps de séchage)	[4-5 %] (durée du jet; temps de séchage)	(conc.; temp.; temps d'immersion)	(conc.; temps)	(conc.; temp.; temps d'immersion)
CRUSTACÉS, ÉCHINODERMES ET MACROALGUES											
Crabe vert européen <i>Carcinus maenas</i>	Inefficace [5 %]; 1 h ^{104**}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Caprelle japonaise <i>Caprella mutica</i>	-	-	-	-	-	-	-	89-100 % 5-10 s; 45 s ⁶⁶	-	-	-
Cirripèdes <i>Semibalanus balanoides</i> <i>Balanus</i> sp.	-	-	Inefficace T 1 min ^{26*}	-	-	-	-	-	-	-	-
Étoiles de mer <i>Evasterias troschellii</i> <i>Asterias rubens</i>	-	-	100 % T 5 min ⁹ hT 30 s ⁹⁸	-	-	-	-	-	^h 100 % [2 %]; 40 °C; 30 s ⁹⁸	-	-
Voleuse d'huîtres <i>Codium fragile</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Macroalgues <i>Caulerpa</i> sp. <i>Cladophora</i> sp. <i>Rhodophyceae</i> sp. <i>Undaria</i> sp.	100 % [0,25 %]; 60 min ⁷⁷	-	100 % (stades jeunes) T 1 min ³ 1 min ³ Inefficace 15 s ³⁴	Efficace 4 min (stades jeunes) ³ Inefficace 1-2 min ³	-	100 % 1 min; 24 h ³ 24 h (séchage d'abord); 1 min ³	Efficace 1 min (pas de rinçage); 24 h ³ 3 min (+ rinçage); 24 h ³	Près de 100 % T 5 s; 10 min ⁸	-	Inefficace [5 %]; 15-30 s ^{34*}	Inefficace [5 %]; 30 °C; 30 s ^{34*}

EAE et épibiontes		Chloration		Acide acétique						Acide citrique		
		Immersion	Jet ou immersion + séchage à l'air	Immersion		Jet	Immersion + séchage à l'air		Jet + séchage à l'air	Immersion chauffée	Immersion	Immersion chauffée
		(conc.; temps)	(conc.; temps; temps de séchage)	[4-5 %] (conc.; temps)	[1-2 %] (conc.; temps)	[4-5 %] (temps)	[4-5 %] (temps d'immersion; temps de séchage)	[1-2 %] (temps d'immersion; temps de séchage)	[4-5 %] (durée du jet; temps de séchage)	(conc.; temp.; temps d'immersion)	(conc.; temps)	(conc.; temp.; temps d'immersion)
POLYCHÈTES												
Vers tubicoles	Serpulidae <i>Hydroides elegans</i> <i>Spirobranchus paumotanus</i> (=Pomatoceros taeniata)	0 % [0,28 %]; 9 min ^{17*} #	-	Efficace T 10 min ⁶³ Inefficace 4 min ³	Inefficace 4 min ³	-	Efficace 4 min (pas de rinçage); 24 h ³ Inefficace 4 min (+ rinçage); 24 h ³ 24 h (séchage d'abord); 4 min ³	Inefficace 4 min; 24 h ³	-	-	-	-
	Sabellidés <i>Sabella spallanzanii</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vers à boue (Spionidae)	<i>Polydora ciliata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Polydora hoplura</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Polydora websteri</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Polydora</i> spp.	Inefficace T [0,5 %]; 5 min ¹¹⁰	-	Efficace T 10 min ⁶³	-	-	-	-	-	-	-	-

EAE et épibiontes	Chloration		Acide acétique						Acide citrique		
	Immersion	Jet ou immersion + séchage à l'air	Immersion		Jet	Immersion + séchage à l'air		Jet + séchage à l'air	Immersion chauffée	Immersion	Immersion chauffée
	(conc.; temps)	(conc.; temps; temps de séchage)	[4-5 %] (conc.; temps)	[1-2 %] (conc.; temps)	[4-5 %] (temps)	[4-5 %] (temps d'immersion; temps de séchage)	[1-2 %] (temps d'immersion; temps de séchage)	[4-5 %] (durée du jet; temps de séchage)	(conc.; temp.; temps d'immersion)	(conc.; temps)	(conc.; temp.; temps d'immersion)
Térébellides	-	-	Efficace 2 min ³	Efficace 3 min ³	-	Efficace 1 min; 24 h ³ 24 h (séchage d'abord); 1 min ³	Efficace 1 min; 24 h ³ 24 h (séchage d'abord); 1 min ³	-	-	-	-
BRYOZAIRES											
Bryzoaire encroûtant de varech <i>Membranipora</i> sp.	-	-	Efficace T 10 min ⁶³	-	-	-	-	-	-	-	-
Bryzoaire brun (bugule commune) <i>Bugula neritina</i>	-	-	100 % T 30 s ¹²	Inefficace 4 min ³	-	Efficace 1 min; 24 h ³ 24 h (séchage d'abord); 1 min ³	Efficace 1 min (pas de rinçage); 24 h ³ 4 min (+ rinçage); 24 h ³ 24 h (séchage d'abord); 3 min ³	Inefficace 5 s; 12 h ⁸ [20 %]; 5 s; 12 h ⁸	-	-	-
Bryzoaire à croûte rouge <i>Cryptosula pallasiana</i>	-	-	100 % °T 30 s ¹²	Inefficace °4 min ³	-	Efficace °1 min; 24 h ³ °24 h (séchage d'abord); 1 min ³	Efficace °1 min (pas de rinçage); 24 h ³ °4 min (+ rinçage); 24 h ³	-	-	-	-
ÉPONGES											
Éponge jaune <i>Cliona celata</i>	-	-	90 % T [10 %]; 10 min ⁸¹ T [20 %]; 5 min ⁸¹	-	-	-	-	-	-	-	-

EAE et épibiontes	Chloration		Acide acétique						Acide citrique		
	Immersion	Jet ou immersion + séchage à l'air	Immersion		Jet	Immersion + séchage à l'air		Jet + séchage à l'air	Immersion chauffée	Immersion	Immersion chauffée
	(conc.; temps)	(conc.; temps; temps de séchage)	[4-5 %] (conc.; temps)	[1-2 %] (conc.; temps)	[4-5 %] (temps)	[4-5 %] (temps d'immersion; temps de séchage)	[1-2 %] (temps d'immersion; temps de séchage)	[4-5 %] (durée du jet; temps de séchage)	(conc.; temp.; temps d'immersion)	(conc.; temps)	(conc.; temp.; temps d'immersion)
Éponge jaune <i>Cliona</i> spp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Éponge calcaire <i>Leucosolenia</i> sp.	-	-	Efficace T 10 min ⁶³	-	-	-	-	-	-	-	-
HYDROZOAIRE											
Hydroïde à bouche rose <i>Ectopleura crocea</i>	-	-	100 % 10 s ¹¹	100 % 10 s ¹¹	-	-	-	-	100 % [2 %]; 40 °C, 50 °C; 10 s ¹¹	100 % [5 %]; 10 s ¹¹	100 % [2 %]; 40 °C, 50 °C; 10 s ¹¹
Hydroïdes (espèce non précisée)	-	-	100 % T 30 s ¹²	-	-	-	-	-	-	-	-

¹Carver *et al.* (2003), ²MacNair *et al.* (2006), ³Forrest *et al.* (2007), ⁵Denny (2008), ⁶Gill *et al.* (2008), ⁷Locke *et al.* (2009), ⁸Piola *et al.* (2009), ⁹Rolheiser *et al.* (2012), ¹⁰Carman *et al.* (2016), ¹¹Sievers *et al.* (2019), ¹²Cahill *et al.* (2021), ¹⁷Asgari et Jahangard (2012), ²⁶MacDonald *et al.* 2010, ³⁴Sharp *et al.* (2006), ⁴²Coutts et Forrest (2005), ⁴⁶Davidson *et al.* (2005), ⁴⁹McCann *et al.* (2013), ⁵⁰Gill *et al.* (2007), ⁵²Roche *et al.* (2015), ⁵⁷Haque et Kwon (2017), ⁵⁸Haque *et al.* (2014), ⁵⁹Haque *et al.* (2015), ⁶¹Rajagopal *et al.* (2003), ⁶³Chinnadurai *et al.* (2019), ⁶⁶Paetzold *et al.* (2008), ⁷⁵Rajagopal *et al.* (2002), ⁷⁷William et Schroeder (2004), ⁸¹Carver *et al.* (2010), ⁹⁸Fitridge *et al.* (2014), ¹⁰⁴McKenzie *et al.* (données inédites), ¹¹⁰Ruellet (2004), ¹¹¹Vickerson (2009).

Tableau 7. Efficacité des traitements chimiques (saumure saturée, chaux hydratée et Virkon®) contre les EAE marines, « 100 % » faisant référence à une mortalité de 100 % pour une combinaison de traitement donnée sur des organismes adultes (sauf indication contraire). Par « efficace », nous entendons un traitement ayant fait l'objet d'études où le pourcentage de mortalité a été jugé suffisant, mais n'a pas été quantifié. Les résultats avec des concentrations chimiques supérieures à celles indiquées dans les titres des colonnes sont fournis entre crochets. NS : non spécifié; conc. : concentration du produit chimique; * : rapports techniques; ** : données inédites ou non évaluées par des pairs; a : *Botrylloides leachii*, substitut de *Botrylloides violaceus*; e : *Watersipora subtorquata*, substitut de *Cryptosula pallasiana*; T : expérience sur le terrain. Les résultats obtenus en laboratoire sont présentés par défaut. Les références sont indiquées en exposant.

EAE et épibiontes	Saumure		Saumure [300 ppm] et chaux hydratée [4 %]	Chaux hydratée [4 %]			Virkon®
	Immersion	Immersion + séchage à l'air	Immersion ± séchage à l'air	Immersion	Immersion + séchage à l'air	Jet + séchage à l'air	Immersion
	([conc.]; temps)	([conc.]; temps d'immersion; temps de séchage)	(temps d'immersion; ± temps de séchage)	([conc.]; temps)	([conc.]; temps d'immersion; temps de séchage)	([conc.]; durée du jet; temps de séchage)	([conc.]; temps)
TUNICIERS COLONIAUX							
Botrylle étoilé <i>Botryllus schlosseri</i>	-	100 % [70 ppm]; 10 s; 1 h ¹⁰ Efficace [70 ppm]; 10 min; 2 h ⁴¹ [300 ppm]; 30 s; 1 h ^{102**}	Efficace 30 s; 1 h ^{102**}	Efficace T 1 min ^{26*}	-	Efficace T [20 %]; 5 s; 6 h ⁸	-
Botrylloïde violet <i>Botrylloides violaceus</i>	Inefficace 300 ppm; 15 s ^{2*}	100 % T [300 ppm]; 5 min; 1 h ^{2*} [70 ppm]; 10 s; 1 h ¹⁰ Près de 100 % T [300 ppm]; 1 min; 1 h ^{2*} T [300 ppm]; 1 min; 24 h ^{2*} Efficace [70 ppm]; 10 min; 2 h ⁴¹ [300 ppm]; 30 s; 1 h ^{102**} Inefficace T [300 ppm]; 15 s; 24 h ^{2*}	Efficace 30 s; 1 h ^{102**}	0 % T 15 s ^{2*} Efficace T 1 min ^{26*}	80–90 % T 15 s; 10– 15 min ^{2*} Inefficace T 1 min; 5 min ^{6*}	^aEfficace T [20 %]; 5 s; 6 h ⁸ T [5 %]; 5 s; 12 h ⁸	-
Didemne étendard <i>Didemnum vexillum</i>	100 % [62 ppm]; 4 h ⁴⁹ Inefficace T [70 ppm]; 10 min ⁹	100 % [70 ppm]; 10 s; 1 h ¹⁰ Efficace [70 ppm]; 10 min; 2 h ⁴¹	-	99 % T [10 %]; 2 min ⁵ 92,3 % 5 min ⁹ 85–96 % T 4 min ¹³ 80 %	-	-	-

EAE et épibiontes	Saumure		Saumure [300 ppm] et chaux hydratée [4 %]	Chaux hydratée [4 %]			Virkon®
	Immersion	Immersion + séchage à l'air	Immersion ± séchage à l'air	Immersion	Immersion + séchage à l'air	Jet + séchage à l'air	Immersion
	([conc.]; temps)	([conc.]; temps d'immersion; temps de séchage)	(temps d'immersion; ± temps de séchage)	([conc.]; temps)	([conc.]; temps d'immersion; temps de séchage)	([conc.]; durée du jet; temps de séchage)	([conc.]; temps)
				T [5 %]; 2 min ⁵ Inefficace T [20 %]; 20 s ⁵			
Diplosoma <i>Diplosoma listerianum</i>	-	100 % [70 ppm]; 10 s; 1 h (juv.) ¹⁰ Efficace [70 ppm]; 10 min; 2 h ⁴¹	-	-	-	-	-
TUNICIERS SOLITAIRES							
Ascidie jaune <i>Ciona intestinalis</i>	25 % [300 ppm]; 8 min ¹ Inefficace T [300 ppm]; 30 s ^{50*}	100 % [70 ppm]; 10 s; 1 h (juv.) ¹⁰ Efficace [70 ppm]; 10 min; 2 h ⁴¹ Inefficace T [300 ppm]; 15 s; 1 h ^{50*}	Efficace 1 min; 30 min, 1h ^{64*} Inefficace 30 s; 30 min ^{64*}	80 % T 2 min ^{14*} 70 % 8 min ¹ 50-80 % T 15 s ^{50*} Efficace T 1 min ^{26*}	100 % T 15 s; 20 min ^{50*} Efficace T 1 min; 5 min ^{6*}	Efficace T [20 %]; 5 s; 12 h ⁸	100 % [3 %]; 30 s (juv.) ⁶⁹ 95 % [1 %]; 60 s (juv.) ⁶⁹ 5-13 % T [3 %]; 15 s ^{50*}
Ascidie plissée <i>Styela clava</i>	75 % [300 ppm]; 10 s (juv.) ^{46*}	100 % T [300 ppm]; 5 min; 30 min ¹¹² Efficace T [70 ppm]; 10 min; 2 h ⁴¹	-	80 % T 2 min ^{14*} Efficace T 1 min ^{26*}	Efficace T 1 min; 5 min ^{6*} 86% (moyenne) T 1 min; 5 min ^{6*}	Efficace T NS; 45 s ^{14*} 5 s; 45 s ^{103*}	-
Ascidie sale <i>Ascidella aspersa</i>	-	100 % [70 ppm]; 10 s; 1 h ¹⁰ Efficace T [70 ppm]; 10 min; 2 h ⁴¹	-	-	-	-	-

EAE et épibiontes	Saumure		Saumure [300 ppm] et chaux hydratée [4 %]	Chaux hydratée [4 %]			Virkon®
	Immersion	Immersion + séchage à l'air	Immersion ± séchage à l'air	Immersion	Immersion + séchage à l'air	Jet + séchage à l'air	Immersion
	([conc.]; temps)	([conc.]; temps d'immersion; temps de séchage)	(temps d'immersion; ± temps de séchage)	([conc.]; temps)	([conc.]; temps d'immersion; temps de séchage)	([conc.]; durée du jet; temps de séchage)	([conc.]; temps)
Raisins de mer <i>Molgula manhattensis</i> <i>Molgula</i> spp.	Près de 100 % [300 ppm]; 10 min ^{80*} Efficace [300 ppm]; 3 min ⁶⁵ [300 ppm]; 10 min ^{79*}	100 % [300 ppm]; 1 min; 1 h ^{80*} Efficace [300 ppm]; 3 min; 1 h ^{79*} Efficace T [70 ppm]; 10 min; 2 h ⁴¹	-	Efficace 1 min ^{7, 65} 3 min ⁶⁵ Efficace T 1 min ^{26*}	-	-	-
MOLLUSQUES							
Moule bleue <i>Mytilus edulis</i>	GRANDE ≥ 50 mm	-	Inefficace [300 ppm]; 30 s; 1 h ^{102**}	-	10–15 % 1 min ^{100**} < 2 % T 15 s ^{2*} 0 % 3 h (pH variable) ¹⁵	0 % 5 s; 90 s ¹⁵	16,7 % [3 %]; 60 s ⁶⁹ 5,6 % [3 %]; 30 s ⁶⁹ 0 % [1 %]; 60 s ⁶⁹
	PETITE < 50 mm	18–23 % [300 ppm]; 30 min ^{39**} 17 % [300 ppm]; 6 min (3– 18 mm) ^{107**} 5–16 % T [300 ppm]; 60 s (9– 15 mm) ^{55*} 3–5 % T [300 ppm]; 30–60 s ^{55*}	97 % [300 ppm]; 6 min; 24 h (18 mm) ^{107**} 39 % T [300 ppm]; 10 min; 24 h ^{2*} 8–30 % [70 ppm]; 20 s; 1 h ¹⁰ 0 % [300 ppm]; 15 min; 1 h ^{39**} Inefficace [300 ppm]; 30 s; 24 h (4 °C; 100 % HR; 30– 40 mm) ¹¹¹ 24 h (séchage d'abord; 4 °C; 100 % HR);	-	77–78 % 15 min ^{39**} 53–71 % 30 min ^{39**} 0–2 % T 15 s ^{50*} 0 % T 1–2 min ^{14*}	Inefficace 30 s; 24 h (4 °C; 100 % HR; 30– 40 mm) ¹¹¹ 24 h (séchage d'abord; 4 °C; 100 % HR); 30 s (30–40 mm) ¹¹¹	2 % 30 s; 1 h ^{39**}

EAE et épibiontes		Saumure		Saumure [300 ppm] et chaux hydratée [4 %]	Chaux hydratée [4 %]			Virkon®
		Immersion	Immersion + séchage à l'air	Immersion ± séchage à l'air	Immersion	Immersion + séchage à l'air	Jet + séchage à l'air	Immersion
		([conc.]; temps)	([conc.]; temps d'immersion; temps de séchage)	(temps d'immersion; ± temps de séchage)	([conc.]; temps)	([conc.]; temps d'immersion; temps de séchage)	([conc.]; durée du jet; temps de séchage)	([conc.]; temps)
		Inefficace [300 ppm]; 30 s ³⁴ T [300 ppm]; 15 s ^{32*}	[300 ppm]; 30 s (30–40 mm) ¹¹¹					
	NS	-	0 % T [300 ppm]; 30 s; 24 h ^{2*} T [300 ppm]; 1 min; 1 h ^{2*} Efficace T [300 ppm]; 2 min; 1 h ^{2*}	-	-	-	-	-
Moule méditerranéenne <i>Mytilus galloprovincialis</i>	GRANDE ≥ 50 mm	90 % [350 ppm] (-20 °C); 10 s ^{17*} 21 % T [350 ppm]; 20 min ^{17*} 17 % [350 ppm] (-20 °C); 5 s ^{17*} 3,7 % [350 ppm]; 30 min ^{17*} 0 % [350 ppm]; 20 min ^{17*}	-	-	-	-	-	-
	PETITE < 50 mm	-	-	-	-	-	-	-
Huître de l'Est <i>Crassostrea virginica</i>	GRANDE ≥ 70 mm	0 % T [270 ppm]; 10 min ⁸¹	0 % T [270 ppm]; 6 min; 18 h ⁸¹	Inefficace 30 s; 1 h ^{102**}	0 % T 10 min ⁸¹ 0 % 3 h (pH variable) ¹⁵	-	-	-

EAE et épibiontes		Saumure		Saumure [300 ppm] et chaux hydratée [4 %]	Chaux hydratée [4 %]			Virkon®
		Immersion	Immersion + séchage à l'air	Immersion ± séchage à l'air	Immersion	Immersion + séchage à l'air	Jet + séchage à l'air	Immersion
		([conc.]; temps)	([conc.]; temps d'immersion; temps de séchage)	(temps d'immersion; ± temps de séchage)	([conc.]; temps)	([conc.]; temps d'immersion; temps de séchage)	([conc.]; durée du jet; temps de séchage)	([conc.]; temps)
	PETITE < 70 mm	0–10 % [300 ppm]; 30 min ^{39**} 0 % [300 ppm]; 15 min ^{39**} ; [300 ppm]; 3 min ⁶⁵ ; [300 ppm]; 6 min ^{107**} Inefficace T [300 ppm]; 10 min ^{6*}	0 % [300 ppm]; 30 s; 1 h ^{39**} [300 ppm]; 6 min; 24 h ^{107**}	Inefficace 30 s; 1 h ^{102**}	10–15 % 30 min ^{39**} 0 % 1 min ⁶⁵ Inefficace T 10 min ^{6*} 1 min ⁷	0 % 30 s; 1 h ^{39**}	-	-
Huître du Pacifique (géante) <i>Crassostrea gigas</i>	GRANDE ≥ 70 mm	0 % T [70 ppm]; 10 min ⁹	25 % [360 ppm]; 30 min; plusieurs heures ¹¹⁰	-	60 % T 30 s ⁹ 36 % T 4 min ¹³ 20 % T [1 %] 30 s ⁹ 0 % T [2 %]; 5, 10 min ⁹	-	-	-
	PETITE < 70 mm	0 % T [300 ppm]; 1 h ¹¹²	-	-	-	-	-	-
Crépidules <i>Crepidula fornicata</i> <i>Crepidula adunca</i>		-	100 % T [300 ppm]; 3 min; 30 min ^{80*}	-	-	-	-	-
Bigorneaux-perceurs <i>Urosalpinx cinerea</i> <i>Eupleura caudata</i>		Efficace [300 ppm]; 5 min (juv.) ^{80*} Inefficace	Efficace [300 ppm]; 3 min; plusieurs heures (juv.) ^{80*}	-	Inefficace T 10 min ^{6*}	-	-	-

EAE et épibiontes	Saumure		Saumure [300 ppm] et chaux hydratée [4 %]	Chaux hydratée [4 %]			Virkon®
	Immersion	Immersion + séchage à l'air	Immersion ± séchage à l'air	Immersion	Immersion + séchage à l'air	Jet + séchage à l'air	Immersion
	([conc.]; temps)	([conc.]; temps d'immersion; temps de séchage)	(temps d'immersion; ± temps de séchage)	([conc.]; temps)	([conc.]; temps d'immersion; temps de séchage)	([conc.]; durée du jet; temps de séchage)	([conc.]; temps)
	T [300 ppm]; 10 min ^{6*}						
CRUSTACÉS, ÉTOILES DE MER ET MACROALGUES							
Crabe vert européen <i>Carcinus maenas</i>	-	Inefficace [300 ppm]; 1 h; plusieurs heures ^{104**}	-	Inefficace T 2 min ^{14*}	-	-	-
Caprelle japonaise <i>Caprella mutica</i>	-	-	-	-	-	-	-
Cirripèdes <i>Semibalanus balanoides</i> <i>Balanus</i> spp.	Inefficace T [300 ppm]; 1 min ^{26*}	-	-	Inefficace T 15 min ^{26*}	-	-	-
Étoiles de mer <i>Asterias rubens</i> Étoile de mer (espèce non précisée)	Efficace [300 ppm]; 30 s ^{80*} [300 ppm]; 2 min ^{79*}	100 % [300 ppm]; 1 min; NS ^{80*}	-	Efficace T 1 min ^{26*}	-	-	-
Voleuse d'huîtres <i>Codium fragile</i>	100 % T [300 ppm]; 15 min ^{33*} Inefficace [300 ppm]; 3 min ⁶⁵	100 % T [300 ppm]; 15 min; 2 h ^{33*} T [300 ppm]; 10 min; 24 h ^{33*} [300 ppm]; 15 min; 1 h ^{39**}	-	100 % T 5 min ^{33*} Inefficace 1 min ⁶⁵	100 % 30 s; 1 h ^{39**} T 1 min; 24 h ^{33*} T 15 min; 2 h ^{33*}	-	-

EAE et épibiontes		Saumure		Saumure [300 ppm] et chaux hydratée [4 %]	Chaux hydratée [4 %]			Virkon®
		Immersion	Immersion + séchage à l'air	Immersion ± séchage à l'air	Immersion	Immersion + séchage à l'air	Jet + séchage à l'air	Immersion
		([conc.]; temps)	([conc.]; temps d'immersion; temps de séchage)	(temps d'immersion; ± temps de séchage)	([conc.]; temps)	([conc.]; temps d'immersion; temps de séchage)	([conc.]; durée du jet; temps de séchage)	([conc.]; temps)
Macroalgues		Efficace T [300 ppm]; 15 s ^{32*}						
<i>Cladophora</i> sp.		Efficace [300 ppm]; 15 s ³⁴	-	-	-	-	-	-
Autres espèces de macroalgues		Efficace [400 ppm]; 30 min ³⁸						
POLYCHÈTES								
Vers tubicoles	Serpulidae	100 % [350 ppm] (-20 °C); 10 s ^{17*}						
	<i>Hydroides elegans</i>	94,1 % [350 ppm]; 30 min ^{17*}	-	-	-	-	-	-
	<i>Spirobranchus paumotanus</i> (= <i>Pomatoceros taeniata</i>)	79,1 % T [350 ppm]; 20 min ^{17*}	-	-	-	-	-	-
		59,4 % [300 ppm]; 20 min ^{89*}						
	Sabellidés <i>Sabella spallanzanii</i>	100 % [50 ppm]; 24 h ⁶⁸	-	-	-	-	-	-

EAE et épibiontes		Saumure		Saumure [300 ppm] et chaux hydratée [4 %]	Chaux hydratée [4 %]			Virkon®
		Immersion	Immersion + séchage à l'air	Immersion ± séchage à l'air	Immersion	Immersion + séchage à l'air	Jet + séchage à l'air	Immersion
		([conc.]; temps)	([conc.]; temps d'immersion; temps de séchage)	(temps d'immersion; ± temps de séchage)	([conc.]; temps)	([conc.]; temps d'immersion; temps de séchage)	([conc.]; durée du jet; temps de séchage)	([conc.]; temps)
Vers à boue (Spionidae)	<i>Polydora ciliata</i>	100 % [42,3 ppm]; 19-21 h ^{78*} [60 ppm]; 8,5 h ^{78*} [78 ppm]; 7,75 h ^{78*} Efficace [300 ppm]; 5 min ^{79*}	-	-	-	-	-	-
	<i>Polydora hoplura</i>	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Polydora websteri</i>	-	90 % [300 ppm]; 15 min; 24 h ^{106**} 85 % [300 ppm]; 6 min; 24 h ^{106**} Efficace T [300 ppm]; 1 min; 2 h ^{82*}	-	-	-	-	-
	<i>Polydora spp.</i>	-	Près de 100 % [360 ppm]; 30 min; plusieurs heures ¹¹⁰ Efficace T [70 ppm]; 15 min; 15 min ^{74*} 1 h (séchage d'abord); [300 ppm]; 1 min (trempage) ^{79*}	-	-	-	-	-
Térébellides		-	-	-	-	-	-	-

EAE et épibiontes	Saumure		Saumure [300 ppm] et chaux hydratée [4 %]	Chaux hydratée [4 %]			Virkon®
	Immersion	Immersion + séchage à l'air	Immersion ± séchage à l'air	Immersion	Immersion + séchage à l'air	Jet + séchage à l'air	Immersion
	([conc.]; temps)	([conc.]; temps d'immersion; temps de séchage)	(temps d'immersion; ± temps de séchage)	([conc.]; temps)	([conc.]; temps d'immersion; temps de séchage)	([conc.]; durée du jet; temps de séchage)	([conc.]; temps)
BRYOZOAIRES							
Bryozoaire encroûtant de varech <i>Membranipora sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-
Bryozoaire brun (bugule commune) <i>Bugula neritina</i>	-	-	-	-	-	Inefficace T [20 %]; 5 s; 12 h ⁸	-
Bryozoaire à croûte rouge <i>Cryptosula pallasiana</i>	-	-	-	-	-	Efficace °T [10 %]; 5 s; 30 min ⁸ °T [20 %]; 5 s; 3 h ⁸ Inefficace T [5 %]; 5 s; 12 h ⁸	-
Bryozoaires (espèce non précisée)	-	-	-	Efficace T 1 min ^{26*}	-	-	-
ÉPONGES							
Éponge jaune <i>Cliona celata</i>	100 % T [270 ppm]; 5 min ⁸¹	100 % T [270 ppm]; 6 min; 1 h ⁸¹	-	32 % 10 min ⁸¹	-	-	-
Éponge jaune <i>Cliona spp.</i>	Efficace [300 ppm]; 5 min ^{79*}	100 % [300 ppm]; 10 min; 1 h ^{80*} Efficace 1 h (séchage d'abord); [300 ppm]; 1 min (trempage) ^{79*}	-	-	-	-	-
Éponge calcaire <i>Leucosolenia sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-

EAE et épibiontes	Saumure		Saumure [300 ppm] et chaux hydratée [4 %]	Chaux hydratée [4 %]			Virkon®
	Immersion	Immersion + séchage à l'air	Immersion ± séchage à l'air	Immersion	Immersion + séchage à l'air	Jet + séchage à l'air	Immersion
	([conc.]; temps)	([conc.]; temps d'immersion; temps de séchage)	(temps d'immersion; ± temps de séchage)	([conc.]; temps)	([conc.]; temps d'immersion; temps de séchage)	([conc.]; durée du jet; temps de séchage)	([conc.]; temps)
HYDROZOAIRES							
Hydroïde à bouche rose <i>Ectopleura crocea</i>	-	-	-	-	-	-	-
Hydroïde (espèce non précisée)	-	-	-	Efficace T 1 min ²⁶	-	-	-

¹Carver *et al.* (2003), ²MacNair *et al.* (2006), ⁵Denny (2008), ⁶Gill *et al.* (2008), ⁷Locke *et al.* (2009), ⁸Piola *et al.* (2009), ⁹Rolheiser *et al.* (2012), ¹⁰Carman *et al.* (2016), ¹³Switzer *et al.* (2011), ¹⁴Ramsay *et al.* (2014), ¹⁵Comeau *et al.* (2017), ¹⁷Asgari et Jahangard (2012), ²⁶McDonald (2010), ³²MacNair (2009), ³³MacNair (2002), ³⁴Sharp *et al.* (2006), ³⁸Mineur *et al.* (2007), ³⁹Landry *et al.* (MPO, données inédites), ⁴¹Carman *et al.* (2010), ⁴⁶Davidson *et al.* (2005), ⁴⁹McCann *et al.* (2013), ⁵⁰Gill *et al.* (2007), ⁵⁵Bourque et Myrand (2007), ⁶⁴Ramsay (2022), ⁶⁵MacNair et Smith (1999), ⁶⁸Jute et Dunphy (2017), ⁶⁹Paetzold et Davidson (2011), ⁷⁴Gryder (2002), ⁷⁸Velayudhan (1983), ⁷⁹Medcof (1961), ⁸⁰Loosanoff (1960), ⁸¹Carver *et al.* (2010), ⁸²Nell (2007), ⁸⁹Arakawa (1980), ¹⁰⁰MacNair (ministère des Pêches et des Collectivités de l'Île-du-Prince-Édouard, données inédites), ¹⁰²Mills (MPO, données inédites), ¹⁰³Ramsay (2014b), ¹⁰⁴McKenzie *et al.* (données inédites), ¹⁰⁶Carver et Mallet (Mallet Research Services Ltd., données inédites), ¹⁰⁷Mallet *et al.* (Mallet Research Services Ltd., données inédites – essais 2008), ¹¹⁰Ruellet (2004), ¹¹¹Vickerson (2009), ¹¹²Minchin et Duggan (1988).

Tableau 8. Effets des traitements physiques sur la survie des espèces déplacées, « 100 % » signifiant une survie à 100 % des organismes soumis à une combinaison de traitement donnée. Le terme « touchée » désigne les études où la survie des espèces déplacées a été touchée, mais non quantifiée. NS : non spécifié; * : rapports techniques; ** : données inédites ou non évaluées par des pairs; Δ : expériences en laboratoire d'acclimatement; (juv.) : le traitement a été appliqué à des juvéniles ou à un stade jeune; g : testé sur deux tailles différentes à l'intérieur de la même catégorie de taille; b : *Perna canaliculus*, substitut de *Mytilus galloprovincialis*; d : *Ostrea angasi*, substitut de *Ostrea edulis*; HR : humidité relative; T : expérience sur le terrain. Les expériences en laboratoire sont présentées par défaut. Les références sont indiquées en exposant.

Côte (Atlantique/ Pacifique)	Espèces déplacées	Catégorie de taille	Eau de mer			Eau douce			Chaleur		
			Jet à basse pression (<60 lb/po ²)	Jet à haute pression (>700 lb/po ²) ± séchage à l'air	Séchage à l'air	Immersion	Immersion + séchage à l'air	Jet + séchage à l'air	Immersion dans de l'eau douce	Immersion dans de l'eau de mer	Vapeur (100 ° C; 50 lb/po ²)
			(pression; temps)	(pression; temps)	(temps)	(temps)	(temps d'immersion; temps de séchage)	(durée du jet; temps de séchage)	(température; temps)	(température; temps)	(temps)
Atlantique et Pacifique	Moule bleue <i>Mytilus edulis</i>	GRANDE ≥ 50 mm	Non touchée T 40 lb/po ² ; NS ²⁹	Non touchée T 700 lb/po ² ; NS ²⁹	100 % 3 h (20– 41 °C) ⁶⁰ 0 % T 6 h (41 °C) ⁶²	-	-	-	-	~ 65 % 60 °C; 5 s ^{26*} 0 % 60 °C; 20 s ^{26*} Non touchée 55 °C; 1 min ⁴⁰	-
		PETITE < 50 mm	Non touchée T 40 lb/po ² ; NS ²⁹	100 % T 700 lb/po ² ; 10 s ⁶⁷ Non touchée T 700 lb/po ² ; NS ²⁹	94,6 % T 1 jour (17– 31 °C) ^{18**} 92 % 24 h ^{107**} 62 % T 40 h (21 °C; 34 % HR) ⁴ 52,2 % 11 h (27 °C; 55,6 % HR) ⁶⁰ 1 % T 5 jours (8– 31 °C) ^{18**}	100 % 48 h ^{39**} 12 h ^{22*} T 24 h (11– 14 °C) ^{22*}	90 % 24 h; 1 h ¹⁰	90 % 10 min; 1 h ¹⁰	Non touchée 55 °C; 5 s ³⁵	100 % 30 °C; 10 min ^{39**} 26 °C; 24 h ^{56Δ} ⁹ T 50 °C; 60 s (40–50 mm) ^{95*} ⁹ T 55 °C; 5 s (10–20 mm) ^{95*} ⁹ T 55 °C; 20 s (40–50 mm) ^{95*} ⁹ T 60 °C; 1 s (10–20 mm) ^{95*} ⁹ T 60 °C; 10 s (40–50 mm) ^{95*} 90 % ⁹ T 50 °C; 15 s (10–20 mm) ^{95*} ⁹ T 55 °C; 30 s (40–50 mm) ^{95*}	0 % 60 s ³⁶ Non touchée 30 s ^{46*}

Côte (Atlantique/ Pacifique)	Espèces déplacées	Catégorie de taille	Eau de mer		Séchage à l'air	Eau douce			Chaleur		
			Jet à basse pression (<60 lb/po ²)	Jet à haute pression (>700 lb/po ²) ± séchage à l'air		Immersion	Immersion + séchage à l'air	Jet + séchage à l'air	Immersion dans de l'eau douce	Immersion dans de l'eau de mer	Vapeur (100 ° C; 50 lb/po ²)
			(pression; temps)	(pression; temps)		(temps)	(temps)	(temps d'immersion; temps de séchage)	(durée du jet; temps de séchage)	(température; temps)	(température; temps)
					0 % T 6 h (41 °C) ⁶² Non touchée T 5 à 6 h (HR élevée) ^{89*} 24 h (4 °C, 100 % HR) ¹¹¹ Touchée T 2–3 h (HR faible) ^{89*}					94 % 27 °C; 48 h ^{56Δ} 70–90 % ⁹ T 50 °C; 15– 20 s (40– 50 mm) ^{95*} 40–80 % T 60 °C; 15– 30 s (40– 50 mm) ^{95*} 67 % 40 °C; 5 min (4 °C) ^{39**} ~60 % 60 °C; 5 s ^{26*} 40 °C; 30 min ⁹⁹ 50 % 28 °C; 3 jours ^{56Δ} 24 % 32,6 °C; 6 h ⁶⁰ 20 % 28 °C; 4 jours ^{56Δ} 13 % 40 °C; 5 min (10 °C) ^{39**} 0 %	

Côte (Atlantique/ Pacifique)	Espèces déplacées	Catégorie de taille	Eau de mer		Séchage à l'air	Eau douce			Chaleur		
			Jet à basse pression (<60 lb/po ²)	Jet à haute pression (>700 lb/po ²) ± séchage à l'air		Immersion	Immersion + séchage à l'air	Jet + séchage à l'air	Immersion dans de l'eau douce	Immersion dans de l'eau de mer	Vapeur (100 ° C; 50 lb/po ²)
			(pression; temps)	(pression; temps)							
										60 °C; 15 s ^{26*} 28 °C; 6 jours ^{56Δ} 36 °C; 70 min ^{54 Δ} 41 °C; 1 min ^{54 Δ} T 28–30 °C; 3 jours ⁵⁶ ⁹ T 50 °C; 30 s (10–20 mm) ^{95*} ⁹ T 55–60 °C; 15 s (10– 20 mm) ^{95*} ⁹ T 60 °C; 1 min (40–50 mm) ^{95*} 60 °C; 15 min ⁹⁹ Non touchée 55 °C; 1 min ⁴⁰ Touchée 60–80 °C; 4 s ^{46*}	
Atlantique	Huître plate <i>Ostrea edulis</i>	GRANDE ≤ 65 mm	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		PETITE < 65 mm	-	-	-	^d 100 % 30 s ⁹⁸	-	-	-	^d 100 % 40 °C; 60 s ⁹⁸ 50 °C; 10 s ⁹⁸ ^d 60 % 60 °C; 10 s ⁹⁸ ^d 0 % 50 °C; 30 s ⁹⁸ 60 °C; 30 s ⁹⁸	-

Côte (Atlantique/ Pacifique)	Espèces déplacées	Catégorie de taille	Eau de mer		Séchage à l'air	Eau douce			Chaleur		
			Jet à basse pression (<60 lb/po ²)	Jet à haute pression (>700 lb/po ²) ± séchage à l'air		Immersion	Immersion + séchage à l'air	Jet + séchage à l'air	Immersion dans de l'eau douce	Immersion dans de l'eau de mer	Vapeur (100 ° C; 50 lb/po ²)
			(pression; temps)	(pression; temps)							
		GRANDE ≥ 70 mm	-	-	-	Non touchée 72 h ⁹¹	Non touchée 72 h + 14 jours (3 °C) ⁹¹	-	-	~90 % 60 °C; 30 s ^{26*}	-
	Huître de l'Est <i>Crassostrea virginica</i>	PETITE < 70 mm	-	-	100 % T 1 jour (naissain; 17–31 °C) ^{18**} 95 % T 72 h (35 à 65 mm) ²⁰ 68 % T 5 jours (naissain; 8– 31 °C) ^{18**} 2 % 24 h (1– 2 mm) ^{107**} 1 % T 11 jours (naissain; 4– 36 °C) ^{18**}	96–100 % 24–48 h ^{39**}	-	-	100 % 40 °C; 5 min (4 °C; 10 °C) ^{39**} 30 °C; 10 min (4 °C) ^{39**} 89 % 30 °C; 10 min (10 °C) ^{39**}	~95–99 % 60 °C; 5–15 s ^{26*} 95 % ⁹ T 60 °C; 15 s (55–65 mm) ²⁰ ~50 % ⁹ T 60 °C; 15 s (35–45 mm) ^{20, 27} 40–60 % ⁹ T 60 °C; 15 s (55–65 mm) ²⁷ ~5 % 60 °C; 30 s ^{26*}	-
	Pétoncle de baie <i>Argopecten irradians</i>	GRANDE ≥ 40 mm	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		PETITE < 40 mm	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Pétoncle géant <i>Placopecten magellanicus</i>	GRANDE ≥ 70 mm	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		PETITE < 70 mm	-	-	-	100 % 10 min (4– 6 ppm; 10 °C) ^{39**}	-	-	100 % 30 °C; 10 min ^{39**}	-	-

Côte (Atlantique/ Pacifique)	Espèces déplacées	Catégorie de taille	Eau de mer		Séchage à l'air	Eau douce			Chaleur			
			Jet à basse pression (<60 lb/po ²)	Jet à haute pression (>700 lb/po ²) ± séchage à l'air		Immersion	Immersion + séchage à l'air	Jet + séchage à l'air	Immersion dans de l'eau douce	Immersion dans de l'eau de mer	Vapeur (100 ° C; 50 lb/po ²)	
			(pression; temps)	(pression; temps)								(temps)
						80 % 10 min (4– 6 ppm; 4 °C) ^{39**}				3 % 40 °C; 1 min ^{39**}		
Pacifique	Moule méditerranéenne <i>Mytilus galloprovincialis</i>	GRANDE ≥ 50 mm	-	-	100 % 24 h (18 °C) ^{17*} T 24 h (14– 16 °C) ^{17*} 0 % 11 jours (18 °C) ²¹ 7 jours (20,3 °C) ²¹ Touchée 4 jours (18 °C) ²¹	100 % 30 min ^{17*}	^b 98–99 % T 10 min; 24 h ⁵	-	-	100 % 45–48 °C; 80 s ^{17*} 40 °C; 60 s ¹¹ 50,60 °C; 10 s ¹¹ 99 % 35 °C; 5 min ⁹⁶ 97–100 % T 46–51 °C; 40– 45 s ^{17*} 93–95 % 51 °C; 65 s ^{17*} 87–93 % 53 °C; 55– 70 s ^{17*} 42–46 % T 60–65 °C; 30 s ^{17*} ~60 % 50 °C; 30 s ¹¹ 0 % 50 °C; 60 s ¹¹ 50 °C; 5 min ⁹⁶	-	

Côte (Atlantique/ Pacifique)	Espèces déplacées	Catégorie de taille	Eau de mer		Séchage à l'air	Eau douce			Chaleur		
			Jet à basse pression (<60 lb/po ²)	Jet à haute pression (>700 lb/po ²) ± séchage à l'air		Immersion	Immersion + séchage à l'air	Jet + séchage à l'air	Immersion dans de l'eau douce	Immersion dans de l'eau de mer	Vapeur (100 ° C; 50 lb/po ²)
			(pression; temps)	(pression; temps)		(temps)	(temps)	(durée du jet; temps de séchage)	(température; temps)	(température; temps)	(temps)
Pacifique		PETITE < 50 mm	-	-	20 % T 6 h (18,5 °C; 95 % HR) ²¹ 0 % 24 h (18 °C; 95 % HR) ²¹	-	^b 98-99 % T 10 min; 24 h ⁵	-	-	100 % 40 °C; 60 s ¹¹ 95 % 35 °C; 5 min ⁹⁶ ~75 % 50 °C; 10 s ¹¹ 0 % 50 °C; 30 s ¹¹ 60 °C; 10 s ¹¹ 50 °C; 5 min ⁹⁶	-
	Espèces de moules <i>Mytilus</i> sp.	PETITE < 50 mm	-	-	-	Près de 100 % 5 jours (10 °C) ³⁵	-	-	-	-	-
	Huître creuse du Pacifique <i>Crassostrea gigas</i>	GRANDE ≥ 70 mm	-	Touchée T 2 000 lb/po ² ; 30 s ⁴⁵	0 % 34 jours (18 °C) ²¹ T 16 jours (9,5-32,2 °C; 95 % HR) ²¹ Touchée 7 jours (18 °C) ²¹ T 72 h (9,5- 32,2 °C; 95 % HR) ²¹	100 % T 10 min (5 ppm) ⁹ 80 % T 10 min (0 ppm) ⁹ Non touchée T 12 h ⁸²	-	-	-	100 % 37,5 °C; 60 min ⁹⁶ 40 °C; 30 min ⁹⁶ 42,5 °C; 20 min ⁹⁶	0 % 300 s ³⁶

Côte (Atlantique/ Pacifique)	Espèces déplacées	Catégorie de taille	Eau de mer		Séchage à l'air	Eau douce			Chaleur			
			Jet à basse pression (<60 lb/po ²)	Jet à haute pression (>700 lb/po ²) ± séchage à l'air		Immersion	Immersion + séchage à l'air	Jet + séchage à l'air	Immersion dans de l'eau douce	Immersion dans de l'eau de mer	Vapeur (100 ° C; 50 lb/po ²)	
			(pression; temps)	(pression; temps)								(temps)
		PETITE < 70 mm	-	-	-	95,8 % 12 h ⁸⁵ 88,5 % T 12 h ⁸⁵	-	-	-	-	100 % 50 °C; 60 s ^{95*} 70 °C; 30-40 s ⁸⁵ ⁹ 37,5 °C; 60 min (juv.) ⁹⁶ ⁹ 40 °C; 30 min (juv.) ⁹⁶ 98 % ⁹ 42,5 °C; 20 min (juv.) ⁹⁶ 91,3 % 70 °C; 45 s ⁸⁵ 90 % 55 °C; 60 s ^{95*} 88,8 % T 70 °C; 40 s ⁸⁵ 80-92 % 60 °C; 15- 30 s ^{95*} 76,7 % ⁹ 37,5 °C; 60 min (naissain) ⁹⁶ 50 % ⁹ 40 °C; 30 min (naissain) ⁹⁶ 40 % 60 °C; 60 s ^{95*}	0 % 60 s ³⁶

Côte (Atlantique/ Pacifique)	Espèces déplacées	Catégorie de taille	Eau de mer		Séchage à l'air	Eau douce			Chaleur			
			Jet à basse pression (<60 lb/po ²)	Jet à haute pression (>700 lb/po ²) ± séchage à l'air		Immersion	Immersion + séchage à l'air	Jet + séchage à l'air	Immersion dans de l'eau douce	Immersion dans de l'eau de mer	Vapeur (100 ° C; 50 lb/po ²)	
			(pression; temps)	(pression; temps)								(temps)
												13,3 % ⁹⁴ 42,5 °C; 20 min (naissain) ⁹⁶ 0 % ⁹⁴ 43 °C; 60 min (11, 35, 54 mm) ⁹⁴ ⁹⁴ 40 °C; 96 min (11 mm) ⁹⁴ ⁹⁴ 40 °C; 167 min (54 mm) ⁹⁴

⁴Leblanc *et al.* (2007), ⁵Denny (2008), ⁹Rolheiser *et al.* (2012), ¹⁰Carman *et al.* (2016), ¹¹Sievers *et al.* (2019), ¹⁷Asgari et Jahangard (2012), ¹⁸Comeau (MPO, données inédites), ²⁰Mayrand *et al.* (2015), ²¹Hopkins *et al.* (2016), ²²Ramsay (2015a), ²⁶McDonald (2010), ²⁷Rousselle (2012), ²⁹Arens *et al.* (2011a), ³⁵Forrest et Blakemore (2006), ³⁶Joyce *et al.* (2019), ³⁹Landry *et al.* (MPO, données inédites), ⁴⁰Best *et al.* (2014), ⁴⁵Curtis *et al.* (2021), ⁴⁶Davidson *et al.* (2005), ⁵⁴Rajagopal *et al.* (2005a), ⁵⁶Gonzalez et Yevich (1976), ⁶⁰Leblanc *et al.* (2005), ⁶²Seuront *et al.* (2019), ⁶⁷Arens *et al.* (2011b), ⁸²Nell (2007), ⁸⁵Nel *et al.* (1996), ⁸⁹Arakawa (1980), ⁹¹Brown (2012), ⁹⁴Rajagopal *et al.* (2005b), ⁹⁵Koganezawa (1972), ⁹⁶Piola et Hopkins (2012), ⁹⁸Fitridge *et al.* (2014), ⁹⁹Leach (2011), ¹⁰⁷Mallet *et al.* (Mallet Research Services Ltd., données inédites – essais de 2008), ¹¹¹Vickerson (2009).

Tableau 9. Effets des traitements chimiques (hypochlorite de sodium, acide acétique et acide citrique) sur la survie des espèces déplacées, « 100 % » signifiant une survie à 100 % des organismes soumis à une combinaison de traitement donnée. Le terme « touchée » désigne les études où la survie des espèces déplacées a été touchée, mais non quantifiée. Pour les traitements par chloration, tous les résultats se rapportent à l'hypochlorite de sodium par défaut, les autres composés à base de chlore sont précisés avec des symboles (§, #) en indice. NS : non spécifié; * : rapports techniques; ** : données inédites ou non évaluées par des paires; § : chlore résiduel total (CRT); # : Dioxyde de chlore; b : *Perna canaliculus*, substitut de *Mytilus galloprovincialis*; d : *Ostrea angasi*, substitut de *Ostrea edulis*; g : testé sur différents groupes de taille de la même catégorie de taille; T : expériences sur le terrain. Les expériences en laboratoire sont présentées par défaut. Les références sont indiquées en exposant.

Côte (Atlantique/ Pacifique)	Espèces déplacées	Catégorie de taille	Chloration	Acide acétique						Acide citrique		
			Immersion	Immersion		Jet	Immersion + séchage à l'air		Jet + séchage à l'air	Immersion chauffée	Immersion	Immersion chauffée
			[(conc.); temps)	[4-5 %] [(conc.); temps)	[1-2 %] [(conc.); temps)	[4-5 %] (temps)	[4-5 %] (temps d'immersion; temps de séchage)	[1-2 %] (temps d'immersion; temps de séchage)	[4-5 %] (durée du jet; temps de séchage)	[(conc.); temp.; temps d'immersion)	[(conc.); temps)	[(conc.); temp.; temps d'immersion)
Atlantique et Pacifique	Moule bleue <i>Mytilus edulis</i>	GRANDE ≥ 50 mm	-	85-90 % T 5 s ⁷	-	-	-	-	-	-	-	-
		PETITE < 50 mm	84 % [0,7 mg/L]; 10 min (véligères) ^{57§} ^{58§} 0 % [3 mg/L]; 17 jours ^{75§} [1 mg/L]; 40 d ^{61§} ⁹ [4 mg/L]; 7 h (1,4 mm) ^{59§} ⁹ [4 mg/L]; 5,2 jours (14 mm) ^{57§} ⁹ [4 mg/L]; 6,3 jours (25 mm) ^{57§,59§} [1 mg/L]; 20 min (véligères) ^{58§} [0,1 mg/L]; 4 h (véligères) ^{58§} [0,05 mg/L]; 5 h (véligères) ^{58§}	87,8 % T 15 s ^{2*} 40 % 20 s ³⁴ Non touchée ^{95-10 s,} 30 s, 1 min (20 mm) ¹ T 30 s ^{2*} Touchée T 15 s ^{46*, 50*} ^{95-10 s,} 30 s, 1 min (10 mm) ¹ 30 s ¹¹¹	-	92,3 % T 30 s ^{2*} 85 % T NS ^{50*}	0 % 5 min; 1 h ¹⁰ Non touchée 30 s (rinçage); 24 h (4 °C; 100 % HR) ¹¹¹ Touchée 30 s (pas de rinçage); 24 h (4 °C; 100 % HR) ¹¹¹ 30 s (rinçage); 24 h (1- 2 °C; 100 % HR) ¹¹¹ 24 h (air d'abord; 4 °C; 100 % HR); 30 s ¹¹¹	-	-	-	-	-

Côte (Atlantique/ Pacifique)	Espèces déplacées	Catégorie de taille	Chloration	Acide acétique						Acide citrique			
			Immersion	Immersion		Jet	Immersion + séchage à l'air		Jet + séchage à l'air	Immersion chauffée	Immersion	Immersion chauffée	
			([conc.]; temps)	[4-5 %] ([conc.]; temps)	[1-2 %] ([conc.]; temps)	[4-5 %] (temps)	[4-5 %] (temps d'immersion; temps de séchage)	[1-2 %] (temps d'immersion; temps de séchage)	[4-5 %] (durée du jet; temps de séchage)	([conc.]; temp.; temps d'immersion)	([conc.]; temps)	([conc.]; temp.; temps d'immersion)	
Atlantique	Huître plate (<i>Ostrea edulis</i>)	GRANDE ≤ 65 mm	-	-	-	-	-	-	-	Non touchée T 30 s; 30 s ¹	-	-	
		PETITE < 65 mm	-	^d 100 % 30 s ¹¹ Non touchée ^g 1 min (20 mm) ¹ Touchée ^g 1 min (10 mm) ¹	^d 100 % 30 s ¹¹	-	-	-	-	80 % T 30 s; 30 s ¹	^d 100 % [5 %]; 40 °C; 30 s (15 et 50 mm) ¹¹ ^g [2 %]; 50 °C; 10 s (50 mm) ¹¹ ^d ~40 % ^g [2 %]; 50 °C; 10 s (15 mm) ¹¹ ^d 0 % [2 %]; 50 °C; 30 s (15 et 50 mm) ¹¹	^g [10 %]; 30 s (15 et 50 mm) ¹¹ ^d 75 % ^g [10 %]; 10 s (50 mm) ¹¹	^d 100 % [2 %]; 50 °C; 10 s (15 et 50 mm) ¹¹ [10 %]; 40 °C; 30 s (15 et 50 mm) ¹¹ ^d 0 % [2 %]; 50 °C; 30 s (15 et 50 mm) ¹¹
	Huître de l'Est <i>Crassostrea virginica</i>	GRANDE ≥ 70 mm	-	44 % T 30 s ⁸¹ Touchée T [10 %]; 10 min ⁸¹ T [20 %]; 5 min ⁸¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		PETITE < 70 mm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Pétoncle de baie <i>Argopecten irradians</i>	GRANDE ≥ 40 mm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		PETITE < 40 mm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Côte (Atlantique/ Pacifique)	Espèces déplacées	Catégorie de taille	Chloration	Acide acétique						Acide citrique		
			Immersion	Immersion		Jet	Immersion + séchage à l'air		Jet + séchage à l'air	Immersion chauffée	Immersion chauffée	
			([conc.]; temps)	[4-5 %] ([conc.]; temps)	[1-2 %] ([conc.]; temps)	[4-5 %] (temps)	[4-5 %] (temps d'immersion; temps de séchage)	[1-2 %] (temps d'immersion; temps de séchage)	[4-5 %] (durée du jet; temps de séchage)	([conc.]; temp.; temps d'immersion)	([conc.]; temps)	([conc.]; temp.; temps d'immersion)
	Pétoncle géant <i>Placopecten magellanicus</i>	GRANDE ≥ 70 mm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		PETITE < 70 mm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pacifique	Moule méditerranéenne <i>Mytilus galloprovincialis</i>	GRANDE ≥ 50 mm	97 % [0,14– 0,28 %]; 9 min ¹⁷ ‡	100 % 30 s ¹¹ b91 % T 4 min ³ b95 % [4,8 %]; 2 min ³	100 % 30 s ¹¹	-	95 % 24 h (séchage d'abord); 2 min ³ 90 % T 24 h (séchage d'abord) [4, 8 %]; 4 min ³ b91 % T 4 min (rinçage); 24 h ³ b57 % 2 min (pas de rinçage); 24 h ³ b26 % [8 %]; 2 min (pas de rinçage); 24 h ³ b13–31 % [10 %]; 1 min; 24 h ⁵	b98,5 % [0,5 %]; 10 min; 24 h ⁵ b90–95 % 10 min; 24 h ⁵	95 % [10 %]; 3 s; 26 h ⁵	100 % [2 %]; 40– 50 °C; 30 s ¹¹ [5 %]; 40 °C; 30 s ¹¹ ~ 75 % [5 %]; 50 °C; 30 s ¹¹ ~ 40 % [5 %]; 50 °C; 10 s ¹¹	100 % [2 %]; 30 s ¹¹ [10 %]; 10 s ¹¹ ~ 50–60 % [10 %]; 30 s ¹¹	100 % [10 %]; 40 °C; 30 s ¹¹ [5 %]; 50 °C; 10 s ¹¹ ~ 50–60 % [10 %]; 50 °C; 10, 30 s ¹¹

Côte (Atlantique/ Pacifique)	Espèces déplacées	Catégorie de taille	Chloration	Acide acétique						Acide citrique		
			Immersion	Immersion		Jet	Immersion + séchage à l'air		Jet + séchage à l'air	Immersion chauffée	Immersion	Immersion chauffée
			([conc.]; temps)	[4-5 %] ([conc.]; temps)	[1-2 %] ([conc.]; temps)	[4-5 %] (temps)	[4-5 %] (temps d'immersion; temps de séchage)	[1-2 %] (temps d'immersion; temps de séchage)	[4-5 %] (durée du jet; temps de séchage)	([conc.]; temp.; temps d'immersion)	([conc.]; temps)	([conc.]; temp.; temps d'immersion)
		PETITE < 50 mm	^b 94 % [0,5 %]; 30 s, 2 min ⁵ [0,5 %]; 30 s (+ 24 h séchage à l'air) ⁵	100 % 30 s ¹¹ 95 % [4, 8 %]; 2 min ³ ^b 91 % T 4 min ³ 35-38 % (moyenne) T [8 %]; 10, 30, 60 s (regroupé) ¹²	100 % 30 s ¹¹ Non touchée 60 s ¹²	-	^b 95 % 24 h (séchage d'abord); 2 min ³ 90 % T 24 h (séchage d'abord) [4, 8 %]; 4 min ³ ^b 91 % T 4 min (rinçage); 24 h ³ 57 % [4 %]; 2 min (pas de rinçage); 24 h ³ 26 % [8 %]; 2 min (pas de rinçage); 24 h ³ ^b 13-31 % [10 %]; 1 min; 24 h ⁵	^b 98,5 % [0,5 %]; 10 min; 24 h ⁵ ^b 90-95 % [□] 10 min; 24 h ⁵	95 % [10 %]; 3 s; 26 h ⁵	100 % [2 %]; 40 °C; 30 s ¹¹ [5 %]; 40 °C; 10 s ¹¹ 80 % [5 %]; 40 °C; 30 s ¹¹ ~10 % [5 %]; 50 °C; 10 s ¹¹ 0 % [2 %]; 50 °C; 30 s ¹¹	100 % [10 %]; 10 s ¹¹ ~60 % [10 %]; 30 s ¹¹	100 % [10 %]; 40 °C; 10 s ¹¹ ~50-55 % [5 %]; 40 °C; 30 s ¹¹ ~30-40 % [10 %]; 40 °C; 30 s ¹¹ ~15 % [10 %]; 50 °C; 10 s ¹¹ 0 % [2 %]; 50 °C; 30 s ¹¹

Côte (Atlantique/ Pacifique)	Espèces déplacées	Catégorie de taille	Chloration	Acide acétique						Acide citrique		
			Immersion	Immersion		Jet	Immersion + séchage à l'air		Jet + séchage à l'air	Immersion chauffée	Immersion	Immersion chauffée
			([conc.]; temps)	[4-5 %] ([conc.]; temps)	[1-2 %] ([conc.]; temps)	[4-5 %] (temps)	[4-5 %] (temps d'immersion; temps de séchage)	[1-2 %] (temps d'immersion; temps de séchage)	[4-5 %] (durée du jet; temps de séchage)	([conc.]; temp.; temps d'immersion)	([conc.]; temps)	([conc.]; temp.; temps d'immersion)
	Huître creuse du Pacifique <i>Crassostrea gigas</i>	GRANDE ≥ 70 mm	Non touchée T [0,05 %]; 12 h ^{42*}	60 % T 30 s ⁹ 0 % T 5 min ⁹ Non touchée T 10 min ^{42*}	100 % T [1,25 %]; 30 s ⁹ 80 % T [1,25%]; 1 min ⁹ 60 % T [0,25%]; 10 min ⁹ Non touchée T 10 min ^{42*}	-	-	-	-	-	-	-
PETITE < 70 mm		-	100 % T 30 s ¹² [4, 8 %]; 15-60 s ¹²	100 % 15-60 s ¹²	-	-	-	-	-	-	-	

¹Carver *et al.* (2003), ²MacNair *et al.* (2006), ³Forrest *et al.* (2007), ⁵Denny (2008), ⁷Locke *et al.* (2009), ⁹Rolheiser *et al.* (2012), ¹⁰Carman *et al.* (2016), ¹¹Sievers *et al.* (2019), ¹²Cahill *et al.* (2021), ¹⁷Asgari et Jahangard (2012), ³²MacNair (2009), ³⁴Sharp *et al.* (2006), ⁴²Coutts et Forrest (2005), ⁴⁶Davidson *et al.* (2005), ⁵⁰Gill *et al.* (2007), ⁵⁷Haque et Kwon (2017), ⁵⁸Haque *et al.* (2014), ⁵⁹Haque *et al.* (2015), ⁶¹Rajagopal *et al.* (2003), ⁷⁵Rajagopal *et al.* (2002), ⁸¹Carver *et al.* (2010), ¹¹¹Vickerson (2009).

Tableau 10. Effets des traitements chimiques (saumure saturée, chaux hydratée et Virkon®) sur la survie des espèces déplacées, « 100 % » signifiant une survie à 100 % des organismes déplacés pour une combinaison de traitement donnée. Le terme « touchée » désigne les études où la survie des espèces déplacées a été touchée, mais non quantifiée. NS : non spécifié; * : rapports techniques; ** : données inédites ou non évaluées par des pairs; T : expérience sur le terrain. Les expériences en laboratoire sont présentées par défaut. Les références sont indiquées en exposant.

Côte (Atlantique /Pacifique)	Espèces déplacées	Catégorie de taille	Saumure		Saumure [300 ppm] X chaux hydratée [4 %]	Chaux hydratée [4 %]			Virkon®
			Immersion	Immersion + séchage à l'air	Immersion + séchage à l'air	Immersion	Immersion + séchage à l'air	Jet + séchage à l'air	Immersion
			([conc.]; temps)	([conc.]; temps d'immersion; ± temps de séchage)	(temps d'immersion; temps de séchage)	([conc.]; temps)	([conc.]; temps d'immersion; temps de séchage)	([conc.]; durée du jet; temps de séchage)	([conc.]; temps)
Atlantique et Pacifique	Moule bleue <i>Mytilus edulis</i>	GRANDE ≥ 50 mm	-	-	-	100 % 3 h ¹⁵ 98 % T 15 s ^{2*} 85–90 % 1 min ^{100**}	-	100 % 5 s; 90 s ¹⁵	100 % [1 %]; 60 s ⁶⁹ 94,4 % [3 %]; 30 s ⁶⁹ 83,3 % [3 %]; 60 s ⁶⁹
		PETITE < 50 mm	98–100 % [300 ppm]; 15 min ^{39**} 84–95 % T [300 ppm]; 60 s (9– 15 mm) ^{55*} 83 % [300 ppm]; 6 min (3– 18 mm) ^{107**} 77–82 % [300 ppm]; 30 min ^{39**} Non touchée [300 ppm]; 30 s ³⁴ T [300 ppm]; 15 s ^{32*}	100 % [300 ppm]; 15 min; 1 h ^{39**} 70–92 % [70 ppm]; 20 s; 1 h ¹⁰ 3 % [300 ppm]; 6 min; 24 h ^{107**} Non touchée [300 ppm]; 30 s; 24 h (4 °C; 100 % HR) ¹¹¹ 24 h (séchage d'abord; 4 °C; 100 % HR); [300 ppm]; 30 s ¹¹¹ [300 ppm]; 30 s; 1 h ^{102**}	-	100 % T 1–2 min ^{14*} 98–100 % T 15 s ^{50*} 31–47 % 30 min ^{39**} 22–23 % 15 min ^{39**} Touchée 1 min ⁷ 30 s ¹¹¹	Non touchée 30 s; 24 h (4 °C; 100 % HR) ¹¹¹ 24 h (séchage; 4 °C; 100 % HR); 30 s ¹¹¹	98 % 30 s; 1 h ^{39**}	-

Côte (Atlantique /Pacifique)	Espèces déplacées	Catégorie de taille	Saumure		Saumure [300 ppm] X chaux hydratée [4 %]	Chaux hydratée [4 %]			Virkon®
			Immersion	Immersion + séchage à l'air	Immersion + séchage à l'air	Immersion	Immersion + séchage à l'air	Jet + séchage à l'air	Immersion
			([conc.]; temps)	([conc.]; temps d'immersion; ± temps de séchage)	(temps d'immersion; temps de séchage)	([conc.]; temps)	([conc.]; temps d'immersion; temps de séchage)	([conc.]; durée du jet; temps de séchage)	([conc.]; temps)
		[NS]	-	100 % T [300 ppm]; 30 s; 24 h ^{2*} T [300 ppm]; 1 min; 1 h ^{2*} 61 % T [300 ppm]; 10 min; 24 h ^{2*} Touchée T [300 ppm]; 2 min; 1 h ^{2*}	-	-	-	-	-
Atlantique	Huître plate (<i>Ostrea edulis</i>)	GRANDE ≤ 65 mm	-	-	-	-	-	-	-
		PETITE < 65 mm	100 % T [300 ppm]; 1 h ¹¹²	-	-	-	-	-	-
	Huître de l'Est <i>Crassostrea virginica</i>	GRANDE ≥ 70 mm	100 % T [270 ppm]; 10 min ⁸¹	100 % T [270 ppm]; 6 min; 18 h ⁸¹	Non touchée 30 s; 1 h ^{102**}	100 % T 10 min ⁸¹ 3 h ¹⁵	-	-	-
		PETITE < 70 mm	100 % [300 ppm]; 15 min ^{39**} [300 ppm]; 6 min (1– 2 mm) ^{107**} T [300 ppm]; 3 min ⁶⁵ 90 % [300 ppm]; 30 min ^{39**} Non touchée T [300 ppm]; 10 min ^{6*}	100 % [300 ppm]; 30 s; 1 h ^{39**} 0 % [300 ppm]; 6 min; 24 h (1– 2 mm) ^{107**}	Non touchée 30 s; 1 h ^{102**}	100 % T 1 min ⁶⁵ 30 min ^{39**} Non touchée T 10 min ^{6*} 1 min ⁷	100 % 30 s; 1 h ^{39**}	-	-

Côte (Atlantique /Pacifique)	Espèces déplacées	Catégorie de taille	Saumure		Saumure [300 ppm] X chaux hydratée [4 %]	Chaux hydratée [4 %]			Virkon®
			Immersion	Immersion + séchage à l'air	Immersion + séchage à l'air	Immersion	Immersion + séchage à l'air	Jet + séchage à l'air	Immersion
			([conc.]; temps)	([conc.]; temps d'immersion; ± temps de séchage)	(temps d'immersion; temps de séchage)	([conc.]; temps)	([conc.]; temps d'immersion; temps de séchage)	([conc.]; durée du jet; temps de séchage)	([conc.]; temps)
	Pétoncle de baie <i>Argopecten irradians</i>	GRANDE ≥ 40 mm	-	-	-	100 % 3 h (pH variable) ¹⁵	-	-	-
		PETITE < 40 mm	-	-	-	-	-	-	-
	Pétoncle géant <i>Placopecten magellanicus</i>	GRANDE ≥ 70 mm	-	-	-	-	-	-	-
		PETITE < 70 mm	87-89 % [300 ppm]; 1 min ^{39**} 24 % [300 ppm]; 5 min ^{39**}	-	-	37 % 30 s (10 °C) ^{39**} 14 % 30 s (4 °C) ^{39**}	-	-	-
Pacifique	Moule méditerranéenne <i>Mytilus galloprovincialis</i>	GRANDE ≥ 50 mm	100 % [350 ppm]; 20 min ^{17'} □ □ 9 6,3 % [350 ppm]; 30 min ^{17'} 83 % [350 ppm] (-20 °C); 5 s ^{17'} 79 % T [350 ppm]; 20 min ^{17'} 10 % [350 ppm] (-20 °C); 10 s ^{17'}	-	-	-	-	-	-
		PETITE < 50 mm	-	-	-	-	-	-	-

Côte (Atlantique /Pacifique)	Espèces déplacées	Catégorie de taille	Saumure		Saumure [300 ppm] X chaux hydratée [4 %]	Chaux hydratée [4 %]			Virkon®
			Immersion	Immersion + séchage à l'air	Immersion + séchage à l'air	Immersion	Immersion + séchage à l'air	Jet + séchage à l'air	Immersion
			([conc.]; temps)	([conc.]; temps d'immersion; ± temps de séchage)	(temps d'immersion; temps de séchage)	([conc.]; temps)	([conc.]; temps d'immersion; temps de séchage)	([conc.]; durée du jet; temps de séchage)	([conc.]; temps)
	Huître creuse du Pacifique <i>Crassostrea gigas</i>	GRANDE ≥ 70 mm	100 % T [70 ppm]; 10 min ⁹	75 % [360 ppm]; 30 min; plusieurs heures ¹¹⁰	-	100 % T [2 %] 10 min ⁹ 5 min ⁹ 80 % T [1 %]; 30 s ⁹ 64 % T 4 min ¹³ 40 % T 30 s ⁹	-	-	-
		PETITE < 70 mm	100 % T [300 ppm]; 1 h ¹¹²	-	-	-	-	-	-

¹Carver *et al.* (2003), ²MacNair *et al.* (2006), ⁶Gill *et al.* (2008), ⁷Locke *et al.* (2009), ⁹Rolheiser *et al.* (2012), ¹⁰Carman *et al.* (2016), ¹³Switzer *et al.* (2011), ¹⁴Ramsay *et al.* (2014), ¹⁵Comeau *et al.* (2017), ¹⁷Asgari et Jahangard (2012), ³²MacNair (2009), ³⁴Sharp *et al.* (2006), ³⁹Landry *et al.* (MPO, données inédites), ⁵⁰Gill *et al.* (2007), ⁵⁵Bourque et Myrand (2007), ⁶⁵MacNair et Smith (1999), ⁶⁹Paetzold et Davidson (2011), ⁸¹Carver *et al.* (2010), ¹⁰⁰MacNair (données inédites), ¹⁰²Mills (MPO, données inédites), ¹⁰⁷Mallet *et al.* (Mallet Research Services Ltd., données inédites – essais de 2008), ¹¹⁰Ruellet (2004), ¹¹¹Vickerson (2009), ¹¹²Minchin et Duggan (1988).

Tableau 11. Effets des traitements physiques et chimiques sur les macroalgues, « 100 % » signifiant une survie à 100 % des macroalgues pour une combinaison de traitement donnée. Le terme « touchée » désigne les études où la survie a été touchée, mais non quantifiée. NS : non spécifié; * : rapports techniques; ** : données inédites ou non évaluées par des pairs. T : expérience sur le terrain. Les expériences en laboratoire sont présentées par défaut. Les références sont indiquées en exposant.

Macroalgues	Séchage à l'air	Eau douce	Eau de mer chaude	Hypochlorite de sodium	Retrait manuel + hypochlorite de sodium	Acide acétique		Acide citrique	Saumure
		Immersion	Immersion	Immersion	Essuyage manuel + immersion ± séchage à l'air	Immersion ± séchage à l'air	Jet ± séchage à l'air	Immersion	Immersion
	(temps)	(temps)	(temp.; temps)	([conc.]; temps d'immersion)	([conc.]; temps d'immersion; temps de séchage)	([conc.]; temps d'immersion; temps de séchage)	([conc.]; durée du jet; temps de séchage)	([conc.]; temps)	([conc.]; temps)
<i>Saccharina latissima</i> , <i>Saccharina longicuris</i>	-	-	-	-	Non touchée Essuyage manuel (sores); [0,1 %]; 1 min (rinçage); 12–16 h (sores) ^{108**} Essuyage manuel (sores); [0,003 %]; 2 min (rinçage + essuyé séché) ^{113*}	-	-	-	-
<i>Fucus vesiculosus</i> , <i>Fucus serratus</i>	Touchée T 3x / semaine ⁷⁶	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Gracilaria gracilis</i>	-	Touchée 3 h ⁸⁶	-	-	-	-	-	-	-
<i>Porphyra haitanensis</i>	-	-	-	-	-	-	-	90,9 % [pH 2]; 3 min ¹⁰¹	-
<i>Porphyra</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	100 % NS ³⁸
<i>Pyropia yezoensis</i>	Non touchée 2–40 min ¹¹⁴	-	-	-	-	-	-	-	Touchée 80 ppm; 10 min (30 % de perte d'eau) ¹¹⁵ Touchée 100 ppm; 10 min (40 % de perte d'eau) ¹¹⁵

Macroalgues	Séchage à l'air	Eau douce	Eau de mer chaude	Hypochlorite de sodium	Retrait manuel + hypochlorite de sodium	Acide acétique		Acide citrique	Saumure
	Immersion	Immersion	Immersion	Essuyage manuel + immersion ± séchage à l'air	Immersion ± séchage à l'air	Jet ± séchage à l'air	Immersion	Immersion	
	(temps)	(temps)	(temp.; temps)	(([conc.]; temps d'immersion)	(([conc.]; temps d'immersion; temps de séchage)	(([conc.]; temps d'immersion; temps de séchage)	(([conc.]; durée du jet; temps de séchage)	(([conc.]; temps)	(([conc.]; temps)
<i>Caulerpa taxifolia</i>	-	-	0 % 72 °C; 1 h ⁷⁷	100 % [0,001 %]; 30 min ⁷⁷	-	-	-	-	-
<i>Cladophora</i> sp.	-	-	-	-	-	Non touchée [2 %]; 1–2 min ³ [2 %]; 1–2 min (rinçage); 24 h ³ Touchée 24 h (air); [2 %] 1–2 min ³	-	-	100 % 400 ppm; 30 min ³⁸ Touchée 300 ppm; 15 s ^{32*, 34}
<i>Codium fragile</i>	Touchée 1 h ³⁷	100 % 3 h ³⁷	Touchée 50 °C; 30 s ^{39**}	-	-	-	-	-	-
<i>Rhodophyta</i> spp.	-	-	-	-	-	-	0 % [5 %]; 1 min; 1 min ⁸	-	-
<i>Ulva linza</i>	-	-	-	-	-	-	100 % [5 %]; 1 min; 1 min ⁸	-	-
<i>Ulva</i> spp.	-	-	Touchée 80–85 °C; 3 s ³⁸	-	-	-	-	-	Non touchée 400 ppm; 30 min ³⁸
<i>Undaria pinnatifida</i>	~40 % 6 h (20 °C) ³⁵	0 % 10 min ³⁵	80 % 35 °C; 1 min ³⁵	-	-	100 % [2 %]; 1 min (rinçage) ³	0 % [5 %]; 1 min; 1 min ⁸	-	-

³Forrest *et al.* (2007), ⁸Piola *et al.* (2009), ^{32*}MacNair (2009), ³⁴Sharp *et al.* (2006), ³⁵Forrest et Blakemore (2006), ³⁷Kim et Garbary (2007), ³⁸Mineur *et al.* (2007), ^{39**}Landry *et al.* (MPO, données inédites), ⁷⁶Meichssner *et al.* (2020), ⁷⁷Williams et Schroeder (2004), ⁸⁶Smit *et al.* (2003), ¹⁰¹Yan *et al.* 2011, ^{108**}Clark, J. (données inédites), ^{113*}Tamigneaux *et al.* (2013), ¹¹⁴Li *et al.* 2018a, ¹¹⁵Du *et al.* 2021.

Tableau 12. Résumé des traitements physiques pour les espèces aquatiques envahissantes marines et les espèces déplacées. Les traitements efficaces sur certains EAE ou épibiontes (100 % de mortalité ou d'élimination, ou efficacité) et la survie des mollusques déplacés (taux de survie de 90 % ou plus, ou « non touchée ») sont basés sur un examen de la documentation scientifique sur les traitements contre les espèces suivantes : *Argopecten irradians* (AI), *Asciidiella aspersa* (AA), balanes(BA), *Botrylloides violaceus* (BV), *Botryllus schlosseri* (BS), bryozoaires (BZ), *Caprella mutica* (CMU), *Carcinus maenas* (CM), *Ciona intestinalis* (CI), *Codium fragile* (CF), *Crassostrea gigas* (CG), *Crassostrea virginica* (CV), *Didemnum vexillum* (DV), *Diplosoma listerianum* (DL), gastéropodes (GA), *Hemigrapsus sanguineus* (HM), hydrozoaires (HZ), macroalgues (MA), *Molgula* spp. (MO), *Mytilus edulis* (ME), *Mytilus galloprovincialis* (MG), *Ostrea edulis* (OE), *Placopecten magellanicus* (PM), polychètes (PL), étoiles de mer (SS), éponges (SP), et *Styela clava* (SC). Les niveaux d'incertitude associés sont fournis et sont basés sur les données disponibles, leur qualité et l'accord entre les études avec les options de traitement recensées. Il convient de souligner que des cotes d'incertitude n'ont pas été calculées pour les traitements inefficaces. (p ou g) : petit/grand. (juv.) : le traitement a été appliqué à des juvéniles ou à des stades jeunes.

Traitements physiques		Mortalité des EAE						Survie des espèces déplacées					
		EAE (100 % de mortalité ou d'efficacité)				Inefficace	Aucune donnée	Espèces déplacées (≥90 % de survie ou Non touchée)				Touchée	Aucune donnée
		Incertitude						Incertitude					
		Faible	Modérée	Élevée	Très élevée			Faible	Modérée	Élevée	Très élevée		
Eau sous pression	700 lb/po ² ; 10 s	-	-	-	-	BS, BV, CM ⁵ , GA ⁵ , ME(g) ⁵ , ME(p), SS ⁵	AA, BA, BZ, CF, CG(p/g), CI ^{1,5} , CMU, CV(p/g), DL, DV ¹ , HM, HZ, MA ¹ , MG(p/g), MO, PL, SC, SP	-	ME(p)	ME(g) ⁵	-	-	AI(p/g), CG(g) ⁵ , CG(p), CV(p/g), MG(p/g), OE(p/g), PM(p/g)
Séchage à l'air	24 h	CI	BS, BV ⁵ , SC	AA ⁵ , CF ⁵ , DL ⁵ , DV ⁵ , MA, MG(p), PL	MO ⁵	BA, BZ ⁵ , CV(p), GA ⁵ , ME(p), MG(g), SP ⁵	CG(g) ¹ , CG(p), CM ¹ , CMU, CV(g), HM, HZ, ME(g) ¹ , SS	-	CV(p), ME(p)	MG(g)	-	MG(p)	AI(p/g), CG(g) ³ , CG(p), CV(g), ME(g) ³ , OE(p/g), PM(p/g)
Immersion dans de l'eau douce	24 h	CF, CMU, SC	BS, BV, PL	DV, MA	SP ⁵	CV(g) ⁵ , CV(p), HM, ME(p)	AA, BA, BZ, CG(p/g) ² , CI ² , CM ^{2,5} , DL, GA, HZ ² , ME(g), MG(g) ² , MG(p), MO, SS	-	ME(p)	CV(g)	CV(p)	-	AI(p/g), CG(p/g) ⁴ , ME(g), MG(g) ⁴ , MG(p), OE(g), OE(p) ⁴ , PM(g), PM(p) ⁴

Traitements physiques		Mortalité des EAE						Survie des espèces déplacées					
		EAE (100 % de mortalité ou d'efficacité)				Inefficace	Aucune donnée	Espèces déplacées (≥90 % de survie ou Non touchée)				Touchée	Aucune donnée
		Incertitude						Incertitude					
		Faible	Modérée	Élevée	Très élevée			Faible	Modérée	Élevée	Très élevée		
Immersion dans de l'eau douce + séchage à l'air	8 h + 1 h	-	-	BS, BV, DL, DV	-	CV(g) ⁵ , ME(p)	AA, BA, BZ, CF, CG(p/g), CI, CM, CMU, CV(p), GA, HM, HZ, MA, ME(g), MG(g) ² , MG(p), MO, PL ¹ , SC, SP, SS	-	-	CV(g), ME(p)	-	-	Al(p/g), CG(p/g), CV(p), ME(g), MG(p/g) ⁴ , OE(p/g), PM(p/g)
	Jet d'eau douce + séchage à l'air	10 min + 1 h	-	-	BS, BV, DL, DV	ME(p)	AA, BA, BZ, CF, CG(p/g), CI, CM, CMU, CV(p/g), GA, HM, HZ, MA, ME(g), MG(p/g), MO, PL, SC, SP, SS	-	-	ME(p)	-	-	Al(p/g), CG(p/g), CV(p/g), ME(g), MG(p/g), OE(p/g), PM(p/g)
Immersion dans de l'eau de mer chauffée	50 °C; 60 s	CI	MA, ME(p/g), MG (p/g), SC	CM(juv.), HZ	CF, SS ⁵	CG(p), CV(p/g), PL	AA, BA ¹ , BS, BV ¹ , BZ ¹ , CM(adultes) ^{1,5} , CMU ¹ , CG(g) ² , DL, DV ¹ , GA, HM, MO, SP	CG(p)	ME(g) ⁵	-	-	ME(p), MG(p/g), OE(p)	Al(p/g), CG(g) ⁴ , CV(g) ^{4,5} , CV(p) ⁴ , OE(g), PM(p/g)
	60 °C; 10 s	-	CI, MA, ME(p/g), MG(p)	CM(juv.), HZ	CF, SS ⁵	CG(p), CV(p/g), MG(g), PL, SC	AA, BA ¹ , BS, BV ¹ , BZ ¹ , CG(g) ² , CM(adultes) ^{1,5} , CMU ¹ , DL, DV ¹ , GA, HM, MO, SP	CG(p)	CV(p; 55–65 mm)	-	CV(g) ⁵	CV(p; 35–45 mm), ME(p/g), MG(p/g), OE(p)	Al(p/g), CG(g) ⁴ , OE(g), PM(p/g)

Traitements physiques		Mortalité des EAE						Survie des espèces déplacées					
		EAE (100 % de mortalité ou d'efficacité)				Inefficace	Aucune donnée	Espèces déplacées (≥90 % de survie ou Non touchée)				Touchée	Aucune donnée
		Incertitude						Incertitude					
		Faible	Modérée	Élevée	Très élevée			Faible	Modérée	Élevée	Très élevée		
	60 °C; 30 s	SC	CI, MA, ME(p/g), MG(p)	CM(juv.), HZ	BA, CF, SS ⁵	CG(p), CV(p/g), MG(g), PL	AA, BS, BV ¹ , BZ ¹ , CG(g) ² , CM(adultes) ^{1,5} , CMU ¹ , DL, DV ¹ , GA, HM, MO, SP	CG(p)	-	-	CV(g) ⁵	CV(p), ME(p/g), MG(p/g), OE(p)	AI(p/g), CG(g) ⁴ , OE(g), PM(p/g)
Vapeur	100 °C; 50 lb/po ²	-	-	-	MA, SC	-	AA, BS, BV, CI, DL, DV, HM, MO	-	-	-	-	-	-

¹Aucune donnée avec ces paramètres; 100 % de mortalité avec d'autres paramètres (voir le tableau 5 détaillé)

²Aucune donnée avec ce paramètre; inefficace avec d'autres paramètres (voir le tableau 5 détaillé)

³Aucune donnée avec ces paramètres; touchée par d'autres paramètres (voir le tableau 8 détaillé)

⁴Aucune donnée avec ces paramètres; ≥90 % de survie avec d'autres paramètres (voir le tableau 8 détaillé)

⁵ D'après les résultats qualitatifs seulement

Tableau 13. Résumé des traitements chimiques pour les espèces aquatiques envahissantes marines et les espèces déplacées. Les traitements efficaces sur certains EAE ou épibiontes (100 % de mortalité ou d'élimination, ou efficacité) et la survie des mollusques déplacés (taux de survie de 90 % ou plus, ou « non touchée ») sont basés sur un examen de la documentation scientifique sur les traitements contre les espèces suivantes : *Argopecten irradians* (AI), *Ascidiella aspersa* (AA), barnacles (BA), *Botrylloides violaceus* (BV), *Botryllus schlosseri* (BS), bryozoaires (BZ), *Caprella mutica* (CMU), *Carcinus maenas* (CM), *Ciona intestinalis* (CI), *Codium fragile* (CF), *Crassostrea gigas* (CG), *Crassostrea virginica* (CV), *Didemnum vexillum* (DV), *Diplosoma listerianum* (DL), gastéropodes (GA), *Hemigrapsus sanguineus* (HM), hydrozoaires (HZ), macroalgues (MA), *Molgula* spp. (MO), *Mytilus edulis* (ME), *Mytilus galloprovincialis* (MG), *Ostrea edulis* (OE), *Placopecten magellanicus* (PM), polychètes (PL), étoiles de mer (SS), éponges (SP), et *Styela clava* (SC). Les niveaux d'incertitude associés sont fournis et sont basés sur les données disponibles, leur qualité et l'accord entre les études avec les options de traitement recensées. Il convient de souligner que des cotes d'incertitude n'ont pas été calculées pour les traitements inefficaces. [] : concentration du produit chimique. (p/g) : petit/grand. (juv.) : le traitement a été appliqué à des juvéniles ou à des stades jeunes.

Traitements chimiques		Mortalité des EAE						Survie des espèces déplacées					
		EAE (100 % de mortalité ou d'efficacité)				Inefficace	Aucune donnée	Espèces déplacées (≥90 % de survie ou Non touchée)				Touchée	Aucune donnée
		Incertitude						Incertitude					
		Faible	Modérée	Élevée	Très élevée	Faible	Modérée	Élevée	Très élevée				
Immersion dans de l'hypochlorite de sodium	[0,5 %]; 20 s	-	-	DV	BV	CM ⁵ , MG(p), PL ⁵	AA, BA, BS, BZ, CF, CG(g) ² , CG(p), CI ² , CMU, CV(p/g), DL, GA, HM, HZ, MA ¹ , ME(g), ME(p) ¹ , MG(g) ² , MO, SC ¹ , SS, SP	-	-	MG(p)	-	-	AI(p/g), CG(g) ⁴ , CG(p), CV(p/g), ME(g), ME(p) ³ , MG(g) ⁴ , OE(p/g), PM(p/g)
	[0,01 %] ; 12 h	-	-	-	SC	CG(g)	AA, BA, BS, BV ¹ , BZ, CF, CG(p), CI ² , CM ^{2,5} , CMU, CV(p/g), DL, DV ¹ , GA, HM, HZ, MA ¹ , ME(g), ME(p) ¹ , MG(g) ² , MG(p) ¹ , MO, PL ^{2,5} , SP, SS	-	-	MG(p)	CG(g) ⁵	-	AI(p/g), CG(p), CV(p/g), ME(g), ME(p) ³ , MG(g) ⁴ , OE(p/g), PM(p/g)
Immersion dans de l'acide acétique [4-5 %]	30 s	-	BZ, CI, DV ⁵ , HZ, ME(p)	BV, SS	-	BA ⁵ , CG(p/g), CV(g), CV(p) ⁵ , GA ⁵ , MG(p/g), PL ⁵	AA, BS ^{1,5} , CF, DL, CM, CMU, HM, MA ¹ , ME(g) ² , MO, SC ¹ , SP ^{1,5}	CG(p), MG(p/g)	OE(p)	-	-	CG(g), CV(g), ME(p/g)	AI(p/g), CV(p), OE(g), PM(p/g)
	1 min	BV, BZ, CI	DV ⁵ , HZ, ME(p), SC	BS ⁵ , MA, PL ⁵ , SS	-	BA ⁵ , CG(p/g), CV(p) ⁵	AA, CF, CM, CMU, CV(g) ² , DL, HM, ME(g) ² , MO, SP ^{1,5}	MG(p/g)	CG(p), OE(p)	-	-	CG(g), CV(g), ME(p/g)	AI(p/g), CV(p), OE(g), PM(p/g)

Traitements chimiques		Mortalité des EAE						Survie des espèces déplacées					
		EAE (100 % de mortalité ou d'efficacité)				Inefficace	Aucune donnée	Espèces déplacées (≥90 % de survie ou Non touchée)				Touchée	Aucune donnée
		Incertitude						Incertitude					
		Faible	Modérée	Élevée	Très élevée	Faible	Modérée	Élevée	Très élevée				
						GA ⁵ , MG(p/g)							
	5 min	BV, BZ, CI, ME(p)	DV ⁵ , HZ, MA, SC	BS ⁵ , CG(g), PL ⁵ , SS	-	CV(p ⁵), GA ⁵ , MG(p/g)	AA, BA ² , CF, CG(p) ² , CM, CMU, CV(g) ² , DL, HM, ME(g) ² , MO, SP ^{1.5}	-	-	-	-	CG(g), CV(g), ME(p/g)	AI(p/g), CG(p) ⁴ , CV(p), MG(p/g) ⁴ , OE(g), OE(p) ⁴ , PM(p/g)
Immersion dans de l'acide acétique [4-5 %] + séchage à l'air	5 min + 1 h	-	-	AA, BS, BV, CI, DL, DV, ME(p)	-	-	BA, BZ ^{1.5} , CF, CG(p/g), CM, CMU, CV(p/g), GA, HM, HZ, MA ¹ , ME(g), MG(p/g) ² , MO, PL ^{1.5} , SC, SP, SS	-	-	-	-	ME(p)	AI(p/g), CG(p/g), CV(p/g), ME(g), MG(p/g) ³ , OE(p/g), PM(p/g)
	4 min + 24 h	-	-	BS ⁵ , BV ⁵ , CI ⁵ , MA, PL ⁵	BZ ⁵	MG(p/g)	AA ¹ , BA, CF, CG(p/g), CM, CMU, CV(p/g), DL ¹ , DV ¹ , GA, HM, HZ, MO, ME(g), ME(p) ¹ , SC, SP, SS	-	-	-	-	ME(p) ⁵ , MG(p/g)	AI(p/g), CG(p/g), CV(p/g), ME(g), OE(p/g), PM(p/g)
Immersion dans de l'acide citrique [5 %]	10 s	-	-	HZ	-	CI, MA, MG(p/g), SC	AA, BA, BS, BV, BZ, CF, CG(p/g), CM, CMU, CV(p/g), DL, DV, GA, HM, ME(p/g), MO, PL, SP, SS	-	-	MG(p/g), OE(p)	-	-	AI(p/g), CG(p/g), CV(p/g), ME(p/g), OE(g), PM(p/g)
Immersion dans de la saumure saturée [300 ppm]	15 min	-	CF, MA ⁵ , MO ⁵ , SP ⁵ , SS ⁵	-	-	BA ⁵ , CG(p), CV(p/g), ME(p), MG(g), PL	AA, BS, BV ^{2.5} , BZ, CG(g) ² , CI ² , CM, CMU, DL, DV ¹ , GA ^{2.5} , HM, HZ, ME(g), MG(p), SC ²	ME(p)	CV(p)	CG(p), CV(p), OE(p)	MG(g)	PM(p)	AI(p/g), CG(g) ⁴ , ME(g), MG(p), OE(g), PM(g)
Immersion dans de la saumure saturée [300 ppm] + séchage à l'air	15 min + 2 h	AA, BS, CI ⁵ , DL, DV, MO, SC	BV, CF, SP	PL ⁵	GA	CG(g), CM ⁵ , ME(p)	BA, BZ, CG(p), CMU, CV(p/g) ² , HM, HZ, MA, MG(p/g), SS ¹ , ME(g) ^{2.5}	-	-	-	-	-	AI(p/g), CG(g) ³ , CG(p), CV(p/g) ⁴ , ME(p) ⁴ , ME(g), MG(p/g),

Traitements chimiques		Mortalité des EAE						Survie des espèces déplacées					
		EAE (100 % de mortalité ou d'efficacité)				Inefficace	Aucune donnée	Espèces déplacées (≥90 % de survie ou Non touchée)				Touchée	Aucune donnée
		Incertitude						Incertitude					
		Faible	Modérée	Élevée	Très élevée	Faible	Modérée	Élevée	Très élevée				
													OE(p/g), PM(p/g)
	30 s + 1 h	BS	BV, CI ⁵ , DL, DV	-	-	CG(g), CM ⁵ , CV(p/g), ME(g) ⁵ , ME(p)	BA, BZ, CF ¹ , CG(p), CMU, GA ¹ , HM, HZ, MA, MG(p/g), MO ¹ , PL ^{1,5} , SC ¹ , SP ¹ , SS ¹	-	ME(p)	CV(g)	CV(p)	-	Al(p/g), CG(g) ³ , CG(p), ME(g), MG(p/g), OE(p/g), PM(p/g)
Immersion dans de la chaux hydratée [4 %]	5 min	MO ⁵	CF	BV ⁵ , SC ⁵	BS ⁵ , BZ ⁵ , HZ ⁵ , SS ⁵	BA ⁵ , CG(g), CI, CM, CV(p/g), DV, GA ⁵ , ME(p/g), SP	AA, CG(p), CMU, DL, HM, MA, MG(p/g), PL	CV(p/g)	ME(g)	Al(g), CG(g)	-	PM(p)	Al(p), CG(p), ME(p) ⁴ , MG(p/g), OE(p/g), PM(g)
Immersion en saumure saturée [300 ppm] avec chaux hydratée [4 %] + séchage à l'air	1 min + 1 h	-	-	BS ⁵ , BV ⁵	CI ⁵	-	AA, BA, BZ, CF, CG(p/g), CM, CMU, CV(p/g) ^{2,5} , DL, DV, GA, HM, HZ, MA, ME(p/g), MG(p/g), MO, PL, SC, SP, SS	-	-	-	-	-	Al(p/g), CG(p/g), CV(p/g) ^{4,5} , ME(p/g), MG(p/g), OE(p/g), PM (p/g)
Virkon®[3 %]	30 s	-	-	CI(juv.)	-	ME(g)	AA, BA, BS, BV, BZ, CF, CG(s/l), CI(adultes) ² , CM, CMU, CV(p/g), DL, DV, GA, HM, HZ, MA, MO, ME(p), MG(p/g), PL, SC, SP, SS	-	-	ME(g)	-	-	Al(p/g), CG(p/g), CV(p/g), ME(p), MG(p/g), OE(p/g), PM(p/g)

¹Aucune donnée avec ces paramètres; 100 % de mortalité avec d'autres paramètres (voir les tableaux 6 et 7 détaillés)

²Aucune donnée avec ce paramètre; inefficace avec d'autres paramètres (voir les tableaux 6 et 7 détaillés)

³Aucune donnée avec ces paramètres; touchée par d'autres paramètres (voir les tableaux 9 et 10 détaillés)

⁴Aucune donnée avec ces paramètres; ≥90 % de survie avec d'autres paramètres (voir les tableaux 9 et 10 détaillés)

⁵D'après les résultats qualitatifs seulement

Tableau 14. Conceptualisation d'un processus à utiliser par les gestionnaires pour sélectionner les types de traitement les plus appropriés afin de maximiser à la fois la mortalité des espèces aquatiques envahissantes (EAE) et la survie des espèces de mollusques déplacées dans le contexte des déplacements des organismes marins (p. ex. transferts aquacoles, transferts scientifiques).

Étape 1 Cherchez-vous à atténuer un ensemble d'EAE (ou une menace d'EAE inconnue) ou à cibler une seule EAE?	
Scénario A Ensemble d'EAE ou EAE inconnue	Scénario B Propre à l'espèce (ciblant une seule EAE)
<p>Étape 2A Déterminez les options de traitement physique et chimique efficaces possibles dans les tableaux 12 et 13 qui incluraient tous les groupes d'EAE préoccupantes (p. ex. tuniciers coloniaux, bryozoaires, <i>Codium fragile</i>) et qui garantissent également une survie élevée des espèces déplacées (p. ex. les petites <i>Mytilus edulis</i> – reportez-vous à « ME(p) » dans les tableaux 12 et 13).</p> <p>Étape 3A À partir des options de traitement recensées à l'étape 2A, évaluez la faisabilité et l'applicabilité des traitements, qui dépendent du contexte, et déterminez les traitements optimaux dans votre situation.</p> <p>Étape 4A Recommandez ou mettez en œuvre les traitements optimaux pour votre situation.</p>	<p>Étape 2B Déterminez les options de traitement physique et chimique efficaces possibles dans les tableaux 12 et 13 pour l'EAE qui vous intéresse (p. ex. <i>Ciona intestinalis</i>, qui fait partie des tuniciers solitaires – reportez-vous à « CI » dans les tableaux 12 et 13), qui garantissent également une survie élevée des espèces déplacées (p. ex. les petites <i>Mytilus edulis</i> – consultez « ME(p) » dans les tableaux 12 et 13).</p> <p>Étape 3B À partir des options de traitement recensées à l'étape 2B, trouvez les traitements optimaux propres à l'espèce d'EAE ciblée (p. ex., <i>C. intestinalis</i>) dans les tableaux 5 à 7, qui assurent l'efficacité du traitement pour cette EAE en particulier et la survie élevée de l'espèce déplacée (p. ex. les petites <i>Mytilus edulis</i>) dans les tableaux 8 à 10.</p> <p>Étape 4B À partir des options de traitement recensées à l'étape 3B, évaluez la faisabilité et l'applicabilité des traitements, qui dépendent du contexte, et déterminez les traitements optimaux dans votre situation.</p> <p>Étape 5B Recommandez ou mettez en œuvre les traitements optimaux pour votre situation.</p>

ANNEXE 1. TERMES DE RECHERCHE

1	(décontaminat* OU « eau chaude » OU vapeur* OU nettoyer* OU désinfecter* OU protocole* OU ligne directrice* OU norme* OU essai* OU méthode* OU pulvériser* OU chauffer* OU sécher* OU prévenir* OU immerger* OU gérer* OU antisal* OU biosal* OU salis OU infest OU soleil* OU traiter* ou traitement* OU chaud OU inspecter* OU séchait* ou séchage à l'air* OU rincer* OU salinité OU pression* OU dessicat * OU expos* OU brosse* OU hypochlorite de sodium OU chloration OU eau de Javel OU chlore OU chaux ou chaux hydratée OU saumure OU Virkon OU acide acétique ou acide citrique OU vinaigre OU douce* OU contrôler OU éradiquer* OU biosécurité OU brosse*)
2	(envahissante OU non indigène OU allogène OU exotique OU étranger OU propagation* OU envahi*)
3	(aquatique OU aquaculture OU commerciale* OU exploitation* OU récolte* OU cult* OU océan OU mer OU eau OU côtière OU introduction* OU transfert* OU marine)
4	(espèce OU genre OU famille OU classe OU embranchement OU organisme* OU animal* OU plante* OU invertébré* OU mollusque* OU bivalve* OU moule* OU coquille* OU huître* OU pétoncle* OU cirripède* OU littorina OU gastéropode* OU perceur* OU escargot* OU croûte* ou encroût* OU raisin* OU crabe OU amphipode* OU crevette OU bryozoaire* OU éponge* OU hydroïde* OU hydrozoaire* OU polychète* OU ver* OU boue* OU épibiont* OU jaune* ou perceur* ou terrier* OU étoile* OU échinoderme* OU ravageur OU macrophyte ou algue* ou macroalgue* OU mauvaise herbe aquatique* OU algue*)
5	(viabilité OU viable OU mortalité OU mort OU retrait OU surv* OU reprodu* OU dispersion OU « transport terrestre » OU vecteur OU effet OU tolérance OU résistance OU létal* OU « température létale supérieure aiguë » OU température OU chaleur OU chaud OU thermique OU « température maximale critique » OU comport* OU réaction OU sensibilité)
6	(1 ET 2 ET 3 ET 4 ET 5)
7	(biologie ou biologique OU taille OU hauteur OU longueur OU marché OU développ* OU vie ou stade biologique* OU cycle OU croissance* OU taux OU maxim* ou minim* OU matur* ou immatur* OU sexe* OU naissain OU semence OU adulte* OU juvénile* OU petit OU grand)
8	(3 ET 4 ET 7)