

AGROCAMPUS OUEST

CFR Angers CFR Rennes

Année universitaire : 2020-2021

Spécialité : Ingénieur Agronome

Spécialisation (et option éventuelle) :

Sciences Halieutiques et Aquicoles
(option Aquaculture)

Mémoire de fin d'études

d'ingénieur d'AGROCAMPUS OUEST (École nationale supérieure des sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage), école interne de L'institut Agro (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)

Intérêt potentiel de nouvelles techniques d'élevage ostréicole : approche zootechnique et biologique (Programme NOUSYSTOS)

Par : Virgile BASUYAU



Soutenu à Rennes le 15/09/21

Devant le jury composé de :

Président : Hervé LE BRIS

Maître de stage : Philippe GLIZE

Enseignant référent : Dominique OMBREDANE

Autres membres du jury (Nom, Qualité) :

Stéphane POUVREAU (Chercheur en
Biologie marine, Ifremer)

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST

Ce document est soumis aux conditions d'utilisation

« Paternité-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de Modification 4.0 France »



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⁾ : M. Philippe Glize, le 30/08/21
(ou de l'étudiant-entrepreneur)



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

Oui Non

Si oui, il autorise

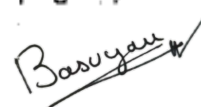
la diffusion papier du mémoire uniquement(4)

la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du

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

(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 : Virgile Basuyau, le 30/08/21



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.

Si oui, il autorise

la diffusion papier du mémoire uniquement(4)

la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du

la diffusion papier et électronique du mémoire

Date et signature de l'enseignant :

29 novembre 2021



(1) L'administration, les enseignants et les différents services de documentation d'AGROCAMPUS OUEST 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

Remerciements :

Je souhaiterais sincèrement remercier :

M. Phillipe Glize, pour son encadrement, son aide et pour m'avoir transmis une partie de son savoir, de sa rigueur et de sa passion pour la filière ostréicole.

L'équipe du SMIDAP : Mme Alice Saunier, Mme Julie Maheut, M. Erwann Le Floc'h, M. Romain Cesbron, M. Pascal Trintignac et Mme Gaëlle Rojouan ; pour tous nos échanges au bureau comme sur le terrain qui m'ont également beaucoup apporté.

Mes parents, pour leur soutien sans faille.

Les ostréiculteurs du syndicat de Pen-Bé Mesquer pour nos échanges et la mise à disposition de leurs parcs pour nos expérimentations.

Plus généralement, tous ceux qui ont permis de près ou de loin la réalisation de ce programme.

Table des matières

1. Introduction :.....	1
1.1 Origine et objectifs de l'étude :.....	1
1.2 Contexte de l'étude :.....	2
1.2.1 Production mondiale, française et régionale (Pays de la Loire).....	2
1.2.2 Historique de la production ostréicole française : de l'introduction de <i>C. gigas</i> aux dernières crises de surmortalité.....	2
2. Matériel et méthodes.....	3
2.1 Site d'expérimentation.....	3
2.2 Matériel biologique.....	4
2.3 Matériel ostréicole testé.....	5
2.3.1 Système classique (témoin).....	5
2.3.2 Système CNG (« poche casier XXL »).....	5
2.3.3 Système Nodus Factory (poche « FLOAT-OSTREA Reverse »).....	6
2.3.4 Système CGA Distribution (avec système d'accroche breveté) :.....	6
2.3.5 Système HEXCYL.....	6
2.4 Récapitulatif des lots suivis.....	7
2.5 Suivi de la croissance.....	7
2.6 Suivi de la mortalité.....	8
2.7 Calcul du rendement d'élevage.....	8
2.8 Calcul du rapport de longueur L/l :.....	9
2.9 Calcul de l'indice de forme (IMAI-SAKAI) :.....	9
2.10 Calcul du taux de chair :.....	9
2.11 Calcul de l'Indice Polydora.....	9
2.12 Traitement des données recueillis.....	10
2.13. Calcul du temps d'amortissement de l'investissement.....	10
3. Résultats préliminaires.....	10
3.1 Poche Nodus.....	11
3.1.1 Suivi croissance.....	11
3.1.2 Suivi de la mortalité.....	12
3.1.3 Rendement d'élevage.....	12
3.1.4 Rapport L/l :.....	13
3.1.5 Indice de forme IMAI-SAKAI.....	13
3.1.6 Taux de chair.....	14
3.1.7 Indice <i>Polydora</i>	14
3.1.8 Bilan de l'élevage.....	14

3.2 Poche CNG.....	15
3.2.1 Suivi de la croissance.....	15
3.2.2 Suivi de la mortalité.....	16
3.2.3 Rendement d'élevage.....	17
3.2.4 Rapport L/l.....	17
3.2.5 Indice de forme IMAĪ-SAKAĪ.....	18
3.2.6 Taux de chair / Indice d'engraissement.....	18
3.2.7 Indice <i>Polydora</i>	18
3.2.8 Bilan de l'élevage.....	19
3.3 Poche CGA en demi-élevage.....	20
3.3.1 Suivi de la croissance.....	20
3.3.2 Suivi de la mortalité.....	20
3.3.3 Calcul du rendement de demi-élevage.....	21
3.3.4 Rapport L/l.....	21
3.3.5 Indice de forme IMAĪ-SAKAĪ.....	22
3.3.8 Bilan du demi-élevage.....	22
3.4 Poche CGA en élevage.....	23
3.4.1 Suivi de la croissance.....	23
3.4.2 Suivi de la mortalité.....	23
3.4.3. Calcul du rendement d'élevage.....	24
3.4.4 Indice de forme L /l.....	24
3.4.5 Indice de forme IMAĪ-SAKAĪ.....	25
3.4.5 Taux de chair.....	25
3.4.7 Indice <i>Polydora</i>	25
3.4.8 Bilan de l'élevage.....	25
3.5 Système Hexcyl en demi-élevage (cycle de mars à fin juin).....	26
3.5.1 Suivi de la croissance.....	26
3.5.2 Suivi de la mortalité.....	27
3.5.3 Calcul du rendement de demi-élevage.....	27
3.5.4 Rapport L/l.....	28
3.5.5 Indice de forme IMAĪ-SAKAĪ.....	28
3.5.6 Bilan du demi-élevage.....	28
3.6 Système Hexcyl en élevage.....	29
3.6.1 Suivi de la croissance.....	29
3.6.2 Suivi de la mortalité.....	30
3.6.3 Calcul du rendement d'élevage.....	30

3.6.4 Rapport L/I.....	31
3.6.5 Indice de forme IMAÏ-SAKAÏ.....	31
3.6.6 Taux de chair	31
3.6.7 Indice <i>Polydora</i>	32
3.6.8 Bilan de l'élevage.....	32
3.7 Analyse Economique sur le demi-élevage.....	32
3.8 Discussion des résultats	33
4. Conclusion :	35
Bibliographie	

Liste des annexes :

Annexe I : Fonctionnement et objectifs du SMIDAP

Annexe II : Evolution mensuelle des prix de vente des huitres creuses (et moules de bouchots entre 1998 et 2015 (Ostrea.org, 2015- données INSEE)

Annexe III : Dénomination et commercialisation de *C. gigas*

Annexe IV : Caractéristiques du site d'expérimentation de Pen-Bé Mesquer

Annexe V : Biologie de l'huitre creuse

Annexe VI : Elevage de *C. gigas*

Annexe VII : Diversité des élevages de *C. gigas*

Annexe VIII : Forme (et chair) des huitres des différents lots mi-août 2021

Annexe IX : Approche statistique des différents lots suivis

Glossaire :

SMIDAP : Syndicat Mixte pour le Développement de l'Aquaculture et de la Pêche en région Pays de la Loire

SMEL : Synergie Mer Et Littoral

CNC : Comité National de la Conchyliculture

CRC : Comité Régional de la Conchyliculture

ECOSCOPA : Réseau national de suivi de l'évolution de la mortalité et de la croissance des huitres creuses

REPAMO : REseau de surveillance des PATHologies des MOLLusques

VELYGER : Réseau d'observation de la reproduction et du recrutement de l'huitre en France

NOUSYSTOS (NST) : NOUveaux SYSTèmes d'élevage Ostréicole

Liste des figures :

Figure 1 : Evolution de la production d'huitres en France en lien avec les épizooties (ostrea, 2011)....	2
Figure 2 : Traict de Pen-Bé Mesquer (Google Earth, 2021).....	3
Figure 3 : Localisation des points "Parc haut" et "Parc bas" (GQIS).....	4
Figure 4 : Anatomie de C. gigas (CNC.com, 2021)	4
Figure 5 : Installation d'une poche classique à Pen-Bé (g: Intermass,2021); d: poche classique sur parc @Virgile Basuyau)	5
Figure 6 : Epaisseur de la poche CNG (CNGemballages.com) Figure 7 : Poche CNG sur table en surélévation à Pen-Bé (@Virgile Basuyau)	6
Figure 8 : Poches Nodus sur table à Pen-Bé Mesquer (@Virgile Basuyau).....	6
Figure 9 : Poches CGA en suspension sous table à Pen-Bé (@Virgile Basuyau).....	6
Figure 10 : Poche CGA (CGAdistrib.com).....	6
Figure 11 : Poche HEXCYL (hexcylsystems.com) Figure 12 : Poches Hexcyl à Pen-Bé (@Virgile Basuyau)	7
Figure 13 : huitre moribonde (@Virgile Basuyau).....	8
Figure 14 : Mesures de la longueur, largeur et épaisseur d'une coquille (@VB).....	9
Figure 15 : Egouttage des chairs de C. gigas (@VB)	9
Figure 16 : ver Polydora (Aphotomarine.com).....	10
Figure 17 : Classification de l'infestation à Polydora (Ifremer, 2008)	10
Figure 18 : Croissance des lots en poche classique et Nodus dans les parcs bas et hauts	11
Figure 19 : Dispersion du poids final des lots Nodus et témoin en élevage dans les parcs hauts (pbb) et bas (pbb)	11
Figure 20 : Poids moyen final des lots Nodus et Témoins.....	11
Figure 21 : Mortalité des lots Témoins (CLASS) et Nodus (NOD) à pbb et pbb.....	12
Figure 22 : Taux de mortalité final des lots Nodus (NOD) et Témoin (CLASS)	12
Figure 24 : Rapport L/l des lots Témoin (CLASS) et CNG en élevage.....	13
Figure 23 : Dispersion des rapports L/l au sein des lots NODUS et Témoin en élevage à pbb et pbb..	13
Figure 25 : Dispersion de l'indice de forme au sein des lots Nodus et Témoin (CLASS) en élevage à pbb et pbb	13
Figure 26 : Indice de Forme IMAÏ-SAKAÏ des lots Nodus et Témoins.....	13
Figure 27: Dispersion du taux de chair au sein des lots Nodus et Témoin (CLASS) en élevage à pbb et pbb.....	14
Figure 28 : Taux de chair des lots Nodus et témoins à pbb et pbb	14
Figure 29 : Croissance des lots témoins (CLASS) et CNG à pbb et pbb	15
Figure 30 : Dispersion du poids moyen final des lots CNG et témoin en élevage à pbb et pbb	16
Figure 31 : Poids moyen final des lots CNG et Témoins (CLASS).....	16
Figure 32 : Mortalité des lots Témoins (CLASS) et CNG	16
Figure 33 : Taux de mortalité des lots CNG et Témoins (CLASS).....	17
Figure 34 : Dispersion du rapport L/l au sein des lots CNG et Témoins (CLASS) en élevage	17
Figure 35 : Rapport L/l des lots CNG et Témoin à pbb et pbb.....	17
Figure 36: Dispersion de l'indice de Forme IMAÏ-SAKAÏ des lots CNG et Témoins à pbb et pbb.....	18
Figure 37 : Indice de Forme IMAÏ-SAKAÏ des lots CNG et Témoins à pbb et pbb.....	18
Figure 38 : Dispersion du taux de chair au sein des lots CNG et Témoin (CLASS) en élevage	18
Figure 39 : Taux de chair des lots CNG et Témoins	18
Figure 40 : : Croissance des lots CGA et témoins durant le demi-élevage.....	20
Figure 41 : Dispersion du poids final des lots CGA et témoins en demi-élevage.....	20
Figure 42 : Poids moyen final des lots CGA et Témoin en demi-élevage	20

Figure 43 : Mortalité des lots CGA et Témoin en demi-élevage	20
Figure 44 : Mortalité (pondérée) finale des lots Témoins et CGA en demi-élevage.....	21
Figure 45 : Dispersion des rapport L/I des lots Témoins et CGA en demi-élevage	21
Figure 46 : Rapport L/I des lots Témoin (CLASS) et CGA en demi-élevage	21
Figure 48 : Indice IMAÏ-SAKAÏ des lots Témoins et CGA en demi-élevage	22
Figure 47 : Dispersion de l'indice de forme IMAÏ SAKAÏ des lots témoins et CGA en demi-élevage.....	22
Figure 49 : Croissance des lots CGA et témoins durant l'élevage	23
Figure 51 : Poids moyen final des lots CGA et Témoin en élevage	23
Figure 50 : Dispersion du poids final des lots CGA et témoins en élevage	23
Figure 52 : Mortalité des lots CGA et Témoin en élevage.....	23
Figure 53 : Mortalité (pondérée) finale des lots Témoins et CGA en élevage	24
Figure 54 : Dispersion de l'indice de forme des lots CGA et Témoin en élevage.....	24
Figure 55 : Indice de forme des lots Témoin et CGA en élevage.....	24
Figure 56 : Dispersion de l'indice de forme des lots CGA et témoin en élevage.....	25
Figure 57 : Indice de forme IMAÏ-SAKAÏ des lots Témoins et CGA en élevage.....	25
Figure 58 : Dispersion du taux de chair des lots CGA et témoins en élevage	25
Figure 59 : Taux de chair des lots CGA et Témoin en élevage.....	25
Figure 60 : Croissance des lots Hexcyl et Témoin en demi-élevage.....	26
Figure 61 : Dispersion du poids final des lots Hexcyl et témoin en demi-élevage.....	26
Figure 62 : Poids moyen final des lots Hexcyl et témoin en demi-élevage	26
Figure 63 : Mortalité cumulée des lots HEXCYL et Témoin (CLASS) en demi-élevage	27
Figure 64 : Mortalité (pondérée) finale des lots Hexcyl et Témoin en demi-élevage.....	27
Figure 65 : Dispersion du rapport L/I des lots Hexcyl et Témoin en demi-élevage.....	28
Figure 66 : Rapport L/I des lots témoin et Hexcyl en demi-élevage.....	28
Figure 67 : Dispersion de l'indice IMAÏ-SAKAÏ des lots Hexcyl et Témoin en demi-élevage	28
Figure 68 : Indice IMAÏ-SAKAÏ des lots témoin et Hexcyl en demi-élevage.....	28
Figure 69 : Croissance des lots Hexcyl et Témoin en élevage	29
Figure 70 : Dispersion du poids final des lots Hexcyl et témoin en élevage	29
Figure 71 : Poids moyens final des lots Hexcyl et témoin en élevage.....	29
Figure 72 : Taux de mortalité cumulée des lots HEXCYL et Témoin en élevage	30
Figure 73 : Taux de mortalité pondérée final des lots Hexcyl et Témoin en élevage	30
Figure 74 : Dispersion des rapport L/I des lots Hexcyl et Témoins en élevage	31
Figure 75 : Rapport L/I des lots témoins et Hexcyl en élevage	31
Figure 76 : Dispersion des indices IMAÏ-SAKAÏ pour les systèmes Hexcyl et Témoin	31
Figure 77 : Indice IMAÏ-SAKAÏ des lots témoins et Hexcyl en élevage	31
Figure 78 : Dispersion des taux de chair au sein des lots Hexcyl et Témoin en élevage.....	31
Figure 79 : Taux de chair des lots témoins et Hexcyl en élevage	31
Figure 80 : Coût des structures classique et Hexcyl à l'hectare	32

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Caractéristiques des lots suivis (T8 et T30 : mesure de la taille des huitres = maillage des poches les retenant).....	4
Tableau 2 : Récapitulatif des lots suivis.....	7
Tableau 3 : Rendement d'élevage des lots Nodus et Témoin à pbb et pbbh.....	12
Tableau 4 : Indice Polydora pour les différents lots Nodus et témoins en élevage.....	14
Tableau 5 : Bilan d'élevage des huitres en poche NODUS.....	15
Tableau 6 : Rendement d'élevage des lots CNG et Témoin à pbb et pbh.....	17
Tableau 7 : Indice Polydora des lots CNG et témoin.....	18
Tableau 8 : Bilan d'élevage des huitres en poche CNG.....	19
Tableau 9 : Rendement de demi-élevage des lots CGA et témoin.....	21
Tableau 10 : Bilan de demi-élevage des huitres en poche CGA.....	22
Tableau 11 : Rendement d'élevage des lots CGA et témoin.....	24
Tableau 12 : Indice Polydora des lots CGA et témoin.....	25
Tableau 13: Bilan d'élevage des huitres en poche CGA.....	26
Tableau 14 : Rendement de demi-élevage des lots Hexcyl et Témoin.....	27
Tableau 15 : Bilan de demi-élevage des huitres en paniers Hexcyl.....	29
Tableau 16 : Rendement d'élevage des lots Hexcyl et témoins.....	30
Tableau 17 : Indice Polydora des lots témoins et Hexcyl.....	32
Tableau 18 : Bilan d'élevage des huitres en paniers Hexcyl.....	32

Liste des Equations :

Équation 1 : Poids moyen d'un lot d'huîtres (n pesées).....	7
Équation 2 : taux de mortalité instantanée (élevage) à l'instant t.....	8
Équation 3 : Taux de mortalité cumulée (élevage) à l'instant t.....	8
Équation 4 : Taux de mortalité (demi-élevage) à l'instant t.....	8
Équation 5 : Taux de mortalité cumulée (demi-élevage) à l'instant t.....	8
Équation 6 : Rendement R :.....	8
Équation 7 : Indice IMAÏ-SAKAÏ (IM) :.....	9
Équation 8 : Taux de chair (TC) (Norme NFR : 49-056).....	9
Équation 9 : Indice Polydora (IP) (Norme NP : 045-36).....	10

1. Introduction :

1.1 Origine et objectifs de l'étude :

Depuis quelques années, la filière ostréicole voit l'émergence de nouveaux systèmes et méthodes d'élevage ostréicoles. Ces nouveaux systèmes, d'origine française ou étrangère (Australie, Italie, Espagne), visent à optimiser les rendements d'élevage par rapport au modèle de production classique : la culture en poche en surélévation sur table. Il s'agit par exemple des systèmes pendulaires australiens, ou des systèmes de poches mobiles à flotteurs sur table classique.

L'intérêt de ces systèmes serait un meilleur rendement (quantité produite), une forme plus coffrée et un plus fort taux de chair (qualité) mais également une diminution du nombre et du temps d'intervention nécessaire, afin de réduire coûts et pénibilité du travail. Des recherches à l'échelle mondiale visent à leur conception et à leur testage.

Des études préliminaires du SMIDAP (Annexe I) sur les phases d'élevage (grossissement) et de demi-élevage (prégrossissement) ont montré l'intérêt potentiel de plusieurs types de structures : la poche XXL du fabricant CNG avec un rendement supérieur de 13% (Glize, 2020), les paniers australiens Hexcyl avec un rendement supérieur de 27% en prégrossissement et de 16% en grossissement (Glize, 2004), les poches à flotteurs type NODUS avec un rendement équivalent au système classique mais des taux de chairs supérieur de 30 % (Glize, 2012), l'effet brassage sans flotteur a également été étudié et a montré des rendements supérieurs de 24% au système classique (Glize, 2007) . De nouveaux tests sont donc effectués pour confirmer, infirmer ou compléter la connaissance des performances de ces nouveaux systèmes d'élevage. Ces tests ne se limitent pas au SMIDAP en France et sont menés à l'échelle mondiale par les principaux pays producteurs avec des résultats équivalents. Ainsi les paniers australiens présentent un intérêt par rapport au système classique pour des huitres triploïdes selon des tests du SMEL (Blin, 2018).

Ces résultats encourageants expliquent la sollicitation du SMIDAP par le Syndicat conchylicole du trait de Pen-Bé Mesquer pour vérifier l'intérêt potentiel de plusieurs nouveaux systèmes, parfois selon un nouveau protocole d'élevage en fonction des conclusions des études précédentes. Le SMIDAP a donc proposé, dans le cadre d'un Appel à Projet de la Région Pays de la Loire, le programme NOUSYSTOS. Il a été retenu et financé par le Conseil Régional des Pays de la Loire. Ce programme évalue l'intérêt potentiel de ces nouvelles structures par une approche zootechnique et économique ; il concernera 4 nouveaux systèmes en élevage et 2 nouveaux systèmes en demi-élevage (poche XXL, poche mobile à flotteur (sous ou sur table) et casier suspendu). Le choix de ces systèmes s'est fait en collaboration avec les professionnels ostréicoles. Chaque structure ne sera testée qu'en parallèle d'un témoin, le système classique d'élevage en poche sur table surélevé.

Le programme NOUSYSTOS s'articule autour de 4 axes principaux :

- Testage de nouveaux systèmes et outils d'élevage ostréicole (pendulaire en long line, poche casier, poche munie de flotteur)
- Détermination et quantification des performances d'élevage des populations d'huitres de ces structures : intégration des facteurs biologiques (croissance et mortalité) et

qualitatifs (taux de chair, rapport Longueur/largeur, indice IMAÏ-SAKAÏ, taux de chair et indice d'infestation *Polydora (Bosc, 1802)*)

- Prise en considération des différentes phases d'élevage (prégrossissement et grossissement) en fonction des matériels retenus
- Impact des conditions expérimentales (effet bathymétrique sur 3 structures testées par rapport au témoin)

L'étude sera conduite de mars à octobre 2021, jusqu'à l'obtention de la taille marchande pour les huîtres en élevage. Un point de mi-élevage (correspondant à la fin du stage) sera effectué : le rendement final sera calculé ainsi que des indicateurs de qualité des huîtres (forme, chair, taux d'infestation). Une étude de la rentabilité économique d'un système sera faite pour les lots ayant terminé leur cycle en août 2021.

1.2 Contexte de l'étude :

1.2.1 Production mondiale, française et régionale (Pays de la Loire)

La France est le 4^{ème} pays producteur d'huître creuse du Pacifique *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) après la Chine, la Corée du Sud et le Japon et représente 90% de la production européenne (agro-media, 2014). La production française est stabilisée depuis 2016 autour de 80 000 tonnes pour une valeur de plus de 400 millions d'€ (MAA, 2019 ; FAO, 2016). Cette production, de 92 225 T en 2018 (Agreste, MAA, 2019), est d'intérêt économique national et constitue un des symboles de la gastronomie française. L'ostréiculture est un secteur de poids en France avec plus de 2000 entreprises produisant *C. gigas* (Agreste, 2018) contre près de 3000 en 2014 : 17 000 emplois dont quasiment 8000 à temps plein (agro-media, 2014). Le nombre d'entreprises ostréicoles diminue donc en France (Ostrea, 2018).

La production ostréicole de la région Pays de la Loire (Loire-Atlantique et Vendée) se fait sur 230 exploitations soit 7% des surfaces ostréicoles françaises (DRAAF, 2015) avec 7000 T commercialisées par an (Ostrae, 2020).

1.2.2 Historique de la production ostréicole française : de l'introduction de *C. gigas* aux dernières crises de surmortalité

L'huître creuse du Pacifique (*Crassostrea gigas*) est introduite officieusement en France en 1966 par des ostréiculteurs en quête de diversification (Ostrea, 2011), alors qu'à l'époque, l'huître creuse élevée sur nos côtes est la portugaise *Crassostrea angulata* (Lamarck, 1819), très proche de l'huître creuse du Pacifique (Fig. 4) avec qui elle est interféconde (Huvet, 1997) et elle-même introduite suite à la quasi disparition de l'huître plate *Ostrea edulis*, seule espèce présente naturellement en France (Fig. 1). Alors qu'une maladie des branchies touche l'huître portugaise, décimant 90% du cheptel en quelques mois et se poursuivant jusqu'en 1973 jusqu'à sa disparition complète, *C. gigas* résiste et en réponse à cette crise, des

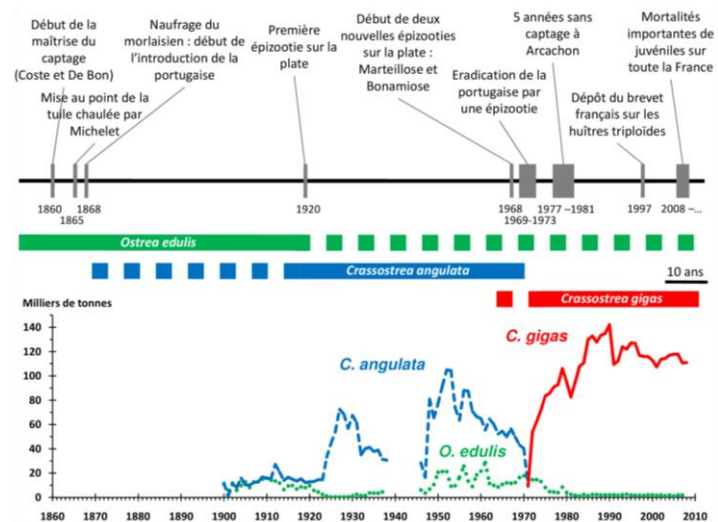


Figure 1 : Evolution de la production d'huîtres en France en lien avec les épizooties (ostrea, 2011)

individus sont importés depuis le Canada pour un repeuplement des côtes françaises (et particulièrement le réapprovisionnement en larves et naissains du bassin de captage historique d'Arcachon) (Comps Michel, 1970).

Depuis 2008, la production se heurte à des épisodes de surmortalité des juvéniles (« naissains »). Ces épisodes de mortalité ont justifié la mise en place de réseaux nationaux de surveillance (comme les réseaux ECOSCOPA, REPAMO, VELYGER...) composés de nombreux acteurs.

Cette baisse des rendements d'élevage a entraîné une baisse de la production de moitié en 10 ans. Les coûts liés à la dégradation des ressources conchylicoles ont représenté 25 millions d'€ sur la période 2014-2016 (DSF MEMN, 2018). La baisse des rendements et donc de la rémunération des ostréiculteurs, associé à un travail physique difficile et très prenant, rend ce métier de moins en moins attractif. La filière ostréicole s'inquiète quant au devenir de la profession et de la production en cas de désintéressement et déprise de la part des nouvelles générations, producteurs comme consommateurs avec une baisse des ventes de 15 à 35% (FranceAgriMer, 2013). Près d'un tiers des ouvriers ostréicoles quitte le milieu après un premier travail (Ouest-France, 2017) : les chefs d'entreprise cherchent de la main d'œuvre pour le travail sur parc. Face à ces constats, le développement d'une nouvelle zootechnie pourrait constituer une partie de la solution à cette déprise ostréicole par l'augmentation des rendements d'élevage et la diminution de la pénibilité au travail.

La « pénurie » d'huitre creuse sur les marchés, liée aux surmortalités de 2008, a entraîné une augmentation des prix au kilo des calibres moyens (Annexe II). Ce prix, au niveau régional est d'environ 3€/kg pour du calibre 3 vendu en gros contre environ 6€/kg en 2021 (FranceAgriMer, 2021) en vente au détail (Glize, com pers). Ce prix varie en fonction du calibre et du taux de chair des huitres (Annexe III).

Aujourd'hui *C. gigas* représente près de 99% de la production ostréicole française et environ 57% de la production conchylicole nationale (FAO, 2019).

Le programme NOUSYSTOS vise donc à identifier les systèmes de culture les plus rentables pour les professionnels : assurant les meilleures performances d'élevage en limitant le nombre d'intervention sur parc nécessaire pendant le cycle d'élevage. **Une des conditions de ces tests et la non comparaison entre les nouvelles structures étudiées.** Chaque structure ne sera donc comparée qu'à un témoin (cependant commun) : le système classique en poche fixe sur table en surélévation.

2. Matériel et méthodes

2.1 Site d'expérimentation

Le programme NOUSYSTOS, émane d'une demande du syndicat des parqueurs de Pen-Bé Mesquer : le site d'expérimentation se situe au sein du secteur conchylicole du traict de Pen Bé- Mesquer (Fig. 2) séparant les communes de Pen-Bé (à la pointe nord) et de Mesquer (au sud) près d'Assérac.

La connaissance des caractéristiques du site de suivi permet d'anticiper des périodes « à risque », de comprendre les



Figure 2 : Traict de Pen-Bé Mesquer (Google Earth, 2021)



Figure 3 : Localisation des points "Parc haut" et "Parc bas" (GQIS)

phénomènes de mortalité (différent pour chaque zone de production) et de lier les résultats du programme NST à un contexte local avant d'étendre toute conclusion à d'autres zones de production française (Annexe IV).

Au sein du traict, les différentes poches testées sont placées au niveau d'un parc bas (**pbb**) et/ou d'un parc haut (**pbb**) (Fig. 3). Ces deux points de suivi sont situés à une distance de 220m environ. Leurs degrés de découvrément sont de 65 pour pbb et 50 pour pbh.

2.2 Matériel biologique

C. gigas est un bivalve sessile (à vie fixée) et suspensivore (qui se nourrit par filtration des particules en suspension dans l'eau) (De Crignis, 2007) (Annexe V). Sa coquille calcaire est composée de deux valves (une concave et une plate) protégeant ses organes (Fig. 4). L'huitre creuse réalise ses fonctions biologiques lorsqu'elle est en eau. Lors de l'exondation, celle-ci conserve de l'eau entre ses valves en se fermant et respire pour alimenter son métabolisme basal faiblement actif lorsqu'émergée.

Pour ne s'intéresser qu'à l'effet « conditions d'élevage », les huitres de deux classes d'âge différentes (Tab. 1) mises sur parc proviennent chacune d'un même lot d'écloserie (homogène). Ces huitres sont des triploïdes, choix motivé par plusieurs raisons : pouvoir faire un cycle d'élevage sur 1 an avec une croissance plus importante qu'avec des diploïdes (Glize, 2018) permettant la divergence des lots selon le système de culture, et l'adaptation au contexte local de production (98% des huitres de Pen-Bé sont d'écloserie dont 92% de triploïdes (Glize, 2015)). Les mêmes avantages expliquent le succès des triploïdes parmi les ostréiculteurs, qui profitent de leur stérilité pour pouvoir les commercialiser durant l'été, période où les huitres diploïdes sont en maturation ou ont pondu (très maigres) et sont très fragiles.

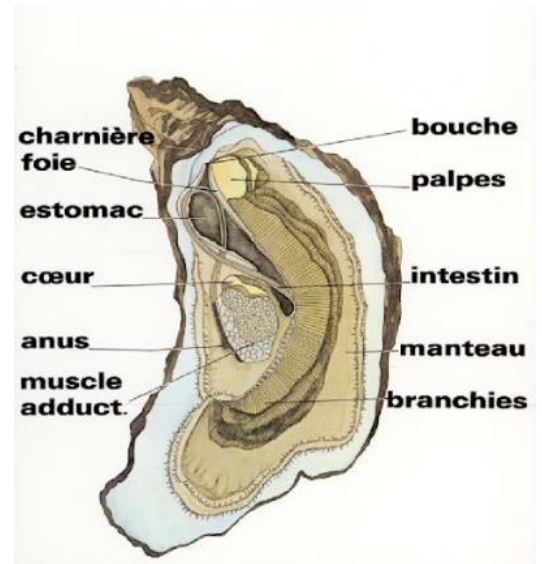


Figure 4 : Anatomie de *C. gigas* (CNC.com, 2021)

Tableau 1 : Caractéristiques des lots suivis (T8 et T30 : mesure de la taille des huitres = maillage des poches les retenant)

Classe d'âge	Age	Qté au kilo	Poids moyen	Qté fournie	Nombre de poches
Naissain T8	6 mois	2005 u/kg	0.5 g	5 kg	12 (4 triplicatas)
Demi-élevage T30	18 mois	30-39 u/kg	28.83 g	173 kg	24 (8 triplicatas)

Pour chaque structure testée, trois poches/casiers sont placées en mer : 1 poche « suivie » (sur laquelle un suivi mortalité et croissance est fait 1 à 2 fois par mois) et 2 poches non suivies (traitées en fin d'expérimentation) constituent un triplicata. Les huitres des poches suivies sont souvent manipulées par rapport aux poches non suivies : leur croissance ne sera pas la même cependant cette manipulation n'implique pas de biais sur le taux de mortalité qui sera calculé en fin de suivi sur les 3 poches (Glize, com pers). Le déroulement classique d'un cycle d'élevage de l'huitre creuse est explicité en Annexe (Annexe VI).

2.3 Matériel ostréicole testé

La diversité des structures et systèmes d'élevage est très importante, quelques types d'élevage sont détaillés en annexe (Annexe VII) Les différents systèmes testés différencieront par : le volume de la poche, la densité d'élevage et la fixité ou mobilité de la structure. Les parcs ostréicoles du programme NOUSYSTOS sont en milieu intertidal comme la majorité de la production française sur la côte Atlantique et Manche, alors qu'une autre zone de production atypique existe en subtidal en méditerranée (étang de Thau). Ce second mode d'élevage présenterait de meilleures rendements (AquaInfo, 2001).

2.3.1 Système classique (témoin)

Le système d'élevage témoin est la poche « classique » sur table en surélévation. Il s'agit d'une poche de 750g renforcée (sécurité supplémentaire pour l'expérimentation). Cette poche est plate (limitant les possibilités de gonflement avec la croissance des huitres) et maintenue par ses cotés à la table via des élastiques et des crochets ; elle est donc fixe (Fig. 5). Le naissain est placé dans des poches de maille de 6 mm alors que les huitres de demi-élevage sont placées dans une poche de maille 14 mm.



Figure 5 : Installation d'une poche classique à Pen-Bé (g: Intermass,2021); d: poche classique sur parc @Virgile Basuyau)

2.3.2 Système CNG (« poche casier XXL »)

Le système d'élevage CNG se fait également sur table en surélévation. La poche casier XXL dispose par rapport au témoin d'une plus grande épaisseur (20cm) (Fig. 6) lui conférant un plus gros volume. Ce volume devient de plus en plus un avantage au fil de la croissance (Fig. 7) car les huitres ont plus de place pour pousser. Cependant, en début d'élevage alors que le volume des huitres dans la poche est encore faible, ce vide pourrait induire un brassage trop important des huitres (et leur concentration dans une partie de la poche), en mouvement dans cette poche pourtant fixe, et diminuer ainsi les performances de croissance (Glize, com pers).



Figure 6 : Epaisseur de la poche CNG (CNGemballages.com) Figure 7 : Poche CNG sur table en surélévation à Pen-Bé (@Virgile Basuyau)

2.3.3 Système Nodus Factory (poche « FLOAT-OSTREA Reverse »).

La poche « Nodus » est, tout comme la poche CNG, de gros volume, la différence tient à sa mobilité. En effet, la poche n'est fixée à la table que par un côté alors que de l'autre, un flotteur plastique latéral attaché aux mailles de la poche permet un mouvement de la poche dans l'eau (Fig. 8). Celle-ci est à la verticale à marée haute et se repositionne couchée sur la table à marée basse ce qui permet un étalement (et un brassage) des huitres dans la poche lors de l'exondation. Des flotteurs amovibles de différents volumes sont proposés pour s'adapter aux conditions des zones de production.



Figure 8 : Poches Nodus sur table à Pen-Bé Mesquer (@Virgile Basuyau)

2.3.4 Système CGA Distribution (avec système d'accroche breveté) :

Le système CGA se compose d'une poche casier munie d'un flotteur latéral et fixée par un côté (Fig. 10), comme le système Nodus à la différence que, accrochée sous une table de 1 m (plus haute que les tables classiques), la poche est à la verticale à marée basse (elle pend sous la table) puis à l'horizontale à marée haute (bloquée par-dessous la table).



Figure 10 : Poche CGA (CGAdistrib.com) Figure 9 : Poches CGA en suspension sous table à Pen-Bé (@Virgile Basuyau)

2.3.5 Système HEXCYL

A la différence des autres systèmes testés, les casiers HEXCYL (25L) sont fixés via un système de clip sur un filin métallique recouvert de gaine plastique tendu entre des pieux verticaux. On

parle d'élevage pendulaire, en suspension, très répandu en Australie. La poche est en mouvement : elle oscille constamment du fait des courants de marée et de houle ; ce qui permet un brassage constant, une homogénéisation de la croissance et une optimisation de la forme. Une étude menée en 2020 sur ses systèmes a montré qu'une orientation des casiers dans l'axe du courant de marée (préconisé par le fabricant) entraîne un regroupement des huitres au fond du casier et donc une hétérogénéité des croissance (Glize, 2020). Dans le cadre des test NST, les casiers sont donc placés perpendiculairement au courant de marée. La quantité d'huitre de demi-élevage dans ces casiers sera de 80 u/poche (quantité maximale préconisée par le fabricant *HexcylSystems*) contre 180 pour le reste du matériel testé. Ce protocole s'appuie sur les tests effectués sur les paniers australiens BST (Glize, 2004).



Figure 11 : Poche HEXCYL (hexcylsystems.com)



Figure 12 : Poches Hexcyl à Pen-Bé (@Virgile Basuyau)

2.4 Récapitulatif des lots suivis

L'étude NST se fera sur 36 poches (12 triplicatas), pour 4 structures testées (plus le témoin), et 2 classes d'âge différentes. Les systèmes CNG, Nodus et témoins sont placés à la fois dans les hauts et les bas, permettant une étude de l'effet bathymétrique (Tab. 2). Les différents paramètres mesurés sont détaillés ci-dessous (2.5-2.11).

Tableau 2 : Récapitulatif des lots suivis

Zone	Age	Demi élevage T30				Naissain T8	
Pen-Bé Haut (pbh)	Structure	Témoin	CNG	Nodus	CGA	Témoin	CGA
	Individus par poche	180	180	180	180	800	800
	Nombre de poches	3	3	3	3	3	3
Pen-Bé Bas (pbb)	Structure	Témoin	CNG	Nodus	HEXCYL	Témoin	HEXCYL
	Individus par poche	180	180	180	80	800	800
	Nombre de poches	3	3	3	3	3	3

2.5 Suivi de la croissance

Un suivi du poids moyen (pm) des huitres est effectué mensuellement sur la poche suivie de chaque triplicata à l'aide d'une balance de précision (d= 1g). 3 ou 4 pesées de 10, 20 ou 30 individus sont effectuées sur chaque système lors d'une marée. Des groupes d'huitres sont pesées pour avoir assez de poids sur la balance pour pouvoir négliger l'incertitude de mesure liée aux coups de vent sur parc affectant les mesures de poids. Une pesée individuelle avec une balance de précision est impossible sur les parcs à cause de ce vent.

Équation 1 : Poids moyen d'un lot d'huitres (n pesées)

$$pm = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\text{poids total de l'échantillon (i)}}{\text{Nombre d'individus échantillonnés}} \right)}{n}$$

Effectuer plusieurs pesées permet d'avoir un intervalle de confiance lié au pm et ainsi d'avoir des informations sur l'homogénéité de la croissance du lot.

2.6 Suivi de la mortalité

Un suivi de la mortalité est effectué mensuellement (une marée de vives-eaux sur deux) de mars à mai puis bimensuellement (à chaque marée) durant les périodes de mortalité connues de juin à septembre. A partir de la mortalité instantanée (mesurée sur un pas de temps mensuel/bimensuel), on calcule une mortalité cumulée (cumule des mortalités mesurées au cours du cycle).

Pour les huîtres en élevage, la poche suivie est entièrement contrôlée, les huîtres mortes sont retirées.

Équation 2 : taux de mortalité instantanée (élevage) à l'instant t

$$\text{Minst}(t) = \frac{\text{Nombre d'huîtres mortes (t)}}{\text{Effectif initial dans la poche}} * 100$$

Équation 3 : Taux de mortalité cumulée (élevage) à l'instant t

$$\text{Mcum}(t) = \sum_{k=1}^t \text{Minst}(k)$$

Pour les huîtres en demi-élevage, le taux de mortalité est défini en comptant 3 fois le nombre d'huîtres mortes sur un échantillon de 50 individus. Seul un faible échantillon des huîtres est échantillonné (moins d'1/4 de la poche) et l'essentiel des huîtres mortes restent donc dans la poche. Cela entraîne une correction à prévoir lors du calcul du taux de mortalité cumulée.

Équation 4 : Taux de mortalité (demi-élevage) à l'instant t

$$\text{Minst}(t) = \frac{\text{Nbre d'huîtres mortes (t)}}{\text{Nbre d'huîtres mortes (t) + Nbre d'huîtres vivantes(t)}} * 100$$

Équation 5 : Taux de mortalité cumulée (demi-élevage) à l'instant t

$$\text{Mcum}(t) = \text{Mcum}(t-1) + \text{Minst}(t) * (100 - \text{Mcum}(t-1))$$

Ces taux de mortalité s'expriment en pourcentage.

Une huître vivante a ses deux valves hermétiquement fermées. Les mortes ont leurs valves ouvertes ou entre-ouvertes : on peut trouver des huîtres « moribondes » fraîchement mortes (Fig. 13) (il restera de la chair dedans) ou non (absence de chair entre les valves ou valves séparées).

En fin d'étude, les taux de mortalité cumulée finaux pour chaque système sera une moyenne des 3 poches de chaque triplicata.



Figure 13 : huître moribonde (@Virgile Basuyau)

2.7 Calcul du rendement d'élevage

Le calcul du rendement (**R**) représente la performance de l'élevage et prend un compte la croissance et la mortalité des lots suivis :

Équation 6 : Rendement R :

$$R = \frac{(\text{Effectif final}) * pm(\text{final})}{(\text{Effectif initial}) * pm(\text{initial})}$$

Avec : $\text{Effectif final} = (\text{Effectif initial}) * (1 - \text{Mcum}(\text{finale}))$

Pour les lots ayant terminé leur cycle d'élevage, un rendement économique pourra être calculé à partir du rendement d'élevage (Valeur de la production) et des coûts de production.

2.8 Calcul du rapport de longueur L/l :

Le rapport de longueur **L/l** se calcule via une mesure de la moyenne du rapport L/l de 20 huitres d'un lot.

Avec : **L** la longueur, **l** la largeur de l'huitre

Une huitre est considérée « longue » pour un rapport L/l supérieur à 2 (critères SMIDAP).

2.9 Calcul de l'indice de forme (IMAÏ-SAKAÏ) :

L'indice d'IMAÏ-SAKAÏ définit la forme « standard » de *C. gigas*. Une mesure de la longueur, largeur et épaisseur (Fig. 14) de 20 huitres sur les poches suivies de chaque triplicata permettra le calcul de l'indice IMAÏ-SAKAÏ.



Figure 14 : Mesures de la longueur, largeur et épaisseur d'une coquille (@VB)

Équation 7 : Indice IMAÏ-SAKAÏ (IM) :

$$\mathbf{IM} = \frac{2e}{L + l} * 100$$

Avec : **L** la longueur, **l** la largeur et **e** l'épaisseur de l'huitre

Le standard pour *C. gigas* est un indice de 40. L'huitre sera ronde et « coffrée » pour $IM > 40$. Elle sera considérée comme longue et plate si $IM < 40$.

2.10 Calcul du taux de chair :

Le taux de chair (TC) est un indicateur de l'engraissement de l'huitre, il correspond au poids de la chair de l'huitre (égouttée pendant 10 min entre deux doubles feuilles de sopalin) pesée avec une balance de précision ($d=0.1g$). On calcule un TC moyen par système en prenant 20 individus (Fig. 15).

Équation 8 : Taux de chair (TC) (Norme NFR : 49-056)

$$\mathbf{TC \text{ (en \%)} = \frac{\text{Poids de la chair égouttée}}{\text{Poids total de l'huitre}} * 100$$



Figure 15 : Egouttage des chairs de *C. gigas* (@VB)

2.11 Calcul de l'Indice Polydora

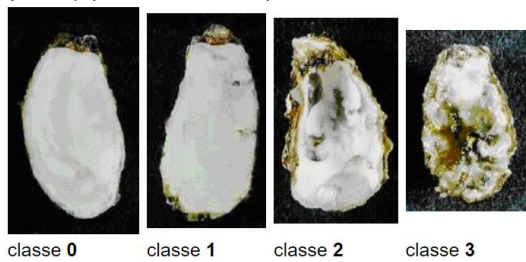
L'Indice Polydora (IP) permet l'évaluation de l'infestation des valves d'huîtres par le ver parasite *Polydora* (Bosc, 1802). Les vers du genre *Polydora* (Fig. 16) sont des annélides polychètes creusant des galeries et des chambres noirâtres dans la coquille (interne) de *C. gigas*.



Figure 16 : ver *Polydora* (Aphotomarine.com)

Outre l'effet négatif sur l'aspect interne de l'huitre, ces chambres constituent des voies d'entrées pour la vase qui souille l'huitre et diminue la qualité d'une production. Cette infestation peut finir par affaiblir l'huitre, diminuant ses capacités de croissance et augmentant les risques de mortalité.

Sur le même lot de 20 huitres (sur lesquels le taux de chair est calculé), chaque huitre sera associée à une valeur, entre 0 et 4, selon son taux d'infestation (Fig. 17).



classe 0 (pas de ver actif) : pas de galerie ou de chambre (ou bien recalciifiée).
 classe 1 (présence de ver mais sans impact commercial) : petites galeries seulement ; pas de chambre.
 classe 2 : pas plus de 2 chambres ET surface infestée < 10% de la coquille.
 classe 3 (commerciallement inacceptable) : plus de 2 chambres OU surface infestée comprise entre 10 et 25%.
 classe 4 (totalement infestée) : surface infestée > 25%

Figure 17 : Classification de l'infestation à *Polydora* classes 0 à 3 (Ifremer, 2008)

Équation 9 : Indice *Polydora* (IP) (Norme NP : 045-36)

$$IP = (0 \times p_0) + (0.25 \times p_1) + (0,5 \times p_2) + (0.75 \times p_3) + (1 \times p_4)$$

Avec p_0 à p_4 les pourcentages d'huitres pour chaque classe. Plus IP est proche de 0 moins l'infestation est forte, et plus il s'approche de 1 plus celle-ci est totale (Ifremer, 2008).

2.12 Traitement des données recueillies

Un traitement statistique sous R (*R Core Team, 2012*) sera fait sur les données obtenues qui permettront de juger de la significativité des différences de poids, longueur, forme et taux de chair entre systèmes d'élevage. La normalité des données est testée via un test de Shapiro, en l'absence de distribution normale, la comparaison des moyennes (sur ces variables quantitatives et qualitatives) sera faite via un test non paramétrique de Wilcoxon.

2.13. Calcul du temps d'amortissement de l'investissement

Pour le demi-élevage, la production n'a pas de valeur commerciale mais le temps d'amortissement de la structure peut être calculé. La rentabilité économique est dépendante de : la valeur de la production (quantitatif et qualitatif), des coûts de production (achat, installation, entretien des structures d'élevage) et de la réglementation imposant des limites à la densification de l'élevage.

3. Résultats préliminaires

Le programme NOUSYSTOS s'étend sur un cycle d'élevage se terminant en octobre/novembre 2021, or les données utilisées dans cette partie s'étendent de mars à août seulement. Les résultats présentés ci-dessous sont donc des résultats préliminaires et devront être confirmés ou infirmés par les dernières mesures d'octobre 2021. Des photos des lots en fin d'élevage sont consultables en Annexe (Annexe VIII).

3.1 Poche Nodus

3.1.1 Suivi croissance

Les performances d'élevage des poches nodus sont étudiées dans le parc haut et le parc bas du site de Pen-Bé Mesquer, en comparaison avec le témoin : 4 triplicatas sont ici comparés.

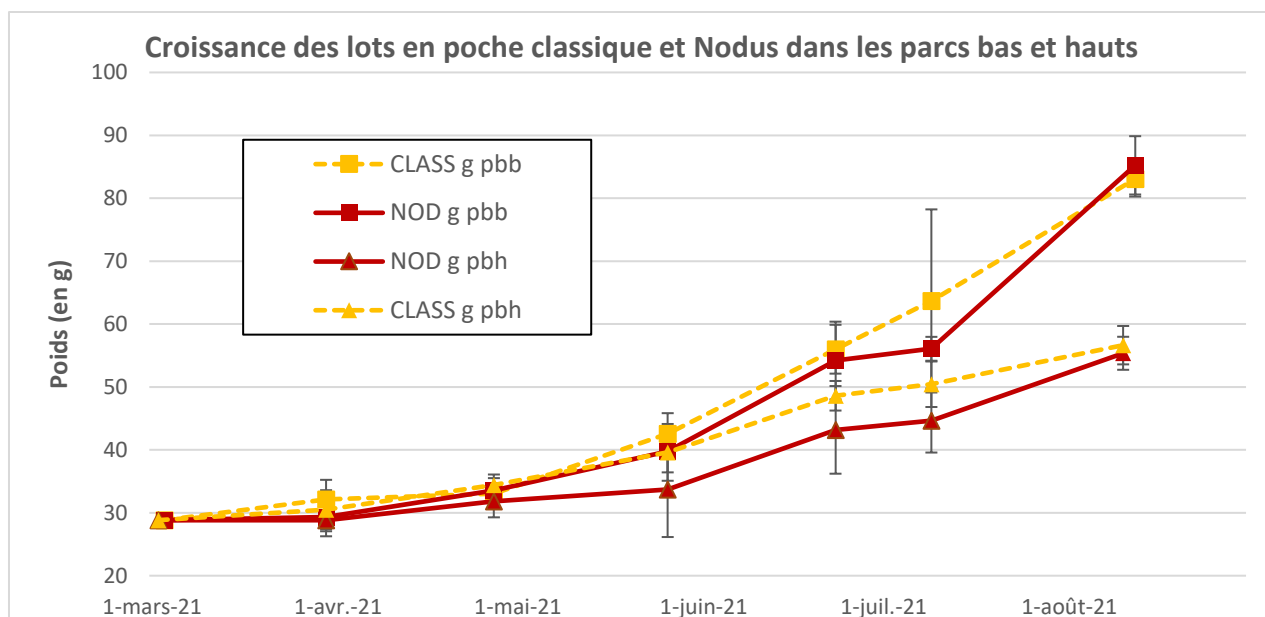


Figure 18 : Croissance des lots en poche classique et Nodus dans les parcs bas et hauts

Jusqu'à juillet, il n'y a pas de différence significative de poids entre les lots, cependant une tendance est visible : la croissance semble meilleure dans le parc bas par rapport au parc haut. Cette tendance se retrouve en fin de suivi avec les poids moyens des lots du parc bas significativement plus élevés que ceux du parc haut (Fig.18).

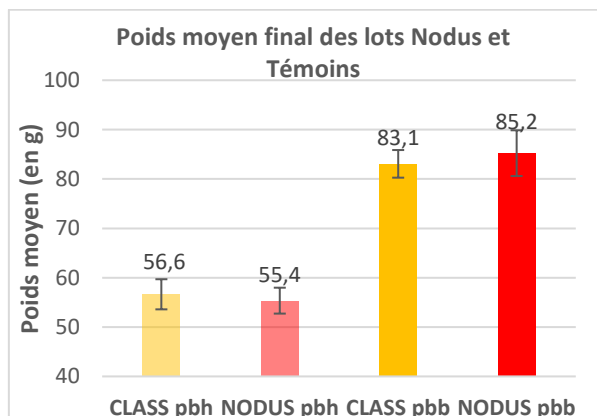


Figure 20 : Poids moyen final des lots Nodus et Témoins

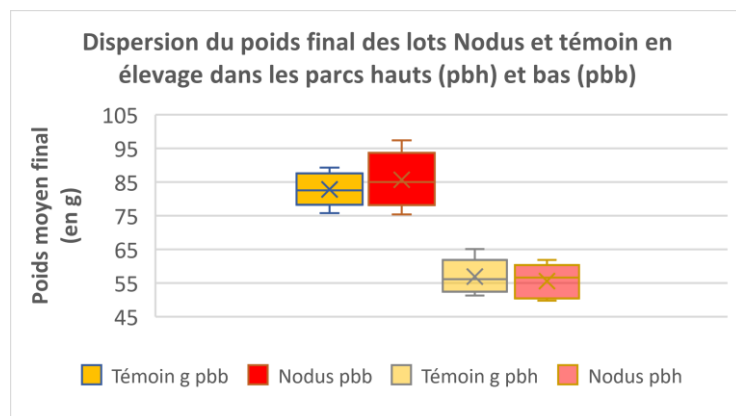


Figure 19 : Dispersion du poids final des lots Nodus et témoin en élevage dans les parcs hauts (pbh) et bas (pbb)

Dans les parcs hauts, le poids final des huitres en poche Nodus n'est pas significativement supérieur au témoin (p value = 0.4564), de même dans les parcs bas (p value= 0.4779). Donc pas d'effet poche. Il y a un effet bathymétrique : le poids des huitres du lot Nodus placé dans les bas est significativement supérieur à celui placé dans les hauts (p -value = 3.882e-05) de même pour le témoin (p -value < 0.001) (Fig.20). Le lot Nodus est plus hétérogène que le témoin dans les bas, mais plus homogène que le témoin dans les hauts (Fig.19)

3.1.2 Suivi de la mortalité

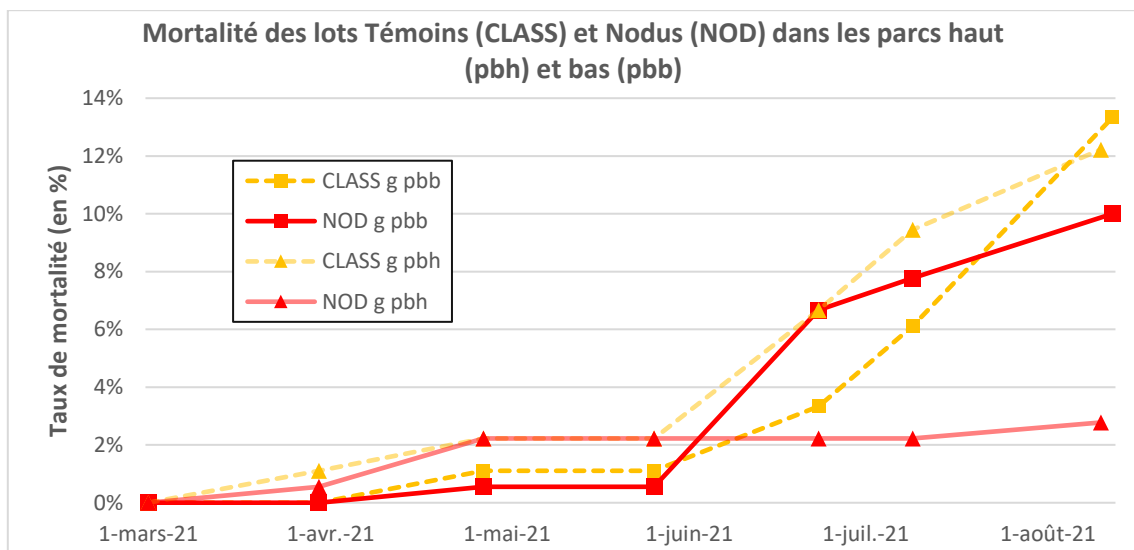


Figure 21 : Mortalité des lots Témoins (CLASS) et Nodus (NOD) à pbb et pbh

Le taux de mortalité est quasi nul pour tous les lots jusqu'à début juin 2021. La période débute donc en juin et n'est pas terminée en août (mois de la dernière mesure) (Fig. 21).

Le taux de mortalité final est calculé en moyennant les taux de survie des poches du triplicatas :

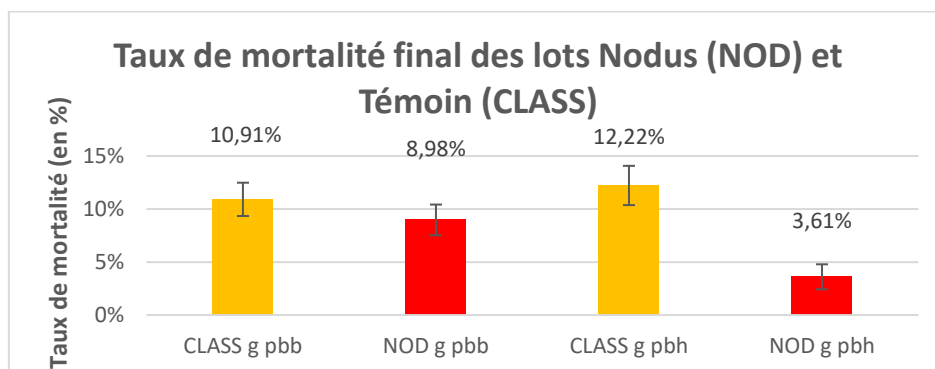


Figure 22 : Taux de mortalité final des lots Nodus (NOD) et Témoin (CLASS)

Il n'y a pas d'effet bathymétrique sur les poches témoins : la mortalité est comparable dans les hauts et les bas. Il n'y a pas de différence de mortalité entre la poche Nodus et témoin dans les bas (p value = 0.734). On observe par contre un effet bathymétrique pour la poche Nodus avec une mortalité 2 x plus forte dans les parcs bas que dans les hauts. Dans les parcs hauts, la poche Nodus a une mortalité beaucoup plus faible que la poche témoin (3.61% contre 12.22%) (p value = 0.013) mais cet effet poche sur la mortalité ne se retrouve pas dans les bas (p value = 0.649) (Fig. 22).

3.1.3 Rendement d'élevage

Tableau 3 : Rendement d'élevage des lots Nodus et Témoin à pbb et pbh

Poche	CLASS pbb	NODUS pbb	CLASS pbh	NODUS pbh
Rendement	2,50 (+/- 0.08)	2,66 (+/-0.14)	1,72 (+/-0.09)	1,87 (+/-0.09)

L'élevage dans les bas à un meilleur rendement que dans les hauts (32% supérieur pour le témoin et 30% pour Nodus) : il y a bien un effet bathymétrique sur les rendements d'élevage.

Il n'y a pas de différence significative de rendement d'élevage entre les systèmes classique et Nodus (Tab.3).

3.1.4 Rapport L/l :

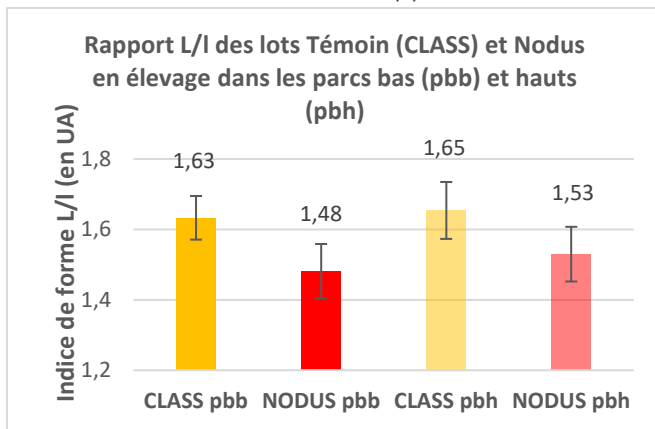


Figure 24 : Rapport L/l des lots Témoin (CLASS) et CNG en élevage

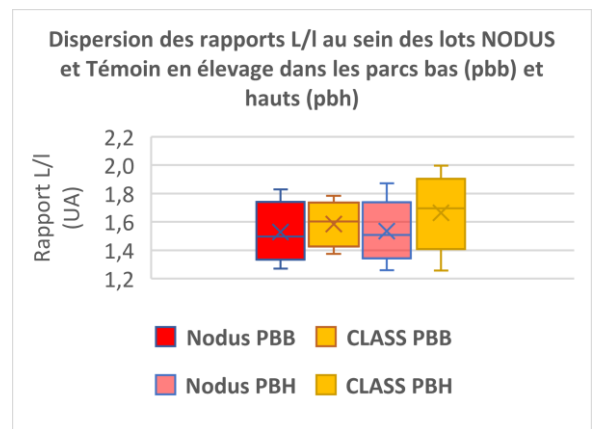


Figure 23 : Dispersion des rapports L/l au sein des lots NODUS et Témoin en élevage à pbb et pbh

Effet bathymétrique : Il n'y a pas de différence significative entre les rapports L/l des parcs hauts et bas pour les poches Nodus (p -value = 0.9467) mais le lot témoin placé en parc haut à un rapport L/l supérieur au témoin du bas (p -value = 0.02108) (Fig. 24). Effet poche : Il n'y a pas de différence significative des rapports L/l des poches Nodus par rapport au témoin dans le parc bas (p -value = 0.2315). Dans le parc haut par contre, l'indice de forme L/l est significativement supérieur chez le témoin (p -value = 0.002) (Fig. 24). La non homogénéité des échantillon Nodus explique la non concordance entre recouvrement des IC et p value (calcul à l'aide d'un test non paramétrique). Les poches Nodus sont autant homogènes dans les hauts et les bas, il n'y a pas d'effet bathymétrique sur la dispersion de la longueur des lots Nodus. La poche témoin est plus homogène dans les hauts que les bas (Fig.23).

3.1.5 Indice de forme IMAÏ-SAKAÏ

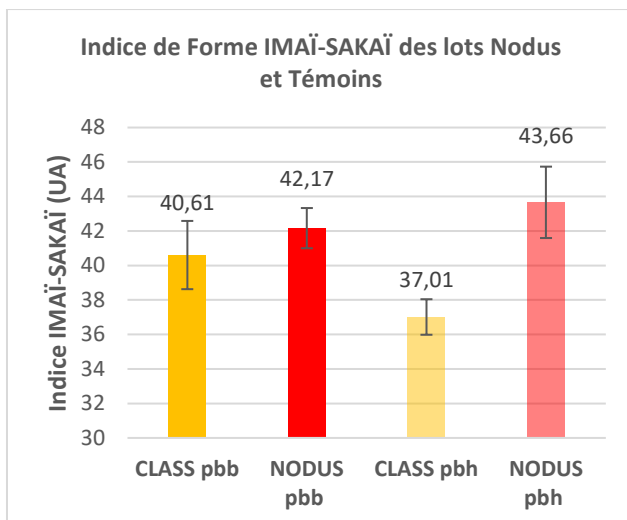


Figure 26 : Indice de Forme IMAÏ-SAKAÏ des lots Nodus et Témoins

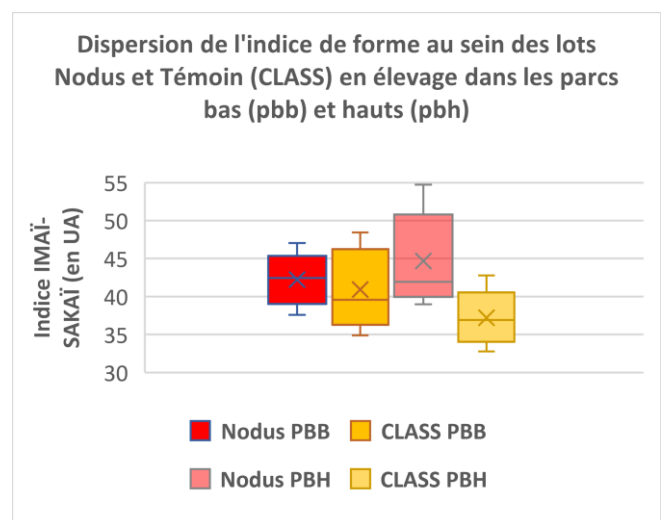


Figure 25 : Dispersion de l'indice de forme au sein des lots Nodus et Témoin (CLASS) en élevage à pbb et pbh

Les témoins ont un indice de forme supérieur dans les parcs bas (p -value = 0.002), mais les indices de forme des lots Nodus ne sont pas différents selon leur localisation (p -value = 0.414). Dans le parc haut : L'indice de forme IMAÏ-SAKAÏ du lot Nodus est significativement supérieur à celui du témoin (p -value = 5.084e-08) et plus homogène (Fig. 26). Dans le parc bas il n'y a pas de différence significative entre le lot Nodus et témoin (p -value = 0.108), l'indice de forme du lot Nodus est plus dispersé (Fig. 25). Le système Nodus permet d'obtenir des huitres plus arrondies et creuses que le témoin.

3.1.6 Taux de chair

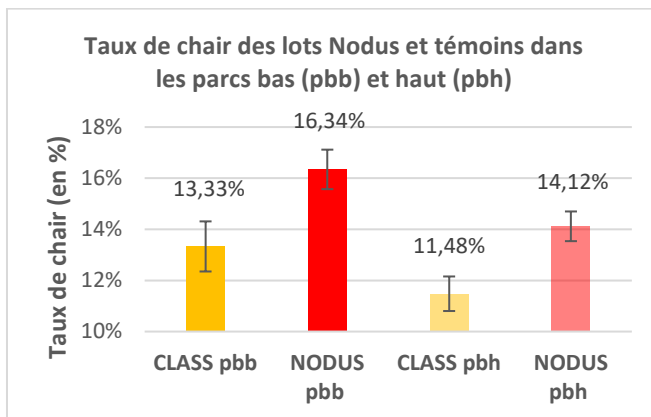


Figure 28 : Taux de chair des lots Nodus et témoins à pbb et pbh

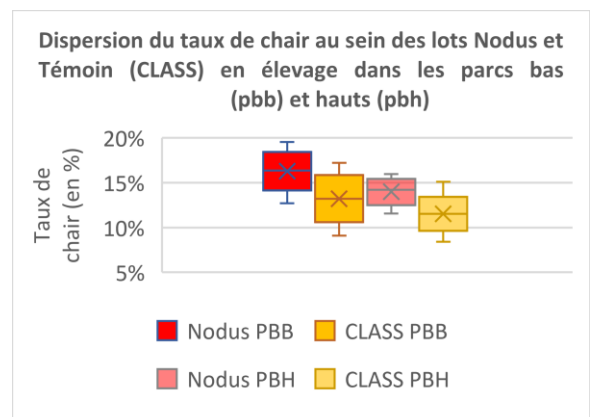


Figure 27: Dispersion du taux de chair au sein des lots Nodus et Témoin (CLASS) en élevage dans les parcs bas (pbb) et hauts (pbh)

Le taux de chair du lot Nodus est significativement supérieur à celui du témoin dans le parc haut ($9.249e-07$) comme dans le parc bas (p -value = $2.138e-05$).

On remarque que les taux de chair des lots du parc haut sont plus faibles que ceux du parc bas, pour le témoin (p -value < 0.001) comme pour Nodus (p -value = $3.364e-05$) (Fig.28)

Il y a un effet poche sur la dispersion des valeurs de taux de chair : les lots Nodus sont plus homogènes (Fig.27).

3.1.7 Indice *Polydora*

CLASS pbb	NODUS pbb	CLASS pbh	NODUS pbh
0,0250	0,0000	0,0000	0,0000

Tableau 4 : Indice *Polydora* pour les différents lots Nodus et témoins en élevage

L'indice *Polydora* est nul pour toutes les poches suivies, seul le témoin des parcs bas présente des traces d'infestation (Tab.4).

3.1.8 Bilan de l'élevage

Le système Nodus a montré une supériorité qualitative par rapport au système classique (taux de chair supérieur d'environ 22%) dans les parcs hauts comme dans les bas, mais pas de différence de rendement (quantitatif). Il n'y a pas d'effet bathymétrique sur le système Nodus, dont pas d'intérêt particulier à les placer dans une zone plutôt qu'une autre. Fin août, ces résultats confirment les tests réalisés au préalable par le SMIDAP (Glize, 2012) sur un système balancelle très proche de Nodus ; c'est-à-dire un rendement équivalent au système classique

Indices	Diff NODUS/témoin
Croissance	=
Survie	340% (haut) ; = (bas)
Rendement	=
L/I	8% (h) ; = (b)
IMAI-SAKAI	6% (h) ; = (b)
% Chair	23% (h) ; 22% (b)
Indice Polydora	=

mais un intérêt qualitatif ; la différence en taux de chair dans cette étude est cependant moins grande en rappelant toujours que le cycle n'est pas terminé (Tab. 5).

Le prix de la structure (14 fois plus cher que le système classique) pourrait cependant limiter l'intérêt économique de son utilisation.

Au cours du suivi, nous avons pu remarquer une usure excessive du système d'accroche de la poche, témoignant de l'intensité des coups de vents et tempêtes. Un renforcement de ce système d'accroche pourrait être nécessaire dans le cas d'une installation au niveau de site particulièrement chahutés.

Tableau 5 : Bilan d'élevage des huitres en poche NODUS

L'installation, plus technique que le système classique, pourrait impacter l'attractivité de ce système d'élevage pour les professionnels. Nous avons pu remarquer également un étalement partiel des huitres lors de l'exondation et de la « mise à l'horizontal » de la poche : son volume n'est peut-être pas optimisé si les poches sont trop rapprochées et se chevauchent « en portefeuille », cependant le brassage des huitres reste efficace, comme les mesures d'indice de forme en attestent.

3.2 Poche CNG

3.2.1 Suivi de la croissance

Les performances d'élevage des poche CNG sont étudiées dans le parc haut (pbb) et le parc bas (pbb) du site de Pen-Bé Mesquer, en comparaison avec le témoin : 4 triplicatas sont ici comparés.

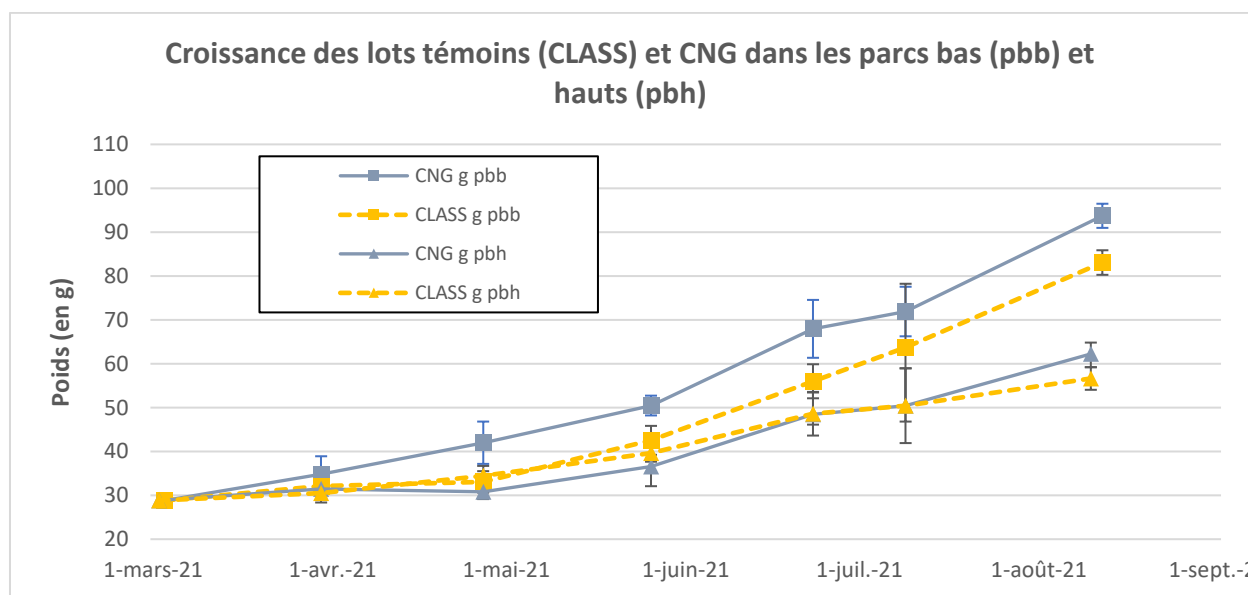


Figure 29 : Croissance des lots témoins (CLASS) et CNG à pbb et pbh

On observe dès mai 2021 une avance de croissance pour le lot CNG dans les parc bas (pbb), le témoin de la même zone croît en parallèle mais avec un retard d'environ 10g, conservé jusqu'au point de mi-août. Les lots CNG et témoin dans les parcs hauts (pbh) suivent une même dynamique de croissance, plus faible que les lots des parcs bas (Fig.29)

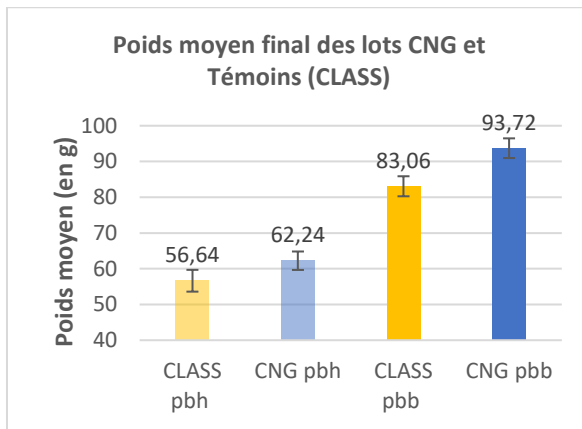


Figure 31 : Poids moyen final des lots CNG et Témoins (CLASS)

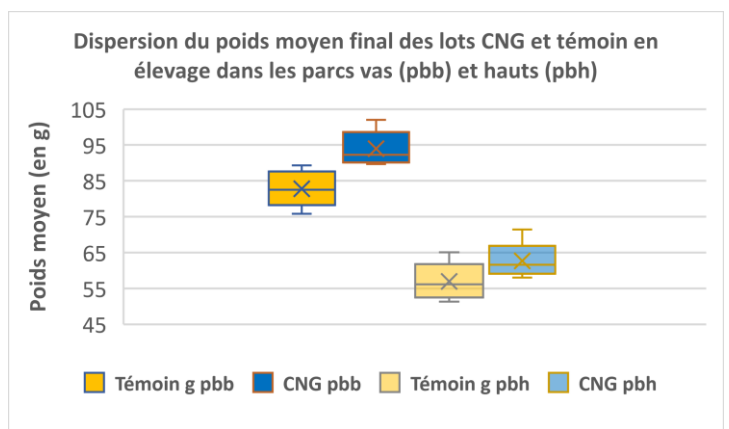


Figure 30 : Dispersion du poids moyen final des lots CNG et témoin en élevage à pbb et pbh

On observe un effet bathymétrique : la poche CNG dans les bas a une croissance significativement supérieure (de 34%) à la poche CNG dans les hauts (p value= 8.076e-05) : il y a un effet bathymétrique. Le poids moyen final du lot CNG est significativement supérieur à celui du lot témoin dans le parc haut (10%) (p value=0.004824) et dans le parc bas (13%) (p value=8.076e-05), l'effet poche se vérifie dans les deux zones (Fig.31).

Les poches CNG semblent plus homogènes que les lots témoins (Fig.30)

3.2.2 Suivi de la mortalité

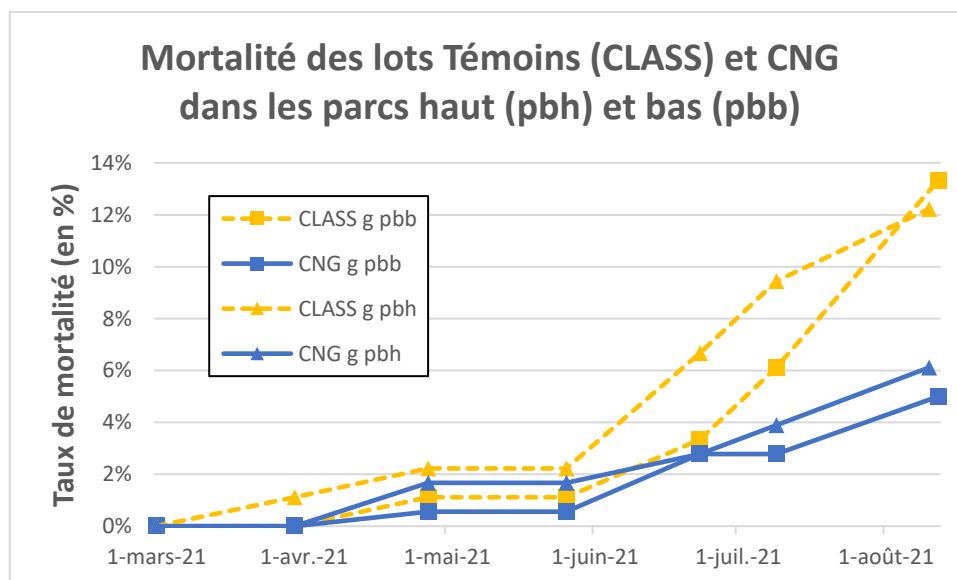


Figure 32 : Mortalité des lots Témoins (CLASS) et CNG

La phase de mortalité commence en juin pour l'ensemble des lots mais les témoins sont beaucoup plus touchés que les poches CNG (Fig.32).

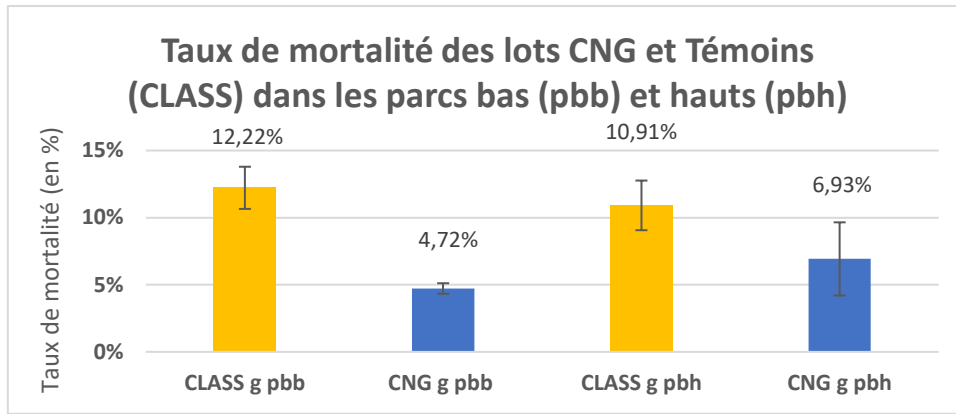


Figure 33 : Taux de mortalité des lots CNG et Témoins (CLASS)

Nous n'observons pas d'effet bathymétrique sur le taux de mortalité entre les parcs hauts et bas (p values > 0.05), cependant, les lots en poche CNG présentent des taux de mortalité inférieurs à ceux des poches en système classique dans les bas (p value= 2.852e-05) (Fig.33).

3.2.3 Rendement d'élevage

Tableau 6 : Rendement d'élevage des lots CNG et Témoin à pbb et pbh

	CLASS pbb	CLASS pbh	CNG pbb	CNG pbh
Rendement	1,72 (+/-0.09)	2,50 (+/-0.08)	2,03 (+/-0.08)	3,09 (+/-0.09)

Les poches placées dans les parcs bas ont un meilleur rendement que celles placées dans les parcs hauts. Les poches CNG présentent un rendement supérieur à leurs témoins respectifs dans les hauts comme dans les bas (supérieur de 24% dans les bas et de 18% dans les hauts). On a un effet bathymétrique et un effet poche sur les rendements d'élevage (Tab.6).

3.2.4 Rapport L/l

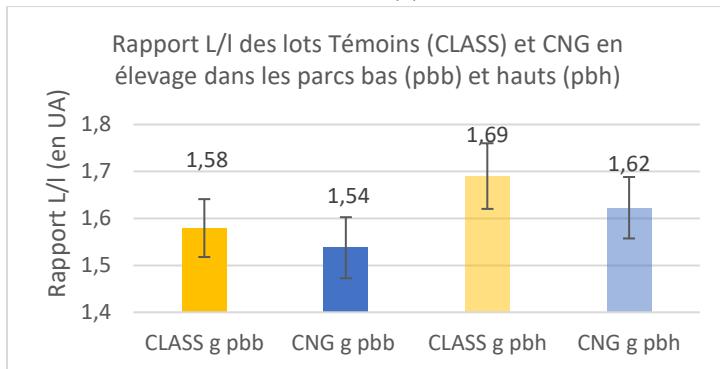


Figure 35 : Rapport L/l des lots CNG et Témoin à pbb et pbh

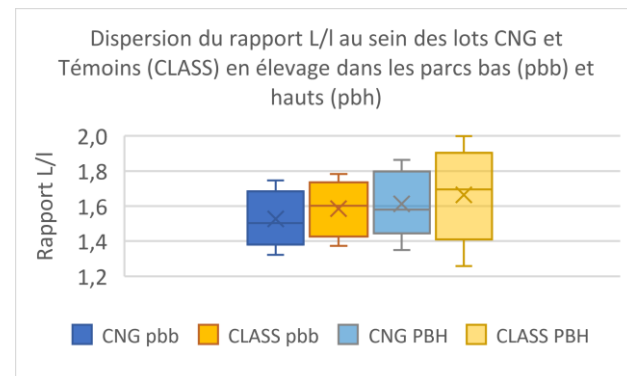


Figure 34 : Dispersion du rapport L/l au sein des lots CNG et Témoins (CLASS) en élevage

Le rapport L/l du témoin dans les hauts est significativement supérieur au témoin du bas (p -value = 0.02108). Il n'y a pas d'effet bathymétrique sur les poches CNG (p -value = 0.05589). Il n'y a pas de différence significative entre les indices de formes L/l des lots témoins et CNG, dans les bas (p -value = 0.3547) comme dans les hauts (p -value = 0.1207) (Fig.35). Les valeurs du rapport L/l semblent moins dispersés pour les lots situés dans les bas que dans les hauts (Fig.34)

3.2.5 Indice de forme IMAÏ-SAKAÏ

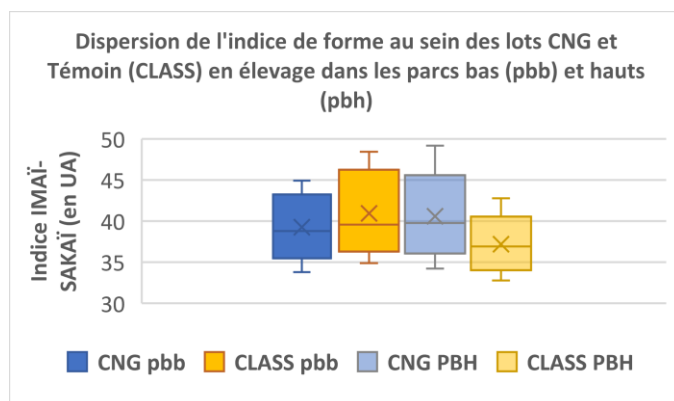
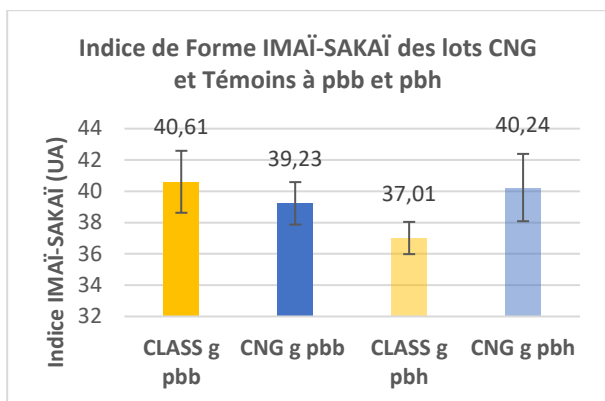


Figure 37 : Indice de Forme IMAÏ-SAKAÏ des lots CNG et Témoins à pbb et pbh Figure 36: Dispersion de l'indice de Forme IMAÏ-SAKAÏ des lots CNG et Témoins à pbb et pbh

Les lots témoins ont un indice de forme supérieur dans les parcs bas que dans les hauts (p-value = 0.002). Les indices de forme des lots CNG ne sont pas significativement différents dans les hauts et les bas (p-value = 0.512). Dans le parc haut l'indice de forme IMAÏ-SAKAÏ est légèrement (mais significativement) supérieur pour le lot témoin (p-value = 0.005) (Fig. 37). Dans le parc bas, il n'y a pas de différence significative entre les indices de forme des lots CNG et témoin (p-value = 0.355) (Fig.36).

3.2.6 Taux de chair / Indice d'engraissement

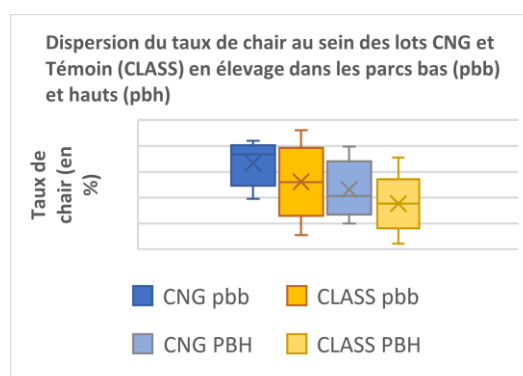
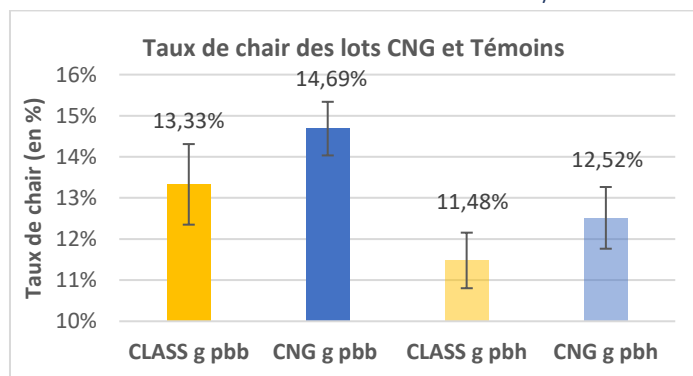


Figure 39 : Taux de chair des lots CNG et Témoins

Figure 38 : Dispersion du taux de chair au sein des lots CNG et Témoin (CLASS) en élevage

Le taux de chair moyen du lot CNG dans les parcs bas est significativement supérieur à celui du lot CNG dans les hauts (p-value = 0.0001765). Le taux de chair des poches CNG est supérieur au taux de chair en système classique dans les bas (p-value = 0.01809) mais pas dans les hauts (p-value = 0.05828) (Fig. 39).

3.2.7 Indice Polydora

Tableau 7 : Indice Polydora des lots CNG et témoin

CLASS pbb	CNG pbb	CLASS pbh	CNG pbh
0,0250	0,0125	0,0000	0,0125

L'indice *Polydora* est nul pour le lot témoin dans les parcs hauts et des traces d'infestation ont été relevées dans les autres lots (le témoin dans les parcs bas présente le plus fort taux d'infestation : 0.025) (Tab.6).

3.2.8 Bilan de l'élevage

Tableau 8 : Bilan d'élevage des huitres en poche CNG

Indices	Diff CNG/témoin
Croissance	10% (h) ; 13% (b)
Mortalité	= (h) ; 3x-(b)
Rendement	18% (h) ; 24% (b)
L/I	=
IMAI-SAKAI	9% (h) ; = (b)
% Chair	= (h) ; 10% (b)
Indice Polydora	=

Le système CNG a montré une supériorité quantitative par rapport au système classique, avec des rendements supérieurs d'environ 20% dans les hauts et les bas. L'intérêt qualitative ne se retrouve que dans les bas avec un taux de chair supérieur de 10%. Il y a bien un effet bathymétrique : le remplacement du système classique par le système CNG a plus d'intérêt dans les parcs bas (qualitativement et quantitativement) que dans les parcs hauts (Tab. 8). Les résultats de ces tests sont encore plus prometteurs que les derniers effectués par le SMIDAP (Glize, 2020).

Le prix de la poche CNG déterminera l'intérêt économique de son déploiement sur parc en remplacement du système classique. La poche CNG est placée sur le même support qu'une poche classique (table ostréicole) ce qui constitue un avantage logistique et économique dans le cas d'un remplacement de poches classiques. Du prix de la poche dépendra l'intérêt économique de remplacement du système classique.

Durant le suivi, nous avons pu remarquer un brassage important des huitres dans la poche, en effet, celle-ci étant de plus gros volume, les huitres seront plus « libres » d'être déplacées par les courants. Cela présente un avantage : les huitres sont travaillées (moins qu'un système avec flotteur) ; mais également un inconvénient : elles peuvent plus facilement se voir entraînées dans un coin de la poche, le volume de celle-ci n'étant plus totalement utilisé. Nous testons, en parallèle du programme NOUSYSTOS, les performances à l'élevage de lots placés en poche CNG sur table concave (vérification de l'optimisation du volume de la poche) en Baie de Bourgneuf.

3.3 Poche CGA en demi-élevage

3.3.1 Suivi de la croissance

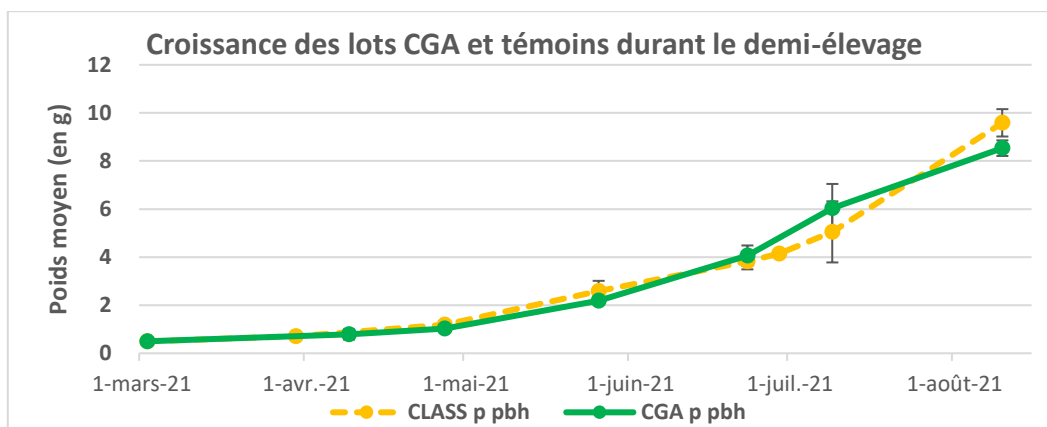


Figure 40 : Croissance des lots CGA et témoins durant le demi-élevage

Durant ce cycle d'élevage, les lots CGA et témoin suivent quasiment la même dynamique de croissance. Le naissain placé en mer début mars connaît une période de croissance quasi nulle de 2 mois. De mai à août les 2 lots sont en croissance et ce n'est qu'en fin de cycle que les lots divergent en poids : les huitres en système classique ont, mi-août, un poids moyen supérieur à CGA (Fig.40).

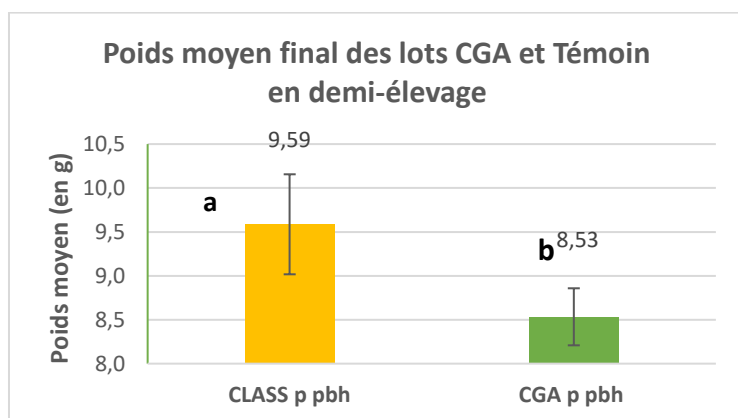


Figure 42 : Poids moyen final des lots CGA et Témoin en demi-élevage

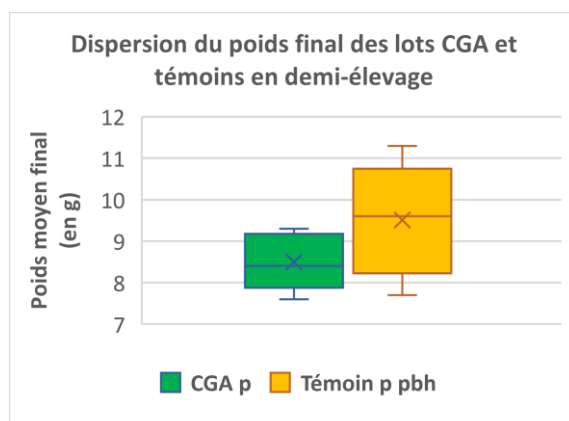


Figure 41 : Dispersion du poids final des lots CGA et témoins en demi-élevage

Le poids moyen du lot Témoin en demi-élevage est (significativement) supérieur de 12% à la poche CGA (p-value = 0.003) (Fig. 42). Le lot CGA est plus homogène que le témoin (Fig.41).

3.3.2 Suivi de la mortalité

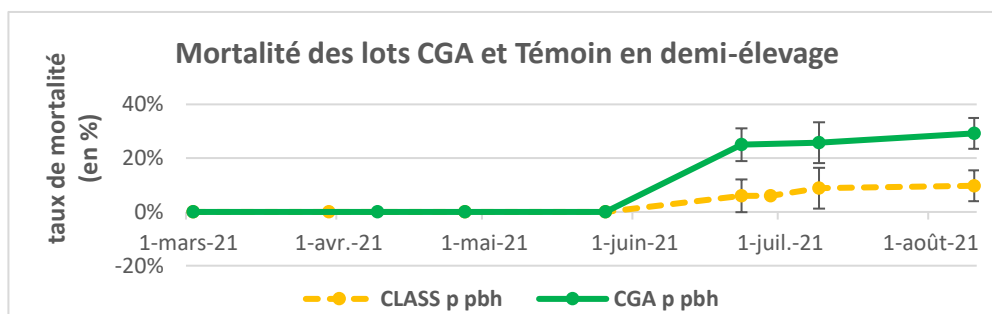


Figure 43 : Mortalité des lots CGA et Témoin en demi-élevage

L'épisode de mortalité du mois de juin a beaucoup plus impacté le système CGA que son témoin. A partir de fin juin, cette mortalité se stabilise au sein des deux lots (Fig.43).

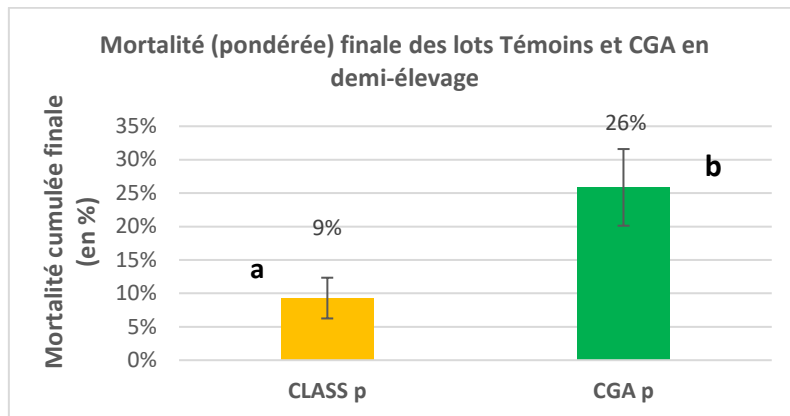


Figure 44 : Mortalité (pondérée) finale des lots Témoins et CGA en demi-élevage

La mortalité de la poche CGA en demi-élevage est beaucoup plus forte que le témoin (p-value = 0.033) (Fig.44).

3.3.3 Calcul du rendement de demi-élevage

Tableau 9 : Rendement de demi-élevage des lots CGA et témoin

	CLASS pbh	CGA pbh
Rendement	17,34 (+/-1.03)	12,10 (+/-0.07)

Le rendement du système CGA est significativement inférieur de 30% à celui du système classique (Tab. 9).

3.3.4 Rapport L/I

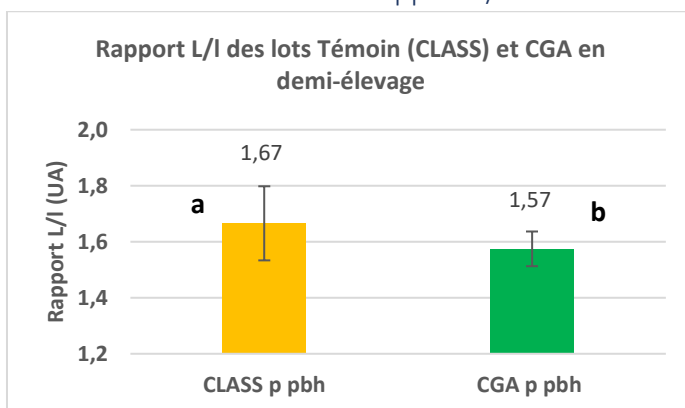


Figure 46 : Rapport L/I des lots Témoin (CLASS) et CGA en demi-élevage

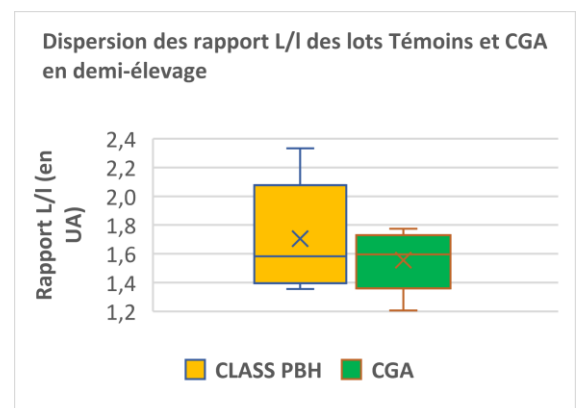


Figure 45 : Dispersion des rapport L/I des lots Témoins et CGA en demi-élevage

Le rapport L/I du lot CGA est significativement inférieur à celui du lot témoin (p-value = 1.136e-05) (Fig.46). Le rapport L/I est plus homogène dans la poche CGA (Fig.45).

3.3.5 Indice de forme IMAÏ-SAKAÏ

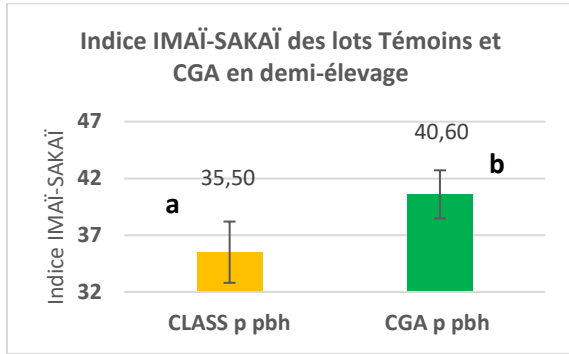


Figure 48 : Indice IMAÏ-SAKAÏ des lots Témoins et CGA en demi-élevage

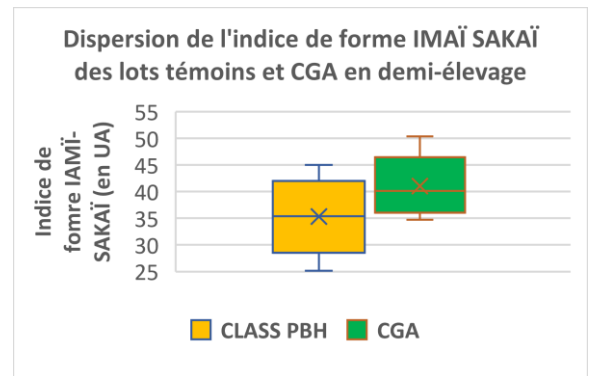


Figure 47 : Dispersion de l'indice de forme IMAÏ SAKAÏ des lots témoins et CGA en demi-élevage

Le lot CGA a un indice IMAÏ-SAKAÏ significativement supérieur au témoin (p-value = 0.005131) (Fig.48) et moins dispersé (Fig.47).

3.3.8 Bilan du demi-élevage

Indices	Diff CGA/témoin
Croissance	-12%
Mortalité	300%
Rendement	-30%
L/l	9,4%
IMAI-SAKAI	14%

Le système CGA en demi-élevage a des performances de croissance et un taux de survie inférieur au système classique : quantitativement, le rendement est inférieur de 30%. Malgré des indices de formes meilleurs, la valorisation de cette qualité à un stade de fin de demi-élevage est impossible (Tab. 10). Sans même s'intéresser au prix de la poche : il n'y aurait pas (dans nos conditions d'élevage) d'intérêt à l'utiliser le système CGA en remplacement du système classique pour la phase de demi-élevage.

Tableau 10 : Bilan de demi-élevage des huitres en poche CGA

Le comportement de cette poche en demi-élevage est similaire à celui de la poche CGA en élevage (voir 3.4.8). Nous avons observé (sans conséquence sur la survie du lot) en début de demi-élevage, qu'une partie du naissain se coinçait dans le fond de la poche suspendue. La surmortalité de juin du lot CGA pourrait être liée à un trop fort brassage des huitres dans la structure à flotteurs. La poche CGA pourrait être bloquée lors de période de mortalité pour éviter d'en augmenter l'intensité.

3.4 Poche CGA en élevage

3.4.1 Suivi de la croissance

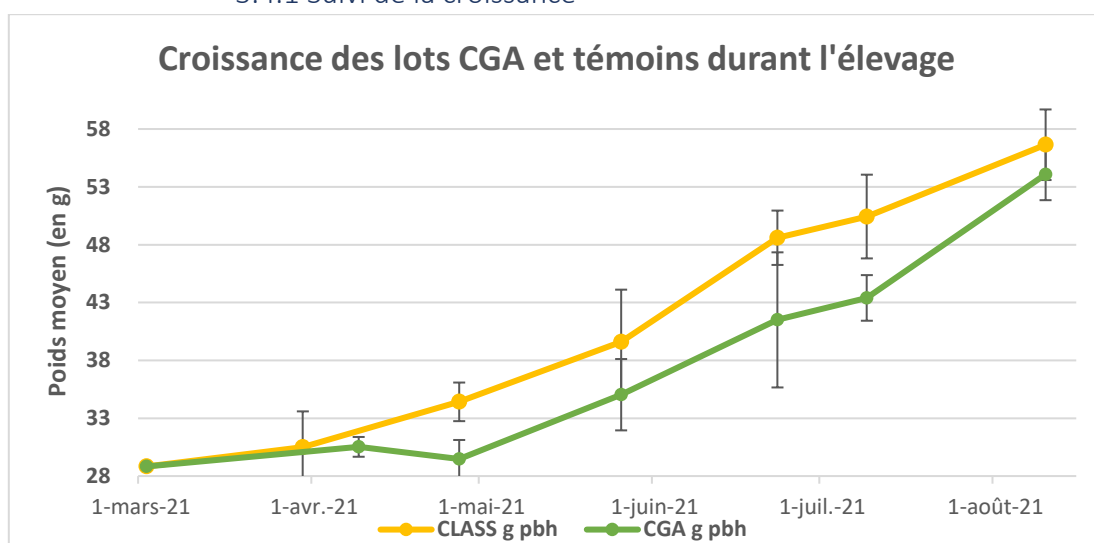


Figure 49 : Croissance des lots CGA et témoins durant l'élevage

Les huitres en système classique (témoin) et en poche CGA ont une croissance similaire durant le cycle. Le témoin semble avoir une avance en croissance par rapport au lot CGA qui induit un poids moyen légèrement supérieur (significativement vérifié de fin juin à juillet). Mi-août (fin de suivi dans le cadre du stage), les poids moyens se rejoignent (Fig.49).

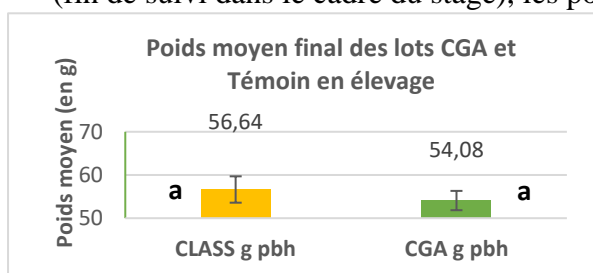


Figure 51 : Poids moyen final des lots CGA et Témoin en élevage

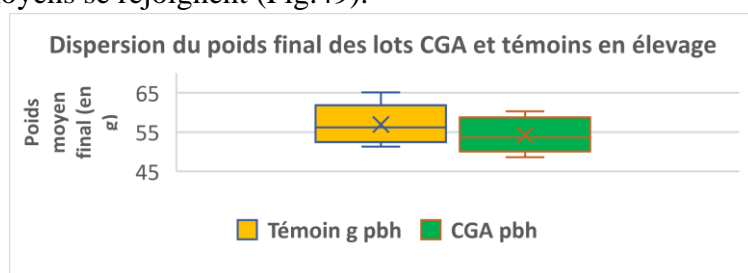


Figure 50 : Dispersion du poids final des lots CGA et témoins en élevage

Il n'y a pas de différence significative entre le poids moyen final du lot Témoin et du lot CGA (p -value = 0.121) (Fig.51), les valeurs de poids sont de dispersion comparable (Fig.50). Les huitres CGA sont très creuses, les huitres du système témoin sont longues et plates.

3.4.2 Suivi de la mortalité

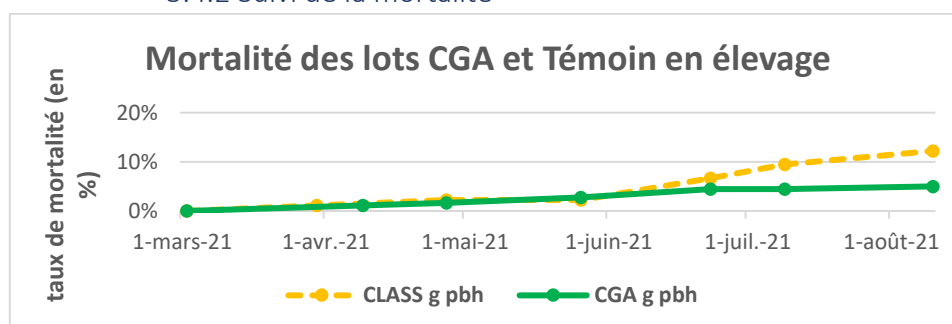


Figure 52 : Mortalité des lots CGA et Témoin en élevage

En juin, le lot CGA est très peu touché par le phénomène de mortalité par rapport au lot témoin dont la mortalité atteint en août près de 12%, la mortalité au sein des 2 lots semble se rapprocher d'un palier (Fig.52).

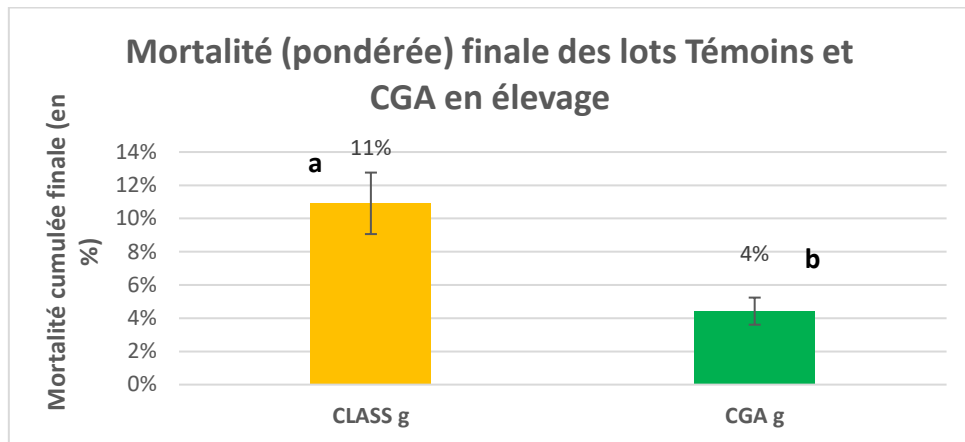


Figure 53 : Mortalité (pondérée) finale des lots Témoins et CGA en élevage

Le taux de mortalité en élevage du lot témoin est près de 3 fois supérieur à la poche CGA (p value= 7.953e-05) (Fig.53)

3.4.3. Calcul du rendement d'élevage

Tableau 11 : Rendement d'élevage des lots CGA et témoin

	CLASS pbh	CGA pbh
Rendement	1,72 (+/- 0.09)	1,78 (+/- 0.07)

Il n'y a pas de différence significative entre les rendements d'élevage des systèmes classique et CGA (Tab. 11).

3.4.4 Indice de forme L /l

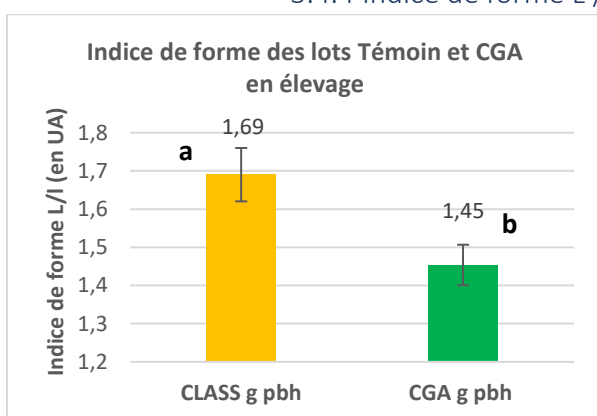


Figure 55 : Indice de forme des lots Témoin et CGA en élevage

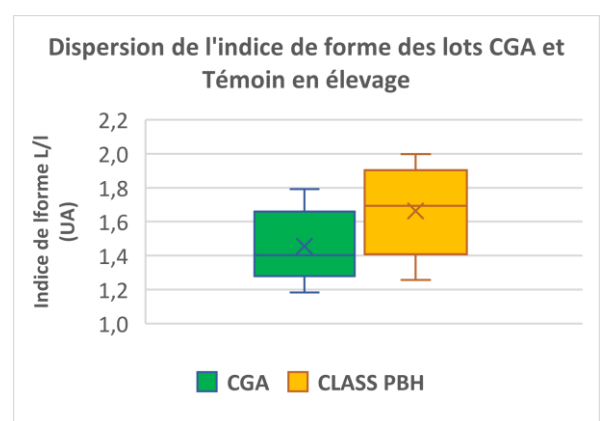


Figure 54 : Dispersion de l'indice de forme des lots CGA et Témoin en élevage

L'indice L/l du lot CGA est significativement inférieur à celui du lot témoin (p value=2.17e-05) (Fig.55) et moins dispersé (Fig.54).

3.4.5 Indice de forme IMAÏ-SAKAÏ

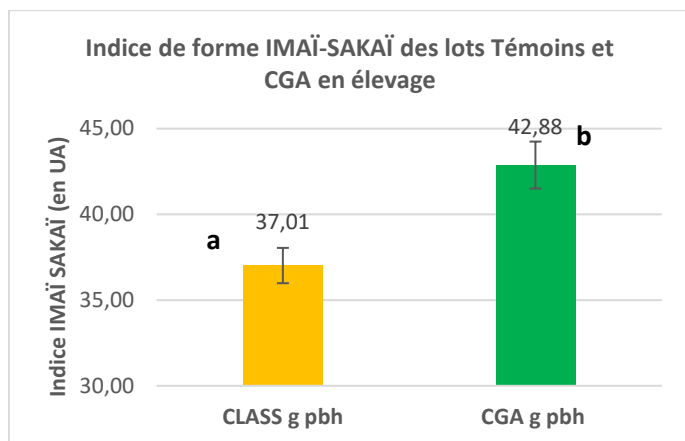


Figure 57 : Indice de forme IMAÏ-SAKAÏ des lots Témoins et CGA en élevage

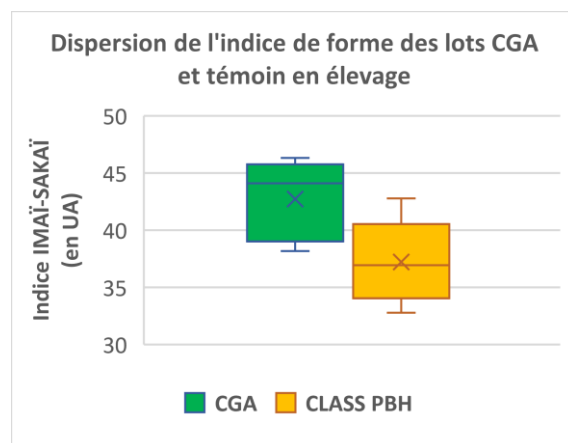


Figure 56 : Dispersion de l'indice de forme des lots CGA et témoin en élevage

L'indice de forme IMAÏ-SAKAÏ du lot CGA est significativement supérieur à celui du lot témoin ($p\text{-value} = 3.274e-06$) (Fig.57) et autant homogène (Fig.56).

3.4.5 Taux de chair

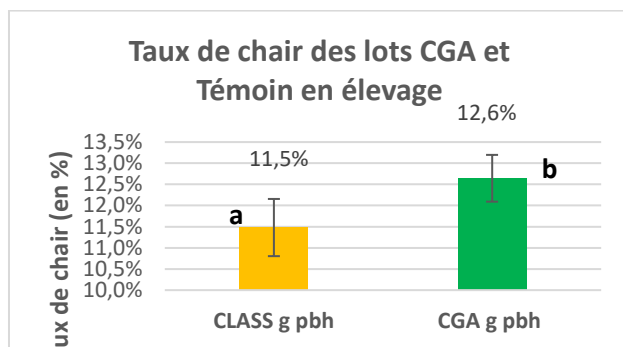


Figure 59 : Taux de chair des lots CGA et Témoin en élevage

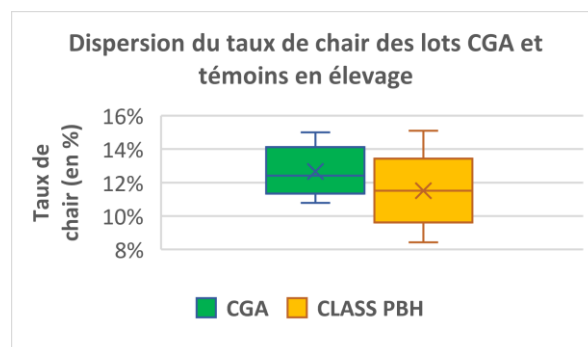


Figure 58 : Dispersion du taux de chair des lots CGA et témoins en élevage

Le taux de chair du lot CGA est significativement supérieur à celui du lot témoin ($p\text{-value} = 0.003534$) (Fig.59) et plus homogène (Fig.58).

3.4.7 Indice Polydora

CLASS pbh	CGA pbh
0,0000	0,0000

Tableau 12 : Indice Polydora des lots CGA et témoin

L'indice Polydora est nul chez le témoin et le lot CGA (Tab. 12).

3.4.8 Bilan de l'élevage

Le système CGA en élevage n'a pas montré de différence de rendement par rapport au système classique. Cependant, il y a un intérêt par rapport au système classique en termes de qualité de la production : un taux de chair supérieur de 10% au témoin, atteignant 16%, un taux très important (Tab. 13). Sous réserve d'une bonne valorisation et d'un calcul de coût économique (les tables utilisées sont d'un genre différent des tables du système classique), le système CGA pourrait présenter un intérêt dans le remplacement du système classique.

Indices	Diff CGA/témoin
Croissance	=
Mortalité	-300%
Rendement	=
L/l	16,5%
IMAI-SAKAI	16%
% Chair	9,5%
Indice Polydora	=

Tableau 13: Bilan d'élevage des huitres en poche CGA

Au cours du cycle d'élevage, aucune marque d'usure n'a été observée : l'utilisation d'une barre soudée en inox et d'un système rigide d'accroche semble pertinent. L'étalage des huitres lors de l'immersion (le système est accroché sous la table et « bute » dessus du fait du mouvement du flotteur) semble également intéressant : le volume de la poche est optimisé lors des périodes de nutrition de l'huitre.

3.5 Système Hexcyl en demi-élevage (cycle de mars à fin juin)

3.5.1 Suivi de la croissance

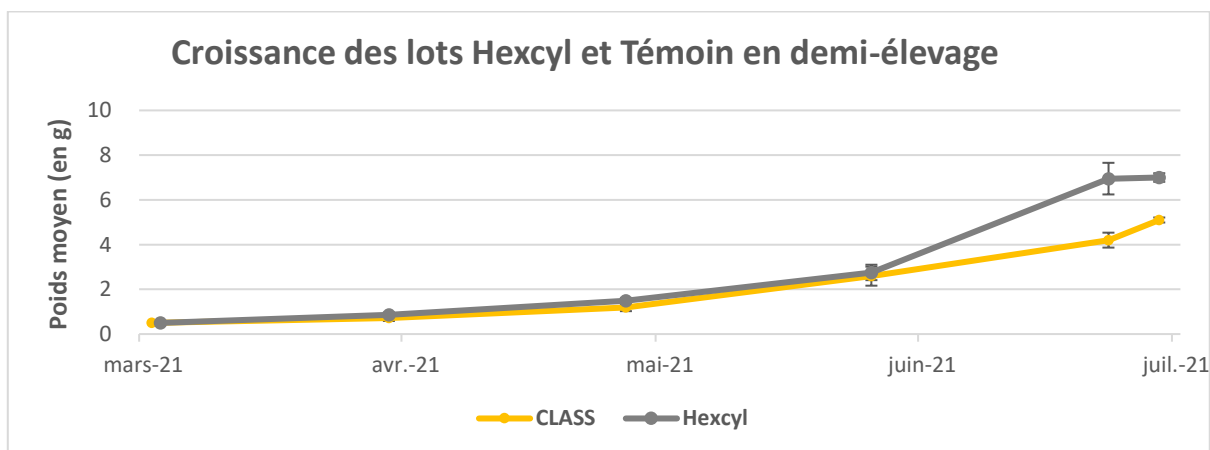


Figure 60 : Croissance des lots Hexcyl et Témoin en demi-élevage

La croissance des lots Hexcyl et témoin est la même jusqu'à fin mai 2021, puis un pic de croissance est observé : en 1 mois, le poids des huitres du lots Hexcyl fait plus que doubler (alors que le lot témoin continu à croître de façon linéaire) (Fig.60).

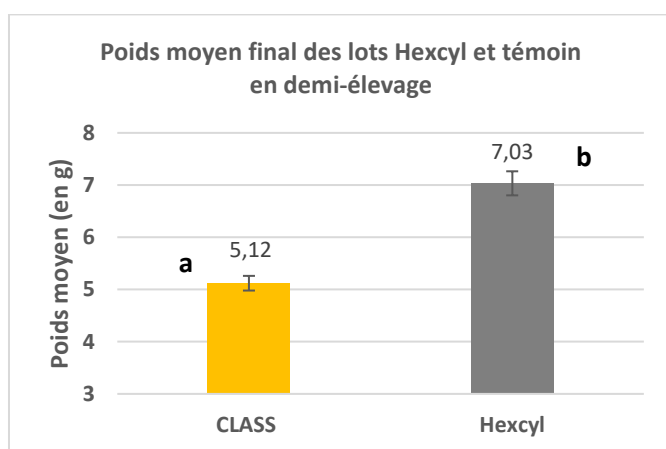


Figure 62 : Poids moyen final des lots Hexcyl et témoin en demi-élevage

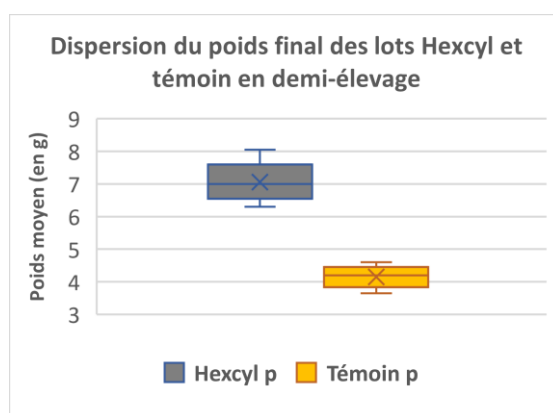


Figure 61 : Dispersion du poids final des lots Hexcyl et témoin en demi-élevage

Le lot Hexcyl en demi-élevage a un poids moyen 37% supérieur au lot témoin (p-value=3.117e-07) (Fig.62). Cette différence de poids final est la plus forte observée au cours de l'étude. Le lot Hexcyl en demi-élevage est plus hétérogène que le lot en système classique (Fig.61).

3.5.2 Suivi de la mortalité

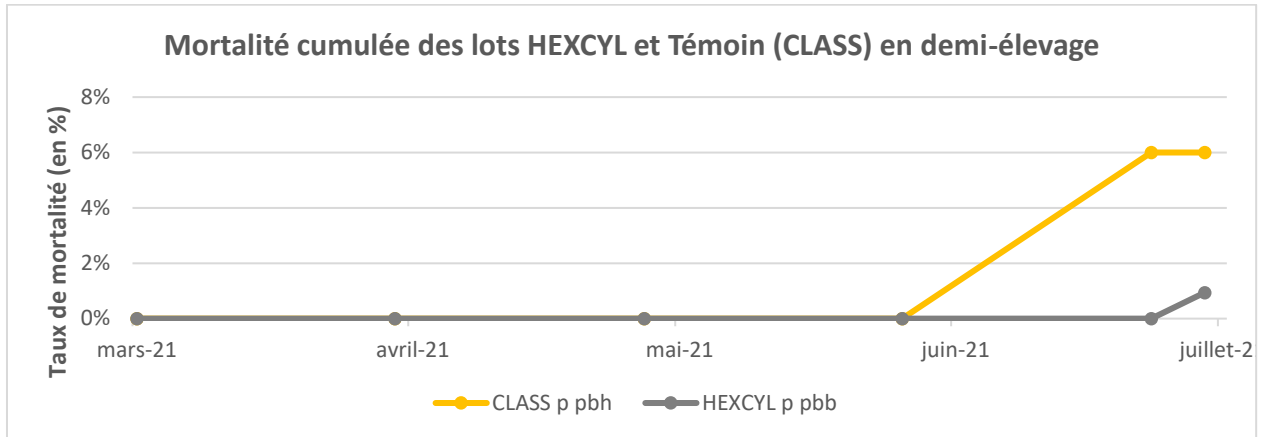


Figure 63 : Mortalité cumulée des lots HEXCYL et Témoin (CLASS) en demi-élevage

Le lot Hexcyl ne connaît pas d'épisode de mortalité au cours du cycle (Fig.63).

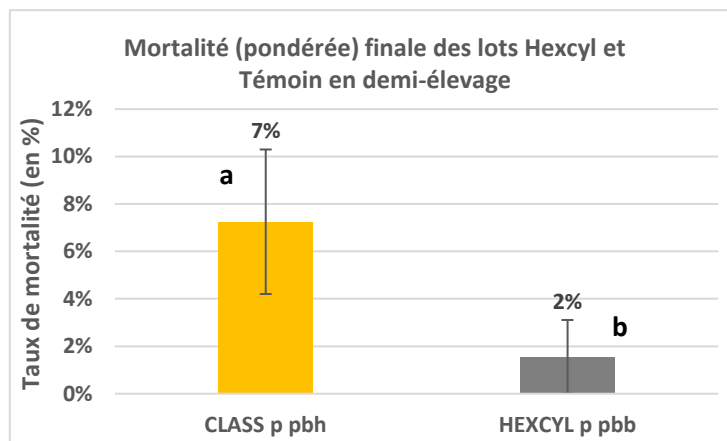


Figure 64 : Mortalité (pondérée) finale des lots Hexcyl et Témoin en demi-élevage

Le taux de mortalité du lots Hexcyl est significativement inférieur de 75% à celui du témoin (p value= 0,0003) (Fig.64).

3.5.3 Calcul du rendement de demi-élevage

	Hexcyl pbb	CLASS pbb
Rendement	13.96 (+/-0.46)	9.54 (+/-0.21)

Tableau 14 : Rendement de demi-élevage des lots Hexcyl et Témoin

Le lot Hexcyl en prégrossissement présente, en fin de cycle, un rendement d'élevage significativement supérieur de 46% au témoin : le rendement économique du système Hexcyl par rapport au système classique sera calculé pour ce cycle de demi-élevage (Tab. 14).

3.5.4 Rapport L/l

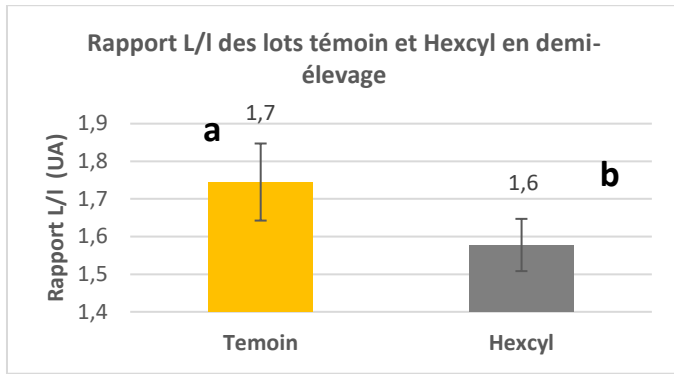


Figure 66 : Rapport L/l des lots témoin et Hexcyl en demi-élevage

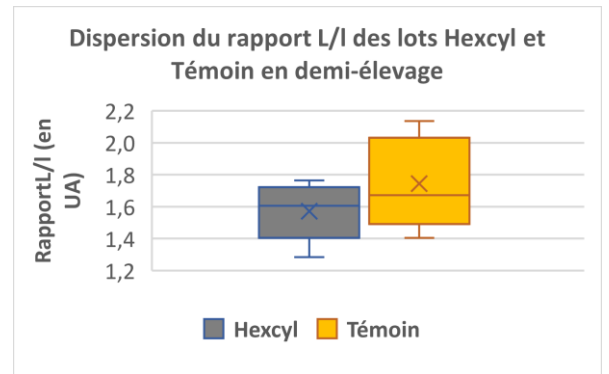


Figure 65 : Dispersion du rapport L/l des lots Hexcyl et Témoin en demi-élevage

L'indice de forme L/l du lot Hexcyl est significativement inférieur au témoin (p -value = 0.008) (Fig. 66) et moins dispersé (Fig. 67) : les huitres élevées dans le système Hexcyl sont moins « longues » que les témoins en système classique.

3.5.5 Indice de forme IMAÏ-SAKAÏ

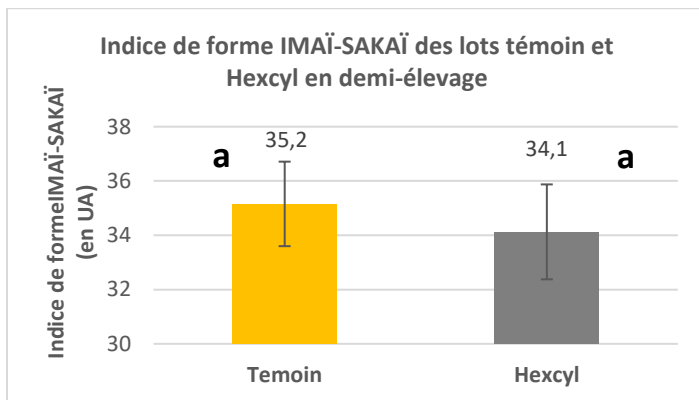


Figure 68 : Indice IMAÏ-SAKAÏ des lots témoin et Hexcyl en demi-élevage

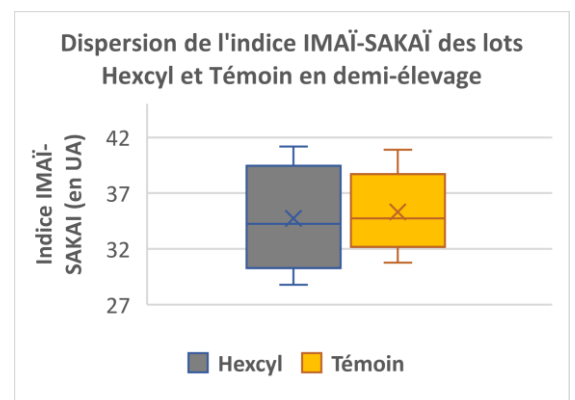


Figure 67 : Dispersion de l'indice IMAÏ-SAKAÏ des lots Hexcyl et Témoin en demi-élevage

Il n'y a pas de différence significative entre l'indice de forme des huitres élevées en système classique et en panier Hexcyl (p -value = 0.234) (Fig.68). Les valeurs de taux de chair en casier Hexcyl seront moins dispersées (Fig.67).

3.5.6 Bilan du demi-élevage

Le système de panier australiens Hexcyl présente un fort intérêt quantitatif par rapport au système classique témoin, avec un rendement 46% supérieur (Tab. 15). Ces résultats confirment ceux des tests réalisés au préalable par le SMIDAP (Glize, 2020), la supériorité des rendements en poche Hexcyl par rapport au système classique est même plus forte pour ce cycle d'élevage. Ce test confirme également l'efficacité d'une mise en place des paniers perpendiculairement au courant pour la phase de prégrossissement.

Indices	Diff Hexcyl/témoin
Croissance	57%
Mortalité	-75%
Rendement	46%
Rapport L/I	-6%
IMAI-SAKAI	=

Tableau 15 : Bilan de demi-élevage des huitres en paniers Hexcyl

Malgré un coût d'achat supérieur au système classique : l'excellent rendement et la qualité de la production en font un système intéressant pour le calcul de la rentabilité économique (voir 3.7), possible car le cycle étant considéré fini.

Le comportement de cette poche a été le même que la poche Hexcyl en élevage (voir 3.6.8), avec un plus fort encrassement dû aux mailles plus petites.

3.6 Système Hexcyl en élevage

3.6.1 Suivi de la croissance

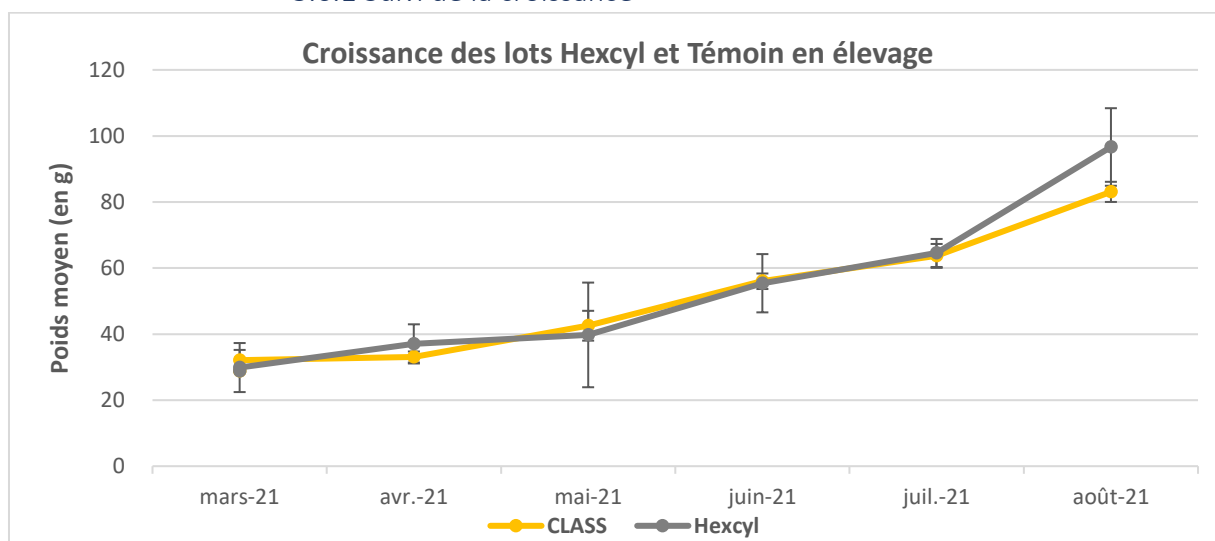


Figure 69 : Croissance des lots Hexcyl et Témoin en élevage

Les lots Hexcyl et témoin en élevage suivent la même dynamique de croissance, le poids final des huitres en poche Hexcyl est significativement supérieur à celles en poche classique (Fig.69).

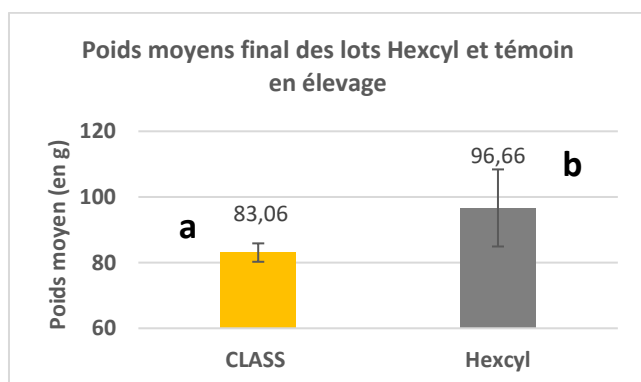


Figure 71 : Poids moyens final des lots Hexcyl et témoin en élevage

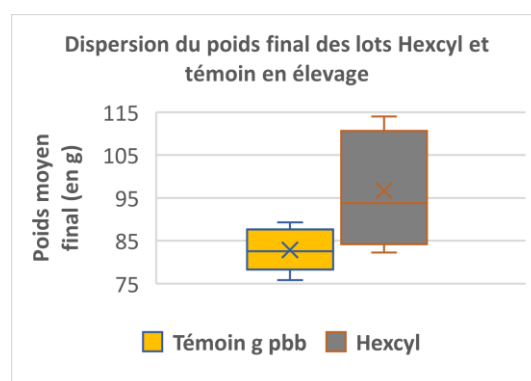


Figure 70 : Dispersion du poids final des lots Hexcyl et témoin en élevage

Le poids moyen des huitres élevées en système Hexcyl est significativement supérieur (de 17%) à celui des huitres élevées en système classique (p -value = 0.0007546) (Fig.71). Le lot Hexcyl est beaucoup plus hétérogène que le lot témoin (Fig.70).

3.6.2 Suivi de la mortalité

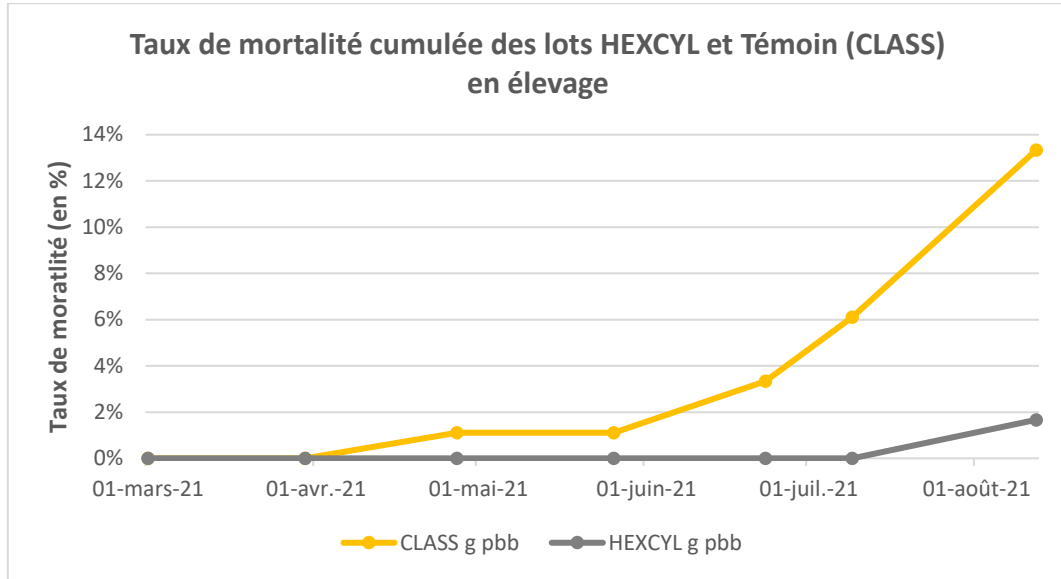


Figure 72 : Taux de mortalité cumulée des lots HEXCYL et Témoin en élevage

Le lot Hexcyl n'a quasiment pas connu de phénomène de mortalité (2% en juillet-août 2021 pour la poche suivie) (Fig.72).

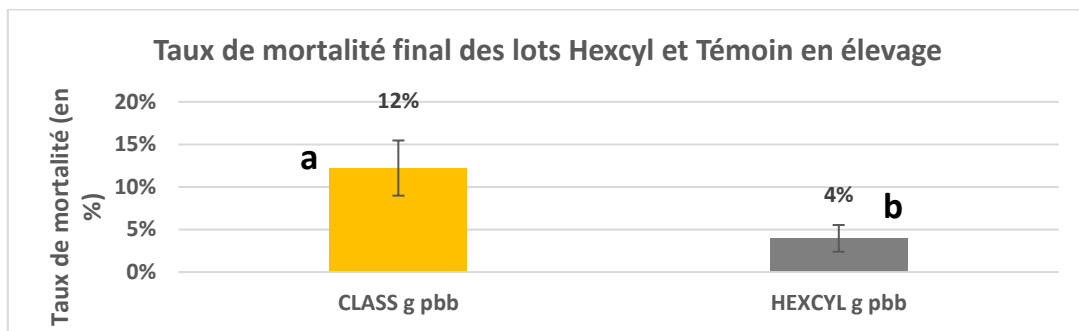


Figure 73 : Taux de mortalité pondérée final des lots Hexcyl et Témoin en élevage

En fin de cycle, le taux de mortalité du lot Hexcyl est 3 fois inférieur à celui du lot en système classique (p value= 0,006) (Fig.73).

3.6.3 Calcul du rendement d'élevage

	CLASS pbb	HEXCYL pbb
Rendement	2,50 (+/-0.08)	3,30 (+/-0.4)

Tableau 16 : Rendement d'élevage des lots Hexcyl et témoins

Le rendement d'élevage du lot Hexcyl est significativement supérieur de 32% à celui du lot témoin (Tab. 16).

3.6.4 Rapport L/I

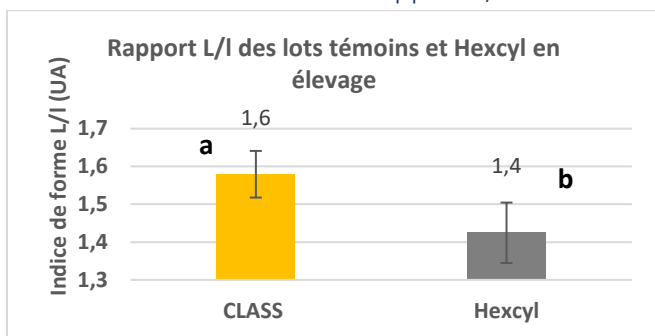


Figure 75 : Rapport L/I des lots témoins et Hexcyl en élevage

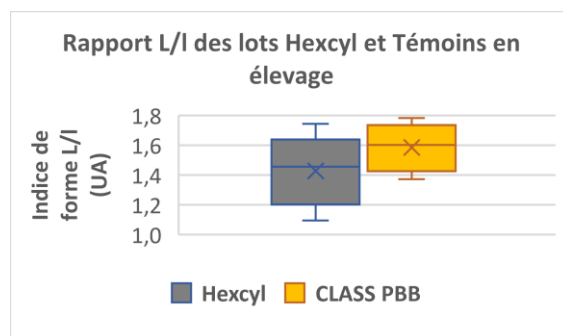


Figure 74 : Dispersion des rapport L/I des lots Hexcyl et Témoins en élevage

L'indice de forme du lot Hexcyl est significativement inférieur de 15.8% chez le lot Hexcyl que chez le témoin (p-value = 9.648e-06) (Fig.75) et plus dispersé (Fig.74).

3.6.5 Indice de forme IMAÏ-SAKAÏ

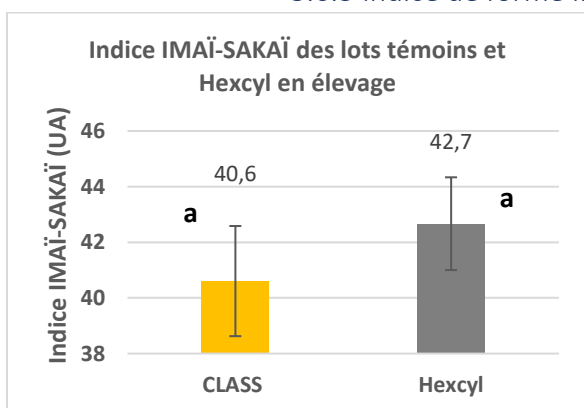


Figure 77 : Indice IMAÏ-SAKAÏ des lots témoins et Hexcyl en élevage

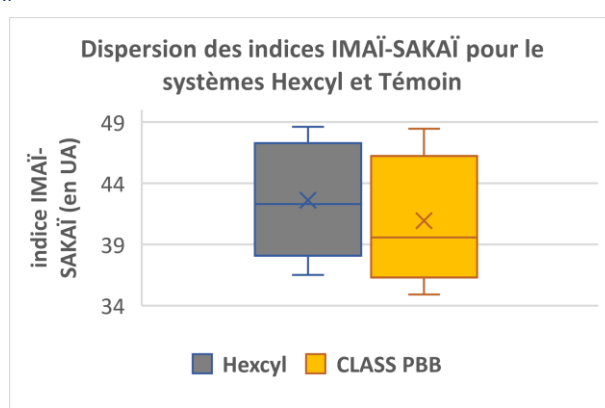


Figure 76 : Dispersion des indices IMAÏ-SAKAÏ pour les systèmes Hexcyl et Témoin

Il n'y a pas de différence significative entre l'indice de forme IMAÏ-SAKAÏ des lots Hexcyl et témoins dans les bas (p-value = 0.08591) ((Fig.77). On observe une grande hétérogénéité des indices de forme IMAÏ-SAKAÏ pour les poches Hexcyl et témoins (Fig.76).

3.6.6 Taux de chair

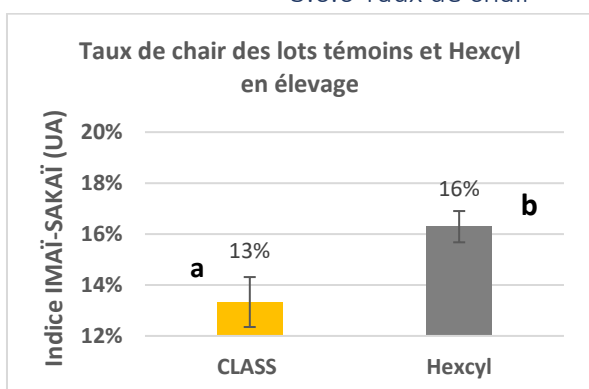


Figure 79 : Taux de chair des lots témoins et Hexcyl en élevage

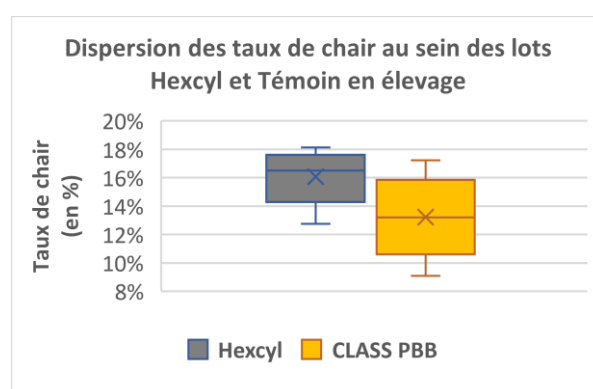


Figure 78 : Dispersion des taux de chair au sein des lots Hexcyl et Témoin en élevage

Le taux de chair du lot Hexcyl est 22% supérieur à celui du lot témoin (p-value = 1.136e-05) (Fig.79) et plus homogène (Fig.78).

3.6.7 Indice *Polydora*

Tableau 17 : Indice *Polydora* des lots témoins et Hexcyl

CLASS pbb	HEXCYL pbb
0,0250	0,0000

Le lot Hexcyl a, un indice *Polydora* nul, le témoin est très peu infesté (Tab.17).

3.6.8 Bilan de l'élevage

Tableau 18 : Bilan d'élevage des huîtres en paniers Hexcyl

Indices	Diff au témoin
Croissance	17%
Mortalité	-300%
Rendement	32%
Rapport L/l	-15,8%
IMAI-SAKAI	=
% Chair	22%
Indice <i>Polydora</i>	=

Le système de panier australiens Hexcyl présente, par rapport au système classique, à la fois un intérêt quantitatif (rendement 32% supérieur) et qualitatif (taux de chair supérieur de 22%) (Tab. 18). Un calcul en fin de cycle des coûts de production pourrait valider ces conclusions : le système de panier australien serait intéressant en remplacement du système classique.

Par rapport à une orientation des paniers dans le sens du courant, placer les paniers dans un sens perpendiculaire a présenté un intérêt quantitatif par rapport au témoin, ce qui n'était pas le cas pour les tests réalisés au préalable par le SMIDAP (Glize, 2020).

Durant l'élevage, nous avons pu observer une fixation particulièrement forte de balanes (*Perforatus perforatus* (Brugière, 1789)) sur ce casier rigide, facilitant l'encrassement, cependant cela n'a pas entraîné de mortalité parmi les lots. Ce test a pu montrer que placer les paniers Hexcyl perpendiculairement au courant permet une meilleure répartition des 80 huîtres de la poche, et donc une optimisation du volume du panier. Pour rappel, le fabricant préconisait de les placer dans le sens du courant. Le poids moyen des huîtres de ce panier est à surveiller car le système n'oscille plus lorsque le poids de la garniture atteint 7 kg (Hexcylsystems, 2021).

3.7 Analyse Economique sur le demi-élevage

L'analyse des performances économiques des systèmes testés n'a pas pu être faite sur les lots en élevage, les huîtres n'ayant pas atteint la taille commercialisable la plus demandée (n°3-n°2). Le système Hexcyl en pré-grossissement a une capacité limite de 7kg à la poche (HexcylSystems, 2021).

Le cycle de demi-élevage en casiers Hexcyl a été arrêté lorsque les huîtres dépassent 7g (à 800/poche) : une analyse de temps d'amortissement est possible à partir notamment de données communiquées par le fabricant (HexcylSystems, com pers).

Classique	Hexcyl
	
<ul style="list-style-type: none"> ▶ 5100 poches sur 850 tables ⇒ Achat : 51 850 € ⇒ Installation : 51 765 € ⇒ Entretien : 13 500 € 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 10 200 paniers sur 82 lignes ⇒ Achat : 255 457 € ⇒ Installation : 15 760 € ⇒ Entretien : 100 €

Figure 80 : Coût des structures classique et Hexcyl à l'hectare

Le coût du matériel nécessaire est 5x plus important pour Hexcyl (Fig.80), cependant ce système est moins couteux en installation et entretien que le système classique. De plus, d'un point de vue règlementaire : 10 200 casiers peuvent être déployés à l'hectare contre 5100 poches classiques (Préfecture de Loire-Atlantique, 2021). A hauteur de 2 cycles par an (donc pour des professionnels spécialisés en prestation de prégrossissement (Glize, com pers)), le temps d'amortissement de la structure Hexcyl serai de 6 ans. Selon le modèle de production et les surfaces disponibles des exploitants, le système Hexcyl en demi-élevage présenteraient un fort intérêt en prégrossissement en remplacement du système classique pour les professionnels orientés sur la production d'huitres de demi-élevage ou en prestation de nurserie.

3.8 Discussion des résultats

Les **contraintes** imposées par un financement public (AAP, 2021) et les limites de temps d'expérimentation sur parc (dépendant des coefficients de marées et effectuées en équipe réduite) ont fortement cadré le protocole expérimental. Un choix sur les modalités à tester pour chaque structure a dû être fait après concertation avec les professionnels du *Syndicat des Parqueurs de Pen-Bé Mesquer*, en se basant sur les connaissances des performances des nouvelles structures présentes sur le marché suite à des tests du SMIDAP et d'autres organismes français et internationaux. D'autres systèmes existants auraient pu être testés.

Sans ces contraintes, il aurait été intéressant de tester toutes les poches en prégrossissement et en grossissement et au niveau des deux zones de bathymétries différentes (parc haut et bas).

Le principe d'équité interdit de comparer ces nouvelles structures entre elles. Si cela avait été possible, une **approche** plus **générale** aurait pu être faite pour identifier les facteurs de performance de ces différents systèmes (volume, intensité du brassage, hauteur dans la colonne d'eau...). Cela aurait été d'autant plus pertinent si les modalités *bathymétrie* et *stade de croissance* avait été testée sur chaque système.

Par une **comparaison des systèmes CGA et Nodus**, très proches dans leur conception et fonctionnement, l'intérêt d'un étalement des huitres à sec ou en haut sur les performances d'élevage aurait pu être mieux compris. Or CGA n'est présent que dans les hauts, et Nodus n'est testé que pour l'élevage.

Une **comparaison des poches Témoin, Nodus et CNG** aurait pu permettre de s'intéresser à deux caractéristiques de l'élevage de l'huitre : le brassage et le volume. En effet, la poche CNG est fixe (comme le témoin) mais de plus gros volume et la poche Nodus est de même volume que CNG mais en mouvement. Un flotteur était pu être placé sur une poche classique.

Pour le système **Hexcyl**, il aurait été intéressant, au sein du même *Long Line System*, de placer les poches à différentes hauteurs et à la fois orientées dans le sens du courant, comme déjà testé par le SMIDAP (Glize, 2020) et perpendiculairement (comme dans le programme NOUSYSTOS). Cependant, à l'échelle d'une poche, l'effet de densité-dépendance n'a pas été prise en compte malgré une densité presque 3x inférieur en paniers Hexcyl (ramené à l'échelle d'une exploitation, les conclusions de ces tests restent valables et montrent l'intérêt zootechnique de ce système).

Ces **résultats** sont **préliminaires** et seront à confirmer à l'issue du cycle d'élevage complet se terminant en Octobre-Novembre. La quantité de données recueillies mi-août est moins importante que celles qui seront recueillies en fin de cycle, lorsque la totalité des lots sera sorti

de l'eau (avec plus de temps pour effectuer plus de mesures). Cela ça traduira par une plus faible incertitude sur l'ensemble des paramètres suivis. Concernant l'approche économique, elle est impossible pour les lots n'ayant pas atteints un poids minimal qui permet d'associer une valeur à la production. Elle est également impossible pour les systèmes dont les fabricants n'ont pas encore fixé de prix. A ce jour, l'approche économique ne peut être faite que pour Hexcyl en prégrossissement.

Au sein d'un **triplicata**, une des poches est suivie mensuellement ou bimensuellement ce qui induit un biais lié à la manipulation : dans la poche manipulée plus que les autres, les huîtres ont une meilleure croissance mais il n'y a pas d'effet sur les autres paramètres (Glize, com pers) et les mortes sont retirées : nous devrions étudier cet effet densité-dépendant. Durant ce cycle d'élevage, nous n'avons vu cette différence de croissance uniquement au sein des poches classiques, les autres poches étant en mouvement, la manipulation dans le cadre des suivis est négligeable au vu du balancement constant des poches. Cependant, pour avoir un réel triplicata pour la croissance, il faudrait 4 poches par système, dont une manipulée pour les suivis croissance et mortalité (bi)mensuels.

Il aurait été très intéressant de suivre les **paramètres de l'environnement** de ces tests pour comprendre le comportement de certains lots. Par exemple : les systèmes présentant des rendements peu différents du système classique mais des indices de forme et de chair satisfaisants ne sont peut-être pas adaptés à la zone de test : les flotteurs présents sur ces systèmes (CGA et NODUS) les rendent très sensibles aux mouvements des masses d'eau et leurs résultats auraient peut-être été meilleurs (en termes de croissance) dans des zones plus calmes. Autrement dit, la recherche d'une meilleure croissance générale et d'un meilleur taux de chair peuvent-ils être concilier ? Où est la limite permettant de maximiser ces deux paramètres ? Mais également pour nuancer nos résultats par rapport à un contexte de production particulier (température, courantologie, richesse du milieu, météo...), pour savoir dans quelles zones de production les systèmes les plus prometteurs pourront être déployés.

L'année 2021 a été une année atypique en termes de **météo** avec une récurrence de fortes tempêtes de mars à août, et des coups de vent inattendus et importants les 03/07, 27/07 et 06/08. Le cycle d'élevage du programme NOUSYSTOS ne s'est donc pas fait dans des conditions « normales » peut-être à l'origine de certains épisodes de mortalité, cependant, le retard a pu être rattrapé avec une croissance très importante durant l'été pour tous les lots. Les conditions météorologiques difficiles pour ce cycle d'élevage ont cependant permis de tester les limites de ces systèmes.

Une suite à ces tests devrait être menée et se focaliser sur les systèmes les plus prometteurs. Ainsi, avec moins de systèmes à tester, cette nouvelle étude pourrait intégrer : l'évaluation de l'effet bathymétrique pour chaque système mais également un test sur différentes phases d'élevage et un suivi des conditions d'élevage.

4. Conclusion :

L'analyse des rendements des différents systèmes testés dans le programme NOUSYSTOS, ainsi que les calculs d'indice de qualité (forme, chair, infestation) visaient à quantifier l'**intérêt potentiel du remplacement du système d'élevage classique par de nouveaux systèmes d'élevage**. Malgré ces conditions de tests atypiques, le programme NOUSYSTOS a permis de confirmer les conclusions de la plupart des tests réalisés sur les nouvelles structures d'élevage ostréicole (cf 1.1). Parmi l'ensemble des systèmes testés, sous réserve d'une confirmation de ces résultats préliminaires par les dernières mesures de fin de cycle et d'un calcul de la rentabilité économique (aujourd'hui impossible), des systèmes à privilégier pour de prochains tests peuvent être identifiés. Une approche statistique a montré un effet bathymétrique sur le poids final et le taux de chair des huitres et un effet poche sur le taux de chair (Annexe IX), les poids et taux de chair finaux sont plus importants dans les bas. Les comparaisons une à une avec le témoin (système classique) confirment les résultats (ou les tendances) de l'approche statistique d'analyse multifactorielle. Ces différences pourraient être dues au temps d'exondation qui limite la nutrition et plus généralement la réalisation de différentes fonctions biologiques de l'huitre. Cependant, le système Hexcyl est à une hauteur dans l'eau équivalente à celle des poches situées dans le parc haut, mais la croissance et le de taux de chair sont plus importants : il pourrait y avoir des différences de propriétés de l'eau en fonction de son éloignement à la côte mais cela pourrait être également dû à un hydrodynamisme différent.

Les poches **NODUS et CGA en élevage** n'ont pas montré de différence de rendement par rapport au témoin. Cependant, tous les deux permettent une production de meilleure qualité avec des taux de chair supérieurs au système classique. Sous réserve de valorisation de cette qualité supérieure, leur utilisation en remplacement du système classique pourrait présenter un intérêt. Cependant, le prix de la poche CGA n'est pas connu et le poche Nodus coûterait près de 12 fois le prix d'une poche classique (NodusFactory, com pers). Les deux fabricants proposent cependant à l'achat leurs poches en kit non montées, qui seraient ainsi sensiblement moins onéreuses (mais qui nécessitent un temps de montage et donc un coût à prendre en compte). Malgré les économies d'intervention sur parc (ces poches étant en mouvement), un cout d'achat trop élevé rendrait non pertinent leur utilisation en remplacement du système classique. Concernant la poche Nodus, il n'y pas d'effet bathymétrique, c'est-à-dire pas d'intérêt à la placer en remplacement du système classique préférentiellement dans les hauts ou les bas.

La poche **CGA en demi-élevage** à un rendement très inférieur à celle du système classique (dans notre contexte de production) : elle ne présenterait pas d'intérêt à la remplacer, sachant son coût forcément supérieur à celui du système classique.

La poche **CNG** à de meilleurs rendements que les poches classiques dans les hauts et les bas. Cela pourrait être dû à la plus faible densité d'élevage dans la poche (de plus gros volume) : meilleur accès aux ressources et meilleure survie ; et à la plus grande liberté de mouvement des huitres dans celles-ci (effet de brassage) : les taux de chair sont significativement supérieurs au témoin dans les bas. Il y a un effet bathymétrique : il y a intérêt à remplacer les poches classiques par des poches CNG préférentiellement dans les bas. Le prix de cette poche serait légèrement supérieur à une poche classique (moins complexe que les poches à flotteurs). Les économies d'intervention sont peu nombreuses par rapport au système classique et une étude

de rentabilité économique est indispensable mais la poche CNG semble être un modèle d'élevage prometteur pour de futurs tests. Elle pourrait être testée en prégrossissement.

La poche **Hexcyl en prégrossissement et grossissement** a un avantage certain : aucune intervention nécessaire (à part un contrôle) pendant le cycle d'élevage, 20% plus court que pour un élevage en poche classique sur table. Malgré un coût plus important de ce matériel, le rendement très supérieur pour le prégrossissement et l'avantage qualitatif et quantitatif pour le grossissement, ainsi que l'autonomie de ces systèmes vis-à-vis des interventions humaines, font des paniers australiens Hexcyl des systèmes très prometteurs pour la filière ostréicole en quête d'innovations.

Face aux limites biologiques de l'augmentation des rendements d'élevage (valeur produite), la rentabilité économique de nouveaux systèmes ostréicoles sera dépendant de la diminution des interventions humaines nécessaires. Dans l'élevage classique, ces interventions sont très nombreuses en demi-élevage (prégrossissement) et moins nombreuses en élevage (grossissement) : c'est donc sur l'automatisation des systèmes de demi-élevage ostréicole que la recherche devrait prioritairement porter. Leur démocratisation dans le paysage ostréicole français dépendra également de leur adaptabilité aux différents contextes de production.

L'ensemble de ces résultats participent, avec de futurs tests, à l'identification de structures qui pourront constituer un moyen pour la filière de rester rentable, de compenser la raréfaction de la main-d'œuvre ostréicole et ainsi de redynamiser une filière fragilisée depuis une douzaine d'année.

Si les nouveaux systèmes comme les paniers australiens (Hexcyl) permettent une augmentation des rendements tout en diminuant en même temps le nombre d'intervention humaines nécessaires et la pénibilité au travail, elles pourraient lutter contre la déprise touchant la profession et amener un renouveau dans la filière rendue plus rentable et plus attractive, autant pour les chefs d'exploitation que pour les ouvriers. D'autres systèmes d'élevage innovants présentant les mêmes avantages par rapport aux systèmes classiques existent ou pourraient voir le jour. Leur démocratisation dans le paysage ostréicole français dépendra également de leur adaptabilité aux différents contextes de production sur nos côtes.

Bibliographie :

- Agrocampus Ouest. 2013. *Etat des lieux de la filière ostréicole Bilan des recherches et des projets de sortie de crise*. In : Fiche n°5,4. Disponible sur : https://tice.agrocampus-ouest.fr/pluginfile.php/24916/mod_resource/content/0/Etat_des_lieux_de_la_filiere_ostreicole_18.12.pdf
- AquaInfo. 2001. Comparing Subtidal and Intertidal Growth in Off Bottom Oyster Culture. In *AquacultureNotes AIN 07.2001*.
- BLIN J.L. 2018. Nouveau système d'élevage des huîtres « Poches australiennes ». In : Rapport d'activité du Smel. Disponible sur : <https://www.smel.fr/wp-content/uploads/2018/08/Rapport-poches-australiennes.pdf>
- BOUCAUD C. LEBESNERAIS C. LUBET P. LIHRMANN I. 1983. *Dynamique et enzymologie de la digestion chez l'huître Crassostrea gigas*. Disponible sur : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00000/1179/>
- CNC. 2017. Accord interprofessionnel sur la dénomination et la classification des huîtres creuses. Délibération n°107 du Comité National de la Conchyliculture. Disponible sur : http://reglementation-polmer.chez-alice.fr/Textes/deliberation_107-2017.pdf
- COGNIE B et BARILLE L. 2001. *Selective Feeding of the Oyster Crassostrea gigas Fed on a Natural Microphytobenthos Assemblage*. *Estuaries and Coasts* - ESTUARIES COASTS. 24. 126-134. 10.2307/1352819.
- COMPS M. 1970. La maladie des branchies chez les huîtres du genre *Crassostrea* caractéristiques et évolution des altérations, processus de cicatrisation. In : *Revue des Travaux de l'Institut des Pêches Maritimes*, 34(1), 23-44. Disponible sur <https://archimer.ifremer.fr/doc/00000/3145/>
- DE GRINIS M. 2007. *Sources de nourriture et bioénergétique de l'huître creuse (C. gigas)*. Disponible sur http://www.ifremer.fr/aquadeb/en/publications_and_products/2007/rapport-M2EDEL_m.de-crignis.pdf
- DRAAF pays de la loire. 2015. L'ostréiculture dans les Pays de la Loire. AGRESTE Avril 2015. Disponible sur : https://draaf.pays-de-la-loire.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Agreste_2015_04_Conchy_Ostreicle051148.pdf
- DSF MEMN. 2018. *Coûts liés à la dégradation des ressources biologiques exploitées. Cas des ressources conchylicoles*. Disponible sur : http://www.dirm.memn.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/20180614_couts_de_la_degradation_conchyliculture_memn_version_pre-finale.pdf
- DUPUY C. LE GALL S. HARTMANN H.J. BRERET M. 1999, *Retention of ciliates and flagellates by the oyster Crassostrea gigas in French Atlantic coastal ponds: protists as a trophic link between bacterioplankton and benthic suspension-feeders*. In : *Marine Ecology Vol 177* p165-175, Disponible sur : <https://www.int-res.com/abstracts/meps/v177/p165-175/>
- FranceAgriMer. 2013. L'image de l'huître auprès des consommateurs et des acheteurs professionnels. In : *Les études de FranceAgriMer Edition juin 2013*. Disponible sur : https://www.franceagrimer.fr/content/download/25155/document/ETU-MER-2013-%20Image_huitre%20%28synth%C3%A8se%29.pdf

- GENDRONNEAU M. 2006. Étude des secteurs du Croisic et de Pen-Bé : estimation des apports continentaux et évaluation des stocks conchylicoles. Disponible sur : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00380/49129/49564.pdf>
- GLIZE P. 2004. *Intérêt potentiel de nouvelles structures d'élevage en ostréiculture : long line BST*. présenté au CST du SMIDAP du 02/02/06.
- GLIZE P. Philippe. 2007. Intérêt du système d'élevage ostréicole pendulaire. In Rapport d'activité du SMIDAP de 2007
- GLIZE P. 2012. Procédé d'élevage ostréicole : Le système Balancelle. In *Rapport d'activité du SMIDAP 2012*.
- GLIZE P. BARRAUD. A. 2013. *Suivi des populations d'huîtres creuses élevées dans le traict de Pen Bé-Mesquer – Programme Penhuit*.
- GLIZE P. CESBRON R. 2015. *Suivi des populations d'huître creuse (Crassostrea gigas) élevées dans le traict de Pen-bé – Mesquer – Programme Penhuit (2)*.
- GLIZE P. MENEUR. C. 2018. Suivi de la mortalité de l'huître creuse – Bilan final 2017. In : Rapport d'activité du SMIDAP 2018.
- GLIZE P. 2020. *Intérêts potentiels de nouveaux systèmes d'élevage ostréicole : Programme NOUSYSTOS*, Dossier de candidature à l'appel à projets annuel « Aquaculture – Pêche » de la Région. 2020/11
- GLIZE P. 2020. Procédé d'élevage ostréicole : Long-line System Hexcyl. In *Rapport d'activité du SMIDAP 2021*
- GLIZE P. 2020. Procédé d'élevage ostréicole : Poche XXL. In *Rapport d'activité du SMIDAP 2021*
- GLIZE P. 2020. *Programme Lepido-Pen : Action 1 Approches professionnelles des épisodes d'eaux colorées vertes à lepidodinium chlorophorum sur les productions aquacoles en baie de Pen Bé*.
- HAURE J. FORIN A. DUPUY B. NOURRY M. PALVADEAU H. PAPIN M. PENISSON C. MARTIN J.L.. 2003. *Etude comparative des caractéristiques écophysiologiques et des performances de croissance de l'huître creuse Crassostrea gigas diploïde et triploïde en milieu contrôlé*. Disponible sur : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00000/1509/>
- HUVET A. 1997. Différenciation génétique de deux huîtres creuses *Crassostrea gigas* et *Crassostrea angulata* : apport des marqueurs microsatellites. Rapport de Stage Mémoire DEA. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00033/14377/>
- JORF. 2021. *Décret n°2021-1015 du 30 juillet 2021 relatif aux concessions pour les exploitations aquacoles détenant ou produisant des mollusques bivalves tétraploïdes ou leur matériel reproducteur*, JORF n°0177 du 1 août 2021 Texte n° 59, <https://www.legifrance.gouv.fr/download/pdf?id=HaOxIv5H3unH0jmszUfYUD5KyMHM7prSSFt2FLc15jk=>
- MAA. 2019. *Enquête Aquaculture 2016-2017*. Agreste Chiffres et Données. Juillet 2019. N°2019-8, p 10. Disponible sur : <https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/download/publication/publie/Chd1908/cd2019-8-2.pdf>
- MARTEIL L. 1976. *La conchyliculture française. 2eme partie. Biologie de l'huître et de la moule*. In : Revue des Travaux de l'Institut des Pêches Maritimes, 40(2), 149-346. Disponible sur : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00000/1796/>

MORTON B.S. 1977. *The tidal rhythm of feeding and digestion in the pacific oyster, Crassostrea gigas (Thunberg)*. In : Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, Volume 26, Issue 2, 1977, Pages 135-151, ISSN 0022-0981. Disponible sur : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0022098177901034>

Préfecture de Loire Atlantique. 2021. *Schéma des structures des exploitations marines de Loire Atlantique (zone 44.03)*.

SOLETCHNIK P. LE MOINE O. FAURY N. RAZET D. GEAIRON P. GOULLETQUER P. FOREST G. 1998. *Mortalités printanières et estivales de l'huître creuse Crassostrea gigas dans le Bassin de Marennes - Oléron : Etude des élevages situés sur les bancs ostréicoles de Ronce-Perquis*. Disponible sur : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00080/19164/>

TREGUIER C. SCHMITT A. COCHENNEC-LAUREAU N. PIQUET J.C. 2018. *Etude sanitaire du traict de Pen Bé. Zone N° 44.03. Département de Loire-Atlantique*. Disponible sur : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00425/53629/>

Sitographie (articles et illustrations) :

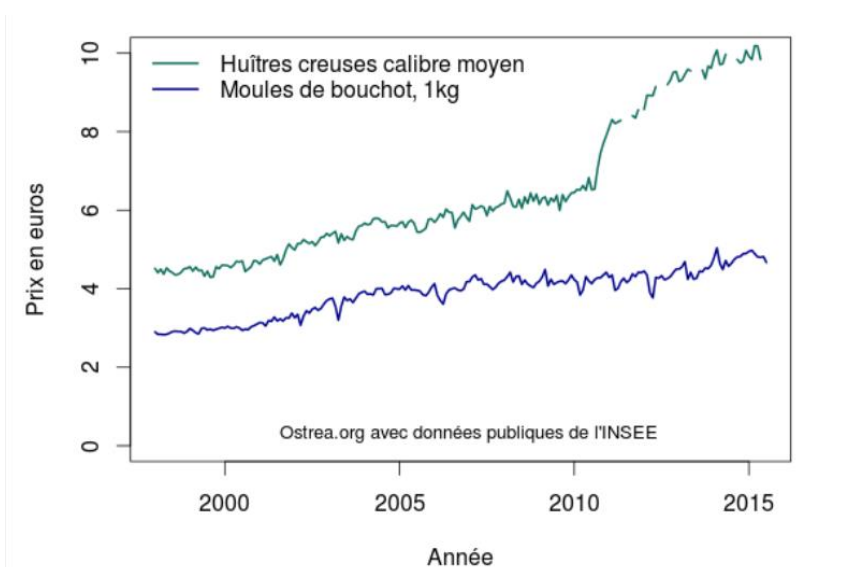
- Aphotomarine.com. 2018. *Polydora sp. In plankton sample*. Disponible sur : https://www.aphotomarine.com/worm_polydora_sp_12-05-18.html (consulté le 28/07/21).
- CNC.com. 2020 .Biologie des huitres. Disponible sur <http://cnc-france.circum.net/Biologie-des-huitres.aspx> (consulté le 20/06/21)
- DDTM 44 / DML. 2021. *Cadastre conchylicole de Loire-Atlantique*. Shapefile téléchargée le 27/07/21
- Eau-et-rivières.org. 15/03/2021. *A quand la transparence sur les huîtres triploïdes?*. Disponible sur : <https://www.eau-et-rivieres.org/quand-la-transparence-sur-les-hu%C3%AETres-triplo%C3%AFdes> (consulté le 03/08/21).
- FAO.org. 1953-.... Base de données en ligne « *FIGIS- Fisheries Statistics-Aquaculture* ». Disponible sur <http://www.fao.org/figis/servlet/TabSelector> (consulté le 15/06/21)
- FranceAgriMer.fr. 2021 .*Prix de l'huître creuse*. <https://rnm.franceagrimer.fr/prix?HUITRE> (consulté le 03/08/21)
- Hexcylsystems.com.au. 2021. *Products & Services – Hexcyl Baskets*. Disponible sur <https://www.hexcylsystems.com.au/long-line-baskets-oyster-baskets-adjustable-long-line-inter-tidal-oyster-farming-shellfish-aquaculture.html> (consulté le 26/03/21).
- huitresmarenesoleron.info. 2021. *FAQ*. Disponible sur : <https://www.huitresmarenesoleron.info/CH-faq.html> (consulté le 03/08/21)
- Ifremer.fr. 04/03/08. *Indice Polydora d'évaluation de l'infestation des valves d'huîtres par le ver parasite Polydora (REMORA)*. Disponible sur : <http://www.ifremer.fr/remora/Pages/polydora.htm> (consulté le 30/03/21).
- LEGUE P. et PROU J. 15/12/12. *L'huître, un coquillage nomade sans tête ni jambe mais avec un pied*. In : *Techniques & Culture*, 59. Disponible sur : <http://journals.openedition.org/tc/6717> (consulté le 30/04/21).
- Ostrea.org. 06/07/2011. *Les épizooties historiques de l'huître en France..* Disponible sur <https://www.ostrea.org/les-epizooties-historiques-de-lhuître-en-france/#:~:text=L%C3%A9pizootie%20de%201970%20E2%80%93%201973%20sur%20l'hu%C3%AETre%20portugaise&text=C'est%20dans%20le%20bassin,an%20et%20enfin%20le%20naissain> (consulté le 27/07/21)
- Ostrea.org. 16/09/2015. *Evolution des prix de vente au détail des huîtres et des moules*. Disponible sur : <https://www.ostrea.org/evolution-des-prix-de-vente-au-detaill-des-huitres-et-des-moules/>. (consulté le 28/07/21).
- Ostrea.org. 2020. *Economie de l'huître en France et dans le monde (sources : FranceAgriMer & CNC)*. Disponible sur : <https://www.ostrea.org/economie-de-lhuître-en-france-et-dans-le-monde/> (consulté le 03/01/21)
- Ouest-France.fr. 27/10/2017. *Les ostréiculteurs cherchent de la main d'œuvre..* Disponible sur <https://www.ouest-france.fr/normandie/grandcamp-maisy-14450/les-ostreiculteurs-cherchent-de-la-main-d-oeuvre-5341897> (consulté le 28/07/21)
- Smidap.fr. 2021. *Présentation du SMIDAP*. Disponible sur <https://www.smidap.fr/presentation.html> (consulté le 10/03/21).

ANNEXES

Annexe I : Fonctionnement et objectifs du SMIDAP

Créé en 1982, le SMIDAP (Syndicat Mixte le Développement de la Pêche et de l'Aquaculture en Pays de la Loire) est un institut technique public. La structure est constituée de 4 permanents accompagnés de plusieurs CDD (2 en 2021) ou stagiaire pour réaliser ses missions en conchyliculture, pisciculture (quasi totalement en eau douce) et pêche. Le comité de direction du SMIDAP est composé du Conseil régional Pays de la Loire et des Conseils départementaux de Loire-Atlantique et de Vendée. Il est doté d'un Conseil Technique composé de comités ou groupements professionnels (CRC, COREPEM, GAED), de l'IFREMER, d'instances universitaires (Université de Nantes, ONIRIS, Agrocampus Ouest) et de l'Agence de l'eau ainsi que du Service d'Hydrologie vendéen. En lien avec des partenaires scientifiques mais aussi professionnels et institutionnels, les missions du SMIDAP sont : « l'appui technique et scientifique, l'assistance et conseil, l'expérimentation et la recherche, l'information et veille technologie et la coordination technique de démarches collectives » (Smidap.fr, 2021).

Annexe II : Evolution mensuelle des prix de ventes des huitres creuses (et moules de bouchots entre 1998 et 2015 (Ostrea, 2015- données INSEE)



Annexe III : Dénomination et commercialisation de *C. gigas* :

Le Comité National de la Conchyliculture (CNC) encadre la dénomination et classification des productions de *C. gigas*. Les huitres se voient assigner, en fonction de leur poids, un certain calibre (CNC, 2017). On distingue les huitres longues (de poids inférieur ou égal à 30g et d'un indice de forme supérieur à 3) non commercialisables, des différents calibres allant des huitres n°5 (de 30 à 45g) au calibre n° 0 (supérieur à 150g) que l'on peut proposer à la vente « en BtoC » (Business to Consumer).

Le taux de chair détermine les possibles appellations des huitres. On distingue les huitres fines (indice de remplissage compris entre 6.5 et 10.5% exclu) des huitres spéciales (indice de remplissage supérieur à 10.5%). L'affinage, encadré par ce même accord, dans des claires ostréicoles constitue une dénomination possible supplémentaire des huitres leur apportant une

réelle valeur ajoutée. Ainsi, existent les dénominations « fines de claires » et « spéciales de claires », spécialité de la région de Marennes-Oléron et des Pays de la Loire.

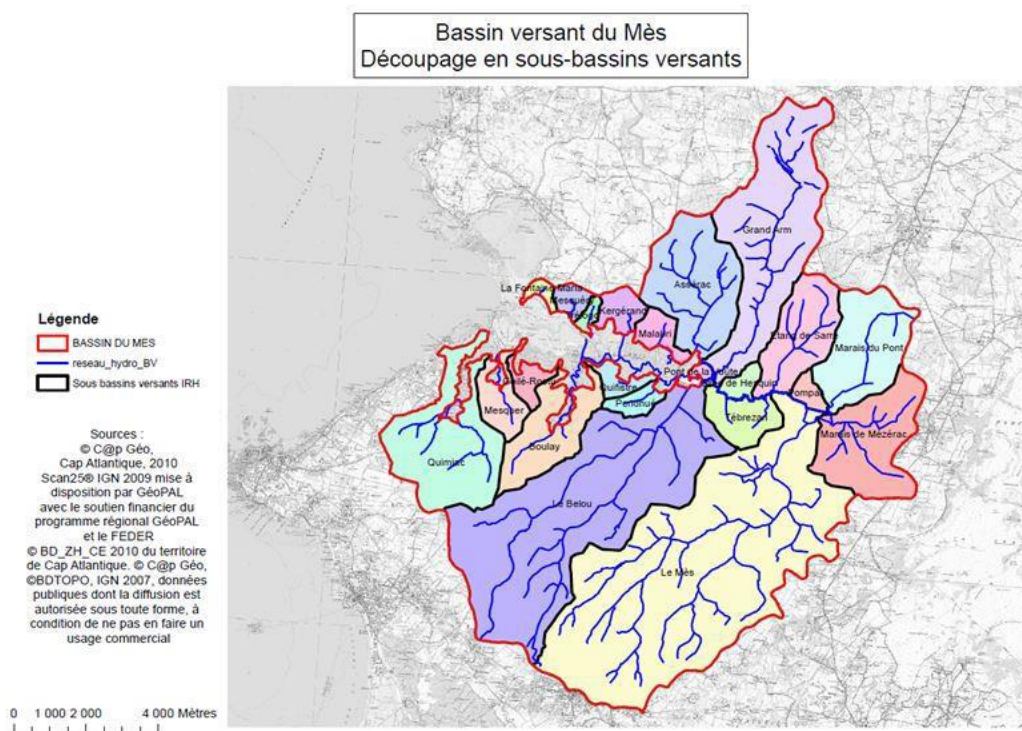
Des huitres de toutes tailles sont commercialisables en « BtoB » (Business to Business) sans minimum de poids : principalement la vente de naissain et plus rarement de demi-élevage entre professionnels, mais également des huitres de taille commercialisable (supérieures à 30g).

Annexe IV : Caractéristiques du site d'expérimentation de Pen-Bé Mesquer

Site du suivi : Traict de Pen-Bé Mesquer.

Le site d'expérimentation se situe au sein du parc conchylicole du traict de Pen Bé-Mesquer. Ce traict, une échancrure de la côte permettant la formation d'un bras de mer, alimente les marais salants du Mès en Loire Atlantique (illustration ci-dessous). Malgré sa situation géographique, à la limite nord de la Loire-Atlantique et mitoyen du département du Morbihan, cette zone de production dépend du CRC Bretagne Sud qui couvre la zone littorale allant de la presqu'île de Crozon jusqu'au traict du Croisic plus au sud (DML/DDTM 44, 2021). Le traict est sur la zone de la communauté de commune CAP ATLANTIQUE.

Apports terrestres



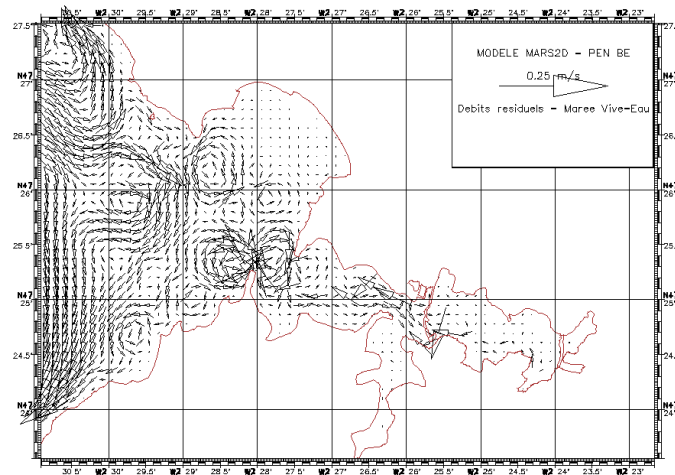
Carte des sous bassins versants du traict de Pen Bé (source étude IRH 2013)

Les apports terrestres proviennent du bassin versant du Mès (TREGUIER, 2018) de 13 200 ha agricoles sur environ 2/3 des surfaces agricoles (en majorité de production laitière, de viande bovine et de céréales) et urbanisé à 12% (avec une population de plus de 40 000 résidents à l'année mais qui double l'été) (TREGUIER, 2018). CAP Atlantique intervient dans la gestion et le contrôle de la qualité de l'eau, notamment dans les problématiques d'assainissement des eaux usées. Cette surveillance des contaminations chimique ou biologique et de l'enrichissement en N et P permet de lutter contre les blooms d'algues ou à la présence de

pathogènes transmissibles (ex : norovirus) ou non (ex : OsHv-1) à l'Homme. Le but étant de garantir la sécurité des populations tout en limitant les impacts sur les capacités productives du traict. La connaissance des composants du bassin versant du Mès peut être une aide dans l'interprétation des périodes de mortalité anormale.

Apports marins

Les apports d'eau de mer proviennent quant à eux de l'ensemble hydrographique « Baie de Vilaine » caractérisés par un faible courant 0.4 m/s (courants de marée d'origine sw-ne) et 0.2 m/s (courants résiduels d'origine majoritairement éolienne) (TREGUIER, 2018).



Débits résiduels secteur de Pen Bé – marée de vive eau (Gendronneau, 2006)

Caractéristiques de l'estran

Le temps important de renouvellement (temps de résidence : de l'eau de 2 à 8 jours) de l'eau dans la baie de Vilaine peut expliquer l'occurrence de périodes d'anoxie critique pour les producteurs, mais est compensée par l'alimentation en masse d'eau océanique lors des périodes de faible apport d'eau terrestre. Le traict se caractérise par un envasement moyen, des eaux calmes et donc peu turbides, expliquant un développement conséquent d'algues, mais également un captage de balanes sur les structures. Le risque d'encrassement du matériel ostréicole est conséquent et explique des manipulations plus récurrentes que sur d'autres zones de production. On observe une périodicité d'épisodes de prolifération de microalgues *Dinophysis* ou *Lepidodinium* (Glize, 2020).

Capacités productives et historiques de production

Une soixantaine de producteurs ostréicoles, mytilicoles et vénéricoles se partagent cette zone avec une prépondérance de l'ostréiculture dont la production est de 1000 tonnes par an (huitres en taille commerciale) soit 12% de la production ligérienne (Glize, 2013) et de 30 millions de naissains.

Alors que l'ensemble du territoire national est touché par de fortes mortalités estivales sur les juvéniles d'huitres à hauteur de 50 à 70 %, le traict de Pen-Bé Mesquer constitue une zone presque préservée de ce phénomène avec des mortalités estivales sur les juvéniles comprises entre 15 et 20% (Glize, 2013). Cette mortalité estivale serait liée ou en tout cas accompagnée par la présence d'herpesvirus OshV-1 (Glize, com pers). L'apparente spécificité de cette zone

de production est cependant à nuancer par rapport à l'origine des huitres qu'on y élève. En effet, le parc de Pen-Bé se caractérise par l'élevage presque exclusif d'huitres d'écloseries triploïdes : 94,8% d'huitres issues d'écloserie dont 92% de triploïdes et 5,2 % de captage naturel (Glize, 2013). Les bons taux de survie et croissance des naissains triploïdes au sein de la zone très productive de Pen-Bé Mesquer, associés à la proximité du Polder de Bouin où se regroupent la majorité des écloserieurs français, expliquent l'orientation productive de la zone : beaucoup de naissains mis sur parc avec des professionnels oscillant entre la production personnelle et la prestation au près d'écloseries/nurseries (pouvant étendre leur catalogue d'huitres à des stades plus avancés).

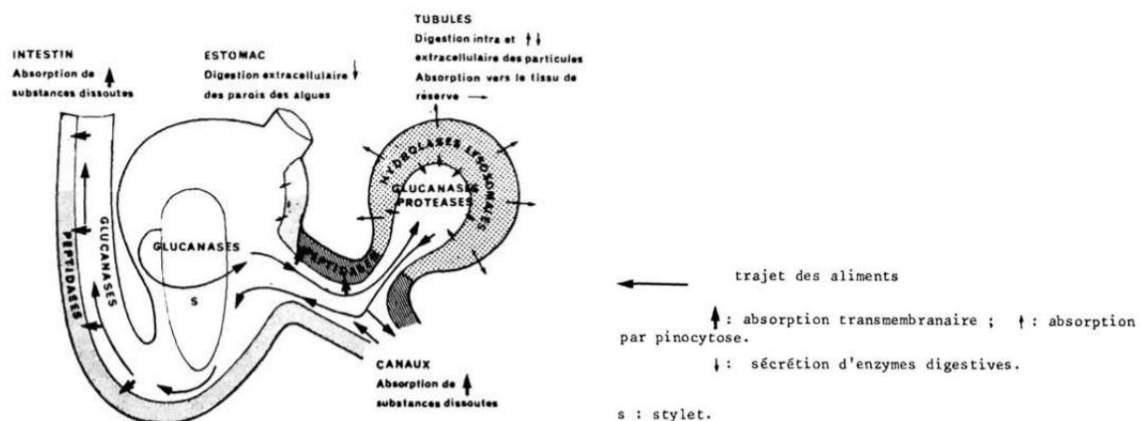
La zone est considérée très productive et le cycle d'élevage complet s'y faisait jusqu'à il y a quelques années sur 2 ans, avec des mortalités quasi nulles sur les huitres de 2^{ème} année. Cependant, deux nouveaux phénomènes sont apparus depuis quelques années : des phénomènes de mortalité accrue sur les huitres de 2 et 3 ans et une baisse de la productivité générale de la zone. Les causes de ces changements ne sont pas clairement identifiées mais une intensification de l'élevage conchylicole dans cette zone pourrait en être la cause avec, en quelques années, un passage de 20 millions de naissains (pour une production de 800-1000 T en produit fini à 30 millions de naissains sur les parcs avec seulement la moitié amenée en taille commerciale (Glize, 2015).

Annexe V : Biologie de l'huitre creuse

Nutrition – Système digestif de l'huitre :

Le système digestif de l'huitre creuse se compose d'une bouche encadrée de pièces buccales : les palpes labiaux (MORTON B.S, 1977), qui assurent une ingestion sélective des nutriments du milieu (Cognie et al., 2001) en fonction de la taille et de l'ornementation des particules (Ostrea, 2015). Le tube digestif est composé d'un estomac comportant un stylet cristallin, suivi de l'intestin et de l'anus.

Le stylet cristallin a un double rôle : trituration des aliments facilitant la digestion des carbohydrates et source d'énergie en cas de jeûne alimentaire (par dissolution et production d'enzyme transformant l'amidon en sucres digestibles), il constitue donc un témoin de l'activité alimentaire de l'huitre (Marteil Louis, 1976) (*Illustration ci-dessous*).



Représentation schématique des différents sites de la digestion chez *Crassostrea gigas* (Boucaud, 1985)

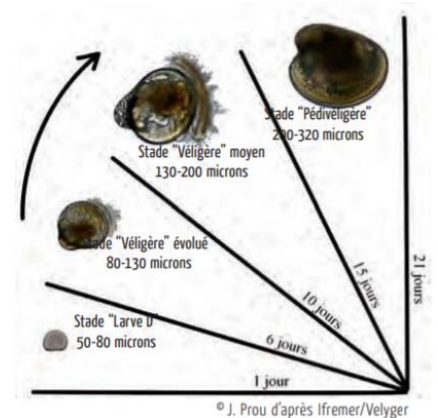
Trois organes assurent une alimentation sélective. Les branchies (en plus de la respiration) jouent un rôle de rétention particulaire en fonction de leur taille, les particules sélectionnées

sont liées à un mucus pour éviter leur remise en suspension. Les palpes labiaux assurent une sélection pré-ingestive : les particules sont soit rejetées sous forme de pseudo-fèces soit soumises de nouveau à un tri avant d'entrer dans la bouche. Au sein du système digestif, la glande digestive assure une sélection post-ingestive sur les particules (De Crignis, 2007).

En fonction de la température de l'eau, le « taux de pompage » de l'huître est compris entre 2 à 5 L d'eau filtrée par heure, avec un optimum à 20°C (huitresmarenesoleron.info, 2021). Le taux de filtration (vitesse d'épuration d'un volume d'eau en ses particules) est de 4 L.h⁻¹.g⁻¹ pour les flagellés et de 6,8 L.h⁻¹.g⁻¹ pour les cillés (Dupuy et al. 1999). Et dépend de la température, de la masse corporelle et de la concentration en nourriture (Phytoplancton, matière organique détritique et seston minéral). La croissance pondérale de l'huître dépendra ainsi du taux de pompage, de l'efficacité de rétention, du taux de filtration, du taux de rejetion, du taux d'ingestion et de l'efficacité d'absorption (De Crignis, 2007). Cette croissance en chair est dû au stockage de l'énergie accumulé par l'absorption d'éléments du milieu au sein de l'organe de réserve de l'huître.

Reproduction :

La période de reproduction peut s'étendre (en fonction des températures et de la profondeur du parc (Soletchnik et al., 1998) de la fin du printemps (début de la maturation) à la fin de l'été (dernière ponte). Les émissions des gamètes des mâles et des femelles sont synchronisées pour optimiser le nombre de larves produites dont une grande partie ne survivra pas aux 3 premières semaines de vie avant leur fixation au stade pédivéligère (*Illustration ci-contre*). La larve devient, en se fixant, du « naissain », avec un plan d'organisation similaire à celui d'un adulte dont il atteindra la taille au fil de sa croissance (LEGUE & PROU, 2012).



Evolution des larves de *C. gigas* (Legué & Prou, 2015)

Obtention triploïde :

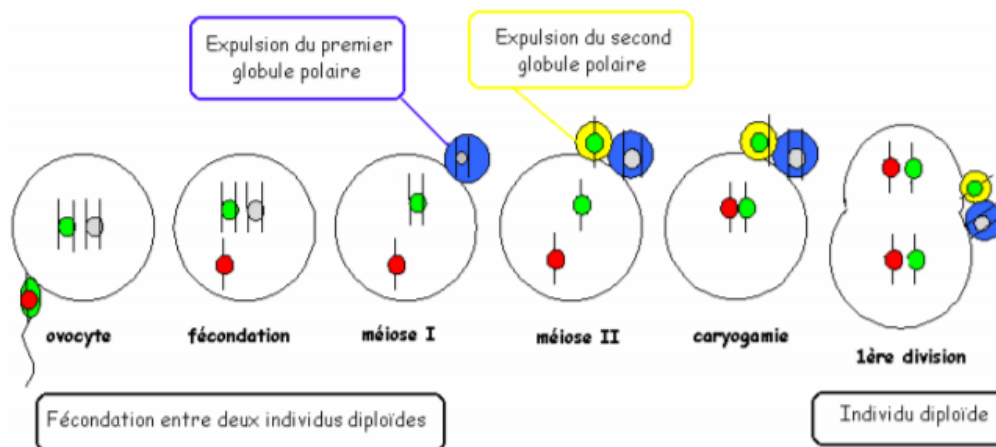
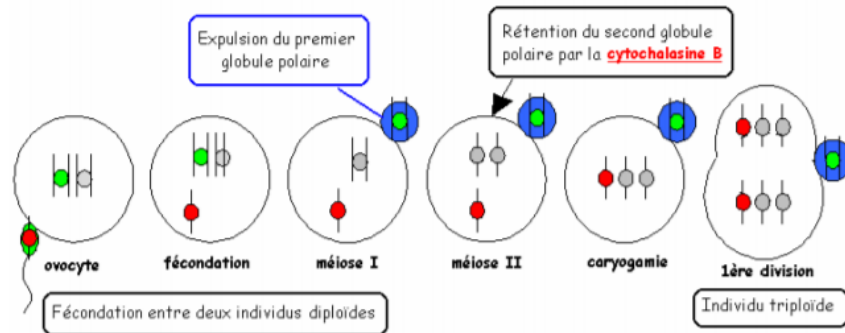


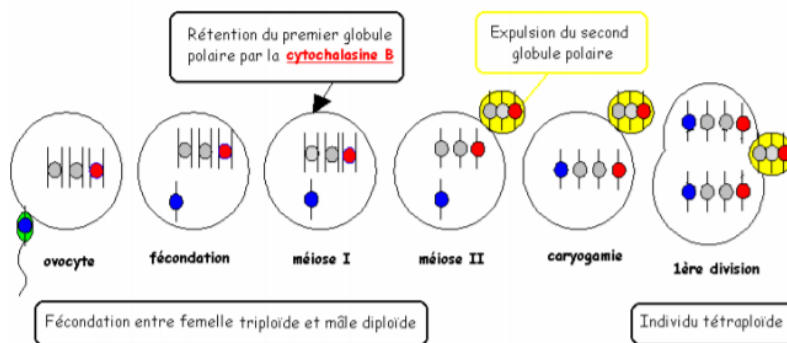
Schéma de la fécondation entre deux diploïdes et développement d'un œuf d'huître diploïde (Haure et Al. 2003)

Le croisement entre deux diploïdes donne un individu diploïde de génome biparental (Illustration ci-dessus).



Inhibition de l'émission du 2nd globule polaire lors d'une fécondation diplo-diplo et obtention d'une descendance triploïde (Haure et Al. 2003)

Pour l'obtention d'une descendance triploïde à partir de deux diploïdes, l'expulsion du 2nd globule polaire est inhibée par la cytochalasine B : la descendance sera un triploïde ayant pour chaque trio de chromosomes 1 chromosome du « père » et 2 chromosomes identiques de la « mère ». Aujourd'hui grâce à la maîtrise de la production de tétraploïdes (Illustration ci-dessus), l'obtention des triploïdes se fait par croisement diplo-tétra.



Obtention d'un œuf tétraploïde par croisement diplo-triplo (Haure et Al. 2003)

L'obtention d'un tétraploïde, par croisement diplo-triplo, se fait par rétention du 1^{er} globule polaire : la descendance aura sur ses quatuors de chromosomes 1 du père et 3 de la mère. Une autre technique consiste à bloquer l'émission des 2 globules polaires après avoir inactivé le stock chromosomique du spermatozoïde.

Le choix de la technique utilisée dépend de son coût et des stocks de géniteurs tétraploïdes. Les schémas de sélection des géniteurs pour la production de triploïdes sont plus complexes du fait de la différence de diploïdies : les mâles et femelles sont dans des schémas de sélection distincts.

En France, seul l'Ifremer est habilité à produire des tétraploïdes cependant de nombreuses écloséries s'affranchissent de l'institut et produisent leurs propres tétraploïdes. Les tétraploïdes, de par leur nombre pair de chromosomes, sont fertiles et leur mise à lot (même dans des structures adaptées fermées) est soumise à des normes devant garantir la non dispersion dans le milieu naturel. En 2020, une consultation du MAA a été organisée dans ce but (Eau-et-rivières, 2021). Le 30 juillet 2021, un nouveau décret est adopté sur les bases de cette consultation (JORF, 2021).

Annexe VI : Elevage de *C. gigas* :

L'étude des performances de nouveaux systèmes d'élevage nécessite la connaissance des caractéristiques d'un cycle d'élevage ostréicole.

La durée de ce cycle d'élevage dépend : du type d'élevage choisi, de l'origine du lot (captage, ou diploïde ou triploïde d'écloserie) et des paramètres biotiques et abiotiques du milieu.

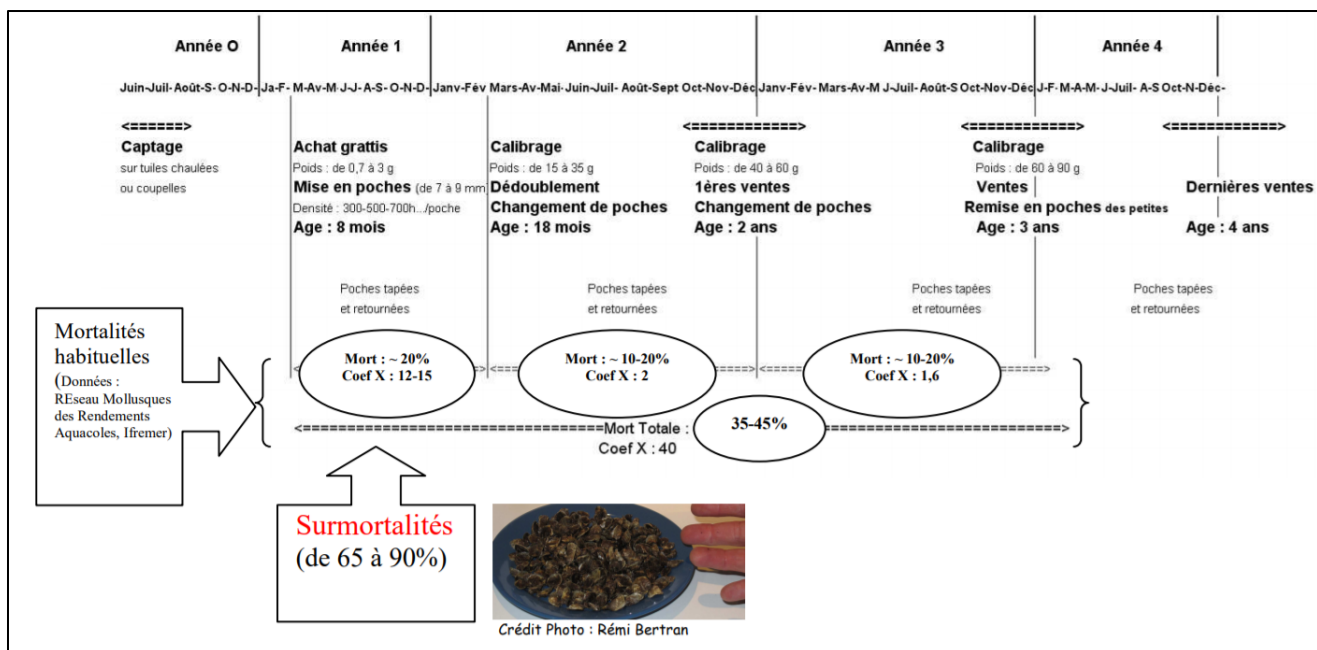
Le cycle d'élevage de *C. gigas* est composée de plusieurs phases. **L'obtention de naissain** peut se faire par **captage naturel** : les larves naturellement présentes dans les bassins naisseurs se fixent sur des structures placées en mer l'été (période de ponte) dans les bassins naisseurs, et s'y développent jusqu'au « détachement » (elles sont décollées de la structure de captage) 6 à 8 mois plus tard pour être placées en poche. L'obtention de naissain, en s'affranchissant des périodes de reproduction naturelles des huitres, est rendue possible par les **écloseries** qui le produisent toute l'année en milieu contrôlé : les jeunes huitres passent de l'écloserie à la nurserie avant d'être mises à l'eau lorsqu'elles atteignent une taille T6 ou T8, tout comme le naissain de captage, mais à un âge plus précoce car « poussant » plus vite en nurserie. Les huitres d'écloserie sont issues d'une sélection de géniteurs et peuvent être diploïdes ou triploïdes, alors que le naissain de captage naturel est uniquement diploïde et issu du pool génétique des huitres adultes du bassin naisseur. Mis en mer, le naissain entame la phase de **prégrossissement (ou demi-élevage)** d'environ 1 an, puis (au stade d'« huitre de demi-élevage ») de **grossissement (ou élevage)** d'1 an ou plus, puis de **finition et/ou d'affinage**.



Au fil de la croissance d'un lot, le transfert dans des poches de maillage plus important, associé à des dédoublement (diminution de la densité au sein des poches en prévision de la croissance) est nécessaire pour permettre une circulation optimale de l'eau et un apport optimal en nutriments et en oxygène. Ce passage en poche de maillage plus grand permet également de diminuer les risques de colmatage des poches par la vase, les algues ou la fixation de coquillages entraînant de fortes mortalités.

Au cours du cycle d'élevage, des calibrages sont associés à ces changements de poches pour reconstituer des lots homogènes (la croissance au sein d'une même poche pouvant être très variable).

Ainsi, le cycle d'élevage durera au minimum 2 ans pour les « têtes de lots » alors que les « queues de lot » ou « boudeuses » (huitres à très faible croissance) pourront mettre plusieurs années supplémentaires avant d'atteindre le poids requis pour la commercialisation (*Illustration ci-dessous*).



Exemple de cycle d'élevage de l'huître creuse (en surélévation, à partir de naissain détrouqué à 8 mois) (Agrocampus Ouest, 2013)

Annexe VII : Diversité des élevages de *C. gigas* :

L'étude NOUSYSTOS s'intéresse à 4 nouveaux systèmes d'élevage, mais il existe une grande diversité de types et systèmes d'élevage ostréicole :

La culture au sol est la plus proche du mode de vie naturel de l'huître (Pangea Shellfish Company, 2020), la nécessité d'intervention humaine est très faible mais cette technique a été abandonnée en France au vu de la forte mortalité et de la repêche délicate sur estran mais elle continue d'exister en eau profonde. La culture en surélévation est la plus répandue en France : sur table, sur cadre ou en cage.



Elevage en surélévation sur table (Pangea Shellfish Company, 2020)



Elevage en cage immergée (PSC, 2020)

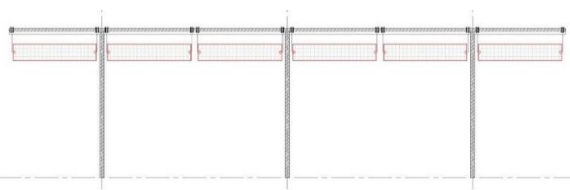


Elevage sur cadre (PSC, 2020)

Les tables surélevées sont des structures d'accroches adaptées pour une grande variété de poches. Les possibilités d'accroche et de mise en mouvement des poches, pour favoriser le brassage des huîtres, sont nombreuses, par exemple la suspension sous table (SST).



Poche Nodus en SST (NodusFactory.com)



Poche CGA en SST sur axe (CGAdistrib.com)

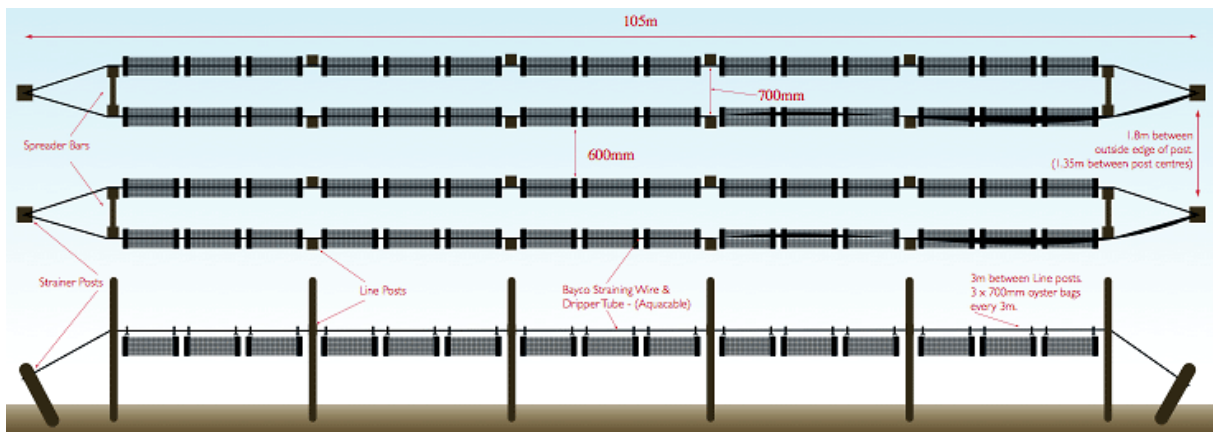


Des systèmes encore plus récents, en cours de développement, permettent une totale indépendance des lots d'huitres vis-à-vis de l'intervention humaine (illustration ci-dessous).



Ostréa Spin d'Ostréatlantic, 2021

Mais les tables ne constituent pas les seules structures d'élevage : la culture en suspension s'est développée particulièrement dans les pays possédant des baies fermées, aux eaux plus calmes, comme l'Australie. Des casiers ostréicoles sont suspendus à un câble tendu entre des pieux, on parle de « Long Line Systems » (illustration ci-dessous). L'oscillation continue de ses casiers « travaille » l'huitre en continu qui ne se maille pas, entraînant une économie de temps et de main d'œuvre pour l'entreprise qui n'a pas à démailler ses casiers.



Système d'élevage ALS, BSToysters.com

La culture en suspension peut être « verticale », particulièrement adaptée au milieu subtidal. On retrouve en France ces systèmes, notamment dans l'étang de Thau.

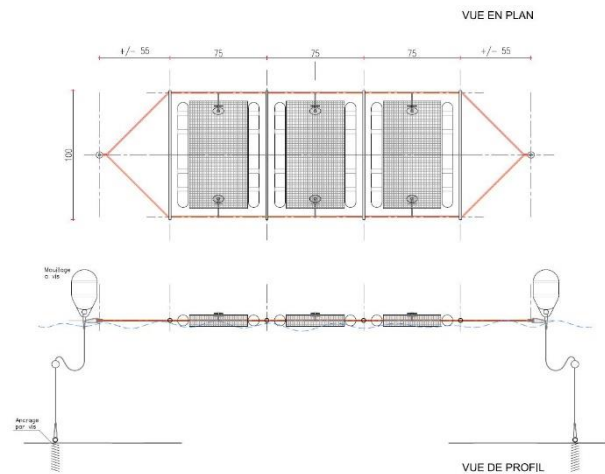


Lanterne de pré-gro Caliplast



Elevage en suspension sur l'étang de Thau (@Pintande-montpellier.co

La culture en flottaison est peu développée en France, les principaux fabricants étant américains, australiens et asiatiques. Cette technique consiste à faire une ligne de poches munies ou non de flotteurs pouvant être facilement retournées.



Elevage en poches en flottaison, NodusFactory



Retournement de poches flottantes, FlipFarm USA

Les innovations sont constantes et visent à optimiser les croissances en diminuant les coûts d'intervention sur les structures.

Annexe VIII : Forme (et chair) des huîtres des différents lots au point de suivi de mi-août 2021



Comparaison des lots de demi-élevage témoin (à gauche) et Hexcyl (à droite)



Comparaison des lots de demi-élevage témoin (à gauche) et CGA (à droite)



Lot Témoin en élevage dans les hauts au point de suivi intermédiaire (10/08/21)



Lot Nodus en élevage dans les hauts au point de suivi intermédiaire (10/08/21)



Lot CNG en élevage dans les hauts au point de suivi intermédiaire (10/08/21)



Lot CGA en élevage dans les hauts au point de suivi intermédiaire (10/08/21)



Lot témoins en élevage dans les bas au point de suivi intermédiaire (12/08/21)



Lot Hexcyl en élevage dans les bas au point de suivi intermédiaire (12/08/21)



Lot CNG en élevage dans les bas au point de suivi intermédiaire (12/08/21)



Lot Nodus en élevage dans les bas au point de suivi intermédiaire (12/08/21)



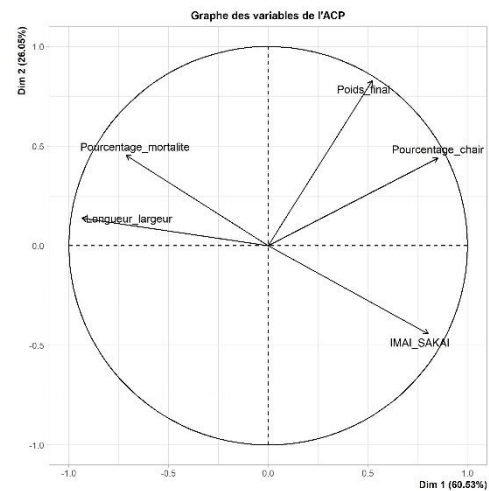
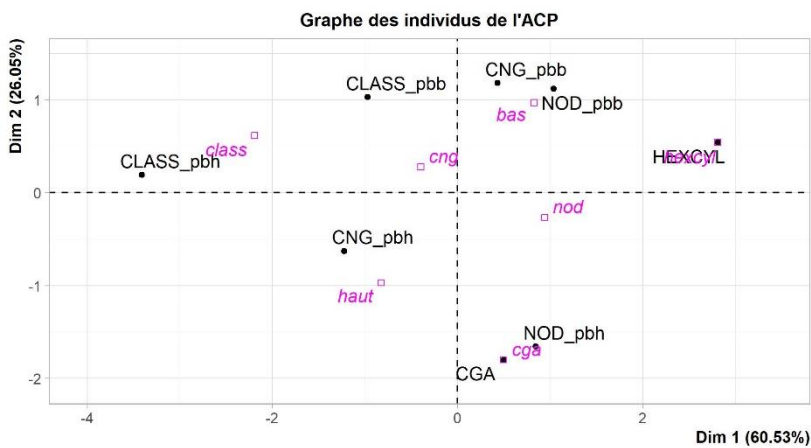
Huitre d'une poche classique (à gauche) et d'une poche CGA (à droite)



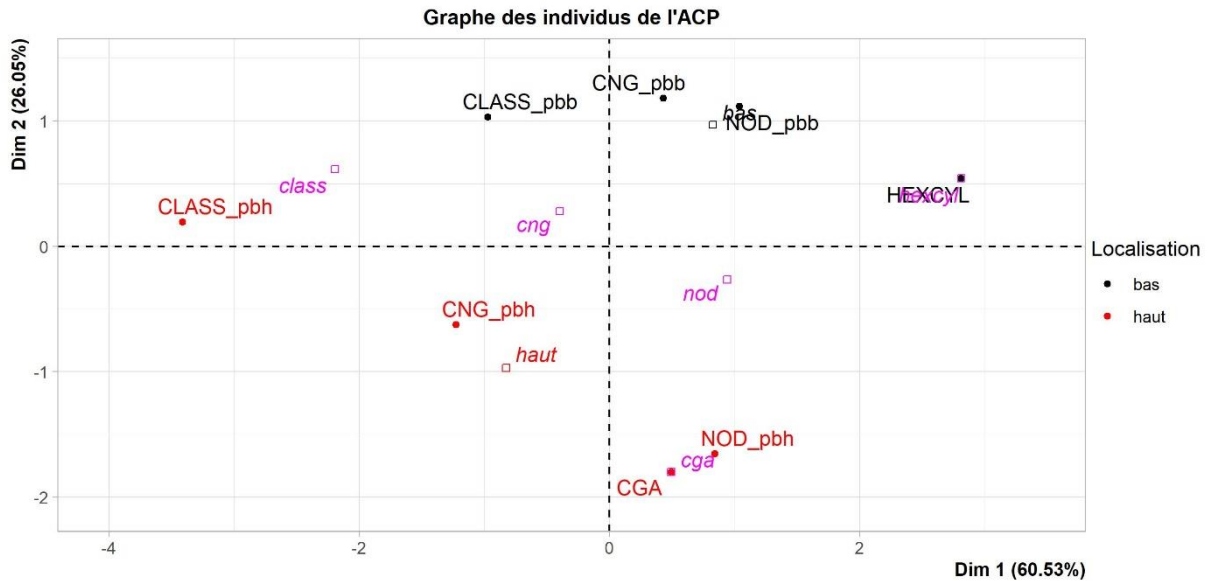
Chair des huitres des lots Nodus du parc bas

Annexe IX : Approche statistique des différents lots suivis

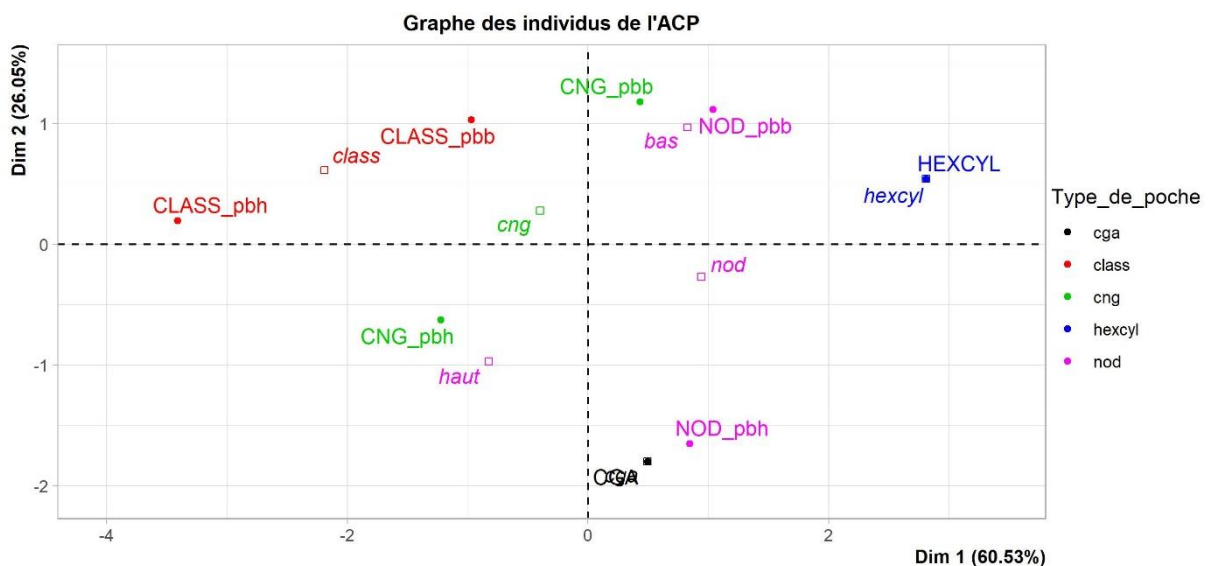
Une Analyse en Composante Principale (ACP) sous R nous permet de placer les différents lots dans un référentiel nous permettant de décrire plus facilement. Ce type d'analyse permet de traiter un grand nombre de lot. Dans notre cas, chaque système (en élevage uniquement) a été comparé avec le témoin. Cette analyse permet de comparer les profils des différents lots entre eux, elle est une aide à l'interprétation des mesures et décrit des tendances (pas de significativité).



Les dimensions 1 et 2, axes du plan de représentation résument plus de 86% de l'information : on ne s'intéresse pas à des dimensions supplémentaires.



L'effet bathymétrique est très fort : les poches placées dans les parcs bas sont plus proches entre elles que les poches placées dans les parcs haut et réciproquement. L'effet bathymétrique serait le plus faible sur les poches classiques (CLASS) : les lots en poche classique dans les bas et les hauts sont (pour un même type de poche) les plus proches sur le graphe.



On remarque que les poches NODUS et CGA dans le parc haut ont un profil similaire (très proches sur le graphe). Les poches CNG, NODUS et classique dans les parcs bas ont également un profil similaire (caractérisé par de forts taux de chair et poids moyens). C'est la poche Hexcyl qui a le profil le plus atypique (le plus éloigné des autres lots sur le graphe). Il est intéressant de souligner que, malgré une hauteur dans l'eau des poches Hexcyl les faisant découvrir en même temps que les lots du parc haut, le lot Hexcyl est bien plus proche des lots des parcs bas.

On remarque, au-delà de l'effet localisation (bathymétrique) que les poches proches en termes de fonctionnement ont des profils similaires : CGA et Nodus (dans les hauts) les poches à flotteurs ; CNG, Classique et Nodus (dans les bas) qui sont à la même hauteur sur table ; et Hexcyl le seul système d'élevage sur Long-Line qui se démarque de tous les autres. Il aurait été intéressant de pouvoir tester les poches CGA et Hexcyl dans les deux localités.

Un modèle ANOVA sous R (*R Core Team, 2012*) permet de vérifier significativement (au seuil de 95%) les tendances décrite via l'ACP, mais facteur par facteur. Pour chaque variable étudiée, le profil de l'ANOVA obtenu sous R est jointe.

Un modèle d'Anova qui explique le **poids final** par les effets localisation et type de poche met en avant un effet bathymétrique significatif (p-value=0.002589) mais seulement une tendance

pour un effet poche (p-value=0.078202). La localisation en parc bas augmente significativement le poids final (p-value=0.00259), la localisation en parc haut le diminue significativement (p-value=0.00259). Concernant l'effet poche : le type de poche Hexcyl augmente significativement le poids final des huitres. On observe des tendances à l'augmentation de ce poids en poche CNG (p-value=0.07397) et à la diminution en poche classique (p-value=0.08374).

```
Ftest
      SS df      MS F value Pr(>F)
Localisation 1284.14 1 1284.14 384.734 0.002589 **
Type_de_poche 160.64 4  40.16 12.032 0.078202 .
Residuals      6.68 2   3.34
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Ttest
      Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  73.77187    0.68358 107.9195  9e-05 ***
Localisation - bas  14.62956    0.74585  19.6146  0.00259 **
Localisation - haut -14.62956    0.74585 -19.6146  0.00259 **
Type_de_poche - cga  -5.05898    1.73960  -2.9081  0.10070 .
Type_de_poche - class -3.92006    1.21186  -3.2347  0.08374 .
Type_de_poche - cng  4.20464    1.21186   3.4696  0.07397 .
Type_de_poche - hexcyl 8.25571    1.73960   4.7457  0.04165 *
Type_de_poche - nod -3.48131    1.21186  -2.8727  0.10282
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Un modèle d'Anova qui explique le **taux de mortalité** par les effets localisation et type de poche ne met pas en avant d'effet bathymétrique significatif (p-value=0.4358) ni d'effet poche (p-value=0.2668). On observe une tendance de la poche classique à l'augmentation du taux de mortalité (p-value=0.08481).

```
Ftest
      SS df      MS F value Pr(>F)
Localisation  8.693 1  8.6934  0.9337 0.4358
Type_de_poche 110.931 4 27.7328  2.9786 0.2668
Residuals     18.621 2  9.3107

Ttest
      Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  6.277778    1.141708  5.4986  0.03152 *
Localisation - bas  1.203704    1.245706  0.9663  0.43585
Localisation - haut -1.203704    1.245706 -0.9663  0.43585
Type_de_poche - cga -0.074074    2.905461 -0.0255  0.98198
Type_de_poche - class  6.500000    2.024033  3.2114  0.08481 .
Type_de_poche - cng  -0.722222    2.024033 -0.3568  0.75535
Type_de_poche - hexcyl -5.814815    2.905461 -2.0013  0.18332
Type_de_poche - nod  0.111111    2.024033  0.0549  0.96121
```

Un modèle d'Anova qui explique le rapport **Longueur/largeur** par les effets localisation et type de poche ne met pas en avant d'effet bathymétrique significatif (p-value=0.1492) ni d'effet poche (p-value=0.1166). On observe que la poche classique augmente significativement le rapport L/l (p-value=0.04504).

```
Ftest
      SS df      MS F value Pr(>F)
Localisation  0.007106 1 0.0071061  5.2407 0.1492
Type_de_poche 0.042409 4 0.0106022  7.8190 0.1166
Residuals     0.002712 2 0.0013559

Ttest
      Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  1.5236207    0.0137780 110.5837  8e-05 ***
Localisation - bas -0.0344145    0.0150330  -2.2893  0.14925
Localisation - haut  0.0344145    0.0150330   2.2893  0.14925
Type_de_poche - cga -0.1043020    0.0350627  -2.9747  0.09687 .
Type_de_poche - class  0.1113679    0.0244258   4.5513  0.04504 *
Type_de_poche - cng  0.0565635    0.0244258   2.3157  0.14656
Type_de_poche - hexcyl -0.0646163    0.0350627  -1.8429  0.20667
Type_de_poche - nod  0.0011869    0.0244258   0.0486  0.96566
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```

Ftest
      SS df      MS F value Pr(>F)
Localisation  0.1965  1 0.1965  0.0499 0.8441
Type_de_poche 26.5167  4 6.6292  1.6817 0.4058
Residuals     7.8841  2 3.9420

Ttest
      Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  41.39961  0.74289 55.7279 0.00032 ***
Localisation - bas  0.18098  0.81056  0.2233 0.84405
Localisation - haut -0.18098  0.81056 -0.2233 0.84405
Type_de_poche - cga  1.65674  1.89053  0.8763 0.47327
Type_de_poche - class -2.59023  1.31700 -1.9668 0.18810
Type_de_poche - cng -1.66830  1.31700 -1.2667 0.33280
Type_de_poche - hexcyl 1.08755  1.89053  0.5753 0.62321
Type_de_poche - nod  1.51425  1.31700  1.1498 0.36917
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Un modèle d'Anova qui explique l'**indice de forme IMAÏ-SAKAÏ** par les effets localisation et type de poche ne met pas en avant d'effet bathymétrique significatif (p-value=0.8441) ni d'effet poche (p-value=0.4058).

```

Ftest
      SS df      MS F value Pr(>F)
Localisation  6.5076  1 6.5076 316.77 0.003142 **
Type_de_poche 9.7446  4 2.4361 118.59 0.008380 **
Residuals     0.0411  2 0.0205

---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Ttest
      Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  14.034009  0.053629 261.6870 1e-05 ***
Localisation - bas  1.041442  0.058514 17.7982 0.00314 **
Localisation - haut -1.041442  0.058514 -17.7982 0.00314 **
Type_de_poche - cga -0.348123  0.136477 -2.5508 0.12542
Type_de_poche - class -1.629045  0.095074 -17.1345 0.00339 **
Type_de_poche - cng -0.433180  0.095074 -4.5562 0.04495 *
Type_de_poche - hexcyl 1.212999  0.136477  8.8879 0.01242 **
Type_de_poche - nod  1.197349  0.095074 12.5939 0.00625 **
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Un modèle d'Anova qui explique la variable **Taux de chair** montre un effet bathymétrique (p-value=0.003142) et un effet poche (p-value=0.008380). La localité parc bas augmente significativement le taux de chair (p-value=0.00314), la localité parc haut le diminue significativement (p-value= 0.00314). Les poches Hexcyl et Nodus augmentent significativement le taux de chair (p-value=0.01242 et 0.00625). Les poches classiques et CNG diminuent le taux de chair (p-value=0.00339 et 0.04495).

Les résultats de ce modèle d'Anova et de l'ACP réalisée avec les données du point de mi-août souligne bien des différences de systèmes et montre un lien entre performances d'élevage et zootechnie des structures. Il y a un effet bathymétrique sur le poids et le taux de chair et un effet poche sur le taux de chair uniquement (mais une tendance concernant le poids final). Par rapport à l'ensemble des différentes poches : le lot Hexcyl se démarque sur la croissance de sa garniture (le poids final de « ses » huitres), c'est une tendance pour la poche CNG qui induirait un moins grand taux de chair. La poche Nodus a un effet positif sur le taux de chair de sa garniture. La poche classique à un effet négatif sur le poids final, le taux de chair et positif sur le rapport Longueur/largeur ainsi qu'une tendance positive sur le taux de mortalité.

Ces comparaisons se font par rapport à la moyenne de chacun des paramètres d'élevage suivis, mais montrent une supériorité de toutes ces poches en élevage par rapport à la poche classique (pas d'interprétation possible pour la poche CGA). Pour une comparaison neutre (c'est-à-dire uniquement avec les mesures du témoin), il est possible de faire un modèle d'ANOVA comparant non pas sur une moyenne de tous les échantillons mais sur les valeurs de l'échantillon « poche classique » : comme dans le corps de ce rapport, la significativité des effets poches et bathymétrie se basera sur une différence par rapport à ce témoin.

Résumé :

Le SMIDAP teste, avec le programme NOUSYSTOS, l'intérêt potentiel de plusieurs nouvelles structures d'élevage ostréicole de *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) par rapport au modèle classique (la culture sur table en surélévation). Les 4 structures testées sont : la poche XXL de CNG, les poches mobiles à flotteur *NODUS* et *CGA* et le panier australien d'*Hexcyl Systems* sur long line. Les performances d'élevage sont comparées au système classique (témoin) et aux résultats de tests déjà réalisés par le SMIDAP et d'autres instituts français et internationaux. Les résultats (préliminaires) du dernier relevé de mi-août 2021 (point d'étape du suivi se terminant en octobre) montre une supériorité générale des nouveaux systèmes d'élevage : *NODUS* et *CGA* d'un point de vue qualitatif (taux de chair) en élevage, *CNG* avec un meilleur rendement d'élevage et *HEXCYL* qualitativement et quantitativement. En demi-élevage, les huitres en poche *CGA* ont un rendement d'élevage inférieur au système classique alors que les paniers australiens *Hexcyl* ont un rendement très supérieur au système classique. Un calcul des coûts de production à été effectué sur le système *Hexcyl* en demi-élevage et un temps d'amortissement de 6 ans a été trouvé (avec une diminution de la durée du cycle de 20%). Concernant les autres systèmes, le calcul de rentabilité économique ne peut pas encore être fait : le cycle d'élevage n'étant pas terminé et le prix de certaines poches pas encore fixé par les fabricants. Une fois ces données acquises, des tests sur les systèmes les plus prometteurs seront effectuées à plus grande échelle. Au vu des prix des systèmes (connus ou estimés), à ce stade du suivi, les tests pourraient être reconduits sur les systèmes *CNG* et *Hexcyl* en élevage et *Hexcyl* en demi-élevage. Concernant les systèmes *NODUS* et *CGA*, l'intérêt économique dépendra de la valorisation d'une production de grande qualité (taux de chair supérieur à 16%) sachant les filières de valorisation aujourd'hui peu répandues ou exploitées par les ostréiculteurs.

Abstract :

The SMIDAP is testing, with the NOUSYSTOS program, the potential interest of several new structures for oyster farming of *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) compared to the classical model (culture trestle table). The 4 structures tested are *CNG's* XXL bag, *NODUS* and *CGA's* mobile floating bags and *Hexcyl Systems'* Australian basket (on long line system). The rearing performances are compared to the classical system (control) and to the results of tests already carried out by SMIDAP and other French and international institutes. The (preliminary) results of the last survey in mid-August show a general superiority of the new rearing systems: *NODUS* and *CGA* from a qualitative point of view (flesh rate) in rearing, *CNG* with a better rearing yield and *HEXCYL* qualitatively and quantitatively. In half-farming, the oysters in *CGA* bags have a lower rearing yield than the conventional system, whereas the Australian *Hexcyl* baskets have a much higher yield than the conventional system. A calculation of the production costs was carried out on the *Hexcyl* half-farming : the payback time is 6 years (with a reduction of the cycle time of 20%). Concerning the other systems, the calculation of economic profitability cannot yet be made : the rearing cycle is not finished and the price of certain bags is not yet fixed by the manufacturers. Once these data are acquired, tests on the most promising systems will be carried out on a larger scale. In view of the prices of the systems (known or estimated), at this stage of the follow-up, the tests could be renewed on the *CNG* and *Hexcyl systems* in rearing and *Hexcyl* in half-rearing. Concerning the *NODUS* and *CGA* systems, the economic interest will depend on the valorization of a high quality production (meat rate higher than 16%) knowing the valorization channels that are not very widespread or exploited by the oyster farmers today.