

L'Institut Agro Rennes-Angers

☐ Site d'Angers ☒ Site de Rennes

Année universitaire : 2023 -2024

Spécialité SML - Biologie

Parcours Sciences Halieutiques et Aquacoles

Option AQUA

Mémoire de fin d'études

☐ d'ingénieur de l'Institut Agro Rennes-Angers (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)

☒ de master de l'Institut Agro Rennes-Angers (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)

☐ de l'Institut Agro Montpellier (étudiante arrivée en M2)

☒ d'un autre établissement (étudiante arrivée en M2)

Stress et tenue de la moule *Mytilus edulis* lors des traitements post-récolte



Par : Suzanne PRUVOT

Soutenu à **Rennes** le **12 septembre 2024**

Devant le jury composé de :

Président : Hervé LE BRIS

Maître de stage : Nicolas FRADET

Enseignant référent : Hervé LE BRIS

Autres membres du jury :

Catherine GUERIN (enseignante)

Elodie FLEURY (jury extérieur)

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle de l'Institut Agro Rennes-Angers

Ce document est soumis aux conditions d'utilisation «Paternité-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de Modification 4.0 France» disponible en ligne <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>



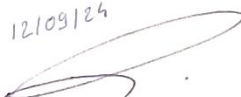
Fiche de confidentialité et de diffusion du mémoire

Confidentialité

☒ Non ☐ Oui si oui : ☐ 1 an ☐ 5 ans ☐ 10 ans

Pendant toute la durée de confidentialité, aucune diffusion du mémoire n'est possible ⁽¹⁾.

Date et signature du **maître de stage** ⁽²⁾ :
(ou de l'étudiant-entrepreneur)

12/09/24


A la fin de la période de confidentialité, sa diffusion est soumise aux règles ci-dessous (droits d'auteur et autorisation de diffusion par l'enseignant à renseigner).

Droits d'auteur

L'auteur ⁽³⁾ Nom Prénom Prout Suzanne

autorise la diffusion de son travail (immédiatement ou à la fin de la période de confidentialité)

☒ Oui ☐ Non

Si oui, il autorise

☐ la diffusion papier du mémoire uniquement⁽⁴⁾

☐ la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé

☒ la diffusion papier et électronique du mémoire (joindre dans ce cas la fiche de conformité du mémoire numérique et le contrat de diffusion)

(Facultatif) ☐ accepte de placer son mémoire sous licence Creative commons CC-BY-NC-Nd (voir Guide du mémoire Chap 1.4 page 6)

Date et signature de l'auteur : 14/10/24



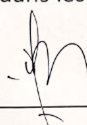
Autorisation de diffusion par le responsable de spécialisation ou son représentant

L'enseignant juge le mémoire de qualité suffisante pour être diffusé (immédiatement ou à la fin de la période de confidentialité)

☒ Oui ☐ Non

Si non, seul le titre du mémoire apparaîtra dans les bases de données.

Date et signature de l'enseignant :



29 octobre 2025

Utilisation de l'Intelligence Artificielle (IA) pour la rédaction du mémoire

L'intelligence artificielle a été utilisée pour améliorer le texte ☐ Oui ☒ Non

Si oui, préciser pour quelle partie de texte et à quelles fins ?

.....
.....
.....

Toute absence de déclaration précise sera considérée comme un manquement aux règles de l'éthique scientifique.

Date et Signature de l'auteur :

14/10/24



(1) L'administration, les enseignants et les différents services de documentation de l'Institut Agro Rennes-Angers s'engagent à respecter cette confidentialité.

(2) Signature et cachet de l'organisme

(3) Auteur = étudiant qui réalise son mémoire de fin d'études

(4) La référence bibliographique (= Nom de l'auteur, titre du mémoire, année de soutenance, diplôme, spécialité et spécialisation/Option)) sera signalée dans les bases de données documentaires sans le résumé

Table des matières

Remerciements.....	iv
Glossaire et abréviations.....	v
Liste des figures	vi
Liste des tableaux	vii
Liste des annexes.....	vii
I - Introduction	1
I.1 - La mytiliculture	1
I.2 - La baie du Mont-Saint-Michel	1
I.3 - <i>Mytilus edulis</i>	2
I.4 - La culture sur bouchots.....	3
I.5 - La Maison Morisseau	4
I.6 - Contexte bibliographique.....	5
I.7 - Objectifs.....	6
II - Matériel et méthodes.....	8
II.1 - Indices de qualité.....	8
II.1.1 - Taux de casse.....	8
II.1.2 - Perte en eau.....	9
II.2 – Expériences réalisées	9
II.2.1 - Effets de la chaîne de lavage et de conditionnement sur les moules	10
II.2.2 - Modifications de la chaîne de lavage et de conditionnement	11
II.2.3 – Simulations / reproductions de certaines étapes de la chaîne.....	13
II.3 - Mesure de paramètres environnementaux	14
II.3.1 - Temps.....	14
II.3.2 - Température	14
II.3.3 - Hauteur de chute	14
II.4 - Analyse des données	14
III – Résultats.....	16
III.1 - Effets de la chaîne de lavage et de conditionnement sur les moules	16
III.1.1 - Impact de chaque machine	16
III.1.2 - Efficacité des machines	18
III.2 - Modifications de la chaîne de lavage et de conditionnement.....	19
III.2.1 - Réimmersion	19
III.2.2 - Ajouts dans les sacs.....	20
III.2.3 - Ajout d'une plaque en sortie d'une des dénorreuses.....	20

III.2.4 - Découper les boudins.....	21
III.2.5 - Tassage des sacs de moules.....	22
III.2.6 - Tank à sec ou en eau	23
III.3 – Simulations / reproductions de certaines étapes de la chaîne	23
III.3.1 - Tank en eau douce ou en eau de mer	23
III.3.2 - Endommagement des moules	24
III.4 – Hétérogénéité des données	26
IV - Discussion	28
IV.1 - Approfondissement des résultats.....	28
IV.2 – Projection et perspectives	30
V - Conclusion.....	32
Bibliographie.....	I
Annexes.....	IV
Fiche résumé	VIII

Remerciements

Je souhaiterais tout d'abord remercier infiniment mon maître de stage, Nicolas Fradet, pour m'avoir permis de faire ce stage merveilleux, pour sa gentillesse, sa bonne humeur et les moments de rigolade, mais aussi pour s'être rendu disponible et pour ses commentaires constructifs.

Merci à tous les collègues de bureau : Nico bien sûr ; Arthur pour ses blagues et sa complicité ; monsieur Vignau pour sa gentillesse et ses plats cuisinés ; Rémi pour sa façon d'être ; Cécilia pour ses histoires à dormir debout, Karine pour sa bonne humeur et monsieur Hesry pour m'avoir accueillie dans son entreprise.

Merci aux collègues du lavage, en particulier Mélodix pour sa grande gentillesse, ses cailloux et les moments partagés ; et Médéric pour sa gentillesse, ses goûters et son aide. Je souhaiterais apporter une mention spéciale au chef Baloo qui s'est rendu disponible et qui s'est impliqué durant mon organisation de travail afin de pouvoir faire cohabiter expérimentation et chaîne de lavage sans encombre.

Merci à Matthieu le roi du bricolage pour sa gentillesse et son aide lorsque j'avais besoin d'utiliser ou de modifier des machines.

Merci aux collègues de la production, autrement appelés les marins, en particulier monsieur Lalloué qui m'a permis d'effectuer plusieurs sorties en mer tout au long du stage, ce qui m'a permis d'avoir une vision d'ensemble du métier de mytiliculteur. Merci Esteban et Alexis pour leur camaraderie.

Merci à mon enseignant Hervé Le Bris pour m'avoir transmis le contact du capitaine, sans quoi je n'aurais pas pu effectuer ce stage. Merci également pour m'avoir suivi durant ces 6 mois.

Merci aux relecteurs de ce rapport pour leurs commentaires : Etien, Sid-Ahmed, Mélodix et Lipe.

Merci, pour terminer, à la Maison Morisseau d'une manière générale pour m'avoir accueillie à bras ouverts, pour tous les repas et les événements entre collègues, pour m'avoir fait découvrir tant de nouvelles choses et pour sa bienveillance. Vous êtes une entreprise géniale !

Glossaire et abréviations

Norre = balane (*Balanidae*)

Byssus : ensemble de filaments (de protéines et de collagène (Ravindranath & Ramalingam, 1972)) sécrétés par les moules qui leur permet de rester accrochées au substrat

Dégrappeur (ou « dégrap » dans les figures) = machine qui permet de séparer les moules des filets

Dénorreuse (ou « dénor » dans les figures) = machine qui enlève les balanes

Débyssusseuse (ou « déby » dans les figures) = machine qui retire le byssus

Pieux : désigne à la fois le support en bois sur lesquels les moules vont se développer et composant les bouchots ; ainsi que les boudins de moules une fois récoltés

Manne : panier rectangulaire en plastique pouvant contenir jusqu'à une quinzaine de kilogrammes de moules

Clipeuse : machine servant à fermer les sacs de conditionnement contenant des moules à l'aide de grosses agrafes

Liste des figures

Figure 1 : Exemple d'organismes retrouvés morts dans des moules : blennie et ses œufs tapissant l'intérieur de la coquille [A] ; crevette (tête) [B]	2
Figure 2 : Cycle biologique des moules – Schéma tirée de la thèse de Charles, 2019	3
Figure 3 : Sites d'importation des cordes de captage pourvues de naissains – carte réalisée sur QGIS	3
Figure 4 : Cordes en fibre de coco pourvues de naissains en provenance de La Plaine-sur-Mer [A] ; zoom sur les naissains [B]	3
Figure 5 : Localisation du Vivier-sur-Mer, France, carte réalisée sur QGIS	4
Figure 6 : Types de casse des moules : écrasées [A] ; trou antérieur [B] ; extrémité postérieure écrasée [C] ; casse fil (fissure dans la coquille au bout de la flèche) [D] ; trou [D]	8
Figure 7 : Sacs de moules stockés en chambre froide pour une évaluation des pertes en eau à j+1 – échelle : stylo = 14.5 cm	9
Figure 8 : Exemple de classement des moules suivant taux de recouvrement - Peu norrées (5% à 15%) [A], moyennement norrées (15% à 35%) [B], très norrées (+ 35%) [C]	11
Figure 9 : Dispositions des mannes dans le bac pour l'expérience de réimmersion des moules sorties de la laveuse	11
Figure 10 : Schéma des dénorreuses avec ou sans ajout de plaque - bleu foncé = plaque ; bleu clair = machine ; jaune = ouverture de sortie ; flèches = trajet des moules	12
Figure 11 : Pieux en mer avec présence d'un écarteur (anneau rouge)	12
Figure 12 : Résumé des pertes en eau en sortie des peseurs brutes et corrigées observées tout au long du stage sur les moules de bouchot	15
Figure 13 : Représentation des machines de la chaîne de lavage et conditionnement des moules par Analyse en Composantes Principales (ACP) – Données brutes en Annexe 3. Denor = Dénorreuses ; Degrap = Dégrappeurs ; Deby = Débyssusseuses ; Temp = Température	16
Figure 14 : Perte en eau au bout de 24h et taux de casse (comprenant cassées et mortes) après chaque machine pour les moules de bouchot peu/pas norrées [A], pour les moules de bouchot très norrées [B], pour les moules de bouchot lavées chez Krembsier (autre entrep.	17
Figure 15 : Vitesse de perte en eau des moules après chaque machine et sorties du bassin, moyenne d'un triplicat - Dégrap = Dégrappeurs ; Dénor = Dénorreuses ; Déby = Débyssusseuses ; Cali = Calibreuse .	18
Figure 16 : Compromis entre l'efficacité de nettoyage des machines et la casse qu'elles occasionnent	18
Figure 17 : Gains en poids (en eau) et pertes en eau au bout de 24h moyens [A], pour les moules prélevées en sortie de la laveuse [B] et pour les moules prélevées en sortie des débyssusseuses [C]	19
Figure 18 : Pertes en eau au bout de 24h de stockage des sacs contenant ou non du sel ou de la glace [A] et perte en eau suivant la proportion de glace présente dans les sacs [B]	20
Figure 19 : Taux de casse et évaluation des pertes en eau pour la dénorreuse vierge et pour la dénorreuse modifiée (ajout d'une plaque en sortie) - * $p < 0.05$	21
Figure 20 : Pertes en eau au bout de 24h pour les sacs tassés et les sacs témoins : tests 1 et 2 = exagérément tassés ; test 3 = à peine tassés - * $p < 0.05$	22
Figure 21 : Taux de casse dans les sacs bien tassés sur le support habituel (bas sac sans protection) et sur une combinaison de plongée (bas sac avec protection) ; le haut du sac sert de témoin	23
Figure 22 : Taux de casse et pertes en eau au bout de 24h de stockage pour les moules tombées dans le tank avec ou sans eau - * $p < 0.05$	23
Figure 23 : Simulation de l'attente des moules dans le tank en eau douce ou en eau de mer illustrée par les pertes en eau au bout de 24h de stockage	24
Figure 24 : Pertes en eau au bout d'une heure pour les moules qui ont chu et celles qui ont subi des vibrations - * $p < 0.05$	24
Figure 25 : Pertes en eau au bout d'une heure après 15 secondes, 30 secondes et 1 minute de vibration ...	25
Figure 26 : Simulation de chutes de moules – Pertes en eau au bout d'une heure et taux de casse pour différentes hauteurs avec ou sans protection de la zone d'impact - * $p < 0.05$	25
Figure 27 : Variation des moyennes des pertes en eau [A] et des taux de casse [B] en fonction du producteur de moules de bouchot – La couleur du trait indique la proximité géographique des concessions – Dégrap = Dégrappeurs ; Dénor = Dénorreuses ; Déby = Déby	26
Figure 28 : Localisation des producteurs dont les moules sont lavées à la Maison Morisseau – Carte réalisée sur QGIS	26

Liste des tableaux

Tableau 1 : Résumé des étapes de la chaîne de lavage et conditionnement (dans l'ordre principal) suivant les différents types de moules (images en Annexe 2)	5
Tableau 2 : Taux de casse moyens suivant le recouvrement des balanes sur les coquilles	18
Tableau 3 : Résumé des résultats observés pour l'expérience de découpage des boudins (ou pieux) et simulations de gains possibles sur une journée	21
Tableau 4 : Pourcentages de moules écrasées au sein des moules cassées pour chaque machine - Dégrap = Dégrappeurs ; Dénor = Dénorreuses ; Déby = Débyssusseuses ; Cali = Calibreuse	28

Liste des annexes

Annexe 1 : Liste des êtres vivants croisés dans la chaîne de process, autrement dit des animaux cohabitant avec les moules	V
Annexe 2 : Chaminement de la chaîne de lavage et de conditionnement en image	VI
Annexe 3 : Données brutes ayant servi à l'ACP (Figure 13)	VII

I - Introduction

I.1 - La mytiliculture

La mytiliculture (*mutilos* en grec, moule, soit l'élevage de moules) serait apparue en 1246, lorsqu'un naufragé irlandais s'est échoué sur les côtes charentaises. Pour se nourrir, il installa sur l'estran un filet monté sur des poteaux afin de capturer des oiseaux. Dès lors, il observa sur ces poteaux une colonisation progressive par des moules. Il reconnut alors la possibilité de les cultiver sur des « *bout choat* » (clôtures en bois) donnant plus tard le nom de bouchots (Marchand, 1915).

La mytiliculture s'est par la suite diversifiée avec l'arrivée de nouvelles techniques d'élevage pour des littoraux ne pouvant pas se prêter à la culture sur bouchots. Par exemple en mer Méditerranée, avec l'absence de marées, les pieux seraient constamment immergés. C'est ainsi que l'élevage sur cordes a vu le jour vers 1850, du moins pour la France (Marchand, 1915). La mytiliculture s'est progressivement popularisée dans le monde entier jusqu'à nos jours.

En 2022, elle représentait 10.2% de la production conchylicole mondiale avec près de 2 millions (1 927 000) de tonnes produites (FAO, 2024). La production française se place au 5ème rang mondial derrière la Chine, le Chili, l'Espagne et la Nouvelle-Zélande et au 2ème rang européen avec 71 000 tonnes produites, soit 3.6% de la production mondiale et 16% de la production européenne (Fishstat FAO, 2024).

I.2 - La baie du Mont-Saint-Michel

La baie du Mont-Saint-Michel, qui s'étend sur 500 km², est célèbre pour son marnage pouvant atteindre 14 mètres et son jusant qui permet de découvrir jusqu'à 240 km² lors des forts coefficients (Bregeon, 1977; Thomas *et al.*, 2006b). Ces variations créent des courants très importants permettant un brassage efficace des eaux et des apports considérables en nutriments en plus de ceux des rivières, favorisant une activité biologique primaire très intense (Thomas *et al.*, 2006a). Cette circulation d'eau permanente rendant le milieu globalement sain et la nourriture toujours présente, donne à cette baie des conditions propices à l'élevage de moules (Comité AOP « Moules de bouchot de la Baie du Mont-Saint-Michel », 2014; MBBMSM, 2020a).

C'est dans les années 1950 que la culture des moules de bouchot s'est développée dans la baie. De nos jours, 248 km de bouchots pour un ensemble de 320 000 pieux sont recensés (MBBMSM, 2020b), un bouchot correspondant à un alignement de 110 à 140 pieux sur une centaine de mètres. Bien que l'économie de la baie du Mont-Saint-Michel repose principalement sur l'ostréiculture (communication personnelle, Maison de la Baie), le tonnage conchylicole (18 000 tonnes) est dominé par la mytiliculture avec 10 000 tonnes de moules produites chaque année, faisant de cette baie le premier centre mytilicole français (MBBMSM, 2020b; Thomas *et al.*, 2006b).

Les conditions si particulières de la baie du Mont-Saint-Michel sont reconnues grâce à la toute première Appellation d'Origine Protégée (AOP) qui a été décernée pour des produits de la mer : l'AOP « Moules de bouchot de la Baie du Mont-Saint-Michel » (Comité AOP « Moules de bouchot de la Baie du Mont-Saint-Michel », 2014). Ce label garantit un taux de chair généreux ainsi que le contrôle, l'origine et la traçabilité du produit.

1.3 - *Mytilus edulis*

L'espèce de moule élevée en baie du Mont-Saint-Michel est la moule commune ou moule bleue *Mytilus edulis*. Il s'agit de l'espèce la plus élevée en France (Fishstat FAO, 2024).

Ce mollusque vit fixé grâce à des filaments qu'il sécrète (byssus) sur des substrats durs, en zone intertidale jusqu'à une dizaine de mètres de profondeur (*Mytilus edulis* | DORIS, s. d.). C'est pourquoi l'élevage sur bouchot semble optimal : il fonctionne avec le cycle des marées, contrairement à l'élevage sur cordes où les moules sont toujours immergées.

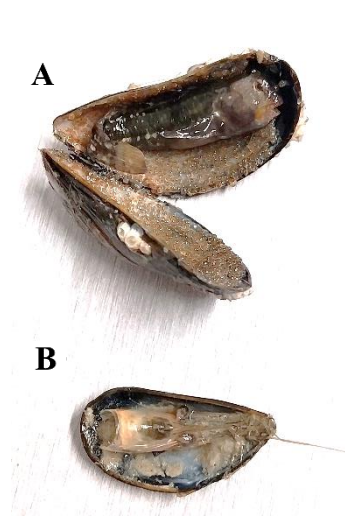


Figure 1 : Exemple d'organismes retrouvés morts dans des moules : blennie et ses œufs tapissant l'intérieur de la coquille [A] ; crevette (tête) [B]

Les moules vivent agglutinées en « moulières » leur permettant de résister à la force des vagues et créant par la même occasion des récifs. Cette espèce est dite « ingénieuse » (Khalaman *et al.*, 2021; Li *et al.*, 2020) car grâce aux récifs qu'elle crée, elle permet à d'autres espèces de trouver refuge, habitat et nourriture. Cela apporte une hétérogénéité dans l'environnement que des poissons, des crevettes (Figure 1), des amphipodes ou encore des algues apprécient pour y vivre (liste des espèces associées rencontrées en Annexe 1).

Des moules fixées sur le bas de l'estran ou sur les bouchots les plus au large vont croître plus rapidement, car étant des organismes filtreurs, c'est lorsqu'elles sont immergées qu'elles se nourrissent. Leur régime alimentaire est composé de phytoplancton, riche en carotène, pigment responsable de cette couleur orangée, et de zooplancton (Thomas *et al.*, 2006a; communication personnelle, Maison de la Baie). En revanche,

plus longtemps elles sont immergées, plus longtemps elles sont exposées aux prédateurs (*Mytilus edulis* | DORIS, s. d.). En baie du Mont-Saint-Michel ce sont les araignées de mer *Maja brachydactyla*, les nuelles *Nucella lapillus* et les macreuses *Melanitta nigra* qui sont les plus redoutables (communication personnelle, N. Lalloué; Barrento *et al.*, 2013).

I.4 - La culture sur bouchots

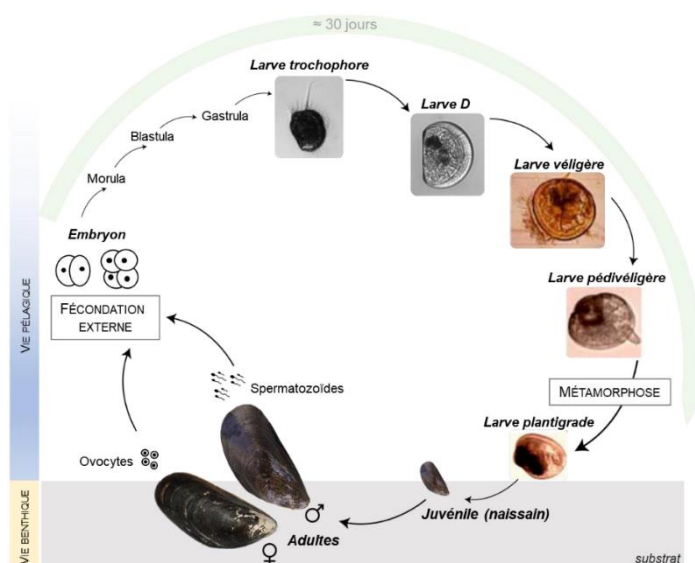


Figure 2 : Cycle biologique des moules – Schéma tiré de la thèse de Charles, 2019



Figure 3 : Sites d'importation des cordes de captage pourvues de naissains – carte réalisée sur QGIS

Dans la baie du Mont-Saint-Michel, le captage naturel des naissains (moules juvéniles, voir cycle de vie en figure 2) n'est pas possible à cause des forts courants qui emportent les larves vers le large (communication personnelle, Maison de la Baie). Les cordes de captage pourvues de naissains sont alors importées depuis des sites étalés du Morbihan à la Charente-Maritime (Figure 3). En ces lieux, les cordes en fibres de coco sont installées sur les chantiers à partir de février afin d'être prêtes à l'emploi lors des premières pontes en mars/avril (Comité AOP « Moules de bouchot de la Baie du Mont-Saint-Michel », 2014). Une fois les larves fixées au cordes, elles vont se développer durant deux mois à une densité de 6500 ind/m² (Thomas *et al.*, 2006b), avant d'être exportées dans des mannes vers la baie du Mont-Saint-Michel (Figure 4A).

Par la suite, les petites moules de quelques millimètres (Figure 4B) sont, soitensemencées directement sur les pieux afin de commencer le grossissement, soit remises sur des chantiers pour une période de pré-grossissement avant d'être transférées sur les pieux (communication personnelle, N. Lalloué). La période d'ensemencement s'étale de mai à septembre et les pieux sontensemencés au fur et à mesure que d'autres sont récoltés (moules des années précédentes). L'important est de toujours laisser 35% à 45% de pieux vides, en « jachère volontaire », afin de ne pas surcharger la baie en densité d'individus. Le but de cette manœuvre est d'éviter les propagations rapides de maladies et de permettre une meilleure répartition de la nourriture pour chaque individu,

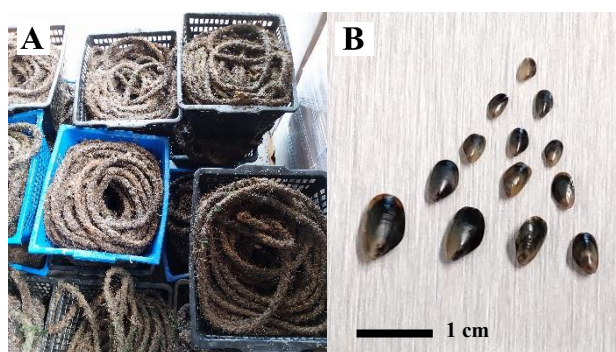


Figure 4 : Cordes en fibre de coco pourvues de naissains en provenance de La Plaine-sur-Mer [A] ; zoom sur les naissains [B]

permettant une croissance uniforme (communication personnelle, N. Lalloué; Comité AOP « Moules de bouchot de la Baie du Mont-Saint-Michel », 2014).

M. edulis peut dépasser les 10 cm de longueur et vivre jusqu'à 15 ans, mais parvient rarement à ces extrêmes dans les élevages car elles sont récoltées au bout de 14 à 18 mois de grossissement (communication personnelle, N. Lalloué; *Mytilus edulis* | DORIS, s. d.), entre juin et février. Chaque pieux donne entre 45 et 70 kg de moules selon l'endroit d'implantation dans la baie.

I.5 - La Maison Morisseau

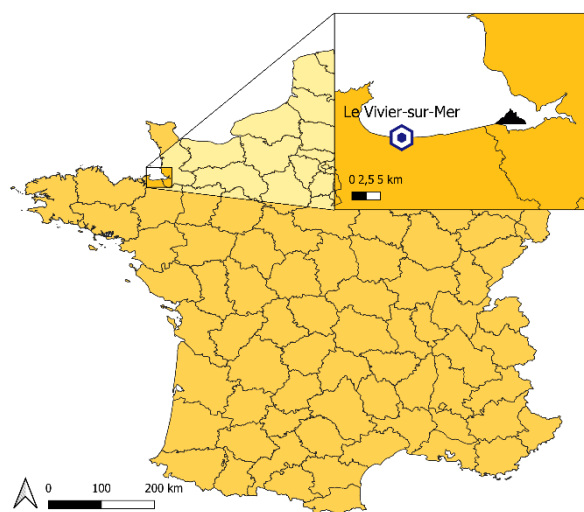


Figure 5 : Localisation du Vivier-sur-Mer, France, carte réalisée sur QGIS

La Maison Morisseau est une des 43 entreprises mytilicoles présentes sur la baie du Mont-Saint-Michel (MBBMSM, 2020b), implantée sur le port est du Vivier-sur-Mer (Figure 5). Elle se distingue par son produit phare : la moule Morisseau, une moule haut de gamme de 4,5 cm de longueur au minimum avec un très bon taux de chair et un goût raffiné, vendue de mi-juin à décembre.

Toute l'année, en plus de ses propres productions, l'entreprise achète des moules à d'autres mytiliculteurs qui, soit n'ont pas le matériel nécessaire pour les laver, soit ont

un volume trop important. Celles-ci sont alors lavées, conditionnées et vendues. La moule de bouchot en général, est vendue de mai à mi-février, laissant une période creuse en mars et avril. Durant cette période, ce sont des moules certifiées biologiques élevées sur cordes en provenance d'Irlande qui sont traitées.

Autrement dit, les machines fonctionnent toute l'année. En revanche, suivant les types de moules (différents producteurs, différents modes d'élevage, propreté), chacun des produits va suivre une succession de machines spécifiques (Tableau 1). Par exemple, les moules provenant d'Irlande ne possédant pas de norres (ou balanes) fixées sur leur coquille, ne vont pas passer par les dénorreuses (enlèvent les norres). A l'inverse, des moules de bouchot en provenance de Normandie peuvent être très norrées et doivent alors passer par toutes les étapes.

En fin de chaîne, les moules sont placées dans des sacs et stockées dans une chambre froide sur des palettes en attendant d'être emmenées par les transporteurs. Généralement, elles ne passent que quelques heures dans la chambre froide, à moins qu'elles ne soient pas vendues le jour-même. Dans ce cas, elles y demeurent jusqu'au lendemain pour être dirigées vers les clients.

Tableau 1 : Résumé des étapes de la chaîne de lavage et conditionnement (dans l'ordre principal) suivant les différents types de moules (images en Annexe 2)

Etape	Rôle	Provenance Présence de balanes	Moules de corde	Moules de bouchot	
			Irlande Non	France Non / Peu Beaucoup	
Bassin	Purification		Oui	Oui	Oui
Dégrappeurs	Enlèvent les filets et dégrappent les moules		Non	Oui	Oui
Dénorreuseuses	Détachent les balanes et autres parasites fixés sur les coquilles		Non	Non	Oui
Laveuse	Enlève les balanes, les résidus de vase		Oui	Oui	Oui
Calibreuse 1	Enlève les moules sous-taille (seuil à 3,5 cm de longueur)		Non	Oui	Oui
Débyssusseuses	Retirent le byssus		Oui	Oui	Oui
Tri	Retrait des moules cassées, ouvertes, sales et corps étrangers		Oui	Oui	Oui
Calibreuse 2	Sépare les moules suivant leur taille		Oui	Oui	Oui
Peseur	Prépare un poids de moules précis pour les mettre en sac		Oui	Oui	Oui

Le passage dans toutes ces machines va fatiguer les moules qui vont être moins aptes à garder leur coquille bien fermée. Par conséquent, elles vont avoir du mal à retenir leur eau intervalvaire. Il s'agit d'un problème pour l'entreprise car des pertes en eau importantes se produisent lors du transport des sacs de moules jusqu'aux clients, induisant un poids plus faible que celui commandé à l'arrivée. Alors si la Maison Morisseau souhaite garder sa compétitivité et ses clients, il faut remédier à ce problème. Certaines solutions sont déjà en place comme mettre plus de poids au départ dans les sacs (par exemple mettre 16.2 kg dans un sac pour une commande de 15 kg), mais les pertes en eau importantes sont encore présentes et cela ne suffit pas toujours. D'autant plus que le surplus de poids ajouté dans les sacs correspond en quelque sorte à des moules induisant des pertes économiques.

Dans un contexte d'amélioration continue et avant de réaliser des travaux dans la chaîne de lavage et de conditionnement, la Maison Morisseau m'a proposé pour mon stage de master 2 d'essayer de comprendre pourquoi les moules perdent cette eau et de suggérer quelques améliorations qui pourraient être effectuées.

I.6 - Contexte bibliographique

Plusieurs études ont déjà montré que la chaîne de lavage est très agressive pour les moules. Le passage dans les dégrappeurs et dans la laveuse commet des dégâts sur les coquilles et accroît les pertes en eau, menant à une augmentation de la mortalité et une réduction de la qualité (Dare, 1974). Au total, ce sont 13% des moules passant dans ces machines qui en sortent avec des dommages sur la coquille mais également internes. Justement, les dommages internes seraient principalement causés par l'arrachement du byssus. Le retrait de cet ensemble de filaments attaché à une glande à la base du pied augmente le stress et procure des dommages internes réduisant la qualité et la durée de vie des moules (Dare, 1974; Harding *et al.*, 2004).

Concernant les dommages internes, ils peuvent être réduits en coupant le byssus au lieu de les arracher (Harding *et al.*, 2004) ou en abaissant rapidement la température externe (et donc

interne, les moules étant des animaux ectothermes) afin que leur métabolisme se mette au ralenti, réduisant alors le stress (Coulombe *et al.*, 2008).

Les moules résistent à la dessiccation ou encore à l'abrasion des vagues et sont capables de se rétablir après ce genre d'événements perturbants ou violents lorsqu'elles retrouvent le calme sous l'eau (Barrento *et al.*, 2013). Des périodes de réimmersion pourraient alors aider les moules à se rétablir. Cela a d'ailleurs été démontré dans plusieurs publications (Coulombe *et al.*, 2008; Harding *et al.*, 2004; Prochazka & Griffiths, 1991). Réimmerger les moules s'apparente à une « période de récupération » durant laquelle les dommages infligés vont être restaurés. Plus le temps de réimmersion est grand, plus le taux de survie augmente, bien que les moules les plus endommagées ne survivent pas (Barrento *et al.*, 2013). La remise à l'eau idéale serait d'une durée allant de 12h et 24h où 91% de survie a été observée (Prochazka & Griffiths, 1991). La réimmersion permet aux moules de reprendre de l'eau, de réparer les dommages causés par l'arrachement du byssus et de réduire les taux d'ammoniac que les moules ont accumulés durant l'exondation (Barrento *et al.*, 2013; Harding *et al.*, 2004).

De faibles températures, particulièrement en fin de conditionnement, permettent de réduire les pertes en eau, comme une période de réimmersion en eau froide (Coulombe *et al.*, 2008) ou la pratique du glaçage dans les emballages (Harding *et al.*, 2004).

Globalement, la perte en eau en fin de chaîne est liée à l'accumulation des stress à chaque étape de lavage et de conditionnement (Harding *et al.*, 2004). Il serait donc important d'essayer d'améliorer chaque phase.

Quant aux solutions pour réduire la casse, peu ont été rencontrées et détaillées. Cependant il a tout de même été suggéré, d'une machine à une autre d'éviter de laisser tomber les moules en privilégiant des glissières et si c'est impossible, réduire les hauteurs de chutes au maximum et investir dans des surfaces qui peuvent absorber l'impact des chutes ; puis de régler de façon optimale les machines tout en utilisant un flux d'eau important ce qui limitera les impacts (Bernard, 2021).

I.7 - Objectifs

Durant ce stage, les objectifs étaient de décrire ce qui impacte les moules lorsqu'elles passent dans la chaîne de lavage et de conditionnement (type de machine, temps passé dans les machines, températures, ect.) et d'essayer de trouver des solutions pour réduire ces effets et donc réduire les pertes en eau.

Dans un premier temps, une étude d'impact de la chaîne de lavage et de conditionnement de la Maison Morisseau a été réalisée. Les résultats attendus étaient que certaines machines ajouteraient plutôt de la casse comme les dégrappeurs et la laveuse, tandis que d'autres, telles que les débyssuseuses, impacteraient plutôt les pertes en eau contenue dans les moules.

Dans un second temps, des améliorations possibles ont été discutées et testées. Des expériences de réimmersion ont figuré ainsi que des modifications de la chaîne actuelle telles que l'ajout de glace pour optimiser le stockage ou encore des modifications directement sur les machines pour réduire les impacts de celles-ci. Les résultats espérés étaient des réductions des dommages infligés aux moules et des observations de revitalisation atténuant dès lors la casse et les pertes en eau.

II - Matériel et méthodes

Un grand nombre d'expériences différentes ont été réalisées. Des paramètres ont été mesurés dans chacune de ces expériences : ce sont les indices de qualité, à savoir les taux de casse et les pertes en eau qui reflètent les impacts mécaniques que peuvent causer les différentes étapes de la chaîne.

II.1 - Indices de qualité

II.1.1 - Taux de casse

Le taux de casse reflète une pression physique (choc, écrasement, chute) sur les moules ou une fragilité de celles-ci.

Il a été obtenu, dans chacun des échantillons à analyser, en triant les moules selon différentes catégories : “cassées” (dommages sur la coquille) ; “ouvertes” (coquille intacte, ne se refermant pas lorsqu'on appuie dessus) ; “intactes” (coquille intacte ; si ouverte, doit se refermer lorsqu'on appuie dessus) ; et “bouillie” (moules en charpie ou résidus coquilliers). Les moules cassées et ouvertes (et la bouillie suivant sa composition) ont pu être regroupées sous la catégorie des moules “mortes”.

Afin d'identifier les catégories, les moules ont d'abord été observées puis palpées une à une pour déceler toutes lésions sur la coquille. En complément, le bruit que faisaient les moules lorsqu'elles s'entrechoquaient différait entre une moule intacte ou une moule morte (les moules cassées et ouvertes sonnent creuses). Enfin, l'odeur que dégageaient les moules ouvertes ou cassées donnait une indication du temps écoulé depuis leur mort. Les moules nauséabondes au même titre que les coquilles vides n'ont pas été comptabilisées car considérées comme mortes avant d'arriver dans la chaîne de lavage.

Lors de certains tris, les moules cassées ont également été catégorisées suivant le type de casse : écrasées ; trou antérieur ; extrémité postérieure écrasée ; casse fil ; trou (dénominations personnelles ; Figure 6).

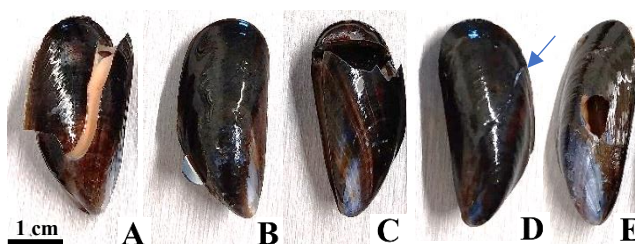


Figure 6 : Types de casse des moules : écrasées [A] ; trou antérieur [B] ; extrémité postérieure écrasée [C] ; casse fil (fissure dans la coquille au bout de la flèche) [D] ; trou [E]

Chaque catégorie (cassées et types de casse, ouvertes, bouillie et intactes) a finalement été pesée. Les résultats se présentent alors sous la forme de pourcentages des poids. Réaliser un pourcentage à partir du nombre de moules présentes dans chaque catégorie a également été pensé, mais dénombrer 10 kg de moules étant fastidieux, ce dernier a été abandonné.

$$\text{Taux de casse} = 100 \times \frac{\text{Poids des moules cassées}}{\text{Poids des moules total}}$$

II.1.2 - Perte en eau

La perte en eau reflète la combinaison des dommages internes (invisibles) et externes (casse).

Elle a été obtenue en faisant la différence de poids entre les moules placées dans des sacs de conditionnement (laissant s'échapper l'eau) à H0 et H24. Pendant ces 24 heures d'intervalle, les sacs ont été stockés à l'horizontale en chambre froide (Figure 7). Lors de certaines expériences, des moules de tailles équivalentes (± 1 cm) ont été séparées dans des petits baluchons laissés à l'intérieur des sacs afin de déterminer la perte en eau moyenne par moule. Ces dernières ont été pesées individuellement avant et après l'évaluation de perte en eau.



Figure 7 : Sacs de moules stockés en chambre froide pour une évaluation des pertes en eau à $j+1$ – échelle : stylo = 14.5 cm

Dans les premières expériences, le poids des sacs de moule a aussi été relevé à H1, H2, H6 et H12 en plus de H0 et H24, afin d'estimer si la perte en eau est constante ou variable au cours du temps. Lors des premiers essais, une mesure à H48 a également été réalisée, mais une importante mortalité ayant été observée (rendant les moules non commercialisables), celle-ci a été abandonnée.

La perte de poids – qui correspond à la perte en eau, au bout de 24 heures de stockage, est présentée sous forme de pourcentage.

$$\text{Perte en eau} = 100 \times \frac{(\text{Poids des sacs à H0} - \text{Poids des sacs à H24})}{\text{Poids des sacs à H0}}$$

II.2 – Expériences réalisées

Dans un premier temps, il a été nécessaire d'acquérir une connaissance globale des effets de la chaîne de lavage et de conditionnement sur les moules. Pour cela, l'impact de chaque machine ainsi que leur efficacité ont été étudiés.

Dans un deuxième temps, des solutions potentielles ont été testées sur la chaîne de lavage, notamment sur les machines les plus impactantes. Pour cela, des ajouts d'étapes (réimmersion), des modifications de machines (avec ou sans eau) ou de procédés (ajout de sel ou de glace) ont été testés.

Pour terminer, lorsque les modifications directement sur la chaîne n'étaient pas possibles, ce sont des simulations qui ont été réalisées. Certaines étapes ont été reproduites à plus petite échelle et dans différentes conditions.

Ces 3 étapes ont été déclinées en différentes expériences réalisées systématiquement en réplicats. Les indices de qualité décrits précédemment (taux de casse et/ou évaluations de perte en eau) ont été mesurés dans chacune des expériences.

II.2.1 - Effets de la chaîne de lavage et de conditionnement sur les moules

II.2.1.1 - Impact de chaque machine

Des échantillons de moules ont été prélevés après chaque machine (dégrappeurs/basculateur, dénorreuses si présence, laveuse, débyssuseuses, calibreuse, peseur) et dans le bassin (témoin). Certains ont servi à déterminer les taux de casse et d'autres les pertes en eau.

Les pourcentages bruts des indices de qualité (taux de casse ou perte en eau) obtenus pour chaque machine n'ont pas été traités tels quels. En effet, un indice de qualité brut pour une machine correspond à l'accumulation des effets de cette machine et des précédentes. Pour une meilleure analyse des résultats, chaque indice a été soustrait à celui de la machine précédente (ou du bassin pour la première machine). Ceci permet alors de connaître l'impact d'une seule machine.

$$\text{Indice final} = \text{Indice brut machine } n+1 - \text{Indice brut machine } n$$

Les premiers prélèvements réalisés sur de la moule de corde d'Irlande (entre deux saisons) ont permis d'affiner les protocoles d'échantillonnages devenus alors optimaux pour les moules de bouchot. Concernant les taux de casse, les échantillons de 10 kg ont été réduits à 5 kg pour des raisons de rapidité de tri. De plus, les prélèvements effectués sous la calibreuse ont biaisé les résultats pour cette machine. Effectivement, pour une question de simplicité, ce sont les moules qui flottaient dans les tanks sous la calibreuse qui ont été récupérées. Or, souvent, ces moules flottent car elles sont endommagées ce qui va accentuer les pertes en eau et surévaluer les taux de casse. Pour les échantillonnages des moules de bouchots, ce sont les moules coulées dans le fond des tanks qui ont été prélevées grâce à une épuisette. Puis afin de réduire les biais entre toutes les machines, concernant les pertes en eau, chaque échantillon prélevé a été retrempé quelques secondes pour que toutes les moules soient mouillées de la même manière avant d'être mises en sac.

Un taux de casse après chaque machine a également été réalisé avec des moules de bouchot lavée chez Krembs, un autre producteur.

II.2.1.2 - Efficacité des machines

Afin de connaître le compromis entre l'efficacité des machines et le taux de casse, des échantillons de 3 kg ont été prélevés en sortie des dégrappeurs (pour le témoin) puis en sorties des dénorreuses et de la laveuse. Dans un premier temps, les moules cassées ont été séparées des moules intactes, puis dans un second temps, les moules ont été classées visuellement en 4 catégories : propres (sans balanes), peu norrées (entre 5% à 15% de

recouvrement - Figure 8A), moyennement norrées (entre 15% à 35% de recouvrement - Figure 8B), très norrées (plus de 35% de recouvrement - Figure 8C). Le classement a été effectué par observation à l'œil nu en fonction de la taille des balanes et de la proportion de coquille recouvrant. Des taux de casse et taux de recouvrement ont alors été mis en évidence par pesée de chaque catégorie.



Figure 8 : Exemple de classement des moules suivant taux de recouvrement - Peu norrées (5% à 15%) [A], moyennement norrées (15% à 35%) [B], très norrées (> 35%) [C]

II.2.2 - Modifications de la chaîne de lavage et de conditionnement

II.2.2.1 – Ajout d'une étape de réimmersion

Pour cette expérience, des échantillons de moules de 10 kg ont été prélevés dans des mannes en sortie de la laveuse et en sortie des débyssuseuses. Après pesée, soit les échantillons ont été replongés pour une durée de 6 heures, 12 heures, 18 heures ou 24 heures, soit ils n'ont pas été replongés. Que ce soit pour les moules sorties de la laveuse ou sorties des débyssuseuses, pour chaque temps de réimmersion, cette expérience a été menée en duplicats (2 fois 10 kg pour chaque configuration). Pour éviter les biais lors de la réimmersion, des mannes vides retournées ont servi de couvercle (Figure 9) pour ne pas que les moules s'échappent (certaines moules flottent dans les premières minutes), permettant par la même occasion d'éviter que les moules soient écrasées par les mannes placées au-dessus (les mannes l'une sur l'autre correspondent aux répliquats).

Les immersions de 6 heures, 12 heures, 24 heures et 48 heures ont été plongées à 8h du matin afin d'être sorties respectivement à 14h, 20h et 8h à j+1 et j+2. Concernant la réimmersion de 18 heures, elle a été plongée à 14h afin de la sortir à 8h à j+1.

Une fois les mannes sorties de l'eau, elles ont été égouttées une dizaine de minutes permettant à l'eau interstitielle de s'écouler, puis les moules ont été transférées dans des sacs afin de réaliser une évaluation des pertes en eau. Concernant les moules prélevées en sortie de la laveuse, elles ont d'abord été passées dans une débyssuseuse avant d'être mises en sacs pour simuler la dernière étape de la chaîne.



Figure 9 : Dispositions des mannes dans le bac pour l'expérience de réimmersion des moules sorties de la laveuse

II.2.2.2 - Ajout de sel

Une évaluation de perte en eau a été réalisée sur 4 sacs de 10 kg et 4 sacs de 5 kg. Pour 2 sacs de chaque catégorie, une poignée de gros sel a été jetée sur les moules avant que le sac ne soit fermé.

II.2.2.3 - Ajout de glace

Une expérience similaire a été réalisée avec 6 sacs de 5 kg, en ajoutant cette fois-ci de la glace paillette (eau douce) provenant de chez un poissonnier dans 3 des sacs. Les proportions de glace (en poids) ont différé dans ces derniers : $\frac{1}{4}$ de glace, $\frac{1}{3}$ de glace et $\frac{1}{2}$ de glace. Les sacs ont été remplis en alternant une couche de glace et une couche de moules.

Les évaluations de perte en eau n'ont pas été réalisées de la même manière que les autres car la fonte de la glace les impacte inévitablement. Les moules et la glace ont été pesées avant la mise en sac. Puis au bout de 24h, le sac a été vidé et les résidus de glace ont été séparés des moules. Les moules ont ensuite été pesées seules.

II.2.2.4 - Ajout d'une plaque à la sortie d'une dénorreuse

Une plaque de métal a été soudée à la sortie d'une des deux dénorreuses (Figure 10B), l'autre servant de témoin. La hauteur d'ouverture des deux machines a été réglée de façon à ce que l'aire de sortie soit équivalente, tout en modifiant la morphologie de la sortie (Figure 10), l'objectif étant de voir si un changement dans la forme de la machine influence les indices de qualité. Des taux de casse et des évaluations de pertes en eau ont été réalisés à la sortie de chacune de ces machines séparément.

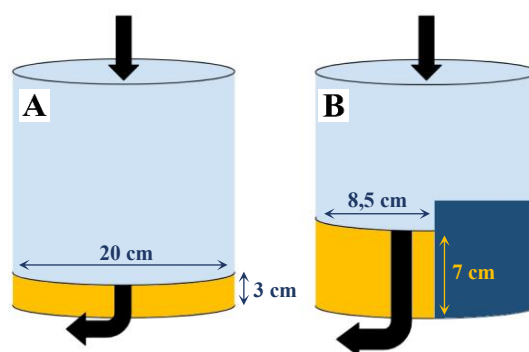


Figure 10 : Schéma des dénorreuses avec ou sans ajout de plaque - bleu foncé = plaque ; bleu clair = machine ; jaune = ouverture de sortie ; flèches = trajet des moules



Figure 11 : Pieux en mer avec présence d'un écarteur (anneau rouge)

II.2.2.5 - Découper les boudins

Pour cette expérience, 8 bacs de moules contenant 3 boudins (boudins de moules post-récolte récupérés sur les pieux) ont été utilisés. Dans 4 bacs, les boudins ont été découpés en 3 parties permettant de récupérer les écarteurs (Figure 11) et d'avoir des petits objets à passer dans les dégrappeurs. Dans les 4 autres bacs, les boudins sont restés tels quels. Le temps pour dégrapper chaque boudin (ou 3 fois $\frac{1}{3}$ de boudin) ainsi que le temps mis à dégrapper

les 4 bacs ont été chronométrés. Des taux de casse en duplicats ont été réalisés en sortie des dégrappeurs pour les 2 configurations.

II.2.2.6 - Tassage des sacs de moules

En sortie d'un peseur, des sacs de 2 kg, 5 kg, 10 kg et 15 kg ont été tassés comme à leur habitude (taper 2 ou 3 coups le sac sur un support), ou bien tassés de façon exagérée (taper au moins une dizaine de fois et appuyer dessus) avant d'être fermés.

S'en sont suivis des évaluations de perte en eau et des taux de casse dans le fond de chaque sac. L'expérience a été réalisée 3 fois en triplicats.

II.2.2.7 - Tassage sur différents supports

En complément de l'expérience précédente, des sacs de moules de 10 kg ont été tassés de façon exagérée (10 coups) sur le support habituel (table en métal) ou sur un morceau de combinaison de plongée servant de protection. Les moules sur le dessus des sacs ont été récupérées et considérées comme témoin, puis les moules dans le fond des sacs tassés avec ou sans protection ont été récupérées séparément. Des taux de casse pour chaque catégorie ont été effectués.

II.2.2.8 - Tank à sec ou en eau

Sous la calibreuse, les tanks récupérant les moules ont été mis en eau ou à sec. Les moules ont été prélevées dans ceux-ci dans les deux configurations en duplicats de 5 kg. Des taux de casse et des évaluations de perte en eau ont été menés.

II.2.3 – Simulations / reproductions de certaines étapes de la chaîne

II.2.3.1 - Tank en eau douce ou en eau de mer

Les conditions des moules qui patientent dans les tanks avant d'arriver vers les peseurs ont été reproduites dans des petits bacs. Deux bacs contenaient de l'eau douce et deux autres de l'eau de mer. Après avoir été pesés précisément, 4 échantillons de 5 kg de moules ont été plongés dans chacun de ces bacs pour une durée de 15 minutes (temps que passent approximativement les moules dans les tanks). Le temps écoulé, chaque échantillon a été sujet à une évaluation de perte en eau après un égouttage rapide pour laisser s'échapper l'eau interstitielle. Cette expérience a été réalisée à 3 reprises.

II.2.3.2 - Endommagement des moules

Les agressions supposées (chutes et vibrations) que subissent les moules ont été simulées à petite échelle.

Des petits échantillons de quelques dizaines de moules, toutes intactes (les cassées ayant été retirées), ont été répartis ainsi : 3 échantillons témoins, 3 échantillons pour le test de chute sans protection, 3 échantillons pour le test de chute avec protection et 3 échantillons pour le test de vibrations. Chaque échantillon a été pesé avant tout acte.

Pour les chutes, les moules ont été lâchées de différentes hauteurs : 90 cm, 130 cm ou 190 cm sur le sol (carrelage), ou sur une protection (morceau de combinaison de plongée).

Pour les vibrations, les moules ont été enfermées dans une boîte et secouées pendant 15 secondes, 30 secondes ou 1 minute. Les secousses ont été réalisées à la main en essayant de reproduire le même geste à chaque réplicat.

Après chacune de ces expériences, les moules cassées ont été dénombrées et pesées, puis chaque échantillon entier a été pesé de nouveau. Tous les échantillons ont finalement été pesés une dernière fois au bout d'une heure d'attente afin de connaître les pertes en eau suivant les dommages subis.

II.3 - Mesure de paramètres environnementaux

En parallèle des expériences, le prélèvement de différents paramètres environnementaux ont été réalisés tout au long du stage.

II.3.1 - Temps

Le temps moyen qu'une moule passe dans chaque machine a été déterminé grâce à de fausses moules vertes fluo, très visibles. Leur passage dans la machine a ainsi pu être chronométré facilement.

II.3.2 - Température

Les températures de l'eau des bassins, de l'eau de la chaîne de lavage, ambiante et de la chambre froide ont été prises à différents temps durant le stage grâce à un thermomètre.

II.3.3 - Hauteur de chute

Pour chacune des machines, une hauteur de chute a été mesurée grâce à un mètre ruban. A noter que pour certaines machines, cette hauteur peut diminuer pour cause d'accumulation de moules dans le fond. La hauteur la plus importante a été gardée.

II.4 - Analyse des données

Toutes les données brutes ont été rentrées et travaillées sur excel dans un premier temps, puis sur Rstudio. Les graphiques, principalement des histogrammes, ont été réalisés à partir des

moyennes obtenues et les écart-types apparaissent sous forme de barres d'erreur. Une ACP a été réalisée avec les données normalisées de l'expérience "Impact de chaque machine" et les mesures de paramètres environnementaux.

Une correction a été appliquée aux pertes en eau car une diminution globale de celles-ci a été observée tout le long du stage comme en témoigne la figure 12. Cette correction est nécessaire lorsque des expériences réalisées sur plusieurs mois sont traitées en même temps (moyennes ou comparaisons par exemple). Elle a été réalisée en ramenant, grâce à l'équation de la courbe, les pertes en eau brutes à ce qu'elles seraient si l'expérience avait été menée le 12 juin (médiane des données).

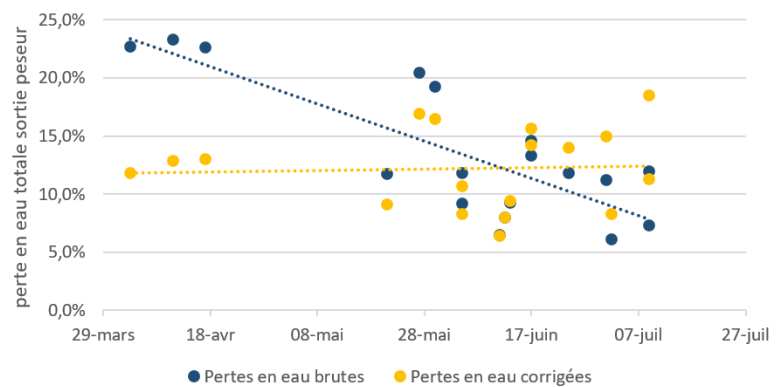


Figure 12 : Résumé des pertes en eau en sortie des peseurs brutes et corrigées observées tout au long du stage sur les moules de bouchot

$$\text{Val}_{\text{cor}} = \text{Val}_{\text{ini}} \times \frac{-0.0016 \times 70 + 0.2338}{-0.0016 \times J_{\text{exp}} + 0.2338}$$

Val_{cor} = Valeur corrigée ; Val_{ini} = Valeur initiale ; *en bleu* = pente de la courbe des valeurs initiales ; 70 = jour de l'expérience médiane des données, correspondant au 12 juin, le 0 correspondant au premier jour des expériences ; J_{exp} = jour de l'expérience entre 0 et 97

Après avoir vérifié la normalité des résidus, la significativité des résultats a été déterminée sur Rstudio grâce à une Anova suivie d'un test post-hoc de Tukey (seuil à 0.05).

III – Résultats

III.1 - Effets de la chaîne de lavage et de conditionnement sur les moules

III.1.1 - Impact de chaque machine

Les deux premiers axes de l'ACP (Figure 13) expriment 86.04% de la variance contenue dans le jeu de données avec 51.58% pour l'axe 1 et 34.46% pour l'axe 2. Les variables contribuant à l'axe 1 sont la température, l'écrasement et le temps passé par une moule dans chaque machine, mesurées pour chacune d'elles avec respectivement 38.54%, 28.61% et 32.38% de contribution dans le positif. Concernant l'axe 2, il est principalement influencé dans le positif par la hauteur de chute avec 69.92% de contribution, puis par l'écrasement qui contribue à 21.76%. Les points représentant les machines diffèrent de par leur taille suivant le taux de casse, et de par leur couleur suivant la perte en eau (données normalisées).

Cette ACP nous apprend que les dégrappeurs sont particulièrement impactés par la hauteur de chute (jusqu'à 2 mètres), que les dénorreuses sont très propices à de l'écrasement (59% de moules écrasées parmi les moules cassées) et que la laveuse retient les moules très longtemps (9 minutes en moyenne). Les impacts apportés par la calibreuse et les peseurs semblent équivalents, avec un passage rapide (10 et 2 secondes respectivement), une hauteur de chute modérée (100 et 60 cm respectivement) et un écrasement moindre. Enfin, les débyssusseuses semblent être peu impactantes avec une faible hauteur de chute (15 cm), peu d'écrasement et un temps de passage rapide (37 secondes). Concernant la température, on distingue les dégrappeurs, les peseurs et la calibreuse des dénorreuses, de la laveuse et des débyssusseuses car ces dernières fonctionnent en eau, ce qui leur confère une température plus élevée.

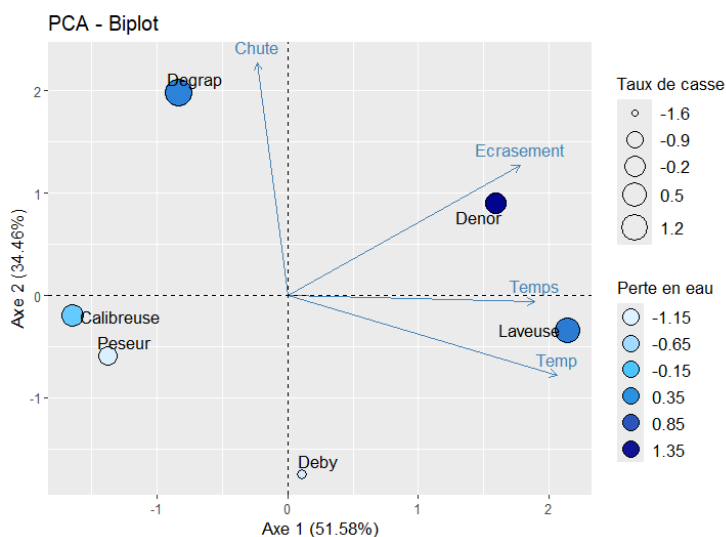


Figure 13 : Représentation des machines de la chaîne de lavage et conditionnement des moules par Analyse en Composantes Principales (ACP) – Données brutes en Annexe 3. Denor = Dénorreuses ; Degrap = Dégrappeurs ; Deby = Débyssusseuses ; Temp = Température

Les données non cumulées de taux de casse et de perte en eau (à j+1) permettent d'observer comment chaque machine impacte mécaniquement le produit. Les taux inférieurs à 1% ou négatifs sont considérés comme nuls, n'impactant alors pas la qualité/santé des moules. Les pertes en eau les plus importantes sont observées pour les dégrappeurs (Figures 14 A et B), pour les dénorreuses (Figure 14B), pour la laveuse (Figures 14 A, B et D) et pour la

calibreuse (Figure 14D). Les taux de casse les plus importants sont constatés à l'unanimité pour les dégrappeurs (Figures 14 A, B et C), puis pour la laveuse (Figure 14B).

Les machines qui ressortent comme les plus impactantes, tous parcours confondus, sont alors les dégrappeurs avec un ajout de 3.24% de casse et 2.16% de perte en eau par rapport au bassin (témoin) ; les dénorreuses avec un ajout de 4.38% de perte en eau par rapport aux dégrappeurs ; et la laveuse avec un ajout de 1.32% de casse et 5.26% de perte en eau par rapport à la machine précédente (basculeur, dégrappeurs ou dénorreuses).

Concernant la calibreuse, elle paraît très impactante seulement pour les moules de corde (Figure 14D). Il s'agit ici des erreurs d'échantillonnages et de protocoles expliquées en partie précédente.

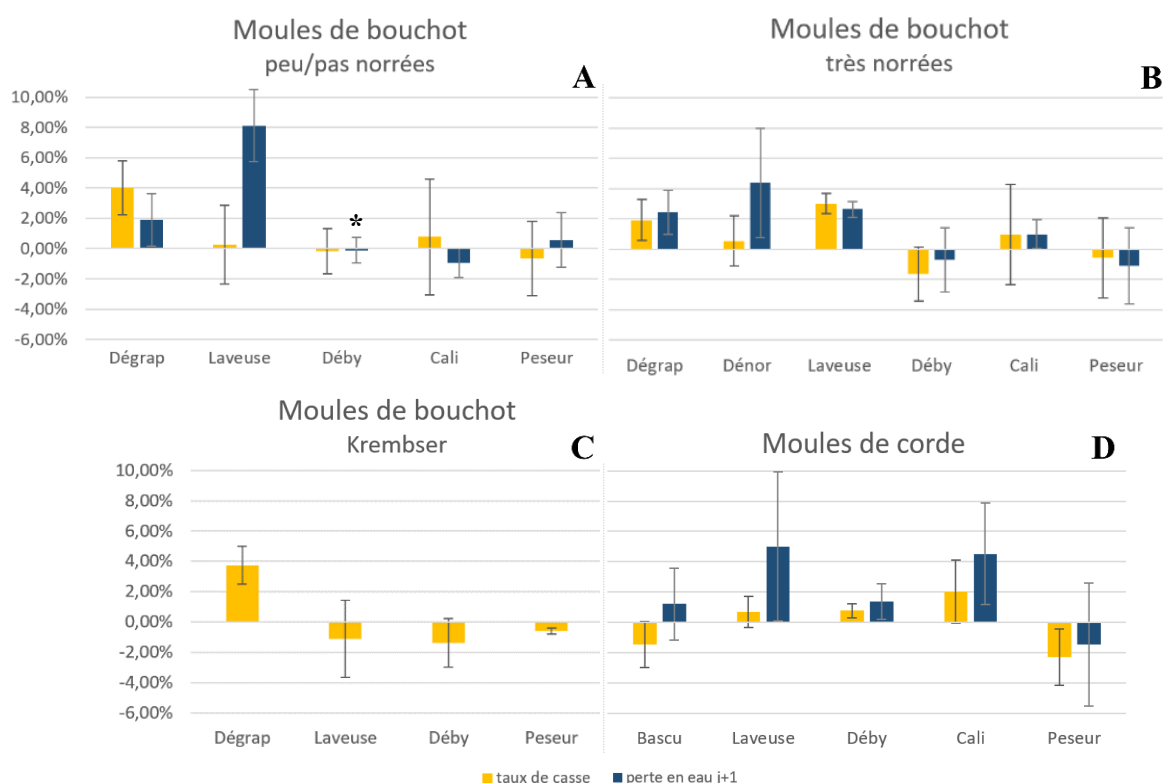


Figure 14 : Perte en eau au bout de 24h et taux de casse (comprenant cassées et mortes) après chaque machine pour les moules de bouchot peu/pas norrées [A], pour les moules de bouchot très norrées [B], pour les moules de bouchot lavées chez Krembs (autre entrep

Enfin, la figure 15 illustre la vitesse de perte en eau. Deux seuils ont été déterminés : un au bout de 2 heures de stockage et un autre au bout de 5 heures de stockage. Ces seuils témoignent du fait que les moules vont perdre la majorité de leur eau dans les premières heures : 10% au bout de 2 heures et 15% au bout de 5 heures. Le reste du temps la perte en eau est moins accentuée avec une perte de seulement 5% en 20 heures.

Ces résultats permettent également de visualiser l'impact des machines de façon cumulée : il est clair que les dégrappeurs, les dénorreuses et la laveuse ont un impact notable sur les pertes en eau. Le reste des machines réside dans la même zone du graphique, vers les 80% de poids restant, indiquant qu'elles n'ajoutent pas réellement d'impact, ce qui confirme les observations des résultats précédents.

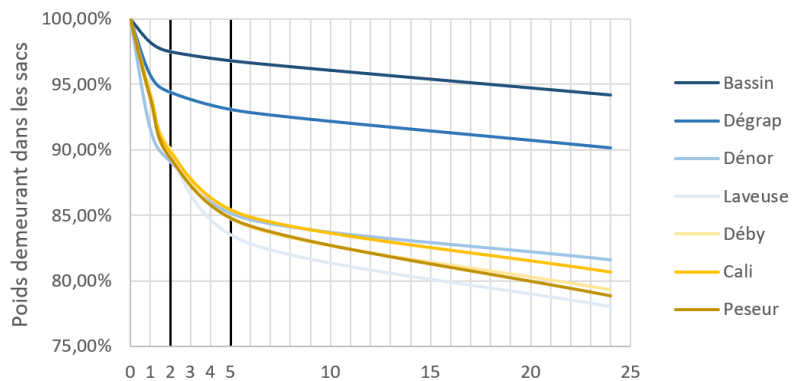


Figure 15 : Vitesse de perte en eau des moules après chaque machine et sorties du bassin, moyenne d'un triplicat - Dégrap = Dégrappeurs ; Dénor = Dénorreuses ; Déby = Débyssusseuses ; Cali = Calibreuse

III.1.2 - Efficacité des machines

Sur la figure 16, le compromis "efficacité de nettoyage / casse" montre que les dénorreuses sont extrêmement efficaces, retirant entièrement les balanes de 25% des moules permettant de passer de 47% de moules propres en sortie des dégrappeurs à 72% en sortie de ces machines. La laveuse quant à elle, est moins efficace sur le plan nettoyage (détachant complètement les balanes de seulement 9% des moules) et inflige 2% de dommages, contrairement aux dénorreuses qui ne semblent pas impacter le taux de casse.

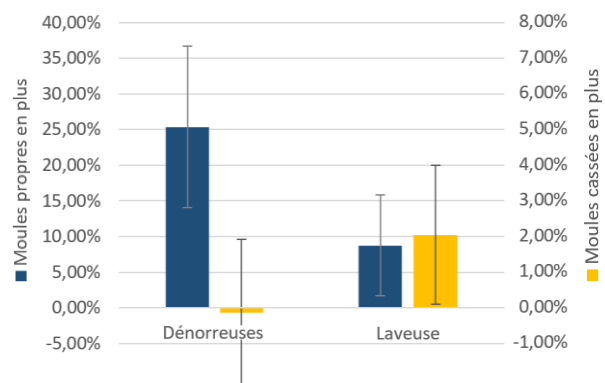


Figure 16 : Compromis entre l'efficacité de nettoyage des machines et la casse qu'elles occasionnent

Avec un taux de casse de 3.39% pour les moules propres et 1.92% en moyenne pour les moules norrées, il est possible d'affirmer que les moules recouvertes par des balanes sont moins promises à la casse que les moules propres, d'autant plus si elles le sont extrêmement

Tableau 2 : Taux de casse moyens suivant le recouvrement des balanes sur les coquilles

Présence de balanes	aucune	faible	moyenne	grande
Taux de casse	3,39%	3,27%	2,48%	0,00%

(0.00% de casse pour les moules très norrées - Tableau 2). Il semblerait que les balanes agissent comme un bouclier qui protégerait la coquille.

III.2 - Modifications de la chaîne de lavage et de conditionnement

III.2.1 - Réimmersion

En figure 17, les résultats des expériences de réimmersion sont illustrés.

Que ce soit pour les moules prélevées en sortie de la laveuse ou en sortie des débyssuseuses, la proportion de gain d'eau semble positivement liée au temps durant lequel les moules ont été réimmergées (+4.5% pour 12h de réimmersion et +10.5% pour 48h de réimmersion – Figure 17A).

Concernant les pertes en eau, elles semblent réduites après 6h à 24h de réimmersion comparées à aucune réimmersion (-1% au minimum après 6h et jusqu'à -1.5% après 18h dans le bassin). Une réimmersion de 48h n'a pas permis de réduire les pertes en eau ultérieures, elle les a même augmentés de 1.5%. De plus, des mortalités élevées avaient été observées à la toute fin de l'expérience (après les 24h de stockage, donc après 3 jours d'expérience au total).

Un gain extrême d'eau (+11.5%) est observé au bout de 6h de réimmersion, ce qui paraît aberrant, il s'agit sûrement d'une erreur de pesée ou de manipulation, à l'instar de la perte en eau évaluée après 12h de réimmersion. Les tendances décrites n'ont pas pris en compte ces données.

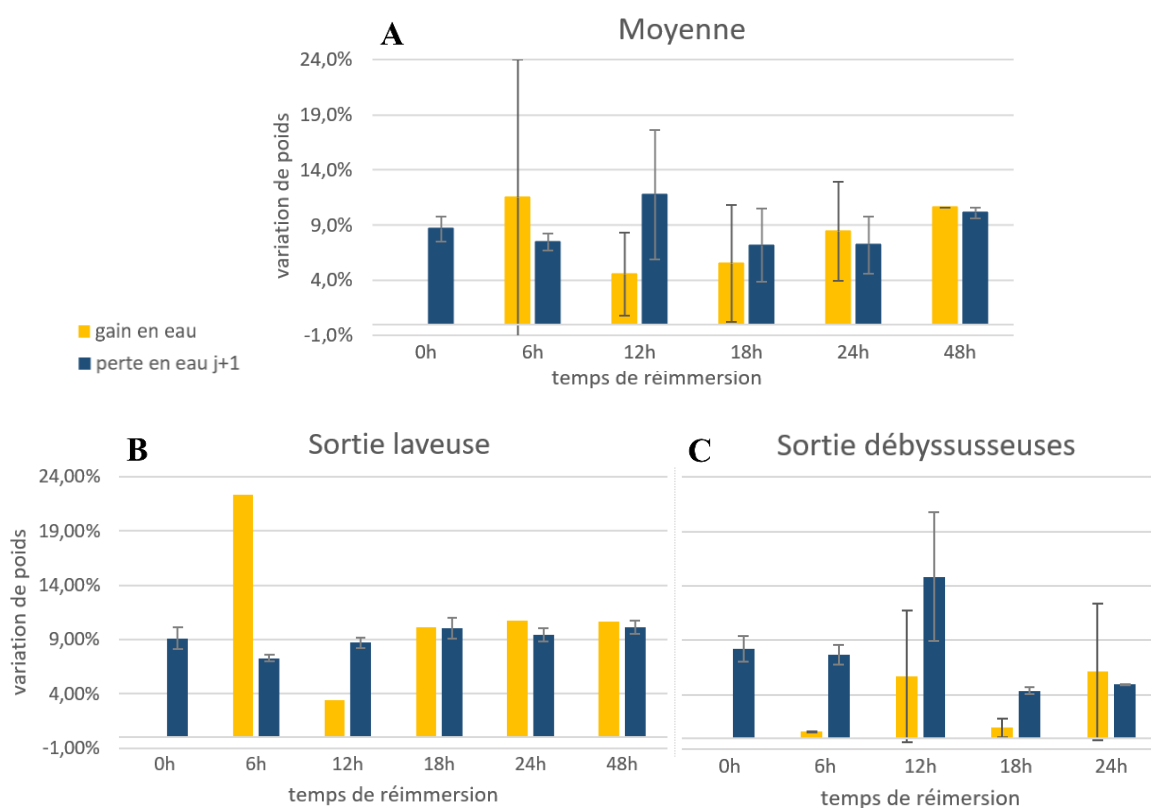


Figure 17 : Gains en poids (en eau) et pertes en eau au bout de 24h moyens [A], pour les moules prélevées en sortie de la laveuse [B] et pour les moules prélevées en sortie des débyssuseuses [C]

Plus précisément, les moules en sortie de la laveuse (Figure 17B) semblent perdre plus d'eau qu'en sortie des débyssusseuses (Figure 17C) : respectivement 9% contre 8% de perte en moyenne. Cette différence est sûrement due au passage des moules prélevées en sortie de la laveuse dans les débyssusseuses après la réimmersion et avant la mise en sacs. Une réimmersion serait alors à effectuer préférentiellement après le passage des moules dans les débyssusseuses, soit à la fin de la chaîne. Il faut aussi noter que les moules prélevées en sortie des débyssusseuses ont formé de nouveau quelques filaments de byssus lors de leurs réimmersions, mais ces byssus étaient encore fins et fragiles, même au bout de 24h de réimmersion.

III.2.2 - Ajouts dans les sacs

La figure 18 illustre les résultats des expériences d'ajout de gros sel ou de glace paillette dans les sacs de moules. Il est démontré que l'ajout de sel ne change pas significativement les pertes en eau, voire même les accentue avec 12.64% de perte avec le sel contre 11.80% de perte pour le témoin.

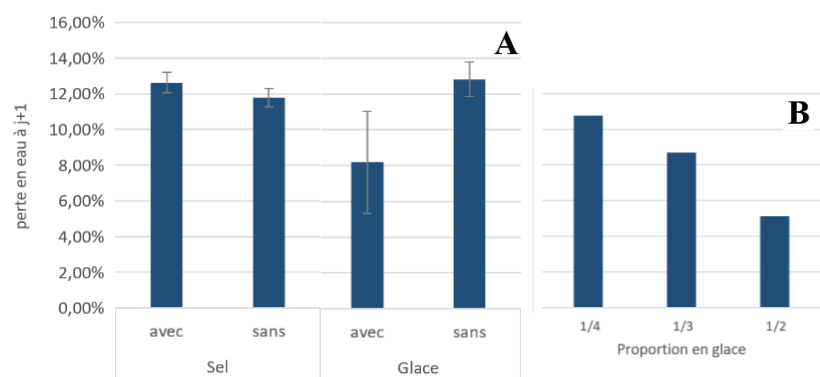


Figure 18 : Pertes en eau au bout de 24h de stockage des sacs contenant ou non du sel ou de la glace [A] et perte en eau suivant la proportion de glace présente dans les sacs [B]

Au contraire, l'ajout de glace semble très efficace. En effet, 4.64% de perte en eau en moins est observée avec glace que sans glace. Cette différence s'accroît plus la proportion de glace est élevée comme en témoigne le sac qui contenait 50% de moules et 50% de glace (proportion en poids), qui n'a perdu que 5.11% d'eau en 24h (Figure 18B).

De plus, les moules présentes dans les sacs contenant de la glace étaient, à la fin de l'expérience, bien fermées et fraîches. En revanche, la chair semblait un peu plus caoutchouteuse.

III.2.3 - Ajout d'une plaque en sortie d'une des dénorreuses

La modification de la morphologie de la sortie d'une dénorreuse par l'ajout d'une plaque a permis de réduire de 2% les pertes en eau (Figure 19). En revanche, les taux de casses se sont montrés plus élevés : 4% de casse pour la machine normale contre 7.5% de casse pour la machine modifiée. L'ajout d'une plaque n'a alors pas l'air de réduire l'impact que peuvent avoir les dénorreuses sur les moules.

A noter que cette expérience a été réalisée avec de la moule de corde d'Irlande en début de stage. Ces moules ne passent généralement pas dans ces machines car ne sont pas pourvues de balanes. Il aurait été intéressant de réaliser cette expérience avec des moules de bouchot pour étudier le compromis efficacité / casse et perte en eau. Malheureusement, la plaque a été démontée au lancement de la saison et l'occasion ne s'est pas présentée de nouveau.

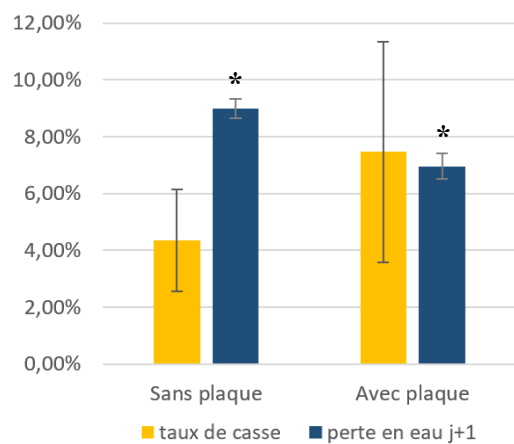


Figure 19 : Taux de casse et évaluation des pertes en eau pour la dénorreuse vierge et pour la dénorreuse modifiée (ajout d'une plaque en sortie) - * $p < 0.05$

III.2.4 - Découper les boudins

Tableau 3 : Résumé des résultats observés pour l'expérience de découpage des boudins (ou pieux) et simulations de gains possibles sur une journée

	pieux intacts	pieux coupés	ce qu'on gagne
temps par pieux	00:03:02	00:02:21	00:00:41
temps par bac	00:07:30	00:05:00	00:02:30
pour 64 bacs	08:00:00	05:20:00	02:40:00
nb d'employés total	12	15	
cumul horaire	96:00:00	80:00:00	16:00:00
taux de casse	3,79%	2,55%	1,25%

Le tableau 3 résume les résultats de l'expérience comparant le dégrappage de boudins (ou pieux) entiers et celui de boudins coupés en morceaux.

Il est démontré que lorsque les pieux sont préalablement coupés, un gain de temps de 41 secondes par pieux, soit environ 2 minutes et 30 secondes par bac ; ainsi qu'une réduction du taux de casse de 1.25% sont observés. Au final sur une journée type où 64 bacs sont dégrappés, cela correspond à 8h de travail avec des boudins intacts contre seulement 5h20 lorsque les boudins sont coupés.

De plus, le maniement de pieux coupés, donc de petits morceaux, est plus agréable pour les opérateurs travaillant sur les dégrappeurs car ils sont moins lourds et il est plus simple de décoincer des petits morceaux de filets que des grands de la machine. Cela permet également de récupérer les écarteurs qui pourront alors être réutilisés ultérieurement (économies) et de moins abîmer les machines. Enfin, lorsque les écarteurs n'étaient pas enlevés (pieux entiers), un opérateur supplémentaire était nécessaire pour récupérer les morceaux d'écarteurs en sortie des machines. En revanche, le découpage préalable des boudins nécessite également de la main d'œuvre (de 2 à 4 personnes).

Si 12 employés (11 dans la chaîne et 1 à récupérer les écarteurs cassés) sont nécessaires lorsque les boudins sont intacts, sur une journée de 8h, cela revient à un cumul horaire de 96h pour tous les employés. Maintenant, dans le scénario des pieux coupés, 15 employés (11 dans la chaîne et 4 à couper les pieux) sont indispensables mais seulement 5h20 sont nécessaires pour laver un même tonnage. Dans ce cas-ci, le cumul horaire s'élève à 80h, soit 16h de moins¹.

¹ Calcul réalisé avec des chiffres poussés à l'extrême sans prendre en compte tous les temps morts

Au final, il semble plus intéressant de couper les boudins avant de les passer dans les dégrappeurs pour réduire la casse, faire des économies (16h de salaire par jour en moins à payer, réutilisation des écarteurs, prendre soin des machines) et améliorer les conditions de travail (manutention et temps de travail).

III.2.5 - Tassage des sacs de moules

Sur la figure 20, les tests 1 et 2 correspondent à l'expérience poussée au maximum en tapant les sacs une dizaine de fois sur le support et en appuyant dessus pour les tasser le mieux possible ; tandis que le test 3 correspond à un tassage très peu accentué par rapport à la normale (sacs tapés sur le support seulement une ou deux fois de plus).

Il est clair que lorsque les sacs sont bien tassés (tests 1 et 2), la perte en eau est diminuée : 3% de perte en moins pour les sacs tassés. Concernant les sacs à peine mieux tassés (test 3), aucune différence significative n'est observée.

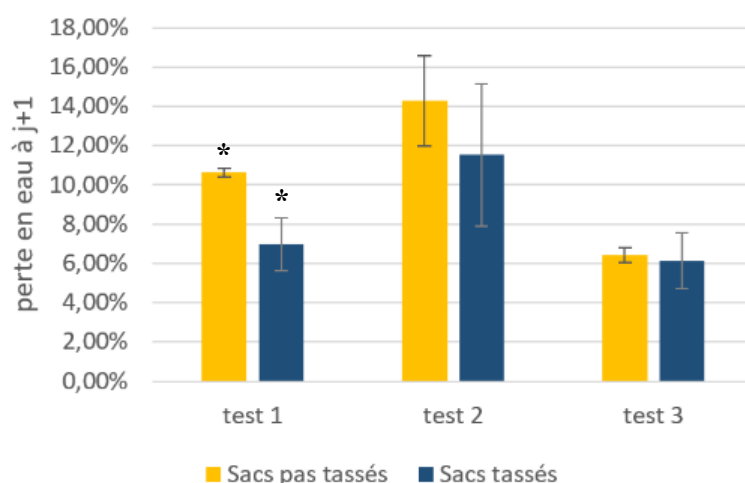


Figure 20 : Pertes en eau au bout de 24h pour les sacs tassés et les sacs témoins : tests 1 et 2 = exagérément tassés ; test 3 = à peine tassés - * $p < 0.05$

Tasser les sacs est donc utile pour réduire les pertes en eau mais seulement si l'action est bien réalisée. A prendre en compte également, le temps mis à tasser les sacs. Habituellement, il se passe en moyenne 18 secondes entre le moment où le sac est disposé sous le peseur jusqu'à ce qu'il soit déposé sur la palette. Les sacs à peine tassés ont pris seulement 1 seconde de plus à être tassés tandis que les sacs

bien tassés ont pris 10 secondes de plus (à l'extrême). Pour se donner une idée, sur une journée de 8h de travail, 1 600 sacs peuvent être produits s'ils ne sont pas tassés. En revanche, seulement 1 030 sacs peuvent être réalisés en 8h en les tassant bien². Cela pourrait alors avoir un impact sur les tonnages réalisés à long terme.

Il a également été remarqué que les sacs bien tassés étaient plus petits de 11%, ce qui peut apporter une économie de place sur les palettes. Enfin, un ajout de casse de 1% dans le fond des sacs a aussi été observé.

L'expérience suivante (Figure 21) vient compléter la précédente permettant d'observer si la casse au fond des sacs bien tassés pourrait être réduite.

² Calcul réalisé avec des chiffres poussés à l'extrême sans prendre en compte tous les temps morts

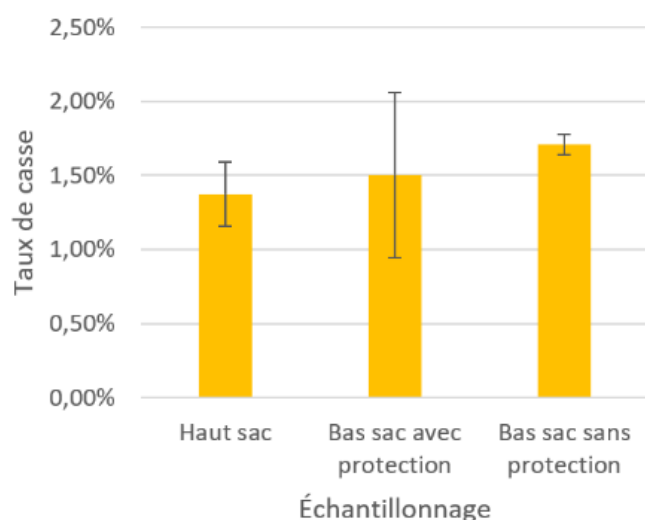


Figure 21 : Taux de casse dans les sacs bien tassés sur le support habituel (bas sac sans protection) et sur une combinaison de plongée (bas sac avec protection) ; le haut du sac sert de témoin

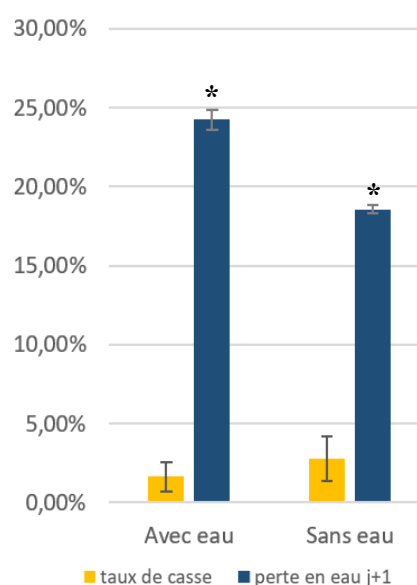
Le taux de casse moyen des moules dans le fond des sacs est plus important lorsque les sacs sont tassés sur le support habituel (table en métal) que lorsqu'ils sont tassés sur un morceau de combinaison de plongée servant de protection. Dans les deux cas, les moules au fond du sac ont tendance à être plus cassées que celles dans le haut du sac (servant de témoin). En revanche, les écarts de pourcentages sont très faibles, les taux de casse observés ne sont alors pas considérés comme différents, d'autant plus qu'aucune significativité n'est observée.

Tasser sur un support protégé n'améliore donc pas les taux de casse au fond des sacs. Il est possible de faire l'hypothèse que les moules au fond des sacs sont en fait écrasées par le poids de toutes les moules au-dessus et changer le support ne peut pas influencer sur cela.

III.2.6 - Tank à sec ou en eau

Après le passage dans la calibreuse, les moules tombent dans les tanks remplis d'eau (sous-entendu d'eau de mer) ou vides. Le fait de retirer cette eau (généralement présente) réduit considérablement les pertes en eau (moins 6% environ, Figure 22). En revanche, cela accroît la casse des moules de 1%.

Figure 22 : Taux de casse et pertes en eau au bout de 24h de stockage pour les moules tombées dans le tank avec ou sans eau - * $p < 0.05$



III.3 – Simulations / reproductions de certaines étapes de la chaîne

III.3.1 - Tank en eau douce ou en eau de mer

Comme vu précédemment, lorsque les moules tombent dans les tanks en eau, elles vont ensuite perdre plus d'eau que lorsqu'elles tombent dans les tanks vides. La raison est que les moules gagnent de l'eau lorsqu'elles sont plongées une quinzaine de minutes dans de l'eau de mer, contrairement à lorsqu'elles ne sont pas plongées du tout (Figure 23A).

En revanche, lorsqu'elles sont replongées pour un même temps dans de l'eau douce, leur masse reste inchangée voire est diminuée (Figure 23A). Des moules dans de l'eau douce ne prennent donc pas d'eau voire en perdent légèrement ce qui pourrait s'expliquer par de la diffusion d'eau concentrée en NaCl au sein des coquilles vers l'environnement dessalé suite à un choc osmotique (May *et al.*, 2017). Cette constance dans la masse se traduit par la suite par une perte moins accrue en eau (-1%) au bout de 24h de stockage (Figure 23B).

Il semblerait que mettre de l'eau douce à la place de l'eau de mer dans les tanks pourrait toujours amortir les chutes des moules tout en évitant aux moules de reprendre de l'eau, ce qui diminuerait les pertes en eau.

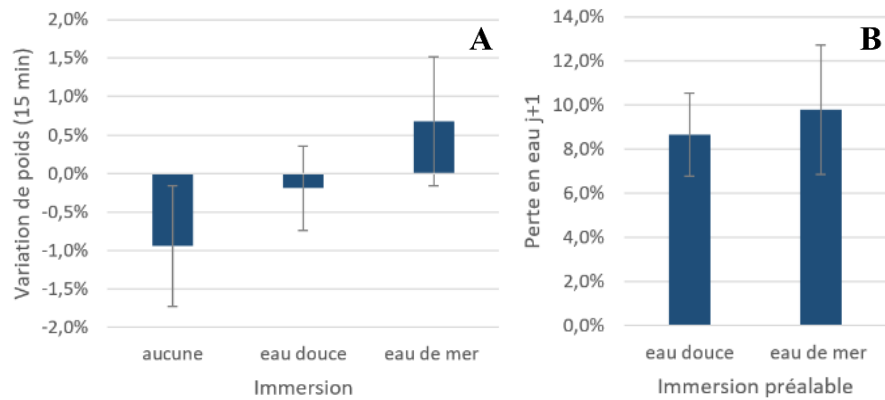


Figure 23 : Simulation de l'attente des moules dans le tank en eau douce ou en eau de mer illustrée par les pertes en eau au bout de 24h de stockage

III.3.2 - Endommagement des moules

Les simulations des effets physiques des machines sur les moules (Figure 24) ont montré que ce sont les chutes qui provoquent les pertes d'eau les plus importantes avec 15% de perte en eau au bout d'une heure contre 8% pour les moules témoins. Quant aux moules ayant été vibrées, la perte en eau a été légèrement accentuée (+1%). Dans le cas des vibrations, l'eau perdue pendant l'expérience et celle perdue après l'expérience correspondent à peu près au même pourcentage, tandis que pour les chutes, il est clair que l'eau est majoritairement perdue après l'expérience. Ceci peut s'expliquer par le fait que les vibrations seraient impactantes sur le moment mais que la moule se referme par la suite. Les chutes, elles, engendraient de la casse. Impossible alors pour la moule de retenir son eau après l'expérience.

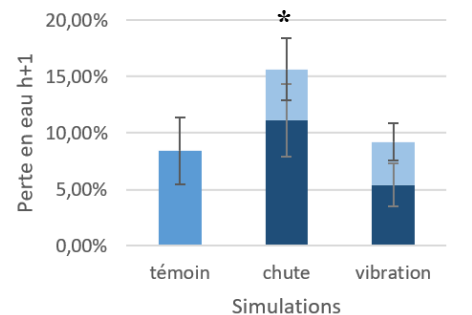


Figure 24 : Pertes en eau au bout d'une heure pour les moules qui ont chu et celles qui ont subi des vibrations - * $p < 0.05$

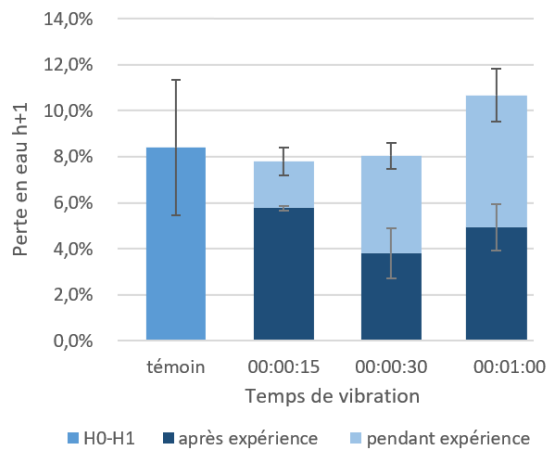


Figure 25 : Pertes en eau au bout d'une heure après 15 secondes, 30 secondes et 1 minute de vibration

Plus en détail, les simulations de vibrations (Figure 25) montrent que plus les moules subissent des vibrations longtemps, plus elles vont perdre de l'eau au bout d'une heure. Ceci peut s'expliquer par le fait que les moules les plus vibrées (une minute) ont perdu plus d'eau pendant l'expérience que les moules vibrées moins longtemps.

Il est possible d'observer une différence notable entre les pertes en eau au bout de 15 et 30 secondes et au bout d'une minute de vibrations. Un seuil de fatigue au-delà duquel les moules deviendraient incapables de se

maintenir fermée pourrait exister, bien que la différence ne soit pas significative. Il aurait également été intéressant de réaliser ces tests de vibrations sur des temps encore plus longs pour confirmer cette observation.

Concernant les simulations de chutes, les pertes en eau ont été rapportées comme plus importantes lorsque les moules tombaient des plus grandes hauteurs (Figure 26) : 12% de perte en eau au plus bas (90 cm) contre 17.5% de perte en eau au plus haut (190 cm) pour les moules qui ont atterri sur le sol sans protection. Les taux de casse suivent la même tendance, bien que plus accentuée.

L'expérience montre également qu'ajouter une protection (combinaison de plongée) aide à réduire les pertes en eau et surtout la casse qui a été divisée par 5 pour la hauteur de chute la plus importante (190 cm), et nulle pour les autres hauteurs plus faibles.

Ajouter une protection sur les zones d'impacts peut alors s'avérer très bénéfique pour réduire à la fois la casse et les pertes en eau.

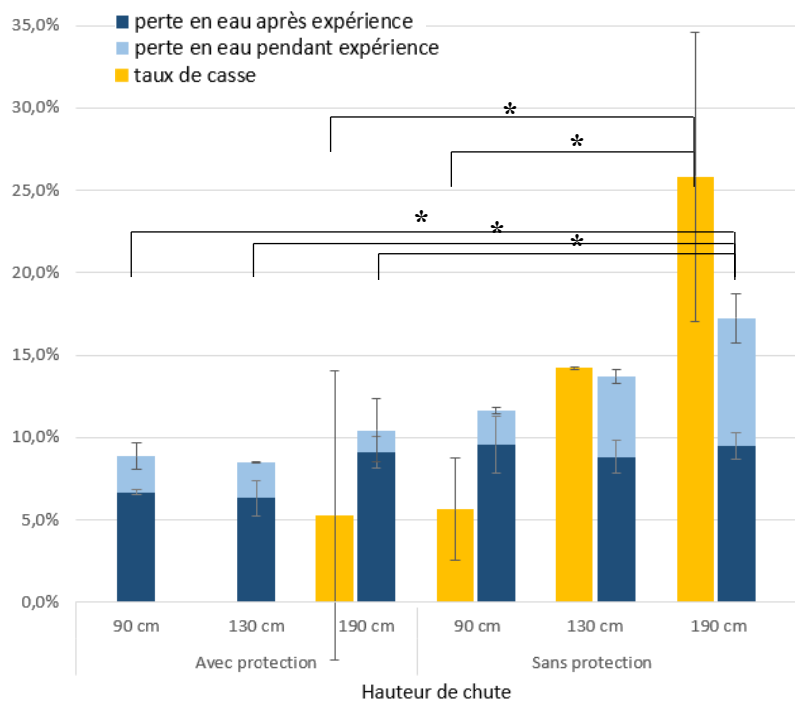


Figure 26 : Simulation de chutes de moules – Pertes en eau au bout d'une heure et taux de casse pour différentes hauteurs avec ou sans protection de la zone d'impact - * $p < 0.05$

III.4 – Hétérogénéité des données

Toutes les expériences réalisées ont été séparées entre les moules de bouchot et les moules de corde afin de ne pas associer deux produits différents. En revanche, au sein des moules de bouchot, les moules n'ont pas été séparées suivant les producteurs et peuvent donc provenir de différentes concessions. Or, des écarts entre les pertes en eau et les taux de casse de chacun des producteurs ont été remarqués a posteriori (Figures 27 A et B). Par exemple, les moules du producteur Deve ont révélé des indices de qualité plus mauvais que ceux des autres producteurs. Le taux de casse était multiplié par 6 en sortie des dénorreuses et les pertes en eau étaient multipliées par 3 en sortie de la laveuse par rapport à ceux de la Maison Morisseau.

Il est possible de parler d'« effet site » démontré lors du projet Morbleu (2014/2020) dirigé par l'Ifremer. Avec des moules captées dans des secteurs touchés par de la mortalité importante depuis 2014 puis ensemencées dans différentes régions de la même manière sur des bouchots, des taux de mortalités sont montés jusqu'à 80% dans le secteur de captage tandis qu'ils étaient insignifiants dans d'autres secteurs au bout de 9 mois de grossissement (Pépin *et al.*, 2018; Pepin *et al.*, 2017).

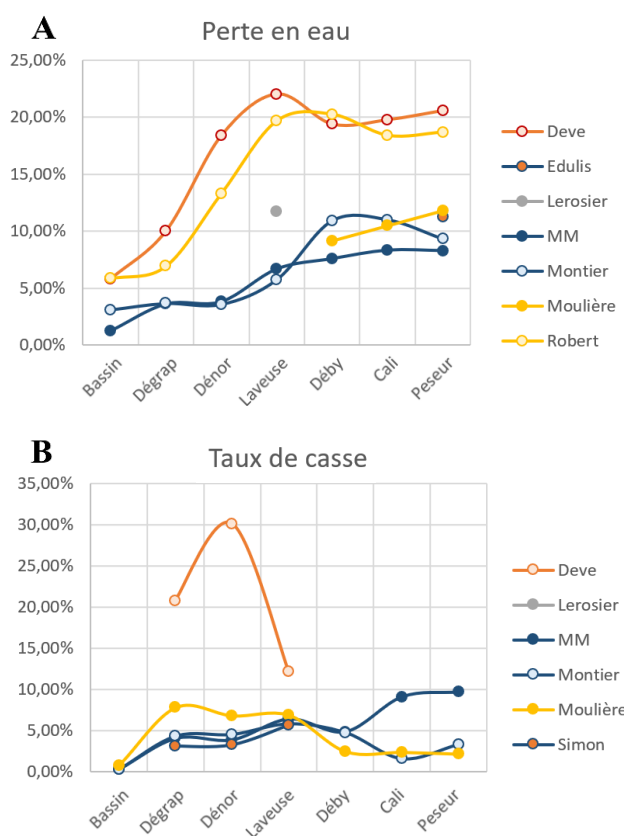


Figure 27 : Variation des moyennes des pertes en eau [A] et des taux de casse [B] en fonction du producteur de moules de bouchot – La couleur du trait indique la proximité géographique des concessions – Dégrap = Dégrappeurs ; Dénor = Dénorreuses ; Déby = Déby

Ceci indique qu'il existe bien une variation entre les sites d'élevage. Il est alors intéressant de voir que, selon la situation géographique des producteurs dont les moules sont traitées à la Maison Morisseau (Figure 28), les indices de qualité peuvent être regroupés.

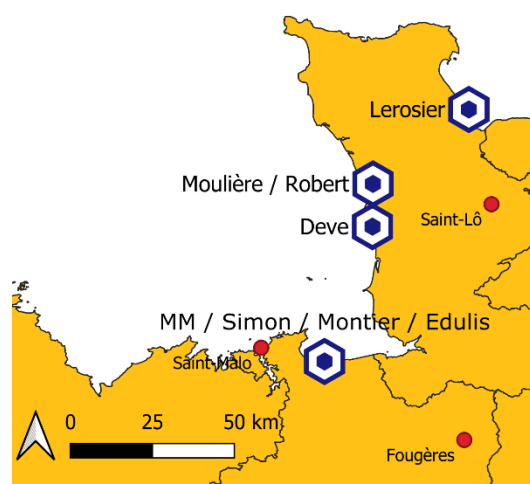


Figure 28 : Localisation des producteurs dont les moules sont lavées à la Maison Morisseau – Carte réalisée sur QGIS

Tous les producteurs du Vivier-sur-Mer (Maison Morisseau, Montier, Simon et Edulis) qui élèvent leurs moules dans la baie du Mont-Saint-Michel possèdent des taux de casse et des pertes en eau similaires et plutôt faibles (5% et <10% respectivement - Figures 27 A et B), tandis que les producteurs extérieurs ont des taux généralement plus élevés.

Plusieurs explications peuvent être suggérées pour expliquer ce phénomène. D'une part, ces secteurs de grossissement possèderaient des conditions environnementales moins favorables que celles de la baie du Mont-Saint-Michel. En effet, aucun autre littoral français ne possède un marnage aussi imposant que celui de la baie. Les bouchots des producteurs de Normandie les plus au large ne sont peut-être jamais découverts entièrement à marée basse. Or, des moules plus exposées à l'air et aux vagues développent des coquilles plus résistantes et sont moins blessées lors du lavage que des moules grossissant entièrement immergées (Dare, 1974). D'autre part, le fait de purifier les moules à la Maison Morisseau dans une eau pompée dans la baie du Mont-Saint-Michel – qui n'est donc pas l'eau de leur environnement, pourraient les fatiguer, bien que *M. edulis* possède un fort potentiel d'adaptation aux conditions environnementales locales (Qian *et al.*, 2024).

Au sein même d'un secteur, les variations des conditions environnementales peuvent aussi être évoquées. Des gradients de salinité (présence de fleuves d'un côté mais pas de l'autre d'une baie), de turbidité (proximité avec la côte) ou de compétition trophique suivant les courants (moules en amont du courant s'accaparent la majorité de la nourriture) peuvent être à l'origine de différences de croissances ou de mauvaises conditions physiques (Thomas *et al.*, 2006b). Cela pourrait expliquer la variation des taux de casse et de perte en eau observées entre les moules des producteurs Moulière et Robert, bien qu'ils exploitent la même zone. Le savoir-faire des marins peut également être un facteur pris en compte.

Toutes ces différences entre les producteurs n'ont pas été prises en compte dans les analyses des résultats car elles ont été remarquées tardivement. Les échantillons récupérés dans les premiers mois du stage n'ont pas été annotés de leur producteur puisque seule une séparation des moules de cordes et des moules de bouchot était initialement prévue. Dans l'idéal, il aurait été pertinent de réaliser toutes les expériences avec un même producteur, ou du moins les répliquats des expériences. Puis à long terme, le processus aurait pu être répété avec un autre producteur afin de pouvoir réaliser des comparaisons. De plus, même au sein d'un lot d'un seul producteur voire d'un même bac de moules, les variations peuvent être très grandes. Il suffit d'échantillonner une petite partie ayant été abîmée (par exemple un coup de pelle) et les taux de casse peuvent ne pas être représentatifs de la réalité de l'échantillon. Enfin, s'ajoute à cela le fait que ce stage ne s'est pas déroulé en laboratoire où chacun des paramètres peut être contrôlé. Bien qu'aucune mesure de turbidité n'a été effectuée, la qualité de l'eau lors des expériences de réimmersion a inévitablement varié, les bacs de moules ne cessant d'aller et de venir. Les indices de qualité ont sûrement varié lorsque les opérateurs des machines changeaient, ou lorsque le nombre de personnes à trier les moules cassées variait. La température de la chambre froide variait en permanence lorsque les palettes entraient et sortaient. Pour toutes ces raisons et malgré les tendances générales observées, les résultats obtenus ont un caractère assez aléatoire comme en témoignent les écarts-types importants, et les conclusions sont très rarement significatives.

IV - Discussion

IV.1 - Approfondissement des résultats

Malgré la nature aléatoire des taux de casse et de la perte en eau, des tendances concernant l'agressivité des machines ont pu être observées, notamment l'incidence des dégrappeurs et de la laveuse sur les moules. Ces deux machines sortent du lot occasionnant les taux de casse et les pertes en eau les plus importants, correspondant à ce qu'avaient décrit Dare en 1974 et Bernard en 2021 (Bernard, 2021; Dare, 1974). Les dénorreuses sont, elles, impactantes également au niveau des pertes en eau, ces machines n'ont jamais été évoquées dans la littérature.

Un lien entre les taux de casse et la perte en eau semble être présent, mais il n'est pas systématique. En effet, il est affirmé que les moules cassées vont avoir du mal à retenir leur eau qui va s'échapper par les trous (Bernard, 2021). Cependant, sachant que les dénorreuses n'arrachent pas les byssus, pourquoi ajouteraient-elles des pertes en eau sans que le taux de casse s'accroisse ? Il est intéressant d'approfondir le sujet en analysant les types de casse (Tableau 4). En réalité, le taux de casse ne varie pas réellement, c'est le type de casse provoqué par cette machine qui va accroître les pertes en eau. Les moules endommagées sont des moules écrasées à 59% en sortant des dénorreuses alors qu'en sortant des autres machines, ce pourcentage est bien plus faible ne dépassant pas les 40%. Il se pourrait alors que les écrasements soient le type de casse le plus impactant, laissant s'échapper plus d'eau que les autres.

Tableau 4 : Pourcentages de moules écrasées au sein des moules cassées pour chaque machine - Dégrap = Dégrappeurs ; Dénor = Dénorreuses ; Déby = Débyssusseuses ; Cali = Calibreuse

	Dégrap	Dénor	Laveuse	Déby	Cali	Peseur
écrasées	9	19	24	15	5	8
total cassées	25	32	62	72	45	44
% écrasées	36%	59%	39%	21%	11%	18%

En revanche, de façon surprenante, les débyssusseuses ne sont pas ressorties comme augmentant les pertes en eau. Arracher le byssus est pourtant une action provoquant de gros stress ainsi que des dommages internes aux moules (Dare, 1974; Harding *et al.*, 2004). Une étude des dommages physiologiques qu'engendre la chaîne de lavage, notamment des débyssusseuses, aurait pu apporter beaucoup à ce sujet. Même si aucun dommage n'est visible de l'extérieur (sur la coquille), l'intérieur peut être abîmé (Dare, 1974). Des mesures de consommation d'oxygène ou de la force que mettent les moules pour fermer leurs coquilles auraient pu apporter des résultats vus sous un autre angle.

Un plus grand nombre de réplcats pour chaque expérience aurait permis d'affirmer les tendances observées. Ceci aurait été utile, notamment pour les expériences de réimmersion. Seuls deux réplcats pour les moules échantillonnées après la laveuse et deux réplcats pour les moules échantillonnées après les débyssusseuses ont été réalisés pour cette expérience, ce qui n'est pas suffisant. Il aurait été apprécié de réaliser de nouvelles fois cette expérience.

Cependant, étant la plus inconvenue en terme de logistique (utilisation des bassins et des débysseuses en même temps que les employés) et de planning (durant une semaine avec de grandes amplitudes horaires), aucun autre réplicat n'a pu être réalisé. Toutefois, les tendances observées se rapprochaient de celles de la littérature. La réimmersion est considérée comme une période de récupération qui peut être utile pour réparer les dommages internes que les moules ont subi. C'est lors des premières 24 heures que le processus est le plus utile, permettant d'atteindre une survie maximale réduisant dès 12 heures de réimmersion 30% des mortalités (Prochazka & Griffiths, 1991). En revanche, dépasser ces 24 heures ne semble pas profitable, les résultats montrant même une hausse de la mortalité.

Après une exposition à l'air, les premières heures d'immersion vont être caractérisées par une consommation accrue en oxygène. Cela témoigne que les moules ont une dette en oxygène lorsqu'elles sont à l'air libre (Boyden, 1972). Sans une réimmersion avant le conditionnement, les moules sont susceptibles de mourir asphyxiées avant l'arrivée chez les clients.

Les résultats des expériences effectuées durant ce stage suggèrent de réaliser les réimmersions avec les moules sorties des débysseuses et non pas sorties de la laveuse car les pertes en eau ont davantage été réduites dans le premier cas. Cette différence est liée au passage des moules, échantillonnées en sortie de la laveuse, dans une débysseuse après la réimmersion. Cette manœuvre est nécessaire pour ne pas déplaire aux clients qui désirent un produit prêt à cuire. Finalement, débysser les moules après les avoir réimmergées semble annuler l'effet positif observé, car arracher ces filaments reste néfaste pour les moules qu'il soit réalisé avant ou après réimmersion (Dare, 1974; Harding *et al.*, 2004). C'est pour cela que réimmerger à la toute fin de la chaîne serait préférable. Néanmoins, les moules remises à l'eau vont chercher à se maintenir dans leur environnement, en recréant des filaments de byssus en moins d'une heure. Ces fils, très fins et très fragiles comparés à ceux fabriqués en 18 mois pendant la période de grossissement, sont malgré tout considérés comme des impuretés par le client. Si des réimmersions sont mises en place à l'avenir à la Maison Morisseau, des sondages auprès des clients seront alors nécessaires. Il est aussi envisageable de réimmerger les moules dans des bassins dont la teneur en oxygène est faible ou dans de l'eau froide ce qui réduit le métabolisme de l'animal et abaisse la production de filaments de byssus (Coulombe *et al.*, 2008; Handå *et al.*, 2013; Sui *et al.*, 2015).

Par ailleurs, le froid d'une manière générale, pas seulement dans le cas des réimmersions, permet de placer l'activité métabolique au ralenti, réduisant au passage la consommation d'oxygène et l'excrétion d'ammoniac et augmente ainsi l'espérance de vie des moules sans avoir à les remettre à l'eau (Handå *et al.*, 2013). Le paramètre température semble très efficace pour réduire les pertes en eau. En revanche il n'a pas pu être étudié amplement par manque de moyens et de temps. Seule une expérience, celle de l'ajout de glace dans les sacs de moules, a été réalisée avec succès. C'est dans l'optique d'une future utilisation de « glace liquide » que cette expérience a été menée, permettant une première approche. Ce liquide, commercialisé par l'entreprise Deepchill®, est composé de micros morceaux de glace mélangés à de l'eau, qui s'écoulent entre les moules pour ne laisser aucun espace vide. Toutes les moules sont alors refroidies en quelques minutes (Deepchill, 2022). L'entreprise affirme

que ce produit permet aux moules de conserver leur eau, ce qui n'est pas anodin car, la majorité des pertes en eau se faisant dans les premières heures après la mise en sac, figer les moules dès le début serait un véritable avantage.

A l'inverse, un produit à ne pas ajouter dans les sacs est le gros sel comme remarqué lors des expériences. Le sel n'a pas aidé à réduire les pertes en eau voire les a même empirées. Les moules ressentant la présence du sel (les moules ouvertes) vont dans un premier temps subir un stress qui va les forcer à se fermer, comme un réflexe à une agression externe. Cependant ce résultat n'est que de courte durée. A long terme, le sel va au contraire assécher les moules et donc leur faire perdre en qualité (Bernard, 2021).

IV.2 – Projection et perspectives

Afin de mieux se rendre compte de ce que les résultats obtenus peuvent apporter à la Maison Morisseau, il est possible de faire une simulation à partir de certaines données. Dans les meilleurs cas, les pertes en eau ont réussi à être diminuées à seulement 5% en moyenne au bout de 24h (réimmersion 4%, moules tassées 6% et utilisation de glace 5%). Habituellement, ce sont 16.2 kg qui sont mis dans des sacs de 15 kg afin de prendre en compte la perte de poids. Mais si celle-ci est réduite à 5%, seulement 15.8 kg peuvent être mis en sacs.

Le découpage des boudins (ou pieux) suggère qu'il est possible de passer un bac en 5 minutes, soit 96 bacs en une journée de 8 heures de travail. Sachant qu'un bac contenant 3 pieux peut s'élever à 210 kg (70 kg par pieux), un peu plus de 20 tonnes peuvent être lavées dans la journée. Sur ces 20 tonnes, 12 sont de la moule Morisseau (60%) et 8 sont de la « bouchot France » (40%). Ce produit est de la même qualité que la moule Morisseau mais ne dépassant pas 4.5 cm de longueur (séparées dans la calibreuse). Sur 12 tonnes de moule Morisseau, il est possible de réaliser 765 sacs de 15 kg avec 15.8 kg exactement, tandis que 747 sacs de 15 kg seraient faits avec 16.2 kg exactement. Pour la « bouchot France », 30 sacs de plus sont réalisés pour les mêmes raisons.

Avec un prix de vente moyen de 3.80 €/kg pour la moule Morisseau et 2.40 €/kg pour la « bouchot France », cela revient à gagner 102 € par jour en réduisant de 400 g le poids dans les sacs de 15 kg. Sur une année (pour 261 jours de travail), cela revient à gagner 26 622 €, ce qui n'est pas négligeable. Ce chiffre pourrait être amélioré si encore plus de solutions proposées étaient combinées comme par exemple, une chaîne où toutes les chutes seraient amorties dans l'eau ou sur des supports de protection, suivie d'une réimmersion puis où les sacs seraient bien tassés et directement mis au froid.

Ce scénario représente ce qui se déroulerait dans l'idéal, or ceci ne serait possible majoritairement qu'en période estivale. En effet, au printemps, les moules perdent bien plus d'eau naturellement qu'en été (Figure 12, page 15), et les modifications de la chaîne vont certes réduire les pertes en eau, mais pas au point d'atteindre les 5% retenus dans la simulation. Au printemps, les moules ont moins d'énergie car il s'agit de la période post-

ponte. Pondre est très fatigant pour l'animal car toutes les réserves que les moules avaient accumulées pendant l'automne et l'hiver ont été allouées à la reproduction au printemps (Dare & Edwards, 1975; Thomas *et al.*, 2006a). Par conséquent, le stress et les dommages infligés par la chaîne de lavage et de conditionnement peuvent différer selon la période de l'année (Harding *et al.*, 2004). Quant à la période automnale, les moules ont eu le temps de refaire des réserves, alors les pertes en eau ne sont pas liées à la raison précédente. Bernard en 2021 a suggéré qu'en été le transport et la conservation à température réfrigérée provoqueraient un choc thermique plus important qu'en automne, ce qui obligerait les moules à se fermer plus efficacement (Bernard, 2021). Si cette explication s'avère vraie, le rôle de la glace devient alors très important en automne.

V - Conclusion

Réaliser des expériences au sein de la Maison Morisseau en ne connaissant quasi rien du fonctionnement de la chaîne, des différents types de moules et sans personne n'ayant fait ce travail précédemment représentait un réel challenge. La majorité des premières tentatives de chaque expérience effectuée n'a pas été gardées car les protocoles n'étaient pas au point. Toujours de nouvelles idées pour améliorer les protocoles survenaient une fois l'expérience lancée. De plus, évoluer avec le personnel en place en essayant de ne pas gêner le fonctionnement de la chaîne a été travaillé. De nouvelles compétences en organisation et en communication ont sans aucun doute été développées.

Malgré tout, les résultats attendus ont été obtenus et des solutions pour atténuer les pertes en eau ont pu être proposées. Réduire les taux de casse en découpant les pieux, en améliorant le tri, en protégeant les zones d'impacts des moules qui tombent peut déjà beaucoup aider à réduire les pertes en eau. A cela peuvent s'ajouter la réimmersion, le tassage des moules et le glaçage des produits. Tout ces résultats sont aussi importants les uns que les autres et ils devraient être pris en compte lors des futurs aménagements de l'entreprise.

Toutes les facettes du métier de mytiliculteur ont pu être observées et même testées. Humainement parlant, ce fut un réel plaisir d'effectuer ce stage entourée de collègues plus gentils les uns que les autres. Heureusement d'ailleurs qu'ils étaient là, sinon certaines d'expériences n'auraient pas vu le jour.

Bibliographie

Barrento, S., Lupatsch, I., & Keay, A. (2013). Protocol on Best Practice Handling and Transportation of Live Mussels. Technical Report supported by Project no. 243452, FP7-SME Mussels Alive, 59 p.

Bernard, I. (2021). Etude des meilleures conditions biologiques de stockage et de purification des moules. Etude réalisée pour l'entreprise, version papier.

Boyden, C. R. (1972). Aerial respiration of the cockle *Cerastoderma edule* in relation to temperature. J. Comp. Biochem. Physiol., 43A, 697-712.

Bregeon, L. (1977). Richesses et productions marines de la baie du Mont Saint-Michel : La mytiliculture. Science et Pêche, Vol. 267, P. 2-29.

Charles, M. (2019). Etude des organismes pathogènes, des conditions physiologiques et pathologiques impliqués dans les mortalités anormales de moules (*Mytilus sp.*). PhD dissertation, University of Caen Normandy, Caen, France.

Comité AOP « Moules de bouchot de la Baie du Mont-Saint-Michel » (Réalisateur). (2014, août 5). Film sur la Mytiliculture dans la Baie du Mont-Saint-Michel [Enregistrement vidéo]. <https://www.youtube.com/watch?v=OfYRnrGQUGo>

Coulombe, F., Tremblay, M., Paradis, J., Samuel, A., & Coulombe, N. (2008). Analyse systémique de la chaîne d'opérations postrécolte de la moule bleue de la Gaspésie : Incidence potentielle sur la qualité du produit sur les marchés. Rapport de R-D, 172, 28 pages.

Dare, P. J. (1974). Damage caused to mussels (*Mytilus edulis L.*) by dredging and mechanized sorting. ICES Journal of Marine Science, 35(3), 296-299. <https://doi.org/10.1093/icesjms/35.3.296>

Dare, P. J., & Edwards, D. B. (1975). Seasonal changes in flesh weight and biochemical composition of mussels (*Mytilus edulis L.*) in the Conwy Estuary, North Wales. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 18(2), 89-97. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(75\)90066-0](https://doi.org/10.1016/0022-0981(75)90066-0)

Deepchill. (2022). Brochure de présentation Deepchill®. <https://www.deepchill.com/industries/seafood/mussels/>

FAO. (2024). The State of World Fisheries and Aquaculture 2024. FAO. <https://doi.org/10.4060/cd0683en>

Fishstat FAO. (2024). Fisheries & Aquaculture—Global aquaculture production Quantity (1950—2022). https://www.fao.org/fishery/statistics-query/en/aquaculture/aquaculture_quantity

Handå, A., Nordtug, T., Halstensen, S., Olsen, A. J., Reitan, K. I., Olsen, Y., & Reinertsen, H. (2013). Temperature-dependent feed requirements in farmed blue mussels (*Mytilus edulis*

L.) estimated from soft tissue growth and oxygen consumption and ammonia-N excretion. *Aquaculture Research*, 44(4), 645-656. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.03069.x>

Harding, J. M., Couturier, C., Parsons, G. J., & Ross, N. W. (2004). Evaluation of the neutral red assay as a stress response indicator in cultivated mussels (*Mytilus spp.*) in relation to post-harvest processing activities and storage conditions. *Aquaculture*, 231(1), 315-326. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2003.10.025>

Khalaman, V. V., Komendantov, A. Yu., Golubovskaya, N. S., & Manoylina, P. A. (2021). Comparative efficiency of *Mytilus edulis* as engineering species for shallow-water fouling communities on artificial structures in the White Sea. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 101(3), 511-525. <https://doi.org/10.1017/S0025315421000424>

Li, Y.-F., Yang, X.-Y., Cheng, Z.-Y., Wang, L.-Y., Wang, W.-X., Liang, X., & Yang, J.-L. (2020). Near-future levels of ocean temperature weaken the byssus production and performance of the mussel *Mytilus coruscus*. *Science of The Total Environment*, 733, 139347. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139347>

Marchand, H. F. A. (1915). Les procédés actuels de la mytiliculture en France. <https://doi.org/10.3406/linly.1915.4226>

May, M. A., Bishop, K. D., & Rawson, P. D. (2017). NMR Profiling of Metabolites in Larval and Juvenile Blue Mussels (*Mytilus edulis*) under Ambient and Low Salinity Conditions. *Metabolites*, 7(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/metabo7030033>

MBBMSM. (2020a, juillet 3). L'AOP. Moules AOP. <https://moules-aop.com/laop/>

MBBMSM. (2020b, août 18). La mytiliculture. Moules AOP. <https://moules-aop.com/la-mytiliculture/>

Mytilus edulis | DORIS. (s. d.). Consulté 21 août 2024, à l'adresse <https://doris.ffessm.fr/Especies/Mytilus-edulis-Moule-commune-581>

Pépin, J. F., Benabdelmouna, A., Bierne, N., Bouget, J. F., Chabirand, J. M., Costes, L., Degremont, L., Garcia, C., Génaudeau, S., Geairon, P., Grizon, J., Lamy, J.-B., Ledu, C., Jolivet, A. L., Moine, O. L., Normand, J., Palvadeau, H., Polsenaere, P., Robert, S., ... Travers, M.-A. (2018). Mortalités de moules bleues dans les secteurs mytilicoles : Description et facteurs liés—MORBLEU. R.INT.RBE/SG2M-LGPMM. <http://archimer.ifremer.fr/doc/>.

Pépin, J.-F., Benabdelmouna, A., Degremont, L., Guesdon, S., Le Moine, O., Morga, B., Bierne, N., Travers, M.-A., Robert, S., & Soletchnik, P. (2017). Mortalités de moules bleues dans les secteurs mytilicoles charentais et vendéens : Description et facteurs liés – MORBLEU [Pdf]. Ifremer. <https://doi.org/10.13155/50288>

Prochazka, K., & Griffiths, C. L. (1991). Factors affecting the shelf life of live cultured mussels. *Journal of Shellfish Research*, 10(1), 23-28.

Qian, J., Deng, F., Shumway, S. E., Hu, M., & Wang, Y. (2024). The thick-shell mussel *Mytilus coruscus*: Ecology, physiology, and aquaculture. *Aquaculture*, 580, 740350. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.740350>

Ravindranath, M. H., & Ramalingam, K. (1972). Histochemical identification of dopa, dopamine and catechol in the phenol gland and the mode of tanning of byssus threads of *Mytilus edulis*. *Acta Histochemica*, 42(1), 87-94.

Sui, Y., Hu, M., Huang, X., Wang, Y., & Lu, W. (2015). Anti-predatory responses of the thick shell mussel *Mytilus coruscus* exposed to seawater acidification and hypoxia. *Marine Environmental Research*, 109, 159-167. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.07.008>

Thomas, Y., Mazurié, J., Bouget, J.-F., Pouvreau, S., Bacher, C., & Gohin, F. (2006a). Modélisation de la croissance de la moule *Mytilus edulis* (L.) par couplage d'un budget énergétique dynamique et de données environnementales satellitaires. Rapport d'avancement 2006 du contrat Ifremer-SRC 05/2 210 106F.

Thomas, Y., Mazurié, J., Bouget, J.-F., Pouvreau, S., Bacher, C., & Gohin, F. (2006b). Modélisation de la dynamique de population des moules (*Mytilus edulis* L.) cultivées sur bouchot en Baie du Mont Saint-Michel (France). Rapport d'avancement 2006 du contrat Ifremer-SRC 05/2 210 106F.

Annexes

Annexe 1 : Liste des êtres vivants croisés dans la chaîne de process, autrement dit des animaux cohabitant avec les moules

- bigorneaux
- gibulles
- poissons téléostéens
- décapodes - principalement crabes verts et araignées de mer
- anémones
- éponges
- balanes
- polychètes sédentaire
- polychètes errants
- huîtres
- crépidules
- algues
- crevette
- amphipodes
- bryozoaires

Annexe 2 : Cheminement de la chaîne de lavage et de conditionnement en image



Annexe 3 : Données brutes ayant servi à l'ACP (Figure 13)

La température correspond à une machine en eau (18,83°C) ou à une machine sans eau (15,94°C), ces chiffres correspondant à la moyenne des températures relevées durant ce stage. L'écrasement a été déterminé par la proportion de moules écrasées au sein des moules cassées. Les données de casse et de perte en eau ont été normalisées à partir des pourcentages obtenus pour les moules de bouchot très norrées (parcours de lavage avec toutes les machines)

Machine	Chute (cm)	Temperature (°C)	Temps	Ecrasement	Casse	Perte Eau
Degrap	200	15,94	00:00:43	0,36	1,30	0,48
Denor	120	18,83	00:02:28	0,59	-0,13	1,43
Laveuse	80	18,83	00:09:15	0,39	0,79	0,53
Deby	15	18,83	00:00:37	0,21	-1,54	-1,07
Calibreuse	100	15,94	00:00:10	0,11	0,13	-0,26
Peseur	60	15,94	00:00:02	0,18	-0,54	-1,11

Fiche résumé 		Diplôme : Master Spécialité : SHA Spécialisation / option : AQUA Enseignant référent : Hervé Le Bris	
Auteur(s) : Suzanne Pruvot Date de naissance : 27/01/2001 Nb pages : 32 Annexe(s) : 3 Année de soutenance : 2024		Organisme d'accueil : Maison Morisseau Adresse : Bâtiment 26/27 port est 35960 Le Vivier-sur-Mer Maître de stage : Nicolas Fradet	
Titre français : Stress et tenue de la moule <i>Mytilus edulis</i> lors des traitements post-récolte Titre anglais : Stress and behaviour of <i>Mytilus edulis</i> mussels during post-harvest treatments			
Résumé (1600 caractères maximum) : La Maison Morisseau est une entreprise mytilicole implantée au Vivier-sur-Mer (35) dans la baie du Mont-Saint-Michel. La pratique de l'élevage sur bouchot y est exercée depuis les années 1950. Les moules, après grossissement, sont pêchées puis purifiées, lavées et conditionnées. Ces deux dernières étapes sont réalisées grâce à un enchaînement de machines efficaces, bien qu'impactantes pour ces mollusques. Les dommages causés aux moules se traduisent par des pertes en eau accentuées entre la mise en sacs et l'arrivée chez les clients. Il peut alors arriver que des clients ne reçoivent pas le poids commandé. Pour éviter ce type de problème, la chaîne de lavage et de conditionnement a été étudiée et les machines les plus impactantes ont été recensées. Par la suite, des idées d'améliorations ont été testées et des solutions ont été proposées. Il est possible de citer l'utilisation de glace ou encore l'amortissement des chutes de moules avec de l'eau ou des protections sur les zones d'impact.			
Abstract (1600 caractères maximum) : Maison Morisseau is a mussel-farming company based in Le Vivier-sur-Mer (35) in the Bay of Mont-Saint-Michel. Mussels have been bred on bouchot since the 1950s. After growth, mussels are harvested, then purified, washed and packaged. These last two stages are carried out using a series of machines that are efficient although they do have an impact on the molluscs. Damage to the mussels results in increased water loss between bagging and arrival at the customer's premises. As a result, customers may not receive the weight they ordered. To avoid this type of problem, the washing and packaging chain was studied and the machines with the greatest impact were identified. Suggestions for improvements were then tested and solutions offered. These included the use of ice, or the absorption of mussels' falls with water, or protection of the impact areas.			
Mots-clés : mytiliculture, moules, casse, perte en eau, chaîne de traitement Key Words: mussel-farming, mussels, breakage, water loss, processing line			

