

ANCOVA 17

*Aquaculture Nouvelle de CONcombre de mer, de Ver tube et
d'Algue rouge en Charente-Maritime*

Élevage du ver tube *Diopatra* *Biscayensis* en Charente-Maritime



Rapport technique

Rédaction : Laura VASSEUR

Supervision : Pierrick BARBIER, Cédric HENNACHE

Collaboration : Paul BODIN, Gaël OUDOT

Mai 2023 – Juillet 2024

Laura VASSEUR, Pierrick BARBIER, Cédric HENNACHE, Paul BODIN, Gaël OUDOT	Centre pour l'Aquaculture, la Pêche et l'Environnement de Nouvelle-Aquitaine
Elevage du ver tube <i>Diopatra biscayensis</i> en Charente-Maritime	
Rapport technique 90 pages	Mai 2023 – Juillet 2024
Vasseur L, Barbier P, Hennache C, Bodin P, Oudot G (2024) Elevage du ver tube <i>Diopatra biscayensis</i> en Charente-Maritime, Projet ANCOVA 17, CAPENA. 90p.	
RÉSUMÉ : L'élevage du ver tube <i>Diopatra biscayensis</i> est étudié en Charente-Maritime par CAPENA dans le cadre du projet ANCOVA 17 (Aquaculture innovante en Charente-Maritime – Culture de <i>Porphyra sp.</i>, élevage de <i>Diopatra biscayensis</i> et grossissement d'<i>Holothuria sp.</i>). Une partie de ce travail s'oriente sur la mise en place d'un élevage de cette espèce de ver marin endémique, pour proposer une nouvelle voie de diversification aux professionnels de l'aquaculture. D'après notre étude de marché, il s'agit du ver marin le plus apprécié en tant qu'appât de pêche de loisir pour la pratique du surfcasting. En parallèle, plusieurs étapes clés de sa production ont été analysé telles que la reproduction et le grossissement dans différents environnements (milieu naturel et contrôlé). Sur la population de vers étudiés provenant de Saint-Trojan-les-Bains (Ile d'Oléron), le phénomène de régénération semble impacter faiblement les capacités reproductives de cette espèce notamment l'ovogénèse puisque 57.9% des individus régénérés avaient des ovocytes. De plus, il n'existe pas de différence significative entre les diamètres ovocytaires de vers régénérés et non régénérés sur une année (Test de Kruskal-Wallis, $p > 0.05$). Alors qu'une corrélation positive significative a été mis en évidence entre le diamètre ovocyttaire moyen et la température de l'eau ($\tau = 0.534$, $p < 0.05$). En effet, en milieu contrôlé l'induction de la maturation des gamètes (mâles et femelles) est possible grâce à une augmentation progressive de la température de l'eau à 21°C quel que soit le niveau de régénération de l'individu (partenaire : Lycée de Bourcefranc-le-Chapus). Toutefois les tests sur l'induction de la ponte n'ont pas donné lieu à l'expulsion d'un sac gélatineux, caractéristique à cette espèce. En ce qui concerne les résultats obtenus lors de l'étude de la croissance dans différentes conditions d'élevage, ils sont relativement prometteurs. Les vers tubes mis sous les tables ostréicoles sur l'estran ont gagné 0.21 g en moyenne par mois, ceux dans les marais 0.11 g et 0.05 g pour les vers dans les bassins hors-sol. Nous avons observé que l'espèce d'intérêt <i>Diopatra biscayensis</i> semble avoir une meilleure croissance dans une eau de température d'environ 20°C et avec une alimentation diversifiée. Néanmoins, il est nécessaire d'approfondir nos connaissances sur cette espèce dans son milieu naturel pour mieux répondre à ses besoins physiologiques à chaque étape de son cycle de vie. La commercialisation a également été abordé dans ce travail pour rechercher d'autres débouchés pour le ver et/ou son tube, telles que la recherche de biomolécules d'intérêt (partenaire : Liens) et en tant que complément dans l'alimentation de la crevette impériale.	
Ver tube ; Charente-Maritime ; Diversification ; Appât de pêche ; Etude de marché ; Reproduction ; Maturation ovocyttaire ; Grossissement ; Régénération ; Bassin hors-sol ; Marais ; Estran ; Nouveaux débouchés	

Table des matières

1	Introduction	11
1.1	Contextualisation	11
1.2	Le projet MEDIHOM (2021)	11
1.3	Etat des lieux de la pêche professionnelle et de l'élevage du ver tube	12
1.3.1	La pêche à pied professionnelle sous licence « Appât » en Charente-Maritime .	12
1.3.2	L'élevage des vers marins en Europe et dans le monde	13
1.4	Biologie des vers tubes du genre <i>Diopatra</i> et focus sur l'espèce d'intérêt <i>Diopatra biscayensis</i>	15
1.4.1	Généralités	15
1.4.2	Taxonomie et clé d'identification de l'espèce d'intérêt <i>Diopatra biscayensis</i>	17
1.4.3	Répartition spatiale et phylogénie de <i>Diopatra biscayensis</i>	18
2	Approfondissement des connaissances sur le cycle de reproduction de l'espèce <i>Diopatra biscayensis</i> et de sa maîtrise en milieu contrôlé	20
2.1	Etat de l'art	20
2.1.1	La reproduction pour les vers du genre <i>Diopatra</i>	20
2.1.2	La reproduction de <i>Diopatra biscayensis</i>	21
2.1.3	Bilan du projet MEDIHOM	22
2.2	Suivi de la maturation ovocytaire dans le milieu naturel	23
2.2.1	Matériel & Méthode	23
2.2.2	Résultats	24
2.2.3	Discussion	29
2.3	Etudes sur la régénération dans le milieu naturel et en milieu contrôlé	29
2.3.1	Pourquoi étudier la reproduction avec des vers entiers ?	29
2.3.2	Etude de l'impact de la régénération de la partie antérieure sur la reproduction dans le milieu naturel	30
2.3.3	Régé'sis 1 – Octobre/Décembre 2023	32
2.3.4	Régé'sis 2 – Janvier/Mars 2024	36
2.3.5	Discussion sur la régénération de l'espèce <i>Diopatra biscayensis</i>	42
2.4	Tests d'induction de la ponte en milieu contrôle	43
2.4.1	Cold'spawn – Avril/Juin 2024	43
2.4.2	Phér'eau – Juin 2024	45
2.4.3	Discussion sur les expérimentations menées pour l'induction de la ponte	47
3	Identification des critères optimaux d'élevage du ver tube <i>diopatra biscayensis</i>	48
3.1	Résultats du projet MEDIHOM	48
3.2	Réflexion sur le système d'élevage	48

3.3	Etude de la densité d'élevage en bassins hors sol	49
3.3.1	Matériel & Méthode	49
3.3.2	Résultats.....	50
3.4	essai de grossissement en manne dans le milieu naturel	53
3.4.1	Etude de la densité des vers tubes sous les tables ostréicoles et pourquoi des essais dans les marais ?.....	53
3.4.2	Matériel & Méthode	54
3.4.3	Résultats.....	56
3.5	Discussion générale.....	60
4	Etude de marché du ver tube en tant qu'appât de pêche.....	63
4.1	Contextualisation	63
4.2	La demande.....	63
4.2.1	Méthodologie et description de la population interrogée	63
4.2.2	Pratiques et routines de pêche des personnes sondées	64
4.2.3	Questionnement sur le ver tube en tant qu'appât de pêche	66
4.2.4	Questionnement autour de l'achat du ver tube.....	66
4.3	L'offre	68
4.4	Conclusion et perspectives.....	70
5	Une voie de diversification avec de nouveaux débouchés ?	70
5.1	Recherche de biomolécule d'intérêt dans le ver et son tube	70
5.1.1	Etat de l'art pour les vers du genre <i>Diopatra</i>	70
5.1.2	Résultats issus de l'équipe du Liens (Université de la Rochelle)	71
5.2	Essai en tant que complément dans l'alimentation de la crevette impériale <i>Penaeus japonicus</i>	71
5.2.1	Contexte	71
5.2.2	En cours de pré-grossissement – Juillet/Août 2023	72
5.2.3	Pour un cheptel de géniteur.....	80
6	Conclusion générale & perspectives.....	81

Listes des figures

Figure 1. Graphique représentant l'évolution des captures de vers marins, du nombre de pêcheurs actifs et de licences "appât" délivrées dans le département de Charente-Maritime entre 2012 et 2023 (CDPMEM 17)	12
Figure 2. Exemples d'entreprises produisant des vers marins en Europe et dans le monde ..	13
Figure 3. Plats traditionnels vietnamiens, A. Chả rươi ou « Sandworm omelette » et B. Soupe pho (à base de vermicelles de riz) avec des « Peanut worms »	14
Figure 4. Présentation du ver <i>Diopatra biscayensis</i> et son tube, par photographies et illustration (Rangel and Santos, 2009).....	16
Figure 5. Schéma récapitulatif de l'impact des vers et de leurs tubes sur leur environnement, faune comme flore (Berke, 2022).....	17
Figure 6. Classification de l'espèce d'intérêt <i>Diopatra biscayensis</i> (Vasseur, 2021).....	17
Figure 7. Comparaison des deux espèces de <i>Diopatra</i> avec des images effectuées au microscope électronique. (Vasseur, 2021)	18
Figure 8. Carte des mouvements de population de l'espèce <i>Diopatra biscayensis</i> (Vasseur, 2021).....	19
Figure 9. Arbres phylogénétiques d'espèces du genre <i>Diopatra</i> de la zone Nord Atlantique tempérée (Arias et al., 2016).....	19
Figure 10. Schéma du cycle de vie de l'espèce <i>Diopatra biscayensis</i> (Vasseur, 2021). Les valeurs indiquées en mm correspondent à la taille du diamètre au 10 ^{ème} sétigère de l'individu.	21
Figure 11. Partie hors du sédiment d'un tube dans l'estuaire San Vicente de la Barquera sur lequel un sac gélatineux était attaché et où l'on retrouve également des tubes de vers tubes juvéniles (flèche blanche) (Arias and Paxton, 2015)	21
Figure 12. Distribution mensuelle des diamètres ovocytaires de l'espèce <i>Diopatra biscayensis</i> de Saint-Trojan-les-Bains issu du rapport de Vasseur, 2021 (Atlantique, France).	22
Figure 13. Distribution mensuelle des diamètres ovocytaires de l'espèce <i>Diopatra biscayensis</i> de juin 2023 à mai 2024, issus de Saint-Trojan-les-Bains, Ile d'Oléron (Atlantique, France).	25
Figure 14. Focus sur la fin de la période estivale, correspondant à la période de reproduction de l'espèce <i>Diopatra biscayensis</i> d'août 2023 à novembre 2023, issus de Saint-Trojan-les-Bains, Ile d'Oléron (Atlantique, France).....	26
Figure 15. Variation temporelle de la moyenne des diamètres ovocytaires de l'espèce <i>Diopatra biscayensis</i> (boxplot) en fonction de A. la température de l'eau à la Mortane (lineplot rouge) et de B. la photopériode (lineplot bleue) (Atlantique, France).....	27
Figure 16. Proportion des individus hermaphrodites <i>Diopatra biscayensis</i> avec des ovocytes, collectés à Saint-Trojan-les-Bains (Atlantique, France)	28
Figure 17. Photographie d'un ver tube en parti hors de son tube, attiré par un appât (morceau de maquereau) (Saint-Trojan-les-Bains).....	30
Figure 18. A. Graphique représentant la proportion des individus pêchés régénérés de la partie antérieure en fonction du temps (N = 95 individus)	31
Figure 19. Variation mensuelle du diamètre ovocytaire moyen (µm) en fonction de l'état de régénération de leur partie antérieure	32
Figure 20. Schémas des installations dans les locaux du lycée de Bourcefranc-le-Chapus ...	34
Figure 21. Boxplots représentatifs de l'évolution A. des diamètres au 10 ^{ème} sétigère (mm) et B. des poids des vers tubes <i>Diopatra biscayensis</i> en fonction des temps de prélèvements (0j,	

30j, 40j et 50j) et des deux populations de vers, pour l'expérience Régé'sis 1 ($N_{\text{adt}}=78$ et $N_{\text{juv}}=74$).....	35
Figure 22.A. Boxplots représentatifs du nombre de sétigères initiaux (cad. non régénérés) pour chaque ver tube en fonction du temps de prélèvement et de la population étudiée, lors de l'expérience Régé'sis 1.....	36
Figure 23. A. Schéma du nouvel aménagement des bassins cylindro-coniques pour l'expérience Régé'sis 2 et B. Photographique du nouveau circuit dans la salle « proie vivante » du lycée de Bourcefranc-le-Chapus	37
Figure 24. Boxplots représentatifs de l'évolution A. des diamètres des vers tubes <i>Diopatra biscayensis</i> au 10 ^{ème} sétigère (mm) et B. des poids individuels en comparant avec les diamètres/poids initiaux (0j) et en fonction des compartiments (T1, T2, T3) et des deux populations de vers (adulte et juvénile) ($N_{\text{adt}}=42$ et $N_{\text{juv}}=43$).....	38
Figure 25. Représentation graphique du nombre de sétigères régénérés en fonction du temps et de la condition testée (individu adulte et juvénile)	39
Figure 26. A. Photographie sous binoculaire d'un ver tube avec signe de régénération et B. Histogrammes des fréquences de classe de régénération de l'espèce <i>Diopatra biscayensis</i> en fonction du temps (30, 40 et 50 jours) lors de l'expérimentation Régé'sis 2 ($N_{\text{adulte}} = 39$ et $N_{\text{juvénile}} = 40$)	40
Figure 27. Evolution dans le temps du diamètre ovocytaire (μm) lors de l'expérience Régé'sis 2.....	41
Figure 28. Schéma récapitulatif de l'organisation pour l'expérimentation Cold'spawn.....	44
Figure 29. Photographies de l'homogénat sous poche A. avant la mise à l'eau et B. dans l'un des bassins de la salle d'expérimentation du lycée de Bourcefranc-le-Chapus (flèche rouge)	46
Figure 30. Schéma de la disposition des vers tubes <i>Diopatra biscayensis</i> dans une manne ostréicole	49
Figure 31.. A. Schéma et B. Photographie de l'installation sur le site de CAPENA.....	50
Figure 32. Performances de croissance des vers tubes <i>Diopatra biscayensis</i> en manne dans des bassins hors sol avec un suivi A. du poids et B. du diamètre au 10 ^{ème} sétigère sur les quatre mois d'expérimentation (les valeurs des mois 2 et 3 sont ceux de la manne B3 et F3 et les valeurs des mois 1 et 4 sont celles des vers issus des trois mannes par condition)	52
Figure 33. Evolution de la température ($^{\circ}\text{C}$) de l'eau des bassins hors-sol du 5 février au 3 juin 2024 (Sonde HOB0®)	53
Figure 34. Boxplots représentatifs de la densité (Ind/m ²) de ver tube <i>Diopatra biscayensis</i> sous et hors des tables ostréicoles sur le banc de Chevalier en avril 2024	54
Figure 35. Photographies des mannes (flèches rouges) A. sous les tables ostréicoles sur le banc de chevalier et B. dans un des marais à CAPENA.....	55
Figure 36. Performance de croissance des vers tubes juvéniles <i>Diopatra biscayensis</i> sur deux mois d'expérimentation sous les tables ostréicoles en fonction A. du poids et B. de leur diamètre au 10 ^{ème} sétigère	57
Figure 37. Performances de croissance des vers tubes juvéniles <i>Diopatra biscayensis</i> dans les marais de CAPENA pendant deux mois en fonction A. du poids et B. de leur diamètre au 10 ^{ème} sétigère, pour des individus coupés au 60 ^{ème} sétigère (vert) et entiers (bleu)	58
Figure 38. Evolution de la température ($^{\circ}\text{C}$) de l'eau dans les marais de CAPENA (Réserve et B12) et en pleine mer issue d'une sonde immergée à la Mortane.....	59
Figure 39. Photographies d'une vue à la binoculaire de la partie postérieure A. avec des morceaux de macroalgues vertes dans le tractus digestif (flèche rouge) et B. cristal sortant par le pygidium (flèche rouge)	61

Figure 40. Photographie d'une vue à la binoculaire d'une partie postérieure non régénérée au bout d'un mois de test.....	62
Figure 41. Zones de pêche où les enquêtés ont l'habitude de pratiquer	63
Figure 42. A. Saisons et B. fréquences des sorties « pêche » pour les personnes interrogées (N=71).....	64
Figure 43. Quantité estimée des appâts de pêche utilisés sur une année (N = 71).....	65
Figure 44. Vers marins sur le marché utilisés comme appât de pêche par les personnes interrogées (Réponses à choix multiples).....	65
Figure 45. Achat ou techniques de pêche utilisées pour le ramassage des vers tubes	66
Figure 46. Trois qualités du ver tube citées par les sondés	66
Figure 47. Structures fréquentées par les enquêtés pour l'achat du ver tube	67
Figure 48. Critères cités pour initier une intégration du ver tube dans la routine des pêcheurs enquêtés.....	67
Figure 49. Cartographie des enseignes interrogées dans le cadre de cette étude de marché avec les magasins spécialisés (orange) et la GMS (vert).....	68
Figure 50. A. Photographie et B. Schéma des marais exploités à CAPENA	73
Figure 51. Table de nourrissage simplifiée pour le stade de pré-grossissement et grossissement (la colonne « Crev. » correspond à l'aliment spécifique à la crevette).....	74
Figure 52. Effet de l'ajout de ver tube dans l'alimentation des crevettes impériales <i>Penaeus japonicus</i>	77
Figure 53. Photographie du casier, appâté avec du ver tube, et de son contenu après 24h d'immersion dans la claire D5.....	78
Figure 54. Suivi de vers déposés sur le fond de la claire D5	79
Figure 55. Photographies des crevettes impériales en présence des vers tubes congelés durant 24h.....	80
Figure 56. Individu avec sa partie antérieure en cours de régénération.....	84
Figure 57. Individu avec sa partie antérieure complètement régénérée.....	84

Liste des tableaux

Tableau 1. Tableau récapitulatif des différents types de reproduction pour le genre <i>Diopatra</i> ..	20
Tableau 2. Récapitulatif mensuel des variables biologiques et environnementales pour l'espèce <i>Diopatra biscayensis</i> à Saint-Trojan-les-Bains, Île d'Oléron (Atlantique, France).....	24
Tableau 3. Coefficient de corrélation de Pearson (r) ou de Kendall (τ) entre des paramètres biologiques et environnementaux	28
Tableau 4. Résumé du phénomène de régénération de la partie postérieure en fonction des individus adultes et juvéniles.....	39
Tableau 5. Résultats de la comparaison par paires du nombre de sétigères régénérés en fonction des temps de prélèvements (t-test).....	39
Tableau 6. Résultat du calcul du coefficient de Pearson entre la variable du diamètre moyen (μm) et le nombre de sétigères régénérés	41
Tableau 7. Récapitulatif des résultats obtenus lors de l'expérience Cold'spawn (n correspond au nombre d'ovocytes mesurés)	45
Tableau 8. Récapitulatif des résultats obtenus lors de l'expérience Phé'reau (n correspondant au nombre d'ovocytes mesurés)	46
Tableau 9. Résumé des performances zootechniques en fonction de la densité d'élevage testée sur les quatre mois d'expérimentation	51
Tableau 10. Récapitulatif des expérimentations en fonction des individus testés, des temps de prélèvement et des répliques.....	56
Tableau 11. Résumé des performances zootechniques des vers tubes juvéniles <i>Diopatra biscayensis</i> sous les tables ostréicoles pendant trois mois ($n = 206$)	56
Tableau 12. Résumé des performances zootechniques des vers tubes juvéniles <i>Diopatra biscayensis</i> dans les marais de CAPENA (la partie régénérée étudiée ici est la postérieure)	58
Tableau 13. Récapitulatif des informations fournies par les enseignes interrogées	69
Tableau 14. Récapitulatif du poids moyen (en $\text{g} \pm \text{écart-type}$) des crevettes impériales par réplique	72
Tableau 15. Tableau de nourrissage pour un élevage avec une densité de 2 crevettes/ m^2 (adaptation des notes techniques du CREAA).....	75
Tableau 16. Equivalent des quantités d'aliments par semaine et au total.....	75
Tableau 17. Tableau récapitulatif des portions de ver tube et d'aliment Coppens à distribuer au cours du mois d'expérimentation.....	75
Tableau 18. Résumé du taux de survie et du poids moyen pour les six répliques après un mois d'expérimentation	78

Lexique

Hermaphrodisme simultané : Organisme adulte doté d'organes reproductifs appartenant aux deux genres et qui peut agir en tant que mâle et en tant que femelle.

Hermaphrodisme séquentiel : Organisme pouvant changer de sexe au cours de son existence.

Protandrie : Individu mâle au début de sa vie puis devient femelle.

Surfcasting : Pêche en mer, dans la vague, à l'aide d'une canne à lancer.

1 INTRODUCTION

1.1 CONTEXTUALISATION

Par la nature de son littoral, le bon état écologique, chimique et sanitaire des eaux ainsi que son ensoleillement, la côte de Nouvelle-Aquitaine, et en particulier celle de Charente-Maritime présente un fort potentiel pour le développement de l'aquaculture. Ce territoire est déjà largement exploité pour la production d'huîtres et de moules, ce qui en fait le premier bassin ostréicole de France.

Dans un contexte zoosanitaire peu favorable, lié à une conchyliculture monospécifique, le développement de nouvelles aquacultures peut offrir une voie de diversification pour certains ostréiculteurs, qui font face depuis quelques années à des épisodes anormaux de mortalités d'huîtres et de moules.

Le ver tube *Diopatra biscayensis* a été choisi comme espèce d'intérêt dans le programme ANCOVA 17 (Aquaculture innovante en Charente-Maritime – Culture de *Porphyra* sp., élevage de *Diopatra biscayensis* et grossissement d'*Holothuria* sp.). Il s'agit d'une espèce très présente dans les pertuis charentais, et en particulier autour de l'île d'Oléron où les densités observées sont les plus importantes de France (Woodin et al., 2014). L'objectif est de travailler sur la mise en place d'un élevage de cette espèce indigène, compte tenu de l'environnement favorable à son développement. Aujourd'hui ce polychète est connu pour son utilisation en tant qu'appât de pêche par les professionnels et pêcheurs de loisir.

1.2 LE PROJET MEDIHOM (2021)

L'étude de l'élevage du ver tube *Diopatra biscayensis* a débuté à CAPENA en 2021 avec le projet MEDIHOM, pour Mise en place d'un Elevage de *Diopatra* et d'*Holothuria* en Marais ostréicole. En effet, cet aspect a été exploré en parallèle de l'étude de survie en claire de deux espèces d'holothuries : *Holothuria tubulosa* et *Holothuria forskali* en co-culture avec des huîtres.

Le travail sur les vers tubes s'est déroulé sous forme de stage de fin d'étude sur une période de six mois, réalisé par Laura Vasseur étudiante de 3^{ème} année à l'Institut Agro (anciennement Agrocampus Ouest de Rennes) et supervisée par Cédric Hennache. Le résultat de ce travail est présenté dans le rapport intitulé « Etude de faisabilité d'un élevage du ver tube *Diopatra biscayensis* » (Vasseur, 2021).

Les résultats obtenus ont permis d'envisager l'élevage de cette espèce dans des bassins en hors-sol ou dans des marais ostréicoles. De plus, des expérimentations menées pour accélérer la maturation ovocytaire en conditions contrôlées ont donné des résultats prometteurs. Dans la continuité de MEDIHOM, le programme ANCOVA 17 a vu le jour grâce à des fonds du plan France Relance. En plus des deux espèces précitées, ce projet inclut aussi la macroalgue *Porphyra* sp., plus connue sous le nom de nori.

1.3 ETAT DES LIEUX DE LA PECHE PROFESSIONNELLE ET DE L'ELEVAGE DU VER TUBE

1.3.1 La pêche à pied professionnelle sous licence « Appât » en Charente-Maritime

En Charente-Maritime, les vers marins sont récoltés par des pêcheurs à pied professionnels à l'aide de « ferrée » ou « pelle à ver ». Ils sont en possession d'une licence non contingentée, délivrée par le Comité Départemental des Pêches Maritimes et des Elevages Marins (CDPMEM) moyennant une cotisation annuelle de 100€. Il n'existe pas de quota à respecter pour l'exploitation de cette ressource dans le département. A l'inverse, en Normandie les professionnels sont limités à 1500 individus/marée (Arrêté 60-2017) et les pêcheurs de loisir à 100 vers/marée avec l'interdiction d'utiliser du matériel de pêche de type pompe à vers (Arrêté 181-2021). De la même façon, la pêche non professionnelle en Bretagne est limitée à 1kg de vers toutes espèces confondues comprenant l'arénicole (*Arenicola marina*), gravettes (*Nephtys spp.* et *Hediste spp.*) et bibi (*Sipunculus nudus*) sans évoquer les vers tubes (Arrêté préfet de région n°2013-7456 modifié par l'arrêté n°2014-9311).

La pêche des vers marins et particulièrement du ver tube est une activité très physique du fait de sa technique de ramassage. Ce qui peut expliquer le nombre de pêcheurs professionnels qui est faible mais stable depuis la saison de pêche 2019/2020 : entre 2 et 4 actifs chaque année. De plus, après une chute du nombre de licences délivrées en 2020 sûrement dû à la crise sanitaire, la demande pour celle-ci est croissante depuis, passant de 4 à 6 licences. Toutefois, le nombre de pêcheurs actifs restent stable à 2-3 pratiquants par saison (Fig.1).

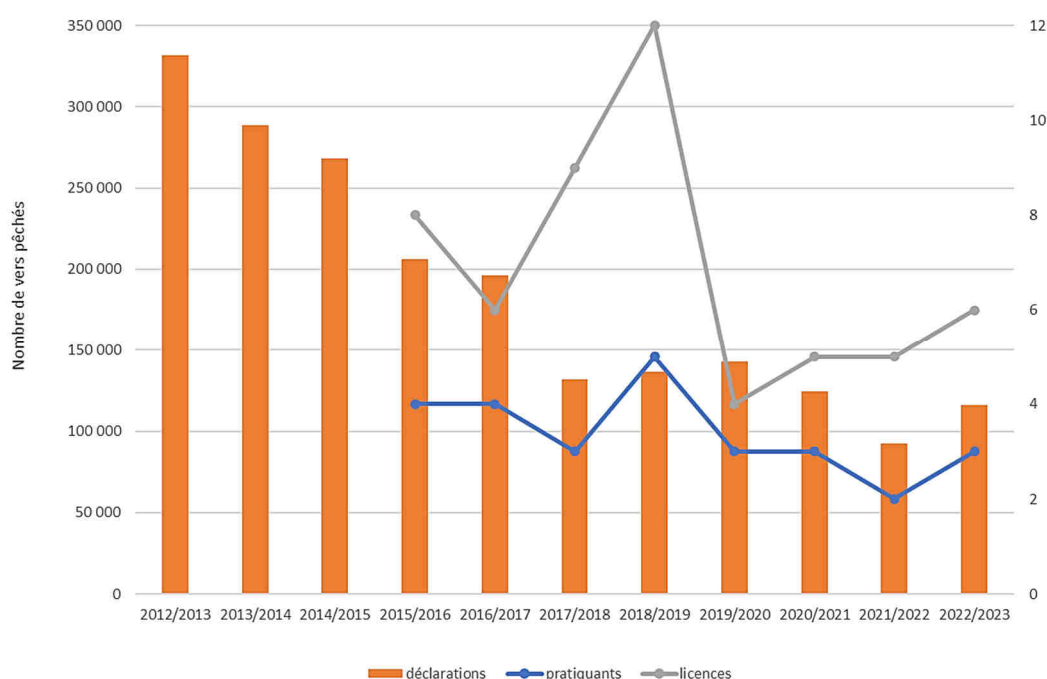


Figure 1. Graphique représentant l'évolution des captures de vers marins, du nombre de pêcheurs actifs et de licences "appât" délivrées dans le département de Charente-Maritime entre 2012 et 2023 (CDPMEM 17)

1.3.2 L'élevage des vers marins en Europe et dans le monde

EUROPE						HORS EUROPE					
Entreprise	Espèce	Photographie installations	Localisation	Production annuelle	Marché(s) visé(s)	Entreprise	Espèce	Photographie installations	Localisation	Production annuelle	Marché(s) visé(s)
	<i>Arenicola marina</i>		France, île de Noirmoutier	30 Tonnes (13 hectares)	Médical, agro-alimentaire		<i>Diopatra aciculata</i>		Australie, New South Wales	?	Appât de pêche, alimentation animale
	<i>Allita virens</i>		Pays-Bas, National nature reserve Easternsche IJdt Bay	250 Tonnes	Alimentation animale, appât de pêche		<i>Tylorhynchus heterochaetus</i>		Vietnam, Hải Dương, Quảng Ninh, Thái Bình, Hải Phòng	Optimum (utilisation de probiotiques): 16,6T (70 Hectares)	Alimentation humaine (marché asiatique), dépollution des eaux, médecine chinoise, alimentation animale, appât de pêche
	<i>Allita virens</i>		Pays-Bas, National nature reserve Easternsche IJdt Bay	100 Tonnes (17 hectares)	Alimentation animale, appât de pêche		<i>Sipunculus nudus</i>		Vietnam, Quảng Ninh	?	Alimentation humaine (marché asiatique), appât de pêche
	<i>Allita virens</i>		Pays de Galles, Port Talbot	(6 Hectares)	Appât de pêche		<i>Patinereis cultrifera</i>		Tunisie, Lagune de Bizerte	Ferme pilote : 400 kg (350 m2) Objectif 2027 : 50 Tonnes	Alimentation animale, appât de pêche, repeuplement
	<i>Allita virens</i>		Angleterre, Ashington	30 Tonnes (fin des années 90)	Alimentation animale, appât de pêche		<i>Allita virens</i>		Chine, Qidong, Jiangsu Province	10 Hectares	Alimentation animale, appât de pêche et complément alimentaire (marché chinois)

Figure 2. Exemples d'entreprises produisant des vers marins en Europe et dans le monde

L'encadré vert plein désigne des entreprises qui sont en bonne santé, et vert pointillé des entreprises qui sont en cours de développement ou pour lesquelles il y a peu d'informations disponibles. L'encadré rouge indique l'entreprise qui a fermé.

Historiquement, l'élevage de polychètes à débuter en Europe, plus précisément au Royaume-Uni et aux Pays-Bas (Olive, 1999). En effet, les premiers à produire le ver *Allita virens* (anciennement *Nereis virens*) ont été les entreprises Seabait, Dragon baits et Topsy baits (Fig.2). Topsy baits aux Pays-Bas est la seule de ses trois entreprises qui s'est développée depuis sa création en 1983. L'entreprise Seabait n'existe plus depuis 2008 (<https://umaine.edu/cooperative-aquaculture/seabait-maine-llc/>) et l'autre entreprise basée aux Pays de Galles a vu sa croissance très fortement ralentie lors d'un changement de direction en 2011 après un scandale de détournement de fonds publics (<https://www.walesonline.co.uk/news/wales-news/dragon-feeds-fraud-port-talbot-16577609>). L'entreprise Delta Farm élève depuis quelques années l'espèce *Allita virens* et se trouvent également en Hollande. Elle se positionne aujourd'hui comme le plus gros producteur européen d'appât vivant et d'alimentation pour l'aquaculture. En dehors de ce marché, l'exemple français d'élevage de vers marins est l'entreprise Hemarina sur l'île de Noirmoutier, qui produit l'espèce *Arenicola marina*. Elle possède une forte activité de R&D qui lui permet d'extraire et de valoriser en interne les biomolécules d'intérêt. La plus connue est l'hémoglobine dite universelle qui permet d'optimiser les opérations de chirurgies réparatrices et de greffes (<https://www.hemarina.com/>).

En dehors de l'Europe, l'élevage des vers marins s'est développé sur d'autres continents tels que l'Océanie, l'Asie et en Afrique. Le panel des espèces élevées est plus diversifié car elles sont indigènes des pays exploitants. Les exemples illustrés par la Figure 2 ne se veulent pas exhaustives mais représentatifs de ce qu'il existe dans le reste du monde. L'entreprise australienne Aquabait produit de manière intensive l'espèce de ver tube *Diopatra aciculata* et propose leurs produits au marché de l'appât de pêche et de l'alimentation animale (notamment les écloseries de crevettes). Au Vietnam, certains exploitants ont développé des élevages en co-culture animaux/végétaux pour diversifier leur activité. Certains producteurs de riz ont introduit des juvéniles de *Tylorrhynchus heterochaetus* communément appelé « ragworm » ou « sandworm », dans les rizières où ils se développent aussi naturellement. Ces vers, adaptés aux eaux saumâtres, représentent une vraie plus-value pour ces producteurs (<https://vietfishmagazine.com/aquaculture/hai-duong-organic-rice-grown-in-sandworm-field.html>). Ils sont cependant fortement dépendants de la qualité des eaux, ce qui implique l'utilisation de probiotiques et d'un changement vertueux en culture de riz biologique pour améliorer ces paramètres. Le principal débouché pour cet élevage est l'alimentation humaine. Ce ver est utilisé comme ingrédient principal dans un plat typique vietnamien nommé Chả rươi ou « Sandworm omelette ». Un autre exemple de coculture prometteuse est l'élevage de la crevette *Penaeus vannamei* et du ver *Sipunculus nudus* connu sous le nom de « bibi » en Europe et « Peanut worm » en Asie (<https://vietfishmagazine.com/aquaculture/phu-yen-to-start-the-culture-of-commercial-peanut-worm.html>). Le principal débouché est aussi l'alimentation pour la population locale, friandes de ce ver marin dans des soupes par exemple (Fig.3).

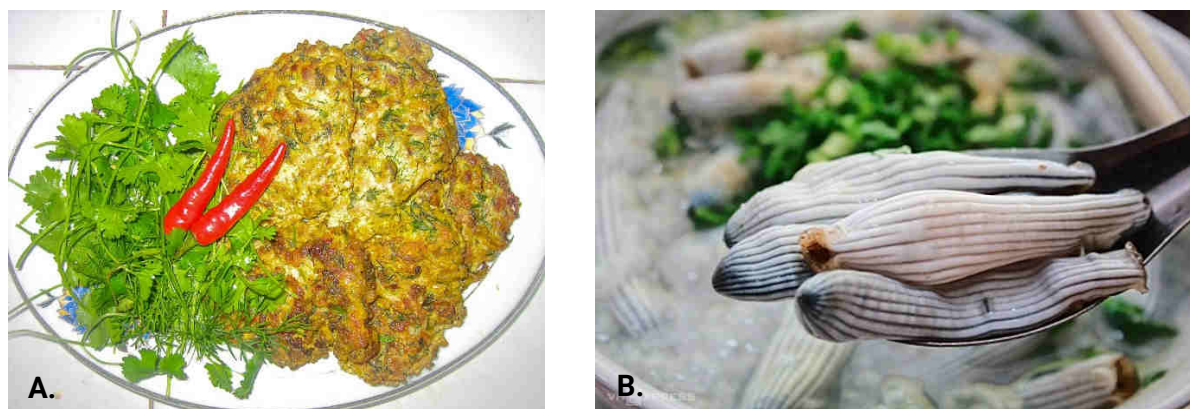


Figure 3. Plats traditionnels vietnamiens, A. Chả rươi ou « Sandworm omelette » et B. Soupe pho (à base de vermicelles de riz) avec des « Peanut worms »

En Afrique, la première ferme de production de vers marins a vu le jour en Tunisie dans la lagune de Bizerte. L'entreprise du nom de Polychaeta par Tunisia Baits, s'est développée suite à 8 ans de R&D sur la biologie de l'espèce *Perinereis cultrifera*. Depuis 2023, elle a débuté la commercialisation de leur production auprès de 12 clients (revendeurs d'appâts et écloserie de crevettes) (<https://polychaeta.net/>).

En parallèle de ces élevages en production dite « intensive », certaines entreprises telles que Topsy bait et Polychaeta dégagent une partie de leur budget pour la mise en place d'élevage d'autres espèces d'intérêt pour diversifier leur production. La ferme hollandaise planche sur l'étude de l'espèce *Arenicola marina* ou « lugworm ». Par la suite, il souhaiterait également développer l'élevage d'autres espèces comme ceux du genre *Glycera*

(« bloodworm ») et *Diopatra* (« tubeworm », une des espèces cibles du projet ANCOVA) (https://www.topsybait.nl/rd.html?page_id=234). L'entreprise tunisienne travaille sur le cycle de vie de l'espèce *Sipunculus nudus* ou « bibi », un appât très apprécié par les pêcheurs à la canne notamment en Europe. Au niveau de la communauté scientifique, des études sont réalisées à petite échelle sur d'autres espèces d'intérêt telle que le ver de chalut (*Halla parthenopeia*) bien connu en Méditerranée. Il s'agit de l'appât le plus apprécié et le plus onéreux : le prix de vente est compris entre 350-500€/kg et le prix d'un individu (20-30g) peut atteindre 12 à 18€ (Baeta et al., 2019; Ferri et al., 2024). En Espagne, des études ont également été portées sur les espèces *Hediste diversicolor* (anciennement *Nereis diversicolor*) et *Arenicola marina* (García del Real et al., 2007).

1.4 BIOLOGIE DES VERS TUBES DU GENRE *DIOPATRA* ET FOCUS SUR L'ESPECE D'INTERET *DIOPATRA BISCAYENSIS*

1.4.1 Généralités

Les vers polychètes du genre *Diopatra* sont reconnus dans le monde comme d'importants ingénieurs de leur écosystème en l'influençant physiquement et biologiquement en grande partie grâce à la structure de leur tube (Hartman, 1959; Woodin, 1978). En effet, ces vers vivent dans un tube souple qu'ils fabriquent grâce à leur mucus qui se polymérise avec l'eau de mer. En parallèle, du sable et des débris de coquillages sont captés sur le tube en formation (Fig.4,C). La profonde implantation du tube permet de stabiliser le sédiment lorsque les individus sont en forte densité. De plus, une partie du tube émerge hors du sédiment, ce qui offre un support de colonisation pour les macroalgues, mais aussi pour le recrutement de larves d'autres espèces sous forme de sacs gélatineux (Harwell and Orth, 2001; observation personnelle). Cette caractéristique augmente également la biodiversité et l'abondance d'autres organismes en permettant l'installation et le maintien de la méiofaune et de la macrofaune (Woodin, 1981). Cette partie « décorée » du tube sert également à la détection et à l'évitement de toute prédation (Brenchley, 1976).

La technique de pêche pratiquée en Charente-Maritime implique forcément la découpe de leur partie postérieure. Par conséquent, la majorité des vers pêchés dans le milieu naturel et étudiés dans ce rapport mesuraient entre 10 et 15 centimètres. Alors qu'un individu entier de l'espèce similaire *Diopatra neapolitana*, peut mesurer jusqu'à 80 cm de long (Arias et al., 2016). Ils étaient donc composés de leur prostomium, péristomium, segments (ou sétigères) avec les parapodes modifiés, segments branchiaux et une partie des segments post-branchiaux (Fig.4.B). Nous avons pu observer le pygidium dans le cadre des expérimentations sur l'étude de la régénération (Régésis 1 et 2, cf § 2.3).

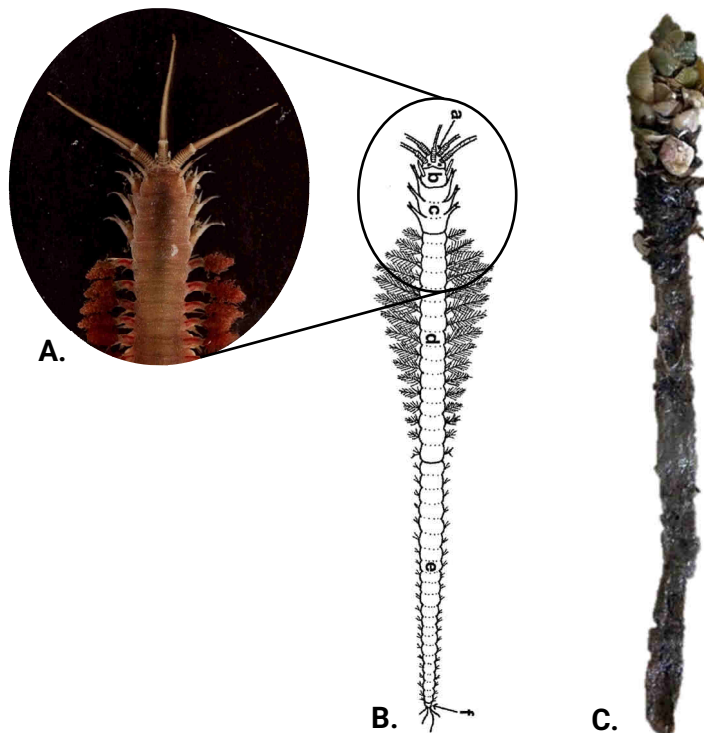


Figure 4. Présentation du ver *Diopatra biscayensis* et son tube, par photographies et illustration (Rangel and Santos, 2009)

A. Photographie de la partie antérieure de l'espèce (objectif macro, Moticam series HD cameras), B. Dessin d'un ver tube du genre *Diopatra* selon Rangel and Santos (2009) avec a. le prostomium, b. le péristomium, c. anneaux modifiés avec parapodes, d. anneaux avec parapodes et branchies, e. segments postérieurs sans branchies et f. le pygidium, C. Photographie d'un tube avec la partie dite « décorée » (hors du sédiment) et l'autre partie enfouie dans le sédiment

Ces vers tubicoles sont des polychètes omnivores qui se nourrissent principalement des organismes qui ont trouvé refuge dans la partie émergée de leur tube et les algues qui l'utilise comme support (Fig.5, Berke, 2022). Ils sont eux même prédatés par des poissons de type épi-benthiques tels que des poissons plats (flet, plie, raie, turbot) et d'autres espèces endémiques aux eaux pacifiques (« pigfish », « croaker »). Ils ont également été retrouvés dans l'estomac de crabes et d'oiseaux marins (Watanabe et al., 1992; Bowman et al., 2000; Hole, 2000).

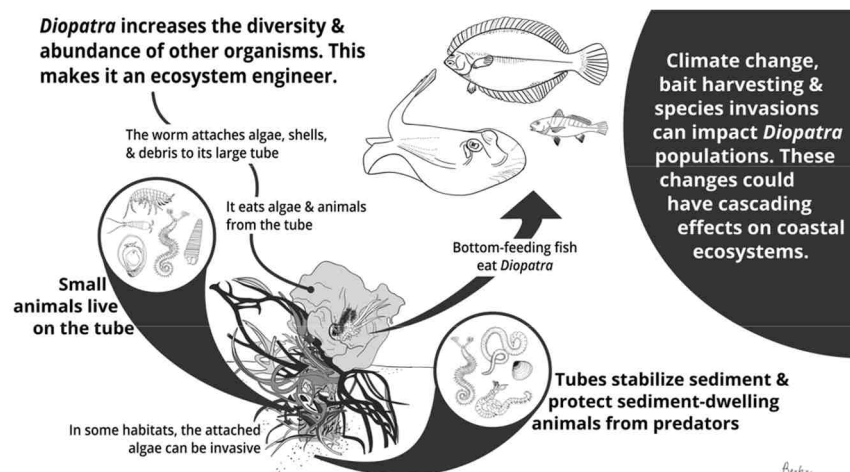


Figure 5. Schéma récapitulatif de l'impact des vers et de leurs tubes sur leur environnement, faune comme flore (Berke, 2022)

1.4.2 Taxonomie et clé d'identification de l'espèce d'intérêt *Diopatra biscayensis*

L'espèce *Diopatra biscayensis* fait partie de l'embranchement des annélides et est classée comme polychète (Fig.6). Le genre *Diopatra* Audouin and Milne Edwards, 1833 possède le nombre d'espèces décrites le plus important dans la famille des Onuphidae Kinberg, 1865. Ce qui représente 67 espèces dispersées dans le monde entier (<https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=129398>).

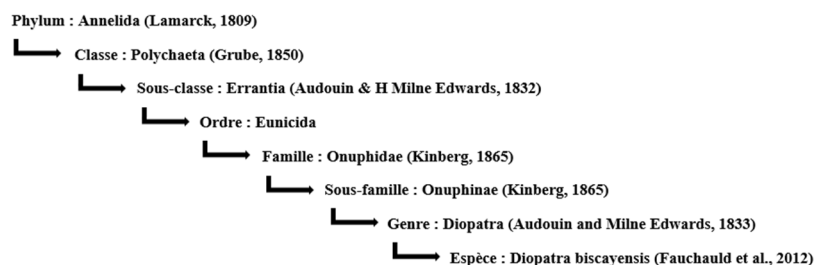


Figure 6. Classification de l'espèce d'intérêt *Diopatra biscayensis* (Vasseur, 2021)

Du fait de sa forte ressemblance morphologique avec l'espèce *Diopatra neapolitana* (Delle Chiaje, 1841), cette espèce a été décrite assez tardivement en 2012 par Fauchald et al. On retrouve ces deux espèces sur les côtes françaises mais celle majoritaire en Charente-Maritime est l'espèce d'intérêt *Diopatra biscayensis* (Woodin et al., 2014).

Le critère d'identification qui fait l'unanimité chez les taxonomistes et qui a été choisi pour différencier ces deux espèces est le nombre de lobes chaetaux sur les premiers parapodes modifiés. Si l'individu possède deux lobes pré et post-chaetaux, alors il s'agit de l'espèce *Diopatra biscayensis*, comme on peut le voir sur la Figure 7 (A,B). Alors que l'espèce *Diopatra neapolitana* ne possède qu'un lobe post-chaetal (Fig.7,C,D).

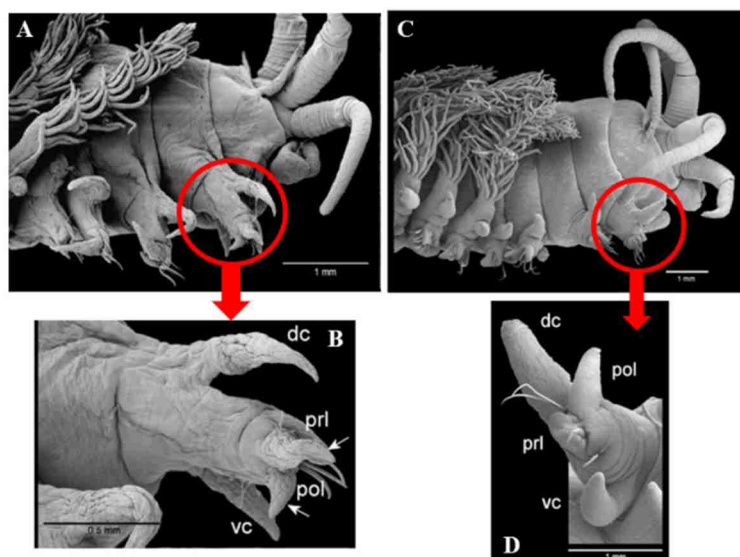


Figure 7. Comparaison des deux espèces de *Diopatra* avec des images effectuées au microscope électronique. (Vasseur, 2021)

A. Vue latérale de l'espèce *Diopatra biscayensis* (Arias and Paxton, 2015), B. Détail du premier parapode modifié de l'espèce *Diopatra biscayensis* (Arias and Paxton, 2015), C. Vue latérale de l'espèce *Diopatra neapolitana* (Arias et al., 2016), D. Détail du premier parapode modifié de l'espèce *Diopatra neapolitana* (Arias et al., 2016). (dc) dorsal cirrus ; (prl) prechaetal lobe ; (pol) postchaetal lobe ; (vc) ventral cirrus.

1.4.3 Répartition spatiale et phylogénie de *Diopatra biscayensis*

L'espèce est recensée tout le long des côtes nord espagnoles, notamment près de la Baie de San Vicente et Santander. En ce qui concerne la population française de *Diopatra biscayensis*, elle est concentrée sur la côte Atlantique : de la baie d'Arcachon jusqu'au sud Bretagne, au niveau de la Trinité-sur-mer. Cette espèce a également été identifiée dans certaines localités du golfe Normano-breton, notamment sur la plage de Sainte-Anne, alors que les températures ne sont normalement pas adéquates pour le développement de *Diopatra biscayensis*. En effet, son cycle de reproduction dépend de la température qui ne doit pas être inférieure à 18°C sinon celui-ci n'est pas possible (Wethey and Woodin, 2008). L'analyse génétique de différentes populations a mis en évidence que la diversité génétique la plus importante est issue de la population située en Espagne. Ensuite, les transferts d'huîtres espagnoles vers Arcachon, ont permis à la population de vers tubes de s'étendre progressivement jusqu'à la limite sud de la Bretagne. La zone de la baie d'Arcachon possède une population génétique très différente qui peut être due à sa forte activité conchylicole et l'utilisation des vers tubes dans la pêche de loisir. Ensuite, les individus retrouvés à Saint-Anne en Normandie proviennent sûrement d'une introduction anthropique via le transport de matériel ostréicole et mytilicole (Fig.8). Cette implantation a probablement été facilitée par le réchauffement climatique pour que les eaux normandes soient plus accueillantes pour le développement de cette espèce de ver tube (Galaska et al., 2021).

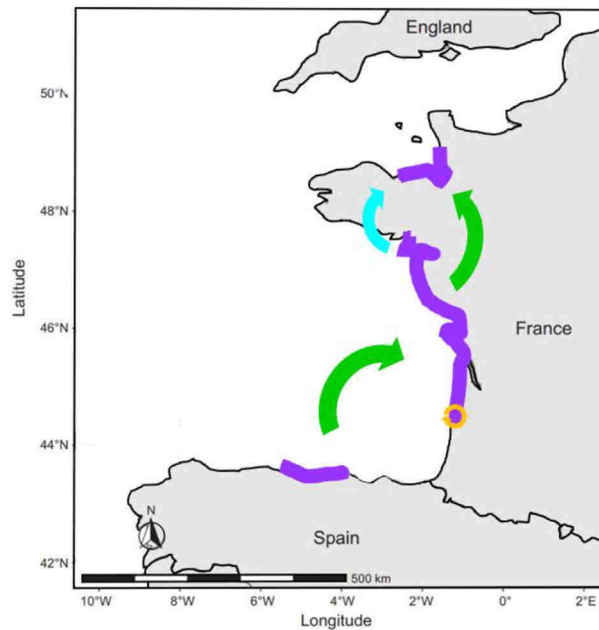


Figure 8. Carte des mouvements de population de l'espèce *Diopatra biscayensis* (Vasseur, 2021)

Zone violette : espèce d'intérêt présente, Flèche verte : déplacements via des transferts d'huîtres, Flèche bleue : déplacement via du matériel mytilicole, Flèche orange : Introduction d'une population génétiquement variée via l'utilisation des appâts de pêche.

Malgré sa forte proximité morphologique et géographique avec l'espèce *Diopatra neapolitana*, l'espèce d'intérêt *Diopatra biscayensis* est plus proche génétiquement de *Diopatra marocensis* Paxton et al., 1995 (Fig.9,B). Cela a été démontré par une étude phylogénétique permise grâce à l'analyse des séquences qui codent l'ARN ribosomal 16S et le cytochrome oxydase I (COI) (Fig.9,A). De plus, il a été prouvé que ces espèces du genre *Diopatra* descendent d'une même espèce commune : *Eunice norvegica* Linnaeus, 1767 (Fig.9,C).

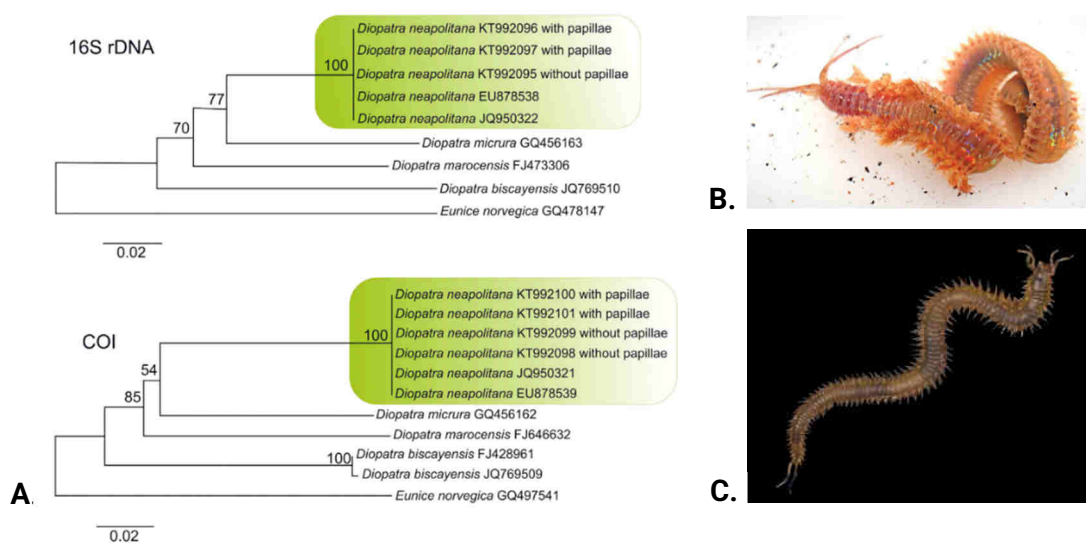


Figure 9. Arbres phylogénétiques d'espèces du genre *Diopatra* de la zone Nord Atlantique tempérée (Arias et al., 2016)

A. Analyses phylogénétiques des données comprenant les séquences 16S et COI d'espèces du genre *Diopatra*, B. Photographie de l'espèce *Diopatra marocensis* (Arias et al., 2013), C. Photographie de l'espèce *Eunice norvegica*

2 APPROFONDISSEMENT DES CONNAISSANCES SUR LE CYCLE DE REPRODUCTION DE L'ESPECE *DIOPATRA BISCAYENSIS* ET DE SA MAITRISE EN MILIEU CONTROLE

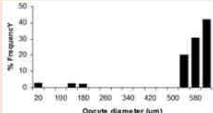
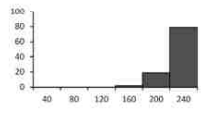
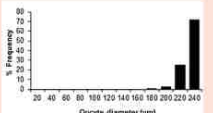
2.1 ETAT DE L'ART

2.1.1 La reproduction pour les vers du genre *Diopatra*

Des études histologiques ont été menées sur des populations de vers tubes du genre *Diopatra* issues du milieu naturel. Dans un premier temps, il a été démontré que leur saison de reproduction peut être discontinue ou continue en fonction de leur environnement (Bergamo et al., 2019). De plus, le type de reproduction sexué le plus répandu dans le genre *Diopatra* est l'hermaphrodisme (simultanée ou séquentielle) (Arias et al., 2013; Arias et al., 2016). Un stade de protandrie est décrit dans la plupart des cas d'hermaphrodisme séquentiel, largement représentés chez les invertébrés marins (Sella, 2006). Pour ces vers marins, les femelles de gros diamètres produisent plus de gamètes et ils semblerait que le phénomène est le même chez les mâles (Arias et al., 2023).

Les espèces du genre *Diopatra* ont su développer un large panel de différent type de reproduction (Tab.1).

Tableau 1. Tableau récapitulatif des différents types de reproduction pour le genre *Diopatra*

Type de reproduction	Exemple d'espèce	Largeur maximale des reproducteurs (mm)	Profil ovocytaire individus matures	Taille des œufs (µm)	Sexualité	Type de sperme	Développement larvaire	Références
I. Couvaison dans le tube parental	<i>Diopatra marocensis</i>	4,8	 Juin	600 - 620	Hermaphrodisme simultané	Ent-aquasperm	Pas de stade planctonique, couvés ≥ 23-34 sétigères	Arias et al, 2013
II. Développement dans un sac gélatineux	<i>Diopatra biscayensis</i>	5,2	 Septembre	260	Hermaphrodisme simultané avec stade de protandrie	Ect-aquasperm	Pas de stade planctonique, dégradation du sac gélatineux après 48h et relâchés avec 4-5 sétigères	Arias and Paxton, 2015
III. Ponte dans la colonne d'eau	<i>Diopatra neapolitana</i>	13	 Juillet	200 - 260	Hermaphrodisme séquentielle avec stade de protandrie	Ect-aquasperm	Stade planctonique de 3-4 jours	Arias et al, 2016

En effet, certaines espèces comme *Diopatra neapolitana* ou *Diopatra aciculata* (espèce élevée en Australie) éjectent leurs gamètes dans la colonne d'eau où la fécondation se produit. Pour d'autres, tel que l'espèce *Diopatra marocensis*, elle couve ses œufs fécondés jusqu'au développement assez tardif des larves (Tab.1).

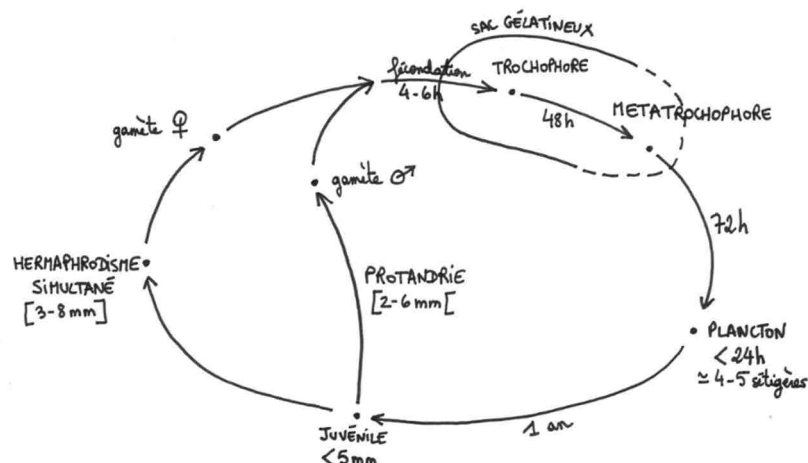


Figure 10. Schéma du cycle de vie de l'espèce *Diopatra biscayensis* (Vasseur, 2021). Les valeurs indiquées en mm correspondent à la taille du diamètre au 10^{ème} sétigère de l'individu.

2.1.2 La reproduction de *Diopatra biscayensis*

L'espèce d'intérêt *Diopatra biscayensis* effectue une reproduction sexuée et externe, par l'intermédiaire d'une ponte (Tab.1). Celle-ci se présente sous forme de sac gélatineux d'environ 5 cm de diamètre (Arias and Paxton, 2015). 72h après sa formation, celui-ci se désintègre pour laisser les larves planctoniques se disperser à moins de 50 km autour du lieu de ponte pendant 24h (Woodin et al., 2014). Ensuite les larves s'implantent dans le sédiment et commencent à former leur tube.

On sait que la ponte est sous forme de sac gélatineux mais le mécanisme précis, notamment l'origine du sperme, n'est pas connu. La production d'ovocytes est plus coûteuse en énergie que celle de sperme. C'est pourquoi ce sont les vers les plus gros qui sont hermaphrodites. Arias et Paxton (2015) ont démontré que les juvéniles mâles produisent plus de sperme que les vers hermaphrodites. On peut donc supposer que le sperme à l'origine de la fécondation provient des mâles juvéniles. L'hypothèse émise dans cet article est que la fécondation s'effectue grâce à des individus directement présents sur le tube (Fig.11). Pour vérifier cela, il faudrait inspecter chaque tube où ont été retrouvé des sacs gélatineux pour y trouver d'éventuelles traces de tubes de juvéniles. L'autre technique possible pour valider cette hypothèse est de réaliser une analyse génétique pour trouver les similarités.



Figure 11. Partie hors du sédiment d'un tube dans l'estuaire San Vicente de la Barquera sur lequel un sac gélatineux était attaché et où l'on retrouve également des tubes de vers tubes juvéniles (flèche blanche) (Arias and Paxton, 2015)

D'autres mécanismes existent chez les polychètes pour optimiser les chances d'accouplement. Dans certains cas, la femelle adapte la ponte de ses ovocytes matures en fonction de son partenaire (jeune mâle, mâle adolescent ou hermaphrodite simultané) (Åkesson, 1974; Sella, 1988). De la même façon, le ver *Ophryotrocha gracilis* alterne les rôles

en se mettant par paire (Sella et al., 1997). Cela réduit la compétition entre mâles puisque certaines espèces jouent sur une surproduction de sperme pour échapper à cette compétition (Premoli and Sella, 1995). De plus, on sait que des phénomènes d'autofécondation sont communs chez les spécimens de large diamètre dans des conditions d'isolement (Arias and Paxton, 2015; Sella, 2006)

2.1.3 Bilan du projet MEDIHOM

Lors du projet MEDIHOM mené en 2021 (cf.§ 1.2), la maturation ovocytaire dans le milieu naturel (la plage du Soleil, Saint-Trojan-les-Bains) a été étudiée du mois de mars 2021 au mois d'août 2021 (Fig.12). Les résultats de ce suivi ont mis en évidence un décalage d'un mois de la période de reproduction par rapport aux vers tubes étudiés en Espagne par Arias et Paxton en 2015. Dans le cas où l'augmentation moyenne du diamètre ovocytaire restait linéaire, alors la période de ponte des vers tubes devrait débuter fin septembre au plus tôt sur les côtes charentaises. La fin du stage étant programmé en août, le suivi de la maturation ovocytaire et la recherche de ponte n'ont pas pu être réalisés.

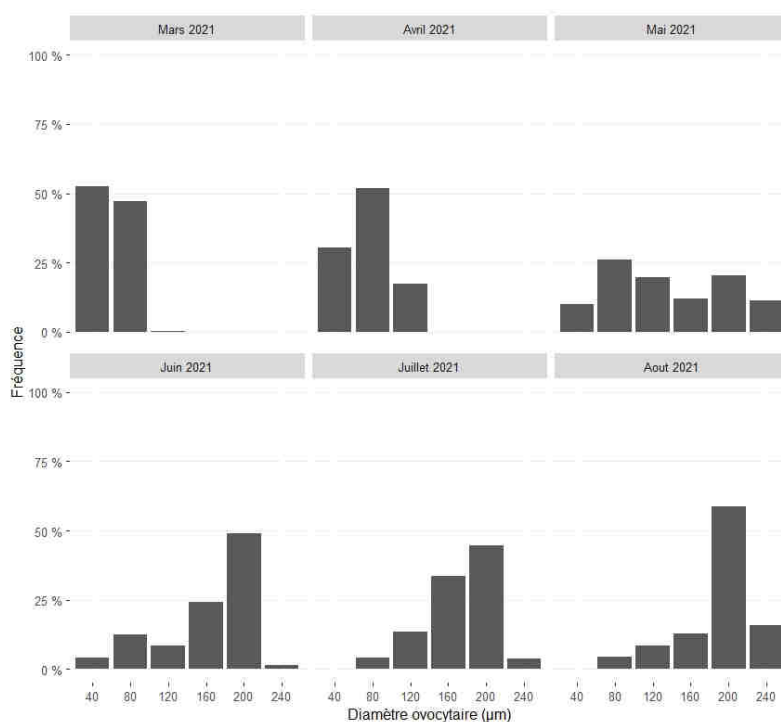


Figure 12. Distribution mensuelle des diamètres ovocytaires de l'espèce *Diopatra biscayensis* de Saint-Trojan-les-Bains issu du rapport de Vasseur, 2021 (Atlantique, France).

Axe des abscisses : 40 μm = [20 ;60], 80 μm =]60 ;100], 120 μm =]100 ;140], 160 μm =]140 ;180], 200 μm =]180 ;220] et 240 μm =]220 ;260]

De plus, cette étude a également prouvé que la maturation ovocytaire de l'espèce *Diopatra biscayensis* peut être stimulée en milieu contrôlé en augmentant progressivement la température à 21°C (Vasseur, 2021). Néanmoins, le stade final qui précède la ponte n'a pas

été atteint. Selon Arias et Paxton (2015), lorsque les vers sont prêts à pondre, les ovocytes de 220 à 260 µm sont majoritaires à 70%. Or lors de ce projet, seulement 10% des ovocytes ont atteint cette classe de taille.

L'objectif de l'axe ver tube du projet ANCOVA 17 est d'approfondir et confirmer ces premiers résultats sur la reproduction de l'espèce *Diopatra biscayensis* en milieu naturel et en milieu contrôlé.

2.2 SUIVI DE LA MATURATION OVOCYTAIRE DANS LE MILIEU NATUREL

2.2.1 Matériel & Méthode

Au total, N = 307 individus ont été prélevés sur la plage du Soleil (Saint-Trojan-les-Bains) puis analysés de juin 2023 à mai 2024. En moyenne par marée, 16 individus sont pêchés aléatoirement sur l'estran (min = 4 et max = 54 individus). Dans cet échantillonnage, 246 vers tubes ont été identifiés comme hermaphrodites en fonction des critères suivant :

- Diamètre du 10^{ème} sétigère supérieur à 6 mm (Arias and Paxton, 2015)
- Présence d'ovocytes dans le liquide coelomique.

La technique d'analyse des ovocytes issus du liquide coelomique de ces individus, est décrite dans l'annexe I.

La recherche de sac gélatineux s'est déroulée de septembre à octobre 2023, sur plusieurs sites de Charente-Maritime : la plage du soleil (Saint-Trojan-les-Bains), Gatseau (Saint-Trojan-les-Bains) et Ronce-les-bains.

2.2.2 Résultats

Au cours du projet ANVOCA 17, nous avons prélevé au total N = 307 individus identifiés comme le ver tube *Diopatra biscayensis* sur la plage du Soleil à Saint-Trojan-les-Bains sur l'île d'Oléron. Dans cet échantillon, nous avons analysé n = 246 vers hermaphrodites dont 52.3% contenaient des ovocytes dans leur liquide coelomique.

Tableau 2. Récapitulatif mensuel des variables biologiques et environnementales pour l'espèce *Diopatra biscayensis* à Saint-Trojan-les-Bains, Île d'Oléron (Atlantique, France)

La température de l'eau provient de la sonde TPS sur le site de la Mortane (côte sud-est de l'île d'Oléron) et la photopériode a été calculé à partir des données du site [calendriersolaire.com](https://www.calendriersolaire.com)

Mois	N	n	Diamètre 10 ^{ème} sétigère (mm)	Hermaphrodites avec ovocytes (%)	Diamètre moyen ovocyttaire (µm)	Ecart type	Température de l'eau (°C)	Photopériode
Juin 23	20	13	5.8	61.5	140.7	58.7	22.1	0.64
Juil 23	23	19	6.7	63.2	165.9	40.2	20.5	0.63
Aout 23	12	12	6.5	58.3	197.9	34	21.9	0.59
Sept 23	34	28	6.1	46.4	216.1	15.1	22.1	0.53
Oct 23	56	32	6.1	9.4	213	14.4	18.1	0.46
Nov 23	26	23	6.4	39.1	29.7	6.8	12.6	0.39
Déc 23	14	10	6.7	60	34.9	7.4	9.5	0.37
Janv 24	15	13	6.4	46.2	40.8	7.4	7.5	0.38
Fév 24	19	18	6.3	61.1	34.8	8.2	10.8	0.43
Mars 24	20	16	6.1	75	35.9	6.9	11.4	0.5
Avr 24	54	53	6.3	67.9	101.9	22.7	13.4	0.56
Mai 24	14	9	6.2	77.8	182.6	40.3	16.2	0.63
TOTAL	307	246						

Nous avons retrouvé des individus hermaphrodites avec des ovocytes tout au long de l'étude (Tab.2 et Fig.13). La période où nous en avons rencontré le moins fût au cours du mois d'octobre 2023 avec 9.4% alors qu'en mai 2024, la proportion s'élevait à 77.8%. En parallèle, le diamètre ovocyttaire moyen en octobre 2023 était l'un des plus haut sur l'année étudiée (213 µm). Ensuite, nous n'avons pas constaté d'augmentation du diamètre ovocyttaire moyen entre le mois de novembre 2023 et mars 2024, et une stagnation est observée à 35.2 µm en moyenne (Fig.13).

Le diamètre moyen mensuel des individus hermaphrodites varie entre 5.8 ± 1.1 mm et 6.7 ± 0.8 mm, respectivement en juin 2023 et décembre 2024. L'individu le plus large mesurait 8.4 mm de diamètre et 3.8 mm pour le plus fin.

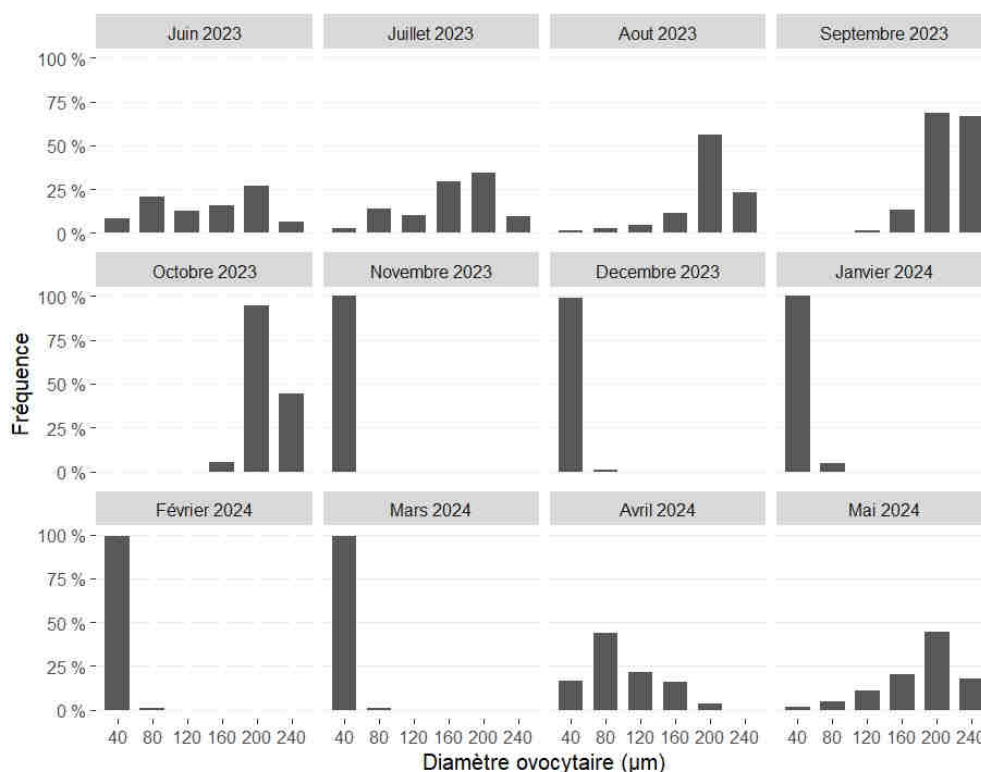


Figure 13. Distribution mensuelle des diamètres ovocytaires de l'espèce *Diopatra biscayensis* de juin 2023 à mai 2024, issus de Saint-Trojan-les-Bains, Ile d'Oléron (Atlantique, France).

Axe des abscisses : 40 µm = [20 ;60], 80 µm = [60 ;100], 120 µm = [100 ;140], 160 µm = [140 ;180], 200 µm = [180 ;220] et 240 µm = [220 ;260]

Une augmentation du diamètre ovocitaire moyen a pu être observé jusqu'à la fin du mois de septembre, plus précisément le 26 (Fig.14). A partir de cette date, le nombre d'individu avec des ovocytes a très fortement diminué (- 37%). Seuls les ovocytes de trois vers ont pu être analysés sur une semaine, du 3 au 10 octobre. Puis, le 16 et 30 octobre, aucuns vers n'ont été pêché avec des ovocytes. On peut donc supposer qu'il s'agissait d'une période de repos post-reproduction pour cette espèce. La période de reproduction s'est donc déroulée de fin septembre à mi-octobre.

Néanmoins, aucune ponte de *Diopatra biscayensis*, sous forme de sacs gélatineux, n'a été observé durant cette période sur l'ensemble des sites étudiés.

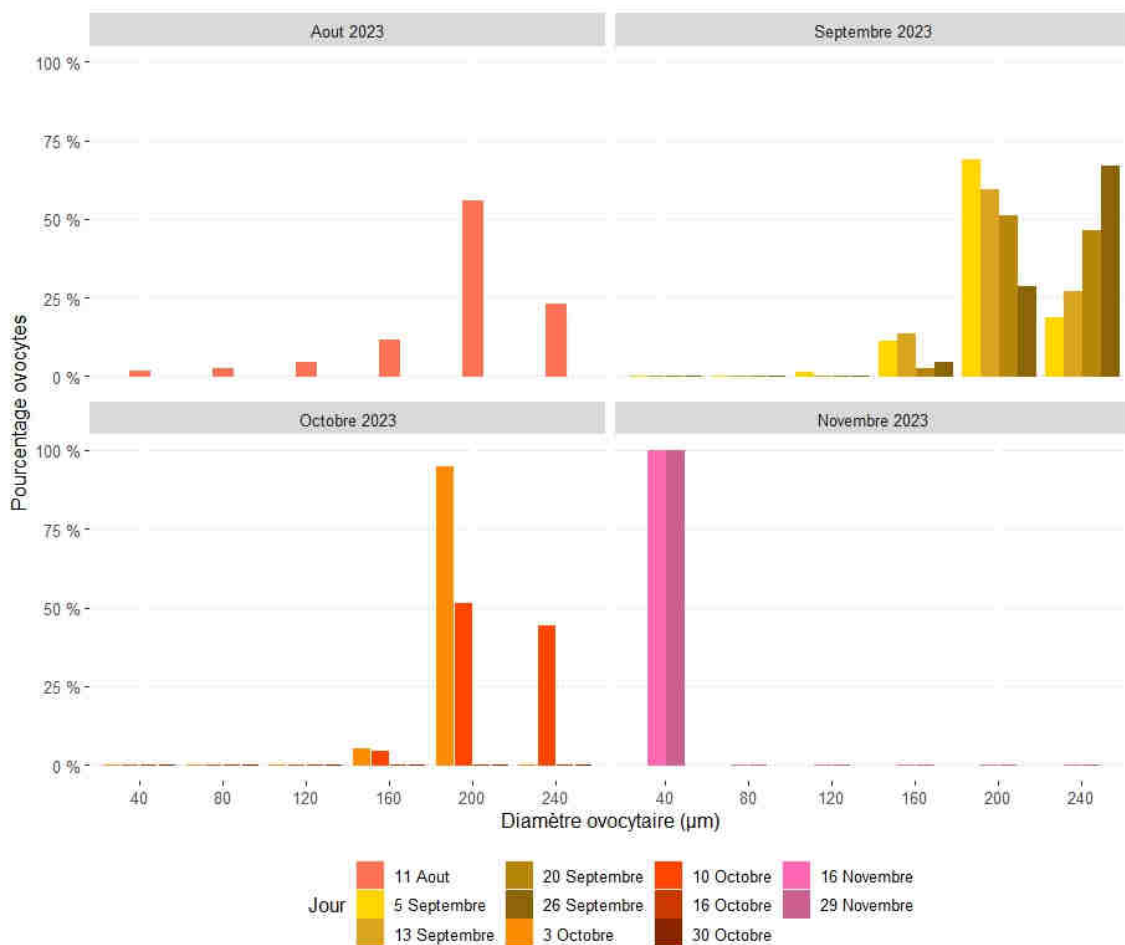


Figure 14. Focus sur la fin de la période estivale, correspondant à la période de reproduction de l'espèce *Diopatra biscayensis* d'août 2023 à novembre 2023, issus de Saint-Trojan-les-Bains, Ile d'Oléron (Atlantique, France)

Axe des abscisses : 40 μm = [20 ;60], 80 μm =]60 ;100], 120 μm =]100 ;140], 160 μm =]140 ;180], 200 μm =]180 ;220] et 240 μm =]220 ;260]

La baisse brutale du diamètre ovocytaire moyen entre septembre/octobre et décembre 2023 coïncide avec une chute de température de l'eau de l'ordre de 10°C, respectivement 22.1 °C à 12.6 °C (Fig.15.A). La température continue à diminuer jusqu'en janvier 2024 avec une moyenne de 7.5°C. On observe une augmentation du diamètre ovocytaire moyen à partir du mois d'avril 2024 où l'eau est en moyenne à 13.6 °C. La tendance a perduré le mois suivant, en mai 2024.

L'évolution de la photopériode (temps moyen d'ensoleillement divisé par 24 heures) sur une année est représentée avec la moyenne mensuelle des diamètres ovocytaires (Fig.15.B). On constate que la période où les ovocytes sont les plus petits correspond à la photopériode la plus courte (entre novembre et janvier).

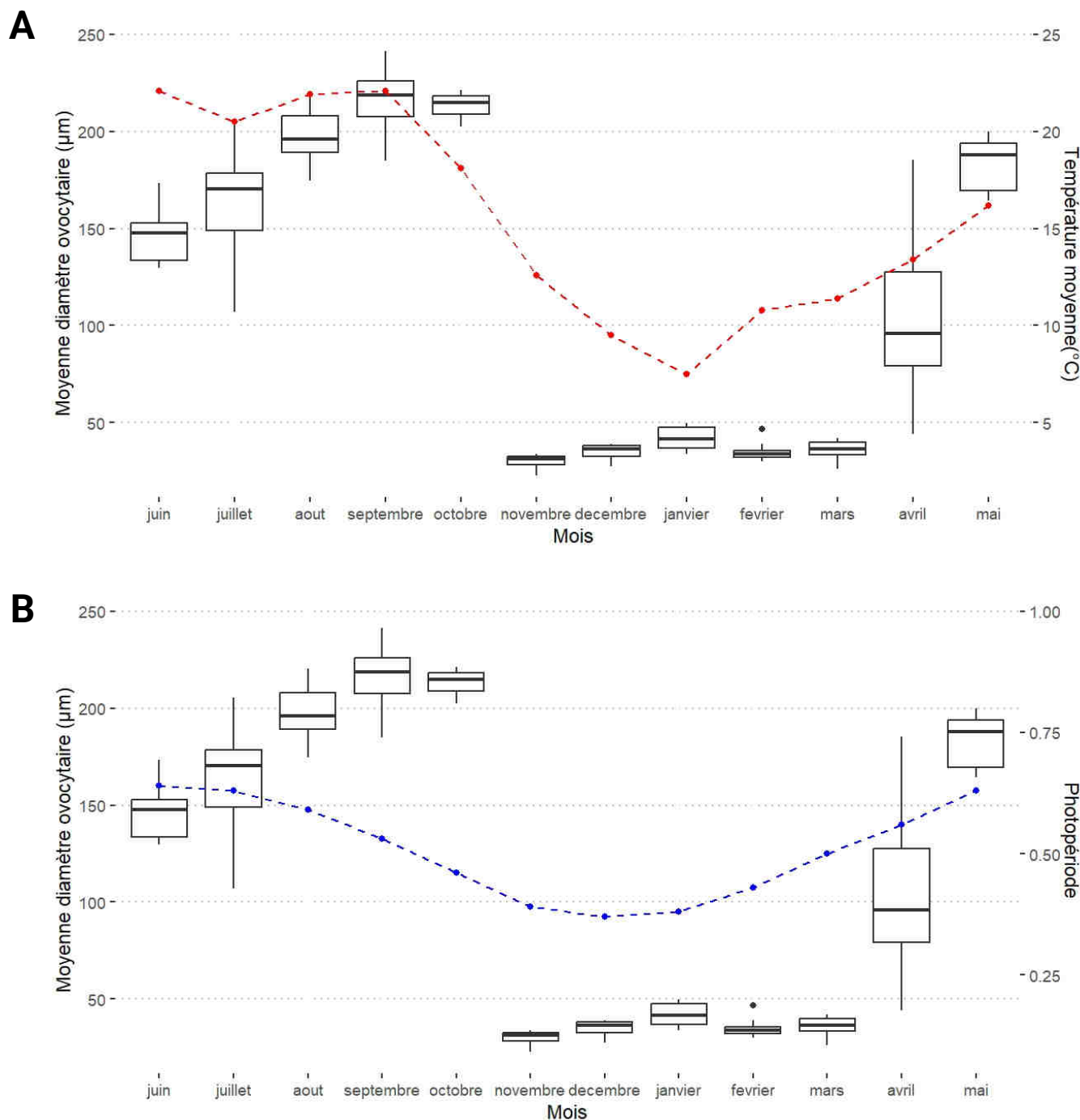


Figure 15. Variation temporelle de la moyenne des diamètres ovocytaires de l'espèce *Diopatra biscayensis* (boxplot) en fonction de A. la température de l'eau à la Mortane (lineplot rouge) et de B. la photopériode (lineplot bleue) (Atlantique, France)

La Figure 7 montre l'évolution de la proportion d'individus avec des ovocytes dans le milieu naturel en fonction des mois. Il ne semble pas avoir de corrélation entre ce paramètre biologique et les variables environnementales (Tab.3). Néanmoins, on constate que plus on se rapproche du mois d'octobre, plus la proportion diminue. Ce qui est cohérent avec la quasi-disparition des individus présentant des ovocytes à la suite de la reproduction (Fig.16).

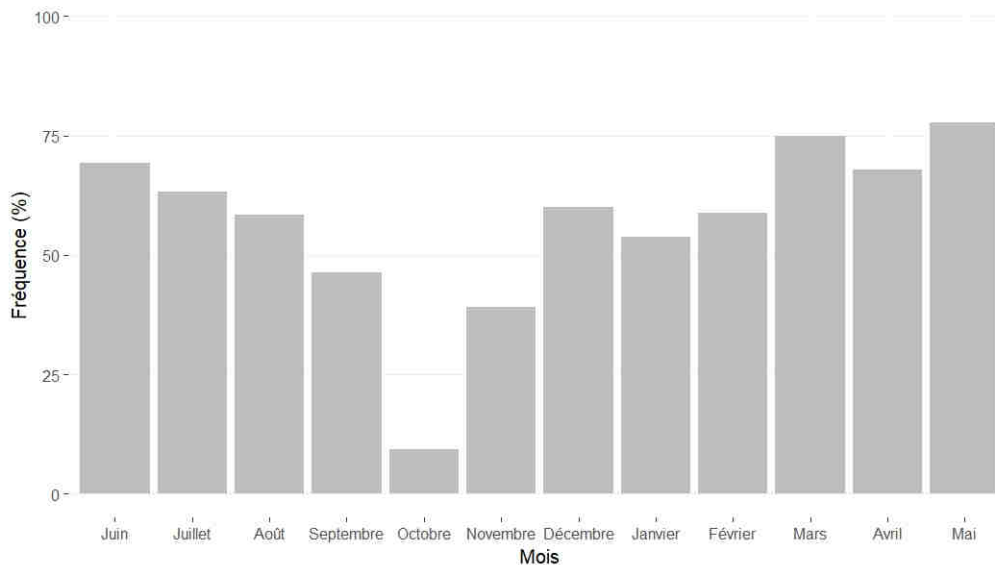


Figure 16. Proportion des individus hermaphrodites *Diopatra biscayensis* avec des ovocytes, collectés à Saint-Trojan-les-Bains (Atlantique, France)

L'analyse de corrélation montre une corrélation positive significative entre le diamètre ovocytaire moyen et la température de l'eau ($\tau = 0.534$, $p < 0.05$). À l'inverse, il n'y a pas de lien entre la taille des ovocytes et la photopériode ($\tau = 0.351$, $p > 0.05$). De plus, aucune corrélation n'a été prouvée entre le pourcentage de vers hermaphrodites avec des ovocytes et la température de l'eau ($r = 0.087$, $p > 0.05$) ou encore la photopériode ($r = 0.456$, $p > 0.05$) (Tab.3).

Tableau 3. Coefficient de corrélation de Pearson (r) ou de Kendall (τ) entre des paramètres biologiques et environnementaux

	Température de l'eau (°C)	Photopériode
Moyenne diamètre ovocytaire (μm)	Kendall $\tau = 0.534$ $p = 0.02$ (*)	Kendall $\tau = 0.351$ $p = 0.11$
Hermaphrodites avec ovocytes (%)	Pearson $r = -0.087$ $p = 0.79$	Pearson $r = 0.456$ $p = 0.14$

2.2.3 Discussion

Ces résultats suggèrent qu'un cycle de reproduction s'est déroulé lors de la période de cette étude de juin 2023 à mai 2024. Il semble que ce cycle a débuté dès le mois de novembre avec la plus petite moyenne de taille ovocytaire : $29.7 \pm 6.8 \mu\text{m}$. Ensuite, pendant 5 mois, de novembre à mars, on constate qu'il n'y a pas eu de maturation ovocytaire car le diamètre moyen n'a pas dépassé les $50 \mu\text{m}$. A cette période, la température de l'eau ne dépasse pas les 12°C ce qui semble être la valeur seuil pour la maturation ovocytaire de l'espèce *Diopatra biscayensis*. Puis, une augmentation progressive de la taille des ovocytes est observée à partir du mois d'avril jusqu'à septembre/octobre. Au cours de ces six mois de maturation, on retrouve des ovocytes de classe de diamètres très différents ce qui implique une grande variabilité autour des moyennes mensuelles. Lors du mois d'octobre, nous retrouvons très peu d'individus hermaphrodites avec des ovocytes ce qui laisse supposer que ces vers tubes ont éjecté leurs gamètes pour effectuer leur ponte. Or, le résultat précédent suggère que ces individus produisent des ovocytes à des stades différents de maturation. Par conséquent l'hypothèse de deux pontes asynchrones évoqué par Arias et Paxton (2015) est confirmée par ces données. Toutefois aucune ponte de cette espèce n'a été observé dans le milieu naturel sur les côtes françaises : seulement quelques-unes ont été retrouvées en Espagne (Arias and Paxton, 2015). La période de ponte des populations de polychètes est fréquemment liée à la proportion de vers avec des ovocytes. En effet, la forte baisse (ici en octobre) n'est pas expliquée par une baisse du nombre de vers hermaphrodites, mais plutôt par des phénomènes de pontes où les gamètes sont expulsés pour induire une reproduction externe (Pires et al., 2012b; Arias et al., 2016; Bergamo et al., 2019).

D'après Escobar-Ortega et al. (2021), l'espèce *Diopatra neapolitana* étudiée sur la côte espagnole du nord-est, suit un cycle de reproduction discontinu avec une période de ponte qui s'étend de juillet à octobre. Ils ont également démontré que l'augmentation du diamètre ovocytaire moyen (μm) est corrélée avec la température de l'eau. De plus, une corrélation positive significative a été prouvée pour cette espèce, entre la photopériode et le pourcentage d'individus avec des ovocytes (dans ce cas, il s'agit de femelles). On peut donc supposer que la photopériode joue un rôle dans l'induction de la gamétogénèse et de la ponte pour l'espèce *Diopatra neapolitana*. En effet, les vers polychètes sont capables de capter l'information lumineuse grâce aux cellules photoréceptrices de leur organe nuchal que l'on trouve sur la partie postérieure de leur prostomium (Storch and Welsch, 1969).

La température de l'eau et la photopériode sont des facteurs déterminants dans les phénomènes de gamétogénèse et la période de ponte pour d'autres espèces de polychètes (Watson et al., 2000; Nash and Keegan, 2003; Wang et al., 2020; Escobar-Ortega et al., 2022b).

2.3 ETUDES SUR LA REGENERATION DANS LE MILIEU NATUREL ET EN MILIEU CONTROLE

2.3.1 Pourquoi étudier la reproduction avec des vers entiers ?

Nous avons supposé dans un premier temps que la régénération de la partie sectionnée lors des prélèvements en milieu naturel peut causer un biais sur la reproduction de cette espèce. En effet, la technique de pêche utilisée avec une « ferrée » ou « pelle à vers »,

entraîne l'amputation de la partie postérieure du ver (Vasseur, 2021). Cette caractéristique peut avoir un effet négatif sur la reproduction et la croissance de certaines espèces de vers marins. Pires et al. (2012) a démontré que la majorité des vers tubes *Diopatra neapolitana* régénérés qui ont été analysés lors de leur étude, n'avaient pas de gamètes. De plus, une baisse de la fécondité était observée pour l'espèce *Polydora ligni*, de 10 à 80% en fonction de la zone régénérée (Zajac, 1985). Toutefois, pour l'espèce de ver tube *Diopatra marocensis*, 68% des vers régénérés avaient des gamètes (Pires et al., 2012a). On peut donc supposer que cela n'a pas ou peu d'impact sur sa reproduction.

N'ayant pas assez de connaissances sur l'espèce *Diopatra biscayensis*, nous avons testé différentes techniques pour pêcher des individus entiers directement dans le milieu naturel.



Figure 17. Photographie d'un ver tube en partie hors de son tube, attiré par un appât (morceau de maquereau) (Saint-Trojan-les-Bains)

Les premiers essais furent avec du sel en l'introduisant directement dans l'ouverture des tubes, de la même façon que la pêche aux couteaux (Escobar-Ortega et al., 2022a). Cette technique est pratiquée pour la pêche de l'espèce *Diopatra neapolitana*, notamment sur les côtes espagnoles et dans le bassin d'Arcachon. Néanmoins, les vers ne sont pas remontés hors de leur tube. Nous supposons que selon les espèces, la réaction à un choc osmotique est différente.

Ensuite, nous avons essayé de l'appâter pour les amener hors de leurs tubes, de la même façon que pour les vers du genre *Australonuphis* (De León-González et al., 2008). Les vers tubes sont apparus mais il était trop difficile de les sortir entièrement sans que la partie postérieure ne « casse » (Fig.17).

Il existe également en Australie, des pêcheurs professionnels qui attrapent l'espèce locale de ver tube *Diopatra aciculata* en plongeant dans l'ouverture du tube, un long fil avec la pointe crochetée (Van Rensburg et al., 2020). L'objectif étant d'empaler le ver avec la pointe et de le remonter de cette façon. Cette technique est difficilement réalisable pour l'espèce d'intérêt et trop intrusive pour enchaîner directement avec des expérimentations.

À la suite de ces essais non fructueux, nous avons décidé d'étudier l'impact de la régénération sur l'espèce *Diopatra biscayensis* dans son milieu naturel et en milieu contrôlé.

2.3.2 Etude de l'impact de la régénération de la partie antérieure sur la reproduction dans le milieu naturel

Au total, 307 individus ont été pêchés à Saint-Trojan-les-Bains et examinés avec 246 vers considérés comme hermaphrodites (cf.§2.2.1). Dans cette sous-population, on retrouve 95 vers tubes avec leur partie antérieure complètement régénérée, correspondant à 38.6%. Dans le cadre de cette étude dans le milieu naturel, nous travaillons sur la régénération de la

partie antérieure du ver, facilement observable à l'œil nu grâce à une différence de couleur des sétigères (Vasseur, 2021).

Cette proportion varie en fonction des mois sans mettre en évidence une certaine tendance (Fig.18.A). Puis, dans cet échantillon comprenant les individus hermaphrodites avec la partie antérieure régénérée, nous avons étudié la proportion de vers tubes avec et sans ovocytes (Fig.18.B). Sur 95 individus régénérés, on a retrouvé 55 individus avec des ovocytes dans leur liquide coelomique : ce qui représente 57.9%. On constate que les proportions sont semblables à la population totale d'hermaphrodites (Fig.16).

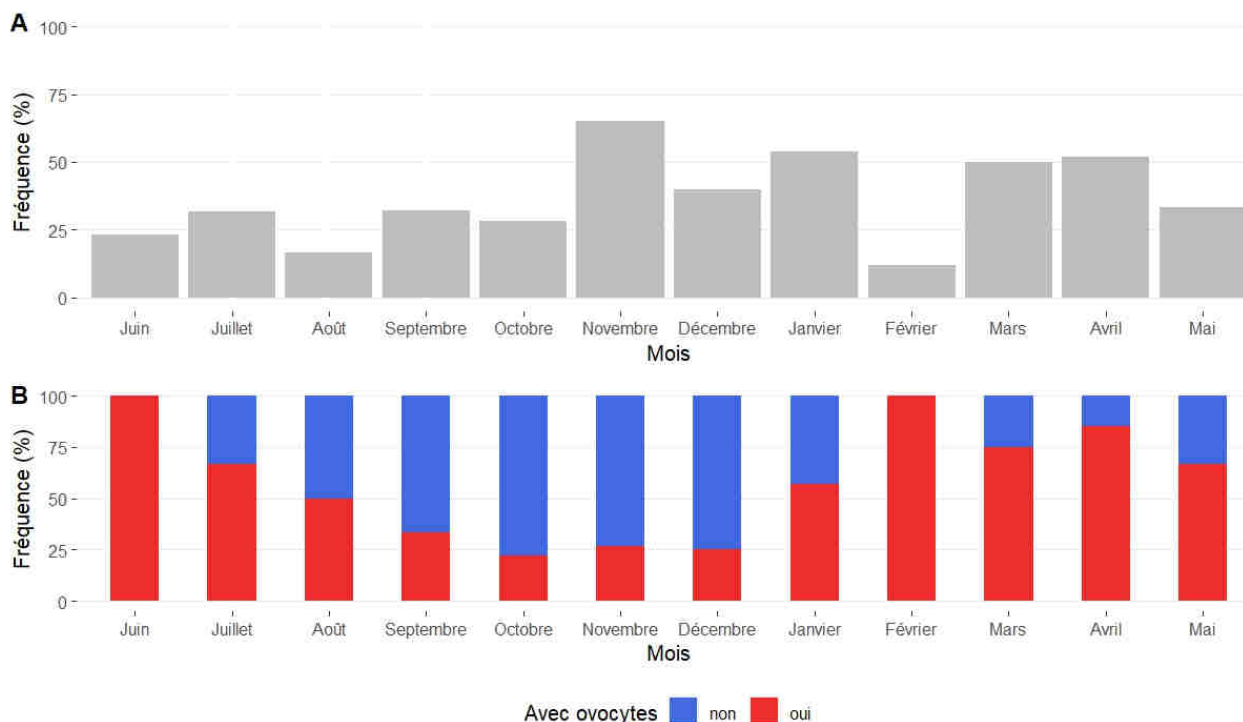


Figure 18. A. Graphique représentant la proportion des individus pêchés régénérés de la partie antérieure en fonction du temps (N = 95 individus)

B. Représentation graphique des individus avec ou sans ovocytes dans la population d'individus régénérés au niveau de la partie antérieure (N = 95 individus)

Nous nous sommes également intéressés à l'impact de la régénération sur la taille des ovocytes en fonction du temps (Fig.19). Il n'existe pas de différence significative entre les diamètres ovocytaires de vers régénérés et non régénérés sur une année (Test de Kruskal-Wallis, $p > 0.05$).

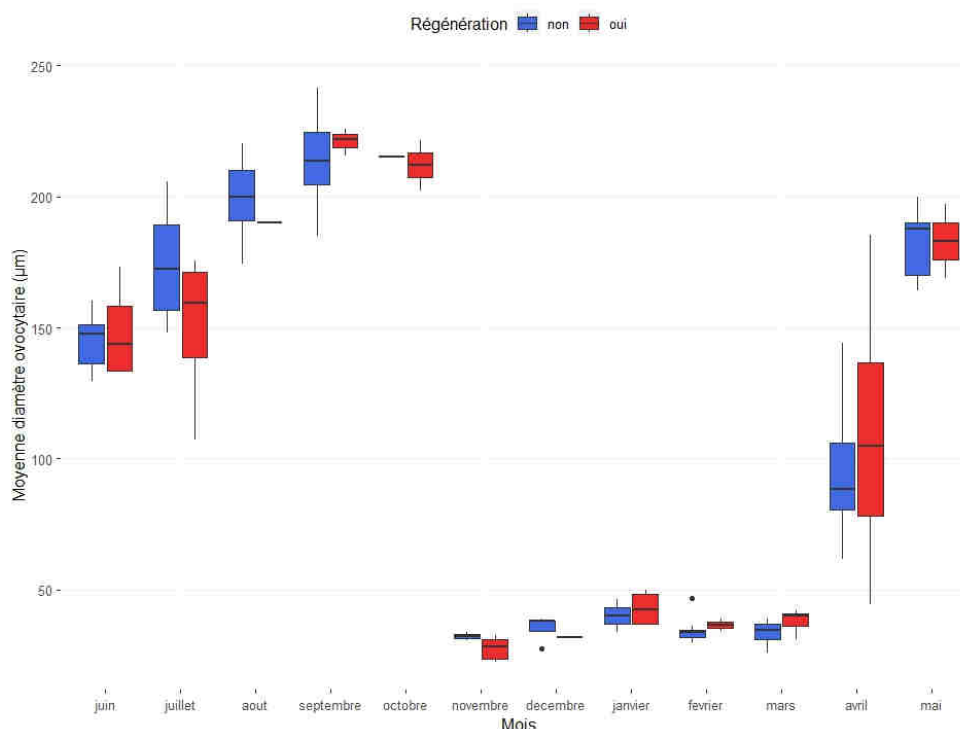


Figure 19. Variation mensuelle du diamètre ovocytaire moyen (μm) en fonction de l'état de régénération de leur partie antérieure

2.3.3 Régé'sis 1 – Octobre/Décembre 2023

Cette expérience a pour objectif d'évaluer le temps nécessaire pour une régénération complète de la partie postérieure de l'espèce *Diopatra biscayensis* et si la régénération de la partie postérieure n'affecte pas la maturation ovocytaire, induit en condition contrôlée.

La période d'octobre correspond à une période de repos annuel concernant la reproduction de cette espèce (pas de signe de maturation ovocytaire dans le milieu naturel) (Arias and Paxton, 2015, obs. perso.). Un suivi sera également instauré pour étudier si la régénération de la partie postérieure n'affecte pas la maturation ovocytaire qui est lui-même induit en condition contrôlée.

2.3.3.1 Matériel & Méthode

Les spécimens de vers tubes *Diopatra biscayensis* sont pêchés à l'aide d'une ferrée. La récolte s'est déroulée au niveau de la plage du soleil et à Gatseau (Saint-Trojan-les-Bains) au cours de trois marées successives lors de la semaine du 23 au 27 octobre 2023. Les coefficients de marée étaient de 40 à 85 avec une température moyenne de 16,8°C et une salinité moyenne de 32.4 ‰.

Ce test sur la régénération s'effectue avec des individus juvéniles et adultes dont le diamètre du 10^{ème} sétigère est compris respectivement entre 2 et 4,9 mm puis 5 et 8 mm (Woodin et al., 2014; Arias and Paxton, 2015).

Les vers utilisés pour cette expérience ont été sélectionnés en évitant les individus en cours de régénération sur la partie antérieure et postérieure (les critères de sélection des individus sont décrits dans l'annexe II).

Au début de l'expérience, les vers sont tous coupés au niveau du 60^{ème} sétigère. Pour cela, les vers sont ramenés au laboratoire de CAPENA, sortis de leur tube, puis anesthésiés avec une solution diluée à 2% de $MgCl_2$ (VWR) avec de l'eau de mer reconstituée. Le choix de ce repère morphologique est un compromis entre la difficulté de la récolte de vers de grande taille et de la zone de l'abdomen où sont stockés les gamètes : environ au niveau du 50^{ème} sétigère (Arias and Paxton, 2015).

A chaque temps de prélèvement, un compartiment contenant les vers est sorti de chaque bassin. Ces vers sont anesthésiés puis les mesures suivantes sont effectuées :

- Le nombre de sétigères régénérés (nombre de sétigères $t_x - 60$)
- Le diamètre des vers (mesure au niveau du 10^{ème} sétigère) en mm
- Le poids individuel est mesuré, ce qui permet d'estimer le poids moyen par compartiment
- La présence et, le cas échéant, le diamètre de 40 ovocytes en μm (annexe I)

Au T_0 tous les vers tubes auront 60 sétigères, seuls le diamètre et le poids seront donc mesurés.

2.3.3.2 Le dispositif expérimental

L'expérimentation se déroule dans les installations du lycée de la mer de Bourcefranc-le-Chapus, et plus précisément dans la salle « proie vivante » thermiquement isolée. L'objectif est de stabiliser la température de l'eau à 21°C. Cette température est atteinte après un temps d'adaptation des vers traduit par une augmentation progressive de la température du milieu naturel de 17°C à la température souhaitée. La salle est également réglée à une photopériode de période de 16:8h. Pour chaque condition (ici juvénile et adulte), le test est répété dans trois bassins cylindro-coniques en circuit semi-fermé (Fig.20).

Les vers tubes sont disposés par cinq dans les compartiments fabriqués à partir de poches ostréicoles (2mm) pour faciliter leur prélèvement. Il y a trois compartiments par bassins pour évaluer le phénomène de régénération de cette espèce, à trois temps différents : 30, 40 et 50 jours (Pires et al., 2012a) (fig.2B). Le sable utilisé dans les bassins est de calibre 0.8/1.4.

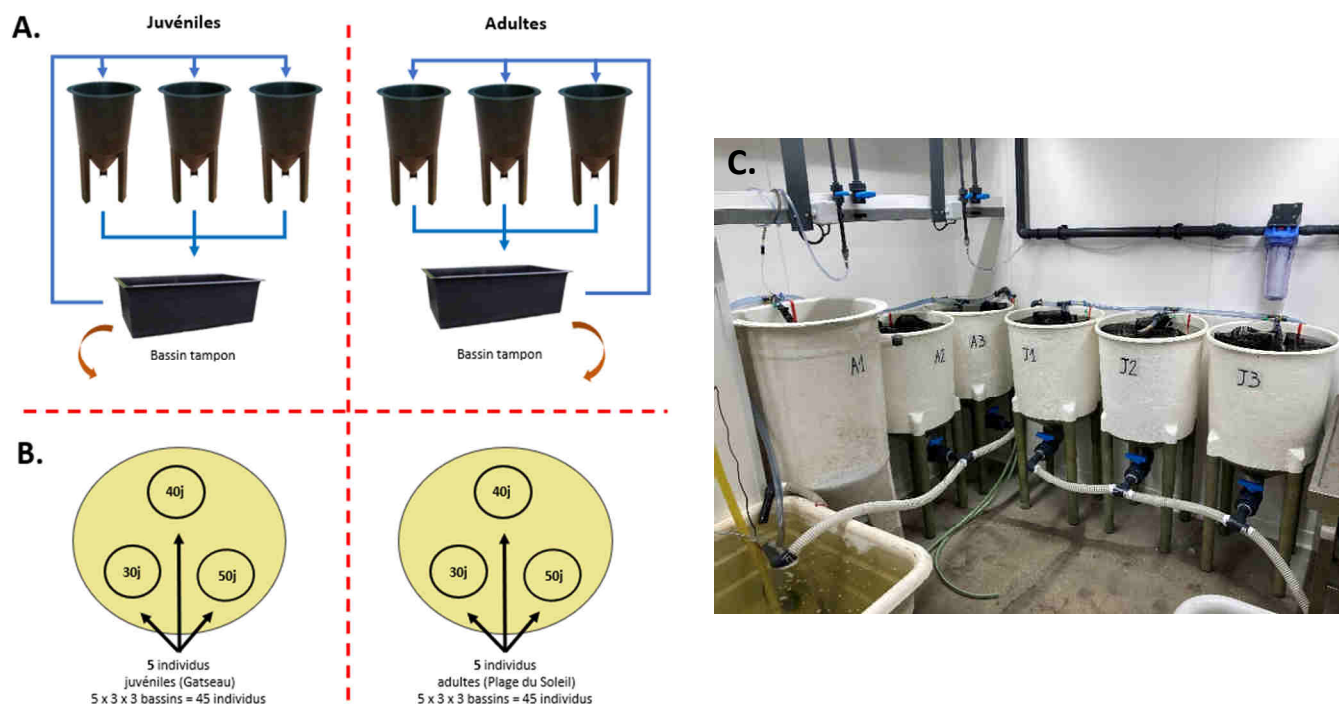


Figure 20. Schémas des installations dans les locaux du lycée de Bourcefranc-le-Chapus

A. Circulation semi-fermée et renouvellement de l'eau, B. Détails et emplacements des vers tubes dans un bassin cylindro-conique, C. Photographie des installations dans la salle du lycée de Bourcefranc-le-Chapus

100 % du volume d'eau des bassins cylindro-coniques est renouvelé deux fois par jour (matin et fin d'après-midi) grâce à des bassins de stockage. L'objectif étant de mimer un cycle similaire aux marées qu'ils subissent dans le milieu naturel. Puis, 30% de l'eau de ces bassins est renouvelées après le nettoyage des bassins la journée suivant le nourrissage. La nourriture choisie pour cette expérimentation est un mélange d'une huitre hachée et de 180 granulés pour ver de la marque Coppens (2 granulés/ver). Le nourrissage est réalisé deux fois par semaine (lundi et jeudi). L'objectif est de les nourrir *ad libitum* pour limiter le risque de dégradation de la qualité de l'eau. Pour cela, les aliments non consommés sont évacués 24h après le nourrissage.

Un suivi de certains paramètres physico-chimiques tels que la salinité (mg/L), la température (°C) et la concentration d'O₂ dissous (mg/L) est réalisé quotidiennement par les élèves du lycée de Bourcefranc-le-Chapus.

2.3.3.3 Résultats

- **La croissance**

On constate que le poids des individus étudiés n'a pas évolué au cours des 50 jours d'expérimentation (Fig.21.B). Contrairement au diamètre du 10^{ème} sétigère qui a baissé pour la majorité des individus adultes dès le 40^{ème} jour (Test Wilcoxon, $p < 0.05$). Une tendance qui a perduré jusqu'à la fin de l'expérimentation, au 50^{ème} jour (Test Wilcoxon, $p < 0.05$). En parallèle, les vers tubes juvéniles ont vu leurs diamètres augmentés au 50^{ème} jour lorsque l'on compare aux valeurs de la population totale au début de l'expérience (Fig.21.A).

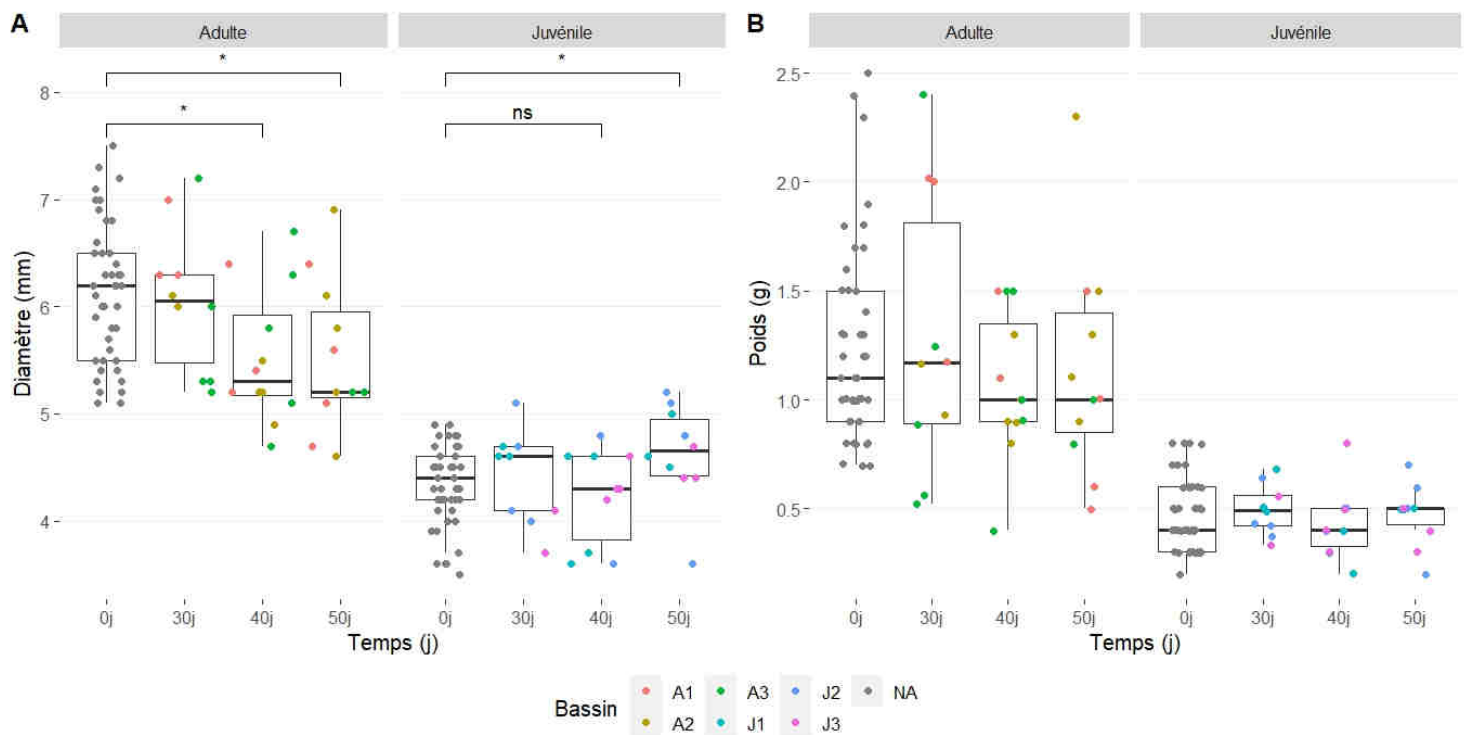


Figure 21. Boxplots représentatifs de l'évolution A. des diamètres au 10^{ème} sétigère (mm) et B. des poids des vers tubes *Diopatra biscayensis* en fonction des temps de prélèvements (0j, 30j, 40j et 50j) et des deux populations de vers, pour l'expérience Régé'sis 1 ($N_{adt}=78$ et $N_{juv}=74$).

Les six réplicats sont différenciés par une couleur et les valeurs individuelles sont indiquées sous forme de point.

- **La régénération de la partie postérieure**

D'après les résultats illustrés par la figure 22A, on remarque que la plupart des individus placés dans les bassins se sont automutilés. C'est-à-dire que les vers ont moins de 60 sétigères initiaux (non régénérés) et qu'ils se sont délestés de sétigères issus de leur partie postérieure. Cette caractéristique survient lorsque les vers se sentent en danger ou/et qu'ils subissent un stress (Jobson et al., 2024). Nous avons observé plusieurs fois ce comportement au début de l'expérience, en particulier pour les individus adultes où on a retrouvé 4 à 5 parties postérieures de quelques sétigères sur le sédiment à côté du trou de leur tube. De plus, a plusieurs reprises lors du changement d'eau, certains vers sortaient complètement de leur tube ce qui est tout à fait inhabituel (Fig.22.B).

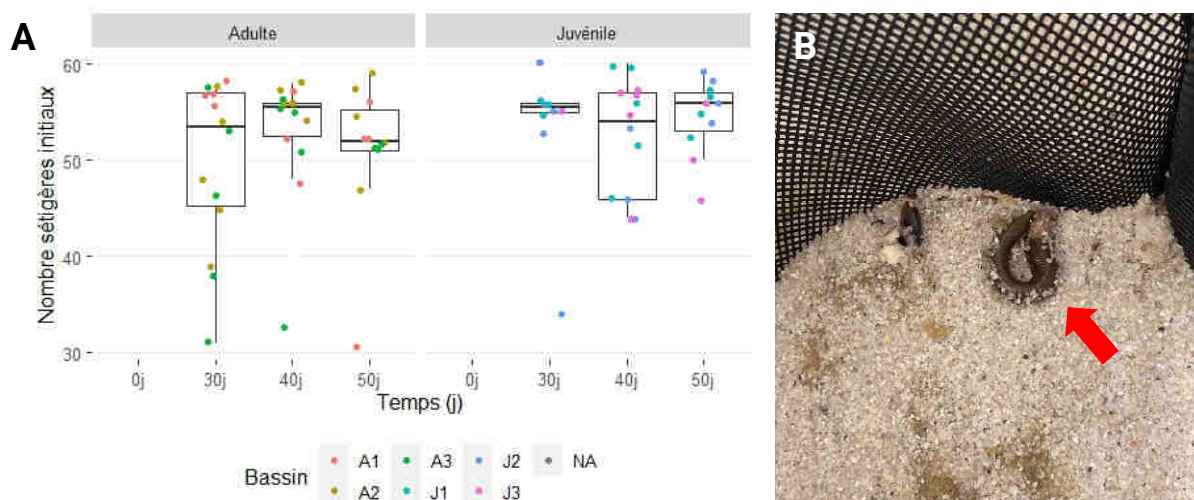


Figure 22.A. Boxplots représentatifs du nombre de sétigères initiaux (cad. non régénérés) pour chaque ver tube en fonction du temps de prélèvement et de la population étudiée, lors de l'expérience Régé'sis 1.

Les six réplicats sont différenciés par une couleur et les valeurs individuelles sont indiquées sous forme de point B. Ver stressé hors de son tube (flèche rouge) lors d'une des vidanges quotidiennes

À la suite de ces observations dès le début de l'expérience, nous avons pris la décision de modifier le système d'élevage en passant de deux vidanges rapides (matin et après-midi) à une vidange plus lente le matin et le remplissage l'après-midi. En plus de cela, la vidange n'est plus totale. Le niveau d'eau minimum est à 10 cm en dessous du sédiment, maintenu par un système en U. Néanmoins, à la suite de ce changement, nous avons encore constaté des comportements d'automutilation, cette fois-ci chez les juvéniles.

2.3.4 Régé'sis 2 – Janvier/Mars 2024

Ces problématiques techniques (variabilité de la température, stress induisant l'automutilation) nous ont amené à repenser l'entièreté du système d'élevage et renouveler l'expérimentation dans un système fermé. Seule la partie du « Matériel & Méthode » est similaire à l'expérimentation Régé'sis 1.

2.3.4.1 Le dispositif expérimental

Les bassins ont donc été configurés en circuit fermé avec une arrivée d'eau par le bas et une sortie d'eau par système de « trop plein » (Fig.23). L'eau est redirigée dans un bac de stockage et pompée pour une remise dans le circuit. Il n'y a plus de vidanges quotidiennes, par conséquent les vers tubes sont constamment immergés dans ce nouveau système. De plus, les paramètres physico-chimiques des bassins sont restés stables, en particulier la température réglée à 21°C.

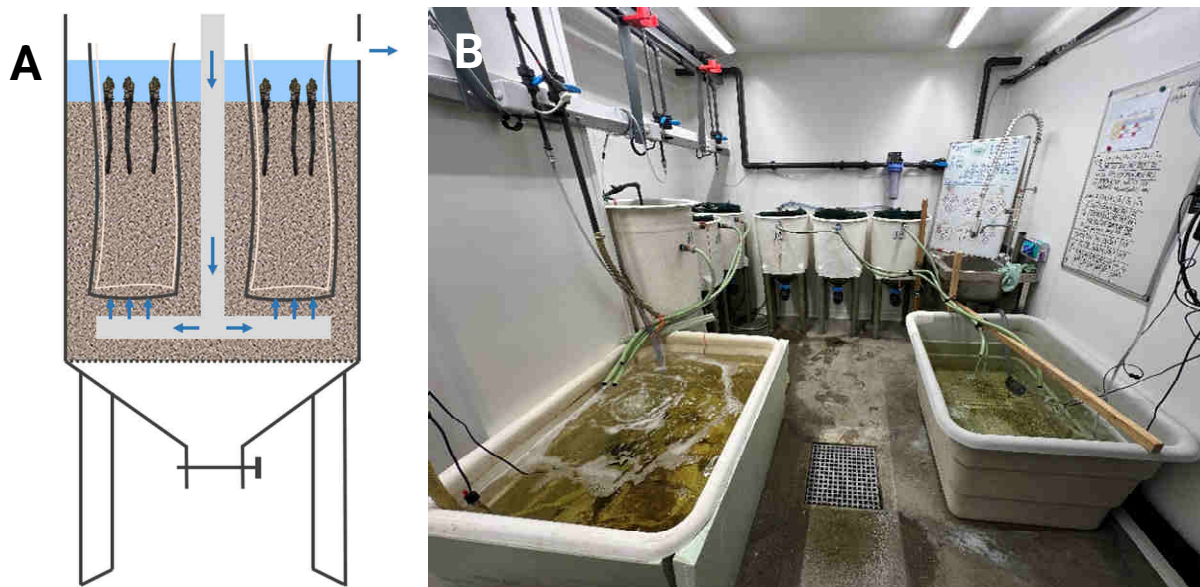


Figure 23. A. Schéma du nouvel aménagement des bassins cylindro-coniques pour l'expérience Régé'sis 2 et B. Photographique du nouveau circuit dans la salle « proie vivante » du lycée de Bourcefranc-le-Chapus

2.3.4.2 Résultats

- **La croissance**

Au début cette expérience, les vers ont pu être pesés et mesurés individuellement puis identifiés par compartiment. Il s'agit des poches ostréicoles permettant de les récolter. Chaque poche correspond à un temps de prélèvement : T1 = 30 jours, T2 = 40 jours et T3 = 50 jours d'expérimentation. C'est pourquoi il nous est possible de comparer les données à chaque temps de prélèvement avec les données biométriques initiales (Fig.24 : boxplots de couleur rouge).

On constate que la tendance observée lors de l'expérimentation Régé'sis 1 est la même pour Régé'sis 2. En effet, les adultes deviennent de plus en plus fins au cours de l'expérimentation (Test de Wilcoxon, $p < 0.05$). De la même façon, le poids moyens à également baissé pour les individus adultes avec une perte en moyen de 24 % à 30 et 40 jours (Test de Wilcoxon, $p < 0.001$). En ce qui concerne les vers tubes juvéniles, une hausse du poids moyen a été démontré lors du premier prélèvement à 30 jours (Test de Wilcoxon, $p < 0.05$). Néanmoins, cette augmentation n'a pas perduré dans le temps.

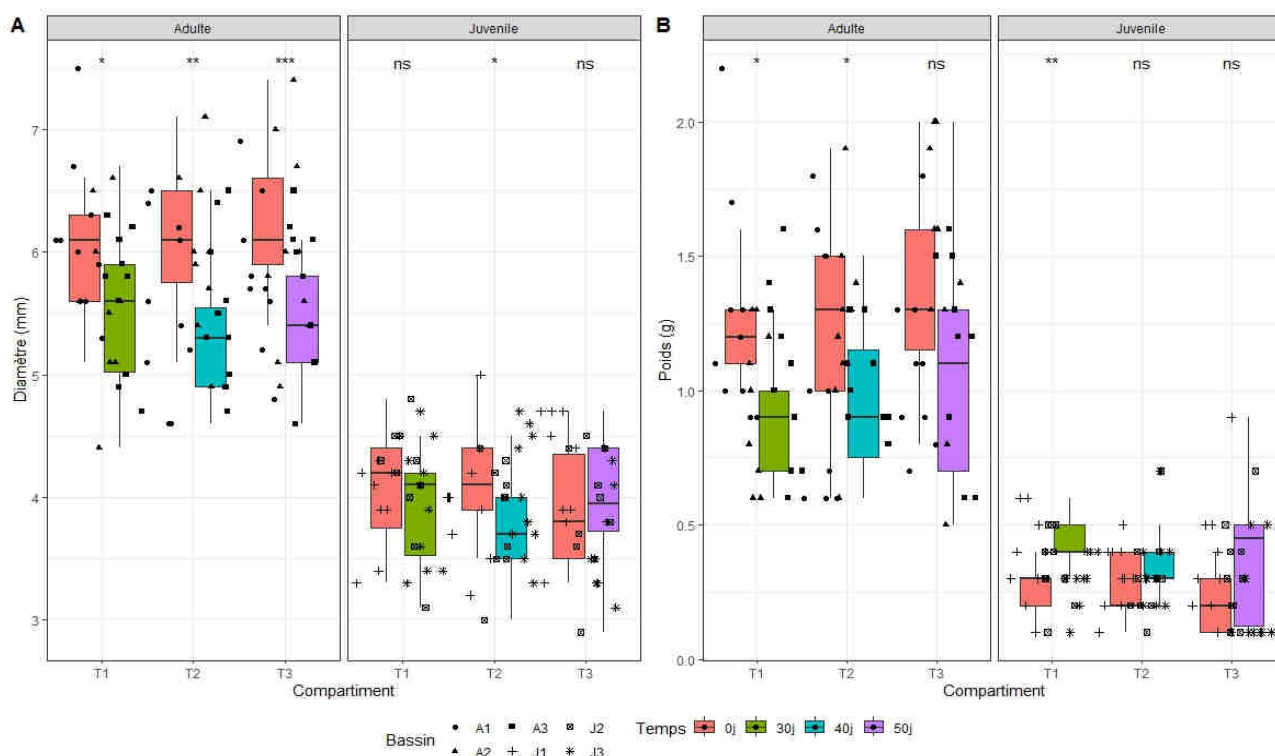


Figure 24. Boxplots représentatifs de l'évolution A. des diamètres des vers tubes *Diopatra biscoyensis* au 10^{ème} sétigère (mm) et B. des poids individuels en comparant avec les diamètres/poids initiaux (0j) et en fonction des compartiments (T1, T2, T3) et des deux populations de vers (adulte et juvénile) ($N_{adt}=42$ et $N_{juv}=43$).

• Le phénomène de régénération

Au début de l'expérience, tous les individus sont amputés de leur partie postérieure au 60^{ème} sétigère (Fig.25 et Tab.4). Dès 30 jours d'expérimentation, il est possible d'observer une régénération de 32 sétigères en moyenne pour les individus adultes et 44 pour les juvéniles. La partie postérieure régénérée est de couleur très pâle, on peut voir le vaisseau sanguin et les fèces par transparence. Une forte hausse significative du nombre de sétigères régénérés est démontrée lors du passage des 30 à 40 jours pour les adultes (Tab.4, t-test, $p<0.05$). Le reste du temps, il y a de plus en plus de sétigères sans qu'il y ait une différence significative en fonction du temps (Fig.25 et Tab.4) et entre les deux conditions adulte et juvénile (T-test, $p<0.05$).

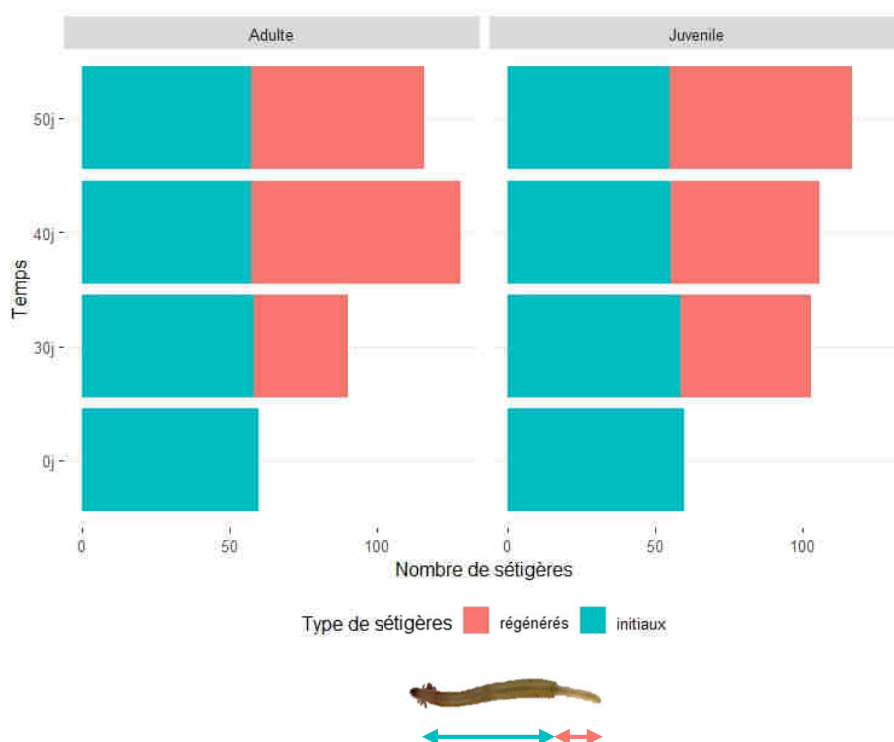


Figure 25. Représentation graphique du nombre de sétigères régénérés en fonction du temps et de la condition testée (individu adulte et juvénile)

Tableau 4. Résumé du phénomène de régénération de la partie postérieure en fonction des individus adultes et juvéniles

Type de sétigère	Adulte			Juvénile		
	Initiaux	Régénérés	% individus non régénérés	Initiaux	Régénérés	% individus non régénérés
0j	60	-	-	60	-	-
30j	58	32	17	59	44	8
40j	58	71	7	55	51	7
50j	57	59	18	55	62	17

Tableau 5. Résultats de la comparaison par paires du nombre de sétigères régénérés en fonction des temps de prélèvements (t-test)

	Temps	p-value
Adulte	30j-40j	0.006 (**)
Adulte	40j-50j	0.322
Juvénile	30j-40j	0.632
Juvénile	40j-50j	0.632

La régénération est un phénomène qui peut être quantifié en dénombrant les sétigères nouvellement générés (Fig.25). Il est également possible de se référer au ratio entre le dernier sétigère initial (théoriquement le 60^{ème}) et le diamètre du 61^{ème}. Cette donnée fournit une proportion dite de régénération entre 0% pour les vers qui ne se sont pas régénérés et 100% pour les vers où les diamètres sont similaires entre les deux sétigères en question. Cette proportion est répartie sous forme de classe de régénération et étudiée en fonction du temps et de la condition adulte ou juvénile (Fig.26.B). Aucune différence statistiquement significative entre les différentes classes de régénération en fonction des temps de prélèvement n'a été mise en évidence (Test de Fisher), que ce soit pour les individus adultes et juvéniles. Néanmoins, on constate que dans la majorité des cas les vers tubes de l'espèce *Diopatra biscayensis* ont régénéré plus de 60 % dès 30 jours d'expérimentation. Cette tendance est plus marquée pour les vers juvéniles à partir du premier prélèvement à 30 jours, avec un phénomène de régénération qui s'amplifie. Cela se caractérise avec une augmentation de la classe de régénération comprise entre 80 – 100% qui devient majoritaire. Contrairement aux vers tubes adultes qui prennent plus temps à atteindre une régénération complète ou quasi complète.

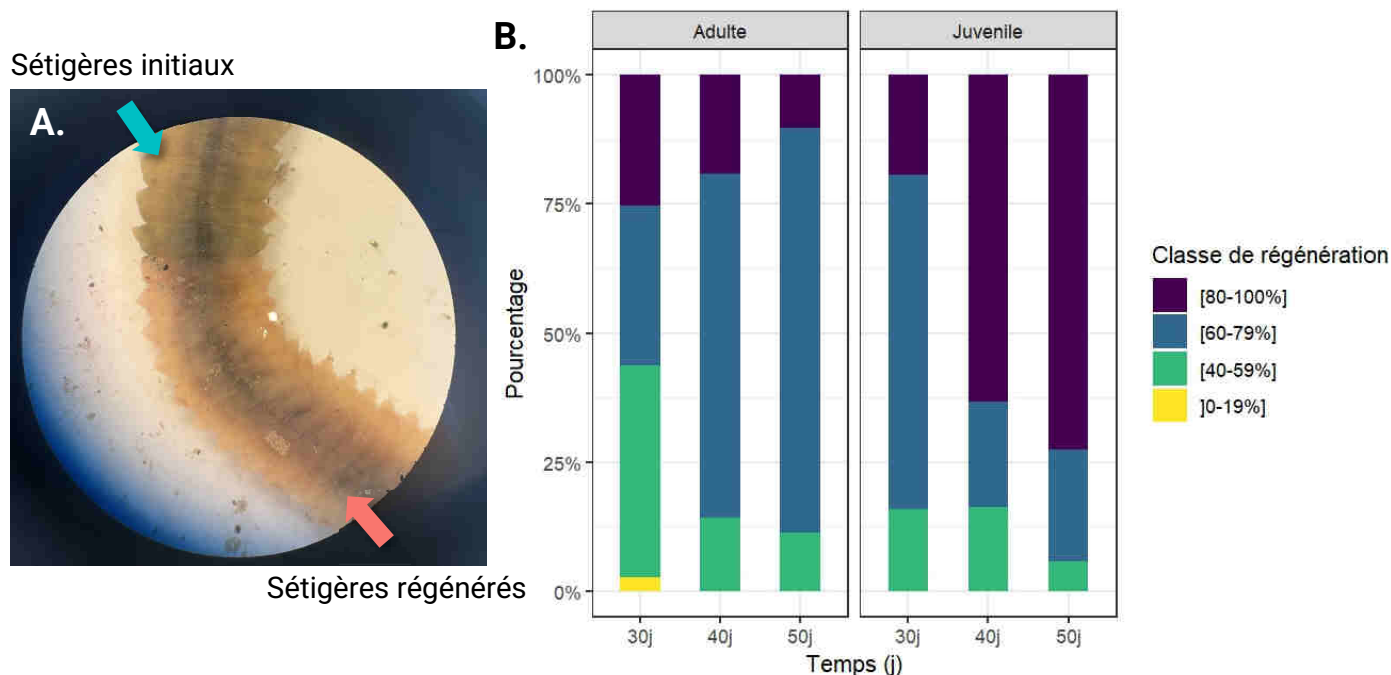


Figure 26. A. Photographie sous binoculaire d'un ver tube avec signe de régénération et B. Histogrammes des fréquences de classe de régénération de l'espèce *Diopatra biscayensis* en fonction du temps (30, 40 et 50 jours) lors de l'expérimentation Régé'sis 2 ($N_{adulte} = 39$ et $N_{juvénile} = 40$)

• La maturation ovocytaire

En parallèle de l'étude sur la quantification du phénomène de régénération, la maturation ovocytaire des individus hermaphrodites est également suivie sur les différents temps de prélèvements (Fig.27). Les données utilisées pour le 0j sur le graphique correspondent aux diamètres ovocytaires moyens de vers tubes provenant directement du milieu naturel. On observe que le diamètre ovocytaire moyen a fortement augmenté en seulement 30 jours

d'expérimentation : de 50 à 165 μm (rapport de x3) en moyenne (t-test, $p < 0.01$). Cette induction en milieu contrôlé a déjà été démontrée par Vasseur (2021) lors de l'étude préliminaire sur l'élevage de cette espèce dans le cadre du projet MEDIHOM.

Plus on avance dans le temps, plus on remarque que les diamètres ovocytaires sont de tailles homogènes. Trois individus ont une moyenne supérieure à 220 μm , qui est le calibre de diamètre idéal dans le milieu naturel pour leur fécondation (Arias and Paxton, 2015).

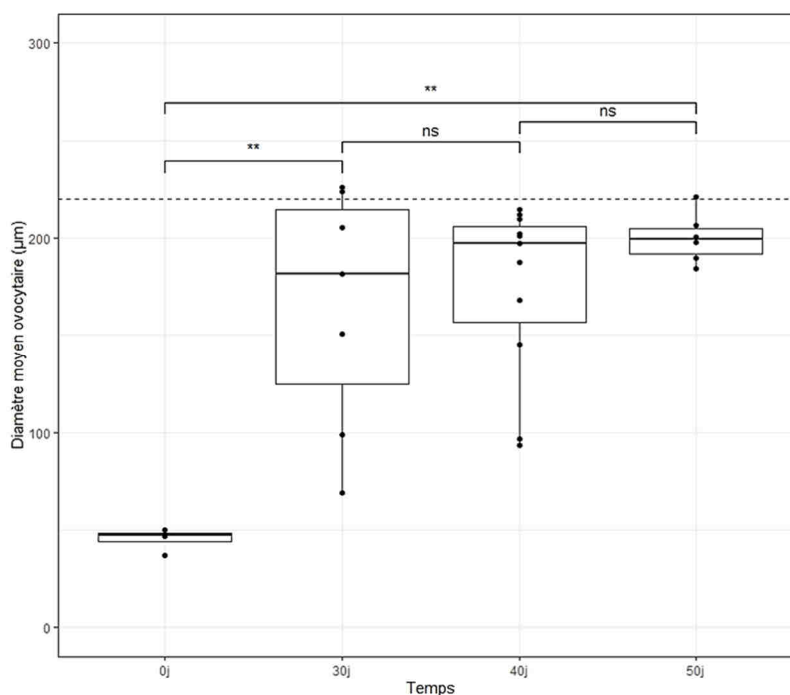


Figure 27. Evolution dans le temps du diamètre ovocytaire (μm) lors de l'expérience Régé'sis 2

La droite en pointillée correspond au diamètre ovocytaire moyen (μm) minimum pour permettre une fécondation.

Nous avons voulu vérifier s'il existait une corrélation entre le diamètre ovocytaire moyen (μm) et le nombre de sétigères régénérés. D'après le coefficient de Pearson, il n'y a aucun lien entre ces deux variables (Tab.6).

Tableau 6. Résultat du calcul du coefficient de Pearson entre la variable du diamètre moyen (μm) et le nombre de sétigères régénérés

Diamètre ovocytaire moyen (μm)	
Nombre de sétigères régénérés	Coefficient de Pearson $r = 0.01$ $p = 0.96$

2.3.5 Discussion sur la régénération de l'espèce *Diopatra biscayensis*

La capacité de régénération de certaines espèces du genre *Diopatra* ont été précédemment étudiée dans le milieu naturel (Safarik et al., 2006; Pires et al., 2010; Pires et al., 2012b; Arias and Paxton, 2015) et en milieu contrôlé (Pflugfelder, 1929; Berke et al., 2009; Pires et al., 2012a). Cette aptitude est connue pour l'embranchement des annélides, néanmoins celle-ci varie en fonction des espèces qui n'ont pas les mêmes capacités de régénération. Ce phénomène a été partiellement abordé pour l'espèce d'intérêt *Diopatra biscayensis* lors de l'étude sur son histoire, sa biologie et son écologie menée par Arias and Paxton en 2015. D'après cet article, les auteurs confirment bien que la régénération de la partie postérieure et antérieure est possible pour l'espèce *Diopatra biscayensis*. La proportion de ces individus ne dépassait pas les 30% de la population totale examinée (sans préciser s'il s'agissait de la partie postérieure ou antérieure).

Dans ce projet mené par CAPENA, cette aptitude a été étudié sur des vers provenant du milieu naturel et d'un milieu contrôlé. En effet, des vers tubes avec leur partie antérieure régénérée ont été pêché tout au long de l'année représentant 38.6% de l'échantillon total. Cette proportion est assez élevée comparé à d'autres espèces : 11.8% pour *Diopatra dextrognatha* (Bailey-Brock, 1984), 13.6% pour *Diopatra marocensis* et 5% pour *Diopatra neapolitana* (Pires et al., 2012a). Cela peut s'expliquer par la zone de pêche qui est très fréquentée par les pêcheurs de loisir pour la récolte de palourdes mais également de vers tubes. Néanmoins, cela semble impacter faiblement les capacités reproductives de cette espèce notamment l'ovogénèse et la maturation ovocytaire puisque 57.9% des individus régénérés avaient des ovocytes (cf.§ 2.3.2). Cette caractéristique rapproche donc l'espèce d'intérêt *Diopatra biscayensis* et l'espèce *Diopatra marocensis* bien que le type de reproduction soit différent (Pires et al., 2012a). Elles sont déjà connues comme les plus proches génétiquement (cf.1.4.3).

En ce qui concerne l'essai en milieu contrôlé, les résultats ont été plus concluants pour les individus juvéniles qui ont régénérés plus rapidement leur partie postérieure et ils ont crû en largeur. Contrairement aux adultes, ils semblent avoir besoin de plus temps pour se régénérer complètement. Toutefois, ces individus en grande majorité hermaphrodites, ont mûré leur gamètes mâles et femelles grâce à une induction forcée avec une température à 21°C. Nous avons également observé des individus mâles se régénérer complètement avec en parallèle une production conséquente de sperme (individu dit « en lait »).

Ces résultats laissent à penser que dans un premier temps, la régénération de l'espèce *Diopatra biscayensis* est possible en condition contrôlée. De plus, l'induction de la reproduction est également possible avec des individus régénérés que ce soit de la partie postérieure ou antérieure. Cependant, il sera nécessaire de quantifier l'impact de ce phénomène sur la fécondité pour la suite de ce projet. Il a été démontré pour l'espèce de polychète *Polydora ligni* qu'il pouvait y avoir une perte de fécondité compris entre 10 et 29% pour la partie antérieure et entre 49 et 80% lors d'une régénération de la partie postérieure (Zajac, 1985).

2.4 TESTS D'INDUCTION DE LA PONTE EN MILIEU CONTROLE

L'étape qui suit après avoir obtenu des individus matures est d'induire la ponte. Comme explicité dans la partie 1.1.2, la ponte dans le milieu naturel est décrite sous forme de sac gélatineux (Arias and Paxton, 2015).

Pour certaines espèces de polychètes comme *Allita virens* et *Hediste diversicolor*, la ponte est provoquée grâce à des facteurs exogènes telle que la température (Lewis et al., 2002; Nesto et al., 2018). Pour ces deux espèces, une baisse de 10°C a été démontré comme signal immédiat pour cette étape de la reproduction. De la même manière, il existe des facteurs endogènes influençant ce phénomène, des molécules chimiques appelées également phéromones. Cette découverte est basée sur les résultats d'Andries (2001), prouvant que les facteurs environnementaux ne sont pas suffisants pour obtenir une ponte synchrone. Puis des techniques en laboratoire se sont développées, mettant en évidence le rôle de ce cocktail chimique (Watson et al., 2003; Lewis, 2005; Nesto et al., 2018).

Nous avons donc testé ces deux techniques pour l'induction de la ponte de l'espèce d'intérêt *Diopatra biscayensis*. Ces expérimentations se déroulent dans la même salle que pour l'expérience précédente Régé'sis 2, au lycée de Bourcefranc-le-Chapus.

2.4.1 Cold'spawn – Avril/Juin 2024

2.4.1.1 Matériel & Méthode

La technique de pêche, l'origine et les bassins en système semi-fermé n'ont pas été modifié pour cette expérimentation par rapport à Régé'sis 2. Les vers ont été laissés en maturation durant un mois à une température de 21°C (Fig.28.C). Pour vérifier que la maturation des gamètes a bien opéré, des échantillons de liquide coelomique sont analysés (T1). Cet échantillon est ponctionné grâce à une seringue (29G x 1/2" – 0.33 x 12 mm). Seul un compartiment de 20 cm de diamètre provenant de chaque bassin est prélevé.

Il y a donc trois compartiments de 20 cm de diamètre, contenant 4 vers hermaphrodites et 2 vers juvéniles par bassin. Pour chaque poche, chaque individu est caractérisé par :

- Des ovocytes de diamètre moyen de 74.6 µm
- Des ovocytes de diamètre moyen de 129.1 µm
- Une absence d'ovocytes mais avec un diamètre au 10^{ème} sétigère qui prouve qu'il est bien hermaphrodite (Arias and Paxton, 2015)
- Ver issu du milieu naturel sans passage dans un bain d'anesthésiant ni de ponction de liquide coelomique avec une seringue

Dans les petits compartiments de 5 cm de diamètre, les individus matures de l'expérimentation Régé'sis 2 sont disposés en couple (Fig.28.B). L'intérêt est de tester si une double période de maturation peut être plus prometteur lors de l'induction de la ponte sous choc thermique. Donc au total, par condition, il y a eu 60 vers hermaphrodites et 42 juvéniles.

Une semaine plus tard, le choc thermique est permis grâce à un refroidisseur ou « groupe froid ». Il est couplé au système dans un des deux circuits alimentant trois des six

bassins. La température a pu baisser de 8°C en 8h. Puis celle souhaitée de 11°C s'est stabilisée dans les bassins à partir du lendemain et au cours de la semaine qui a suivi. Puis nous avons remonté la température progressivement jusqu'à 21°C. Nous les avons laissés stabuler durant une semaine (Fig.18C).

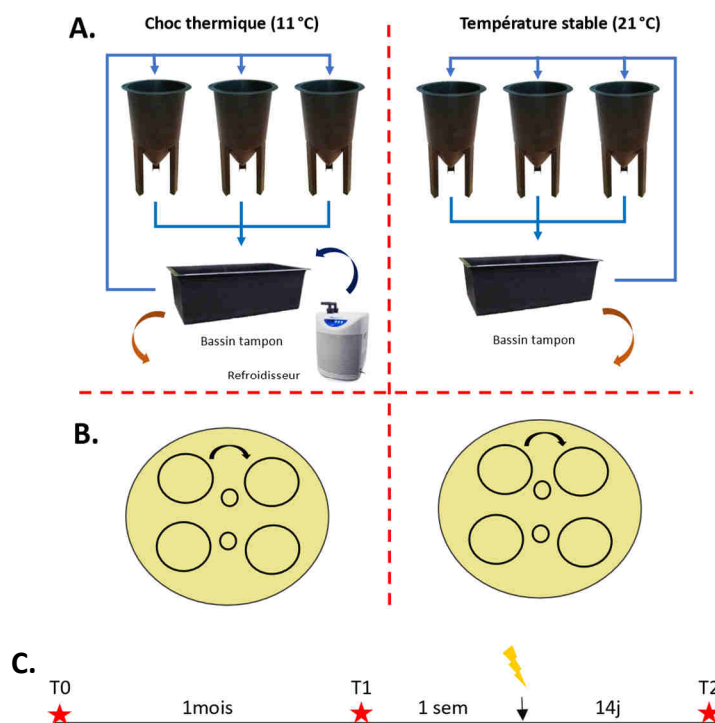


Figure 28. Schéma récapitulatif de l'organisation pour l'expérimentation Cold'spawn

A. Circuit avec les bassins en triplica et un bassin de stockage d'eau qui est refroidit par le « groupe froid », B. Emplacements des poches comprenant les vers tubes dans un bassin cylindro-conique et C. frise chronologique de l'expérimentation

2.4.1.2 Résultats

Il n'y pas eu de ponte sous forme gélatineuse lors de cette expérimentation. En effet, aucun sac gélatineux n'a été observé, accroché à l'un des tubes. Le suivi du diamètre ovocytaire moyen a démontré qu'au bout d'un mois à une température à 21°C, le phénomène de maturation a permis d'augmenter la taille des ovocytes : en moyenne 198.1 μm et 193.4 (Tab.7). En effet, au temps de prélèvement T1 (un mois d'expérimentation), 5 individus ont produits des ovocytes prêts à être fécondés, de tailles moyennes supérieures à 220 μm . Néanmoins, on constate à la fin de l'expérience que les vers tubes hermaphrodites possèdent encore leurs ovocytes ce qui confirme qu'il n'y a pas eu d'expulsion des gamètes pour la ponte. Toutefois, on observe une baisse significative du diamètre moyen des ovocytes pour la condition qui a subi le choc thermique (Test de wilcoxon, $p < 0.05$) (Tab.7).

Suite à leur manipulation (bain d'anesthésiant et ponction du liquide coelomique) lors de la mise en place de l'expérimentation, certains vers se sont automutilés spontanément. En effet, plus d'un quart de la population totale est concernée au début de l'expérience (au moins un vers hermaphrodite par poche de prélèvement).

Tableau 7. Récapitulatif des résultats obtenus lors de l'expérience Cold'spawn (n correspond au nombre d'ovocytes mesurés)

	Diamètre ovocytaire moyen (μm)	
	Choc thermique - 10°C	Témoin
T0 n = 960	126.8	121.7
T1 n = 300	198.1	193.4
T2 n = 1120	175	192.5

2.4.2 Phér'eau – Juin 2024

2.4.2.1 Matériel & Méthode

Pour cette expérimentation Phér'eau, nous avons utilisé une seconde fois les individus de l'expérience Cold'spawn dans les mêmes bassins au lycée de Bourcefranc-le-Chapus. Ces vers ont été réparti de manière homogène dans chaque réplica pour obtenir des poches ensemencées avec des individus ayant subi un choc thermique et également provenant de la condition témoin. En effet, cela a permis de réduire le temps de maturation pour tester le choc hormonal au bout de deux semaines de stabulation (et non pas un mois).

Pour ce faire, plusieurs individus matures (mâles et hermaphrodites) pêchés en septembre 2023 (lors de la période de reproduction) et provenant de l'expérimentation Régé'sis 2 ont été broyé. Ce broyat est alors congelé à -20°C dans le but de les stocker jusqu'au démarrage de Phér'eau. A ce moment-là, l'homogénat est alors décongelé et disposé dans une poche de maillage 70 μm (Fig.29.A). Il est donc mis à « infuser » dans un bac de stockage d'eau pendant une semaine et trois jours (Fig.29.B). La densité 2‰ de l'homogénat a été choisi en fonction des résultats obtenus par Nesto et al. (2018). Au-delà, la qualité de l'eau devient trop mauvaise.

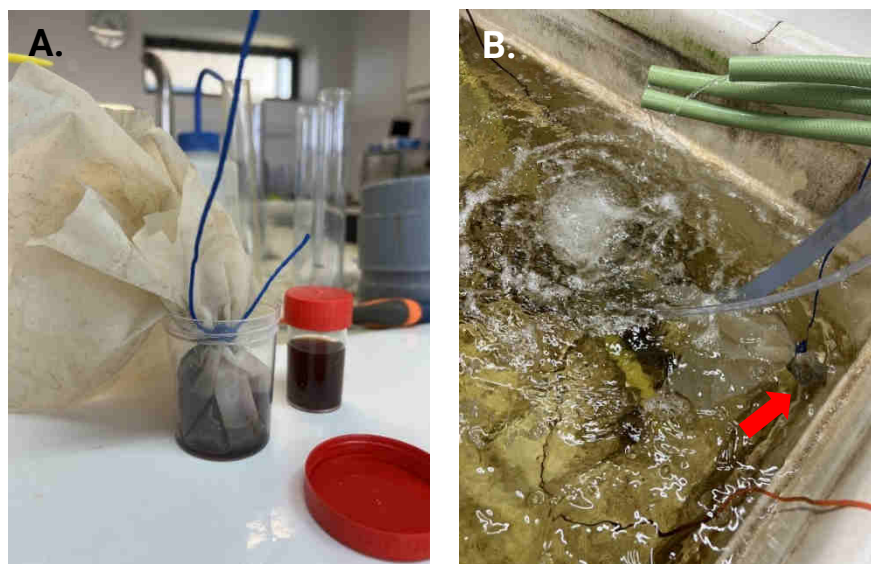


Figure 29. Photographies de l'homogénat sous poche A. avant la mise à l'eau et B. dans l'un des bassins de la salle d'expérimentation du lycée de Bourcefranc-le-Chapus (flèche rouge)

2.4.2.2 Résultats

De la même façon que Cold'spawn, il n'y a pas eu de ponte sous forme gélatineuse lors de cette expérimentation. Le temps de l'expérimentation à 21°C ont permis une augmentation significative seulement pour le groupe témoin : + 40 μm de diamètre en moyenne (Test de Wilcoxon, $p < 0.0001$). Contrairement au groupe testé avec le broyat d'individu mature, l'augmentation de la taille des ovocytes n'est pas significative (Test de Wilcoxon, $p > 0.05$) (Tab.8). Il faut tout de même prendre en compte que le diamètre ovocytaire moyen au début de l'expérience est significativement différent entre les deux conditions (Test de Wilcoxon, $p < 0.0001$).

De plus, l'impact des manipulations sur les vers tubes lors du lancement de Phér'eau a pu être limité. En effet, seulement un individu s'est automutilié dans un des bassins du groupe testé avec un choc hormonal. La majorité des vers tubes hermaphrodites avaient encore des ovocytes dans leur liquide coelomique.

Tableau 8. Récapitulatif des résultats obtenus lors de l'expérience Phér'eau (n correspondant au nombre d'ovocytes mesurés)

	Diamètre ovocytaire moyen (μm)	
	Présence phéromones	Témoin
T_0 $n = 920$	187	179.1
T_{final} $n = 400$	193.9	219.1

2.4.3 Discussion sur les expérimentations menées pour l'induction de la ponte

Ces deux expérimentations menées dans le cadre du projet ANCOVA, n'ont pas démontré la possibilité pour des individus matures *Diopatra biscayensis* d'induire leur ponte dans un milieu contrôlé. Pour mieux cibler les paramètres jouant un rôle dans l'étape de la reproduction de cette espèce, il est primordial d'avoir plus d'informations sur ce phénomène dans le milieu naturel. En effet, un seul article a été publié en 2015 sur la biologie de *Diopatra biscayensis* par Andrés Arias et Hannelor Paxton. Malgré nos travaux sur la population provenant directement du milieu naturel, nous n'avons pas pu observer de sac gélatineux spécifique à cette espèce. Il serait intéressant de travailler sur ces individus où une ponte a été trouvée comme par exemple connaître leur diamètre au 10^{ème} sétigère, la technique de fécondation (origine du sperme), leur distance avec les autres individus ou encore s'il y a une trace de régénération.

Selon nos résultats du § 2.2.3, la température est un facteur significativement impactant sur la période de reproduction de l'espèce *Diopatra biscayensis*. On peut donc supposer que ce n'est pas la technique utilisée qui est limitante dans cette expérience mais plutôt l'état biologique des animaux. En effet, nous nous sommes concentrés sur l'état de maturation des hermaphrodites mais il est tout aussi important de suivre également la maturation des gamètes mâles. De plus, il a été démontré pour certaines espèces de polychètes telles que *Ceratonereis pseudoerythraeensis* et *Polydora ligni*, l'augmentation de la densité d'élevage est corrélée à une réduction de la reproduction (Kent and Day, 1983; Zajac, 1985). Il s'agit donc d'un facteur à prendre en compte pour la suite de cette étude.

En ce qui concerne l'absence de ponte lors de l'expérience Phér'eau, il peut s'agir potentiellement de l'état biologique des vers. Néanmoins, il peut également s'agir de la concentration testée de phéromones sexuelles qui n'est pas suffisante pour induire la ponte de *Diopatra biscayensis*. L'importance de ce facteur a été confirmé pour plusieurs espèces du genre *Néréis* par Hardege et al. (1998).

Lors de la fin de ces deux expériences, la tendance à l'augmentation des diamètres ovocytaires n'est pas marquée pour Phér'eau et celle-ci s'inverse même pour Cold'spawn. La première hypothèse est l'induction d'une ponte avec l'expulsion des ovocytes avec les diamètres les plus importants (Arias and Paxton, 2015). Dans les deux cas, des échantillons d'un litre d'eau ont été prélevés et analysés au microscope pour confirmer qu'il n'y ait pas d'œuf ou de larve en pleine eau. La seconde hypothèse est une baisse du diamètre due à une atrésie ovocytaire. Ce phénomène est bien connu dans le monde animal, notamment chez les vertébrés comme les poissons (Febvre, 1975) et les invertébrés tels que les bivalves (Chérel, 2020). Cette caractéristique a été décrite pour les polychètes *Nephtys hombergii* et *Nephtys caeca* (Olive, 1978). On peut donc supposer que ces chocs ont induit une atrésie ovocytaire pour l'espèce d'intérêt *Diopatra biscayensis*.

Dans l'avenir il peut être intéressant de retester ces expérimentations en complétant en amont nos connaissances sur cette espèce pour optimiser les conditions expérimentales.

3 IDENTIFICATION DES CRITERES OPTIMAUX D'ELEVAGE DU VER TUBE *DIOPATRA BISCAYENSIS*

Un des axes du volet ver tube du projet ANCOVA 17 est un travail sur l'optimisation des performances d'élevage pour rechercher et définir les paramètres zootechniques optimales.

3.1 RESULTATS DU PROJET MEDIHOM

En 2021 lors de ce projet, des tests ont été réalisés dans un bassin clos hors sol avec une eau régulièrement renouvelée, ainsi qu'en claire ostréicole (cf § 1.2). Les résultats obtenus ont montré que les vers tubes ont pris du poids dans les deux conditions (Vasseur, 2021). Cela démontre que ce sont des animaux qui s'adaptent facilement à leur condition d'élevage, que ce soit par rapport à la technique d'élevage ou les paramètres physico-chimiques. Néanmoins, les installations choisies lors de ces tests n'ont pas été idéales car la seule solution pour les pêcher était de creuser en prenant le risque d'abimer les vers tubes qui s'y étaient installés.

Nous nous sommes donc questionnés sur la technique d'élevage la plus adaptée pour faciliter notamment l'étape de la récolte.

3.2 REFLEXION SUR LE SYSTEME D'ELEVAGE

L'objectif est de proposer aux professionnels de l'aquaculture marine un système d'élevage du ver tube *Diopatra biscayensis* simple, efficace, rentable et qui demande peu d'investissement.

Nous nous sommes intéressés aux installations de l'entreprise australienne Aquabait qui est la seule à élever des vers du genre *Diopatra* (ici il s'agit de l'espèce *Diopatra aciculata*). L'étape de grossissement est réalisée dans des bassins en ciment avec un fond de sédiment, directement exposés au soleil. En ce qui concerne la récolte, elle est permise grâce à l'utilisation d'une solution anesthésiante qui relaxe les vers pour les faire remonter hors de leurs tubes (Safarik et al., 2006). La composition n'est pas décrite dans l'article car elle est protégée par un brevet. La solution anesthésiante utilisée lors de ce projet ANCOVA ($MgCl_2$) semble induire un comportement différent pour l'espèce *Diopatra biscayensis*. En effet, les vers encore dans leurs tubes mis dans cette solution sortent de la partie postérieure du tube (obs. perso.). Il nous faut donc trouver une technique simple pour récupérer les tubes qui contiennent les vers.

La technique d'élevage étudiée est l'utilisation de mannes ostréicoles ou « mannes ambulances », remplies de sable de calibre 0.8/1.4 (Fig.30). Une bâche solide en plastique est rajoutée pour éviter la fuite de celui-ci. Ce matériel est facilement trouvable dans les commerces spécialisés. Les professionnels ont très souvent déjà des mannes de ce type en leur possession pour le stockage des huîtres par exemple.

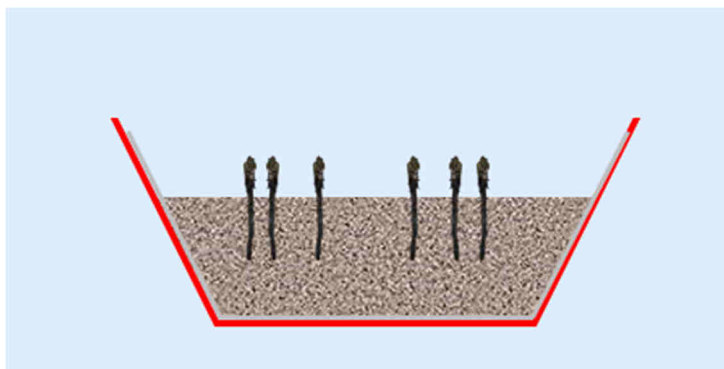


Figure 30. Schéma de la disposition des vers tubes *Diopatra biscayensis* dans une manne ostréicole

3.3 ETUDE DE LA DENSITE D'ELEVAGE EN BASSINS HORS SOL

3.3.1 Matériel & Méthode

L'expérience s'est déroulée sur quatre mois complet, du 5 février au 3 juin 2024. Les vers tubes sont pêchés à Gatseau et sélectionnés en fonction de leur diamètre (< 5mm) pour ne garder que les juvéniles. En effet, d'après Crisp (1977), à ce stade le taux de croissance est plus élevée notamment pour l'espèce *Pomatoleios kraussii* (Annélide, Polychète). Ensuite les densités d'élevage sont fonction de la densité naturelle relevée sur le même site de prélèvement cité précédemment : elle est estimée à environ 200 individus par m² (33 individus par manne). En deuxième condition, nous avons choisi de tester le double de celle-ci car on retrouve des « hotspot » sur ce même site avec une densité avoisinante les 400 individus/m² (66 individus par manne). Il est important de noter que la présence des vers dans les tubes n'a pas pu être vérifié. On peut donc supposer que ces données sont surévaluées par rapport à la réalité dans le milieu naturel. Comme pour l'expérimentation Régé'sis (cf § 2.3.2), tous les vers sont coupés au 60^{ème} sétigère.

Pour cette expérimentation, six mannes ostréicoles sont utilisées pour tester les deux densités d'élevage. Trois mannes par densité basse (B) et forte (F) sont mises en place (Fig.). Celles-ci sont disposées au même niveau, dans deux cuves de 1200 litres en extérieure, protégées par une tonnelle. Un renouvellement d'eau d'1/10^{ème} du volume est réalisé une fois par semaine. Les vers tubes sont nourris *ad libitum* deux fois par semaine avec des huitres et des granulés pour vers de la marque Coppens.

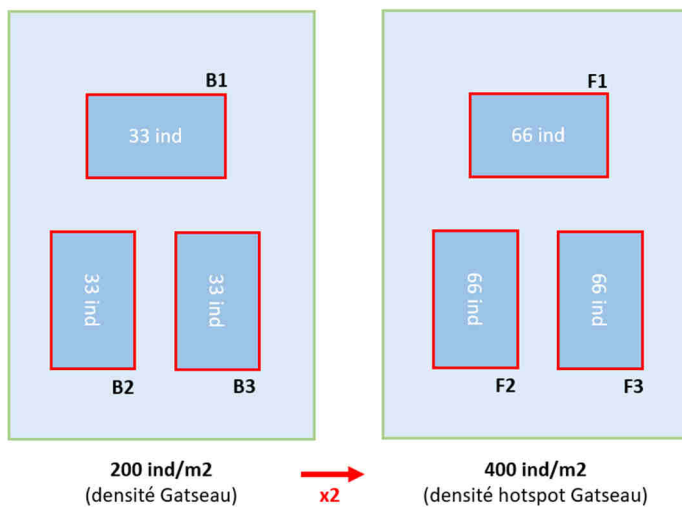
Une manne par condition est prélevée (B3,F3) et les paramètres de tous les vers de ces mannes sont pris une fois par mois. Le but étant de redispenser les vers dans leur même manne pour obtenir une cinétique sur toute la durée de l'expérience. Les vers tubes des quatre autres mannes seront étudiés seulement à la fin de l'expérience pour limiter le biais des manipulations sur ces individus (anesthésiant, reconstruction du tube...).

Les paramètres contrôlés à chaque temps de prélèvement sur les individus étudiés sont :

- Le nombre de sétigères régénérés

- Le diamètre des vers (mesure au niveau du 10^{ème} sétigère) en mm
- Le poids individuel est mesuré en g

A.



B.



Figure 31. A. Schéma et B. Photographie de l'installation sur le site de CAPENA

Un suivi de la température de l'eau est également réalisé grâce à une sonde HOB0® immergée.

3.3.2 Résultats

L'expérience a débuté le 5 février 2024 avec des vers juvéniles pesant en moyenne 0.23 g $\pm$ 0.07 pour chaque condition (densité basse et forte). Durant l'expérience, le poids moyen (g) a augmenté progressivement à chaque temps de prélèvement sauf au début, entre le mois de février et mars : seulement + 0.02 g (Test de Wilcoxon, $p > 0.05$) (Fig.32.A). Néanmoins, il n'y a pas de différence significative entre le gain poids final et les deux densités d'élevage (Test de Wilcoxon, $p > 0.05$) : + 0.21 g avec 200 ind/m² et + 0.19 g avec 400 ind/m². Contrairement au poids, le diamètre moyen au 10^{ème} sétigère (mm) dans les deux conditions, n'a pas évolué significativement au cours de l'expérimentation (Test de Wilcoxon, $p > 0.05$) (Fig.32.B).

En ce qui concerne le nombre de sétigères régénérés, on observe une régénération postérieure à partir du mois d'avril (Tab.9). En moyenne, 70 nouveaux sétigères ont été régénérés en quatre mois (environ + 20 sétigères/mois). Cette valeur est similaire pour les deux conditions. De la même façon, plus de 50% des individus se sont régénérés à partir d'avril, et le pourcentage augmente jusqu'à la fin de l'expérience pour tendre vers les 100%.

Tableau 9. Résumé des performances zootechniques en fonction de la densité d'élevage testée sur les quatre mois d'expérimentation

Paramètre étudié	Densité basse (200 ind/m ²) n = 269					Densité forte (400 ind/m ²) n = 496				
	Poids (g)	Diamètre (mm)	Nombre sétigères régénérés	Individus régénérés (%)	Densité moyenne (Ind/m ²)	Poids (g)	Diamètre (mm)	Nombre sétigères régénérés	Individus régénérés (%)	Densité moyenne (Ind/m ²)
0 mois	0.23 ± 0.07	3.52 ± 0.07	-	-	200	0.23 ± 0.07	3.5 ± 0.51	-	-	400
1 mois	0.25 ± 0.08	3.62 ± 0.47	0	0	192	0.26 ± 0.1	3.67 ± 0.5	0	0	365
2 mois	0.32 ± 0.11	3.77 ± 0.38	20	50	180	0.31 ± 0.15	3.7 ± 0.51	17	75	317
3 mois	0.32 ± 0.1	3.53 ± 0.38	38	97	180	0.35 ± 0.12	3.64 ± 0.43	38	92	311
4 mois	0.44 ± 0.16	3.56 ± 0.39	71	95	156	0.42 ± 0.16	3.56 ± 0.41	69	96	263
Gain total	+ 0.21	+ 0.04				+ 0.19	+ 0.05			
Gain mensuel	+ 0.05	+ 0.01				+ 0.048	+ 0.013			
Survie moyenne (%)			79					67		

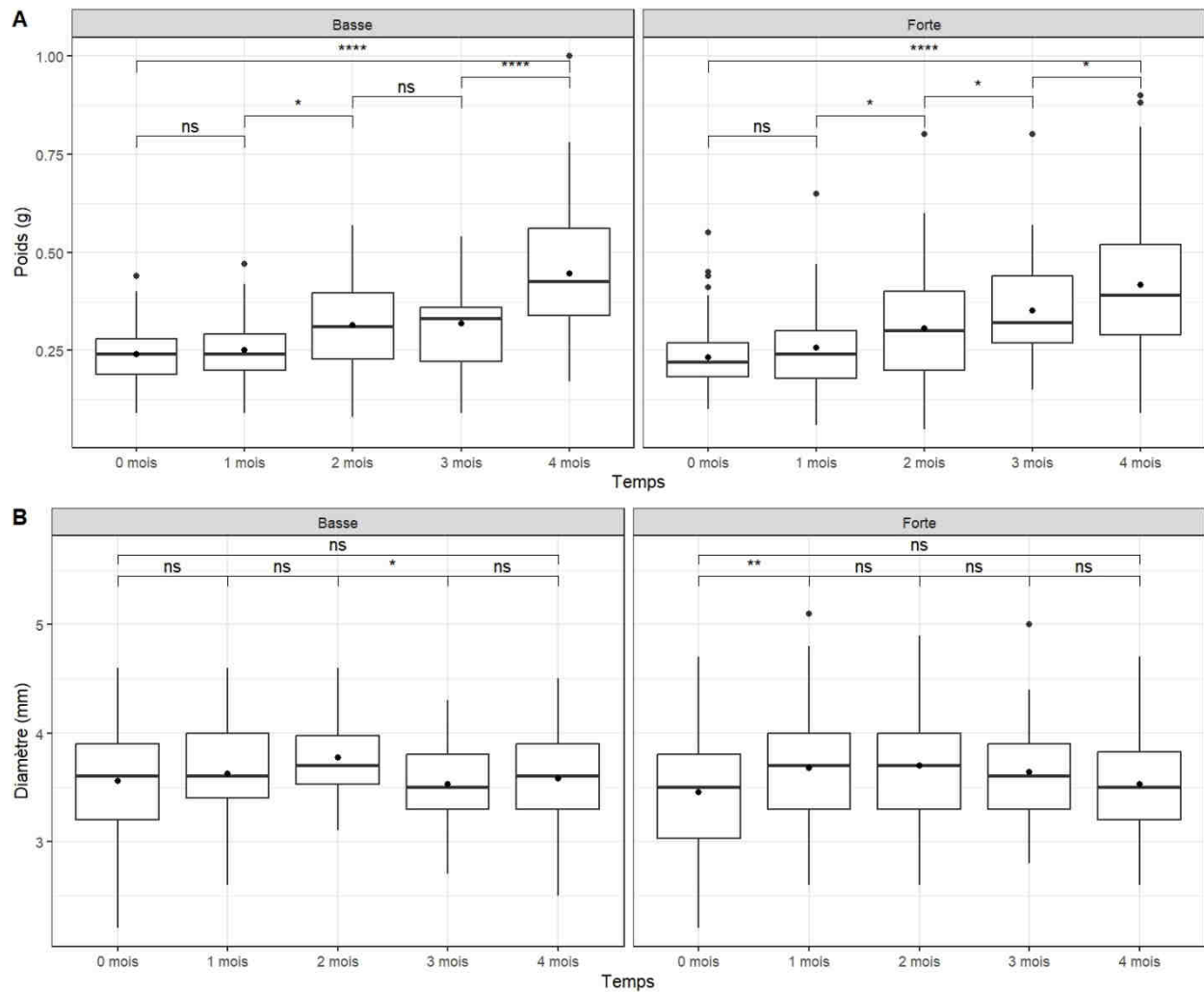


Figure 32. Performances de croissance des vers tubes *Diopatra biscayensis* en manne dans des bassins hors sol avec un suivi A. du poids et B. du diamètre au 10^{ème} sétigère sur les quatre mois d'expérimentation (les valeurs des mois 2 et 3 sont ceux de la mannes B3 et F3 et les valeurs des mois 1 et 4 sont celles des vers issus des trois mannes par condition)

L'évolution de la température (°C) de l'eau dans les bassins hors sol est représentée sur la Figure 32. On constate que jusqu'à mi-mars la température reste majoritairement en dessous de la barre des 12°C puis une augmentation progressive est observée à partir d'avril avec 14°C en moyenne et 16.6°C en mai jusqu'à début juin (fin de l'expérience).

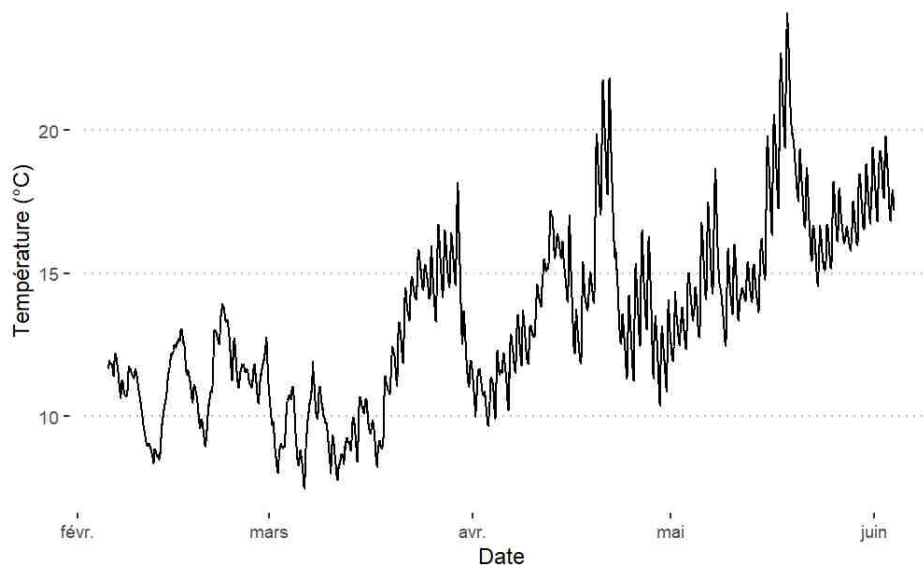


Figure 33. Evolution de la température (°C) de l'eau des bassins hors-sol du 5 février au 3 juin 2024 (Sonde HOB0®)

3.4 ESSAI DE GROSSISSEMENT EN MANNE DANS LE MILIEU NATUREL

3.4.1 Etude de la densité des vers tubes sous les tables ostréicoles et pourquoi des essais dans les marais ?

Au cours de marées sur plusieurs bancs ostréicoles, nous avons constaté que les vers tubes sont particulièrement concentrés en dessous des tables. Nos observations ont été confortées par les pêcheurs à pied professionnels détenteurs de la licence « appât ». En effet, certains les récoltent en dessous des tables avec l'accord des concessionnaires.

Pour confirmer et quantifier ces observations, nous avons relevé la densité des vers tubes sur un site localisé dans le bassin de Marennes – Oléron : le banc de Chevalier. Sous deux rangées de table située dans le centre du banc, sept points d'échantillonnage par rangée (14 au total) sont choisis aléatoirement sur une distance de 25 m linéaire. La densité de chaque point est définie en dénombrant chaque tubes à l'intérieur d'un quadrat de 33 x 33 cm et en y dénombrant chaque tubes. En suivant le même protocole, sept points d'échantillonnage (14 au total) sont choisis aléatoirement sur un linéaire de 25 m, au niveau d'une zone non exploitée (sans table ostréicole) et située toujours sur le même banc.

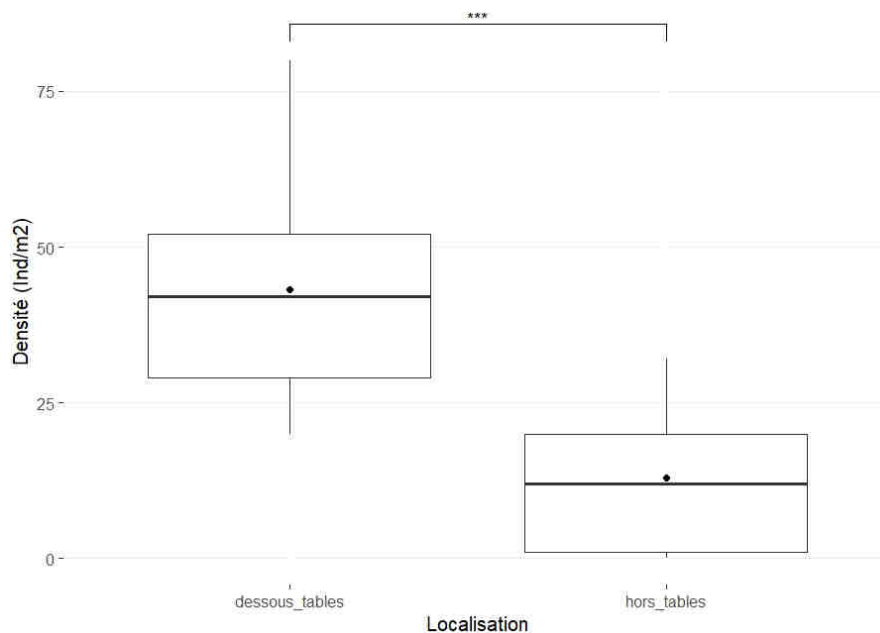


Figure 34. Boxplots représentatifs de la densité (Ind/m²) de ver tube *Diopatra biscayensis* sous et hors des tables ostréicoles sur le banc de Chevalier en avril 2024

Les vers tubes *Diopatra biscayensis* sont significativement plus présents sous les tables ostréicoles que dans les zones sans poches d'huitres.

En ce qui concerne les marais, l'espèce *Diopatra biscayensis* n'est pas naturellement présente dans cet environnement. Cela peut s'expliquer par la dispersion des larves qui ne remontent pas jusqu'à cette zone et qui s'implantent plus bas dans le chenal en créant leur tube (obs. perso.). Une nouvelle production dans ces marais peut être une voie de diversification proposée pour les professionnels de l'aquaculture. Il peut s'agir également d'un moyen de stockage en période hivernale pour les pêcheurs à pied.

L'objectif de cette expérience est d'estimer si une coculture huitre/ver sur l'estran est favorable pour le développement de l'espèce *Diopatra biscayensis*.

3.4.2 Matériel & Méthode

Trois mannes dites « ambulances », remplies de sable sont placées sous les tables ostréicoles de CAPENA sur le site de Chevalier (Fig.35.A). L'expérimentation en mer ouverte s'est déroulée sur trois mois du 27 mars au 21 juin 2024. Trois autres mannes sont disposées dans un marais de la série D sur le site de CAPENA de l'île d'Oléron (Fig.35.B). Cette fois-ci, le test a duré deux mois du 25 avril au 22 juin 2024. Les vers tubes ont été choisis en fonction des mêmes critères que pour l'expérimentation dans les bassins hors-sol (cf. § 1.3.1).

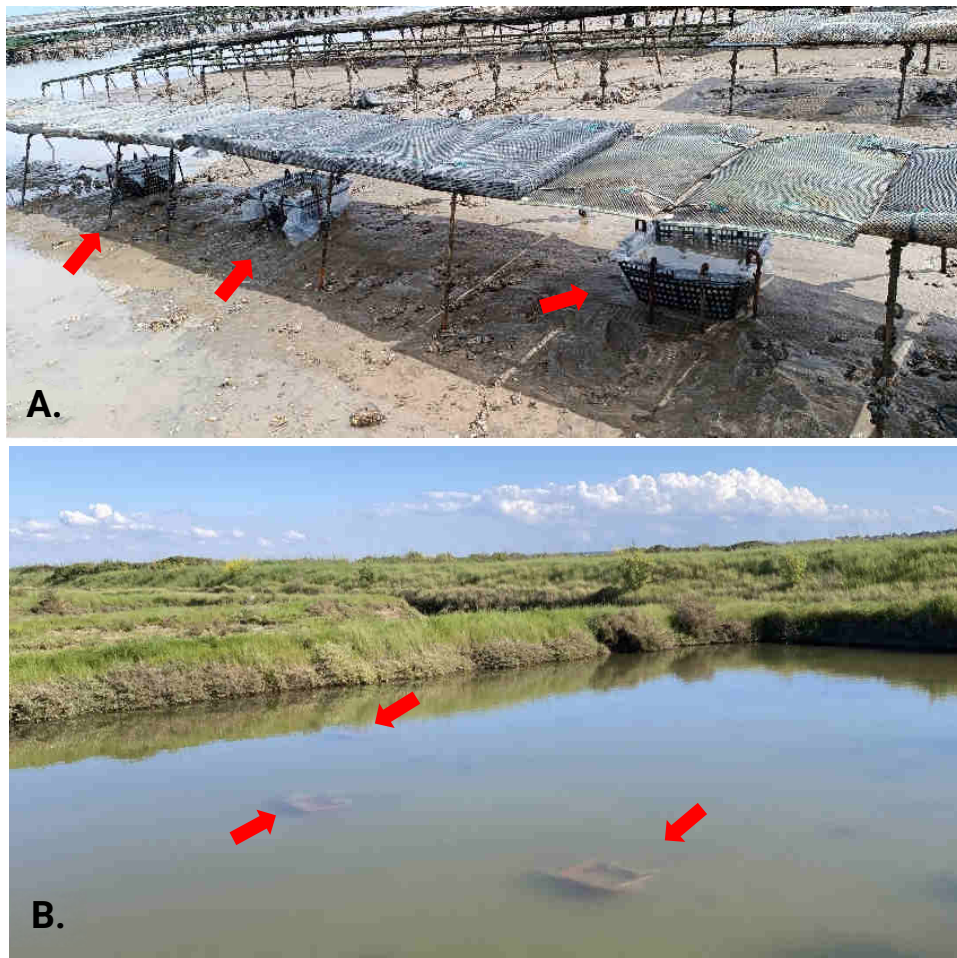


Figure 35. Photographies des mannes (flèches rouges) A. sous les tables ostréicoles sur le banc de chevalier et B. dans un des marais à CAPENA

Concernant les vers tubes sous les tables, 50 individus coupés au 60^{ème} sétigère ont été semés dans chaque manne. Ce qui équivaut à une densité d'élevage à 300 ind/m² (Tab.10). Les vers n'ont pas été nourris lors de l'expérimentation.

Pour les vers dans les marais, la densité choisie était de 240 ind/m². En effet, celle-ci était plus faible car au début de l'expérience il y avait 40 individus (20 entiers et 20 coupés au 60^{ème} sétigère) (Tab.10). Trois fois au cours de l'expérimentation, il y a eu un apport d'aliment avec des palourdes et moules broyées grossièrement.

Afin de laisser les vers s'implanter dans leur nouvel environnement et éviter toute prédation, les mannes remplies d'eau sont laissées 24h sous un abri, avant d'être placées sur les sites expérimentaux. Cela a également permis de limiter leur évasion car ils ont la capacité de nager en pleine eau.

Tableau 10. Récapitulatif des expérimentations en fonction des individus testés, des temps de prélèvement et des réplicas

Etat individu	Test sous les tables ostréicoles		Test dans les marais			
	Ver tube coupé au 60 ^{ème} sétigère		Ver entier		Ver tube coupé au 60 ^{ème} sétigère	
Temps	0 mois	3 mois	0 mois	2 mois	0 mois	2 mois
M1	50	30	20	12	20	14
M2	50	7	22	15	18	21
M3	50	19	20	14	20	15
Total	150	56	62	41	58	50

3.4.3 Résultats

L'expérimentation sous les tables ostréicoles a débuté le 27 mars 2024 avec des individus juvéniles coupés au 60^{ème} sétigère, d'un poids moyen de $0.21 \text{ g} \pm 0.09$ et de diamètre $3.7 \text{ mm} \pm 0.44$. Après trois mois de test, 56 vers tubes au total, ont été retrouvés. Ce qui équivaut à 40% de survie en moyenne : respectivement 60, 14 et 38% pour les trois réplicas (Tab.11).

La croissance a été bonne pour ces vers car ils ont gagné 0.62 g et 0.4 mm de largeur (Tests de Wilcoxon, $p < 0.0001$) (Fig.36). De plus, la grande majorité des individus ont pu se régénérer (96%) et former en moyenne 103 nouveaux sétigères.

Tableau 11. Résumé des performances zootechniques des vers tubes juvéniles *Diopatra biscayensis* sous les tables ostréicoles pendant trois mois ($n = 206$)

	Poids (g)	Diamètre (mm)	Nombre sétigères régénérés	Individus régénérés (%)	Densité moyenne (Ind/m ²)
0 mois	0.21 ± 0.09	3.7 ± 0.44	-	-	300
3 mois	0.83 ± 0.25	4.1 ± 0.44	103	96	112
Gain total	+ 0.62	+ 0.4			
Gain mensuel	+ 0.21	+ 0.13			
Survie moyenne (%)			40		

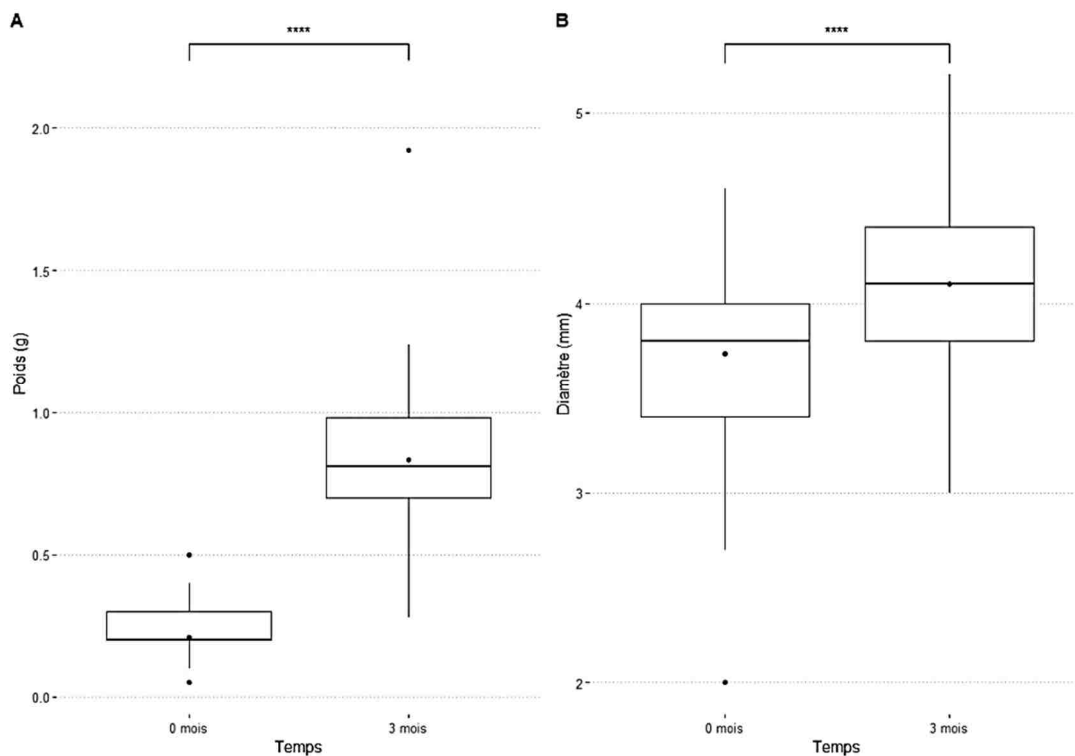


Figure 36. Performance de croissance des vers tubes juvéniles *Diopatra biscayensis* sur deux mois d'expérimentation sous les tables ostréicoles en fonction A. du poids et B. de leur diamètre au 10^{ème} sétigère

L'expérimentation dans les marais de CAPENA a commencé le 25 avril 2024, exactement un mois après le lancement de l'expérimentation sous les tables ostréicoles. La moitié de la population sont des individus entiers avec un poids moyen de $0.48 \text{ g} \pm 0.22$ et de diamètre $3.5 \text{ mm} \pm 0.4$. L'autre partie a été coupé au 60^{ème} sétigère avec un poids moyen divisé par deux de $0.23 \text{ g} \pm 0.07$ et un diamètre similaire de $3.5 \text{ mm} \pm 0.37$ (Tab.12).

Le taux de survie en marais est le double de celui obtenu sur l'estran : respectivement 71 % et 80 % pour les mannes avec les vers entiers et ceux coupés. Nous observons une croissance qui est également marquée avec une hausse moyenne de + 21.5 g pour les vers entiers et coupés (Test de Wilcoxon, $p < 0.0001$) (Fig.37.A). Néanmoins, les vers tubes n'ont pas gagné en largeur lors de cette expérience (T-test, $p > 0.05$) (Fig.37.B).

De plus, des individus sans partie antérieure ou en cours de régénération ont été retrouvé dans les mannes dans les marais après deux mois de test. Il s'agit de cinq vers tubes au total.

Tableau 12. Résumé des performances zootechniques des vers tubes juveniles *Diopatra biscayensis* dans les marais de CAPENA (la partie régénérée étudiée ici est la postérieure)

	Ver tube entier n = 103				Ver tube coupé au 60^{ème} sétigère n = 108				TOTAL
	Poids (g)	Diamètre (mm)	Nombre Total de sétigères	Individus régénérés (%)	Poids (g)	Diamètre (mm)	Nombre sétigères régénérés	Individus régénérés (%)	Densité moyenne (Ind/m ²)
0 mois	0.48 ± 0.22	3.5 ± 0.4	-	-	0.23 ± 0.07	3.5 ± 0.37	-	-	240
2 mois	0.69 ± 0.23	3.65 ± 0.41	169	54	0.45 ± 0.15	3.67 ± 0.5	91	96	182
Gain total	+ 0.21	+ 0.15			+ 0.22	+ 0.17			
Gain mensuel	+ 0.105	+ 0.04			+ 0.11	+ 0.04			
Survie moyenne (%)		71				80			

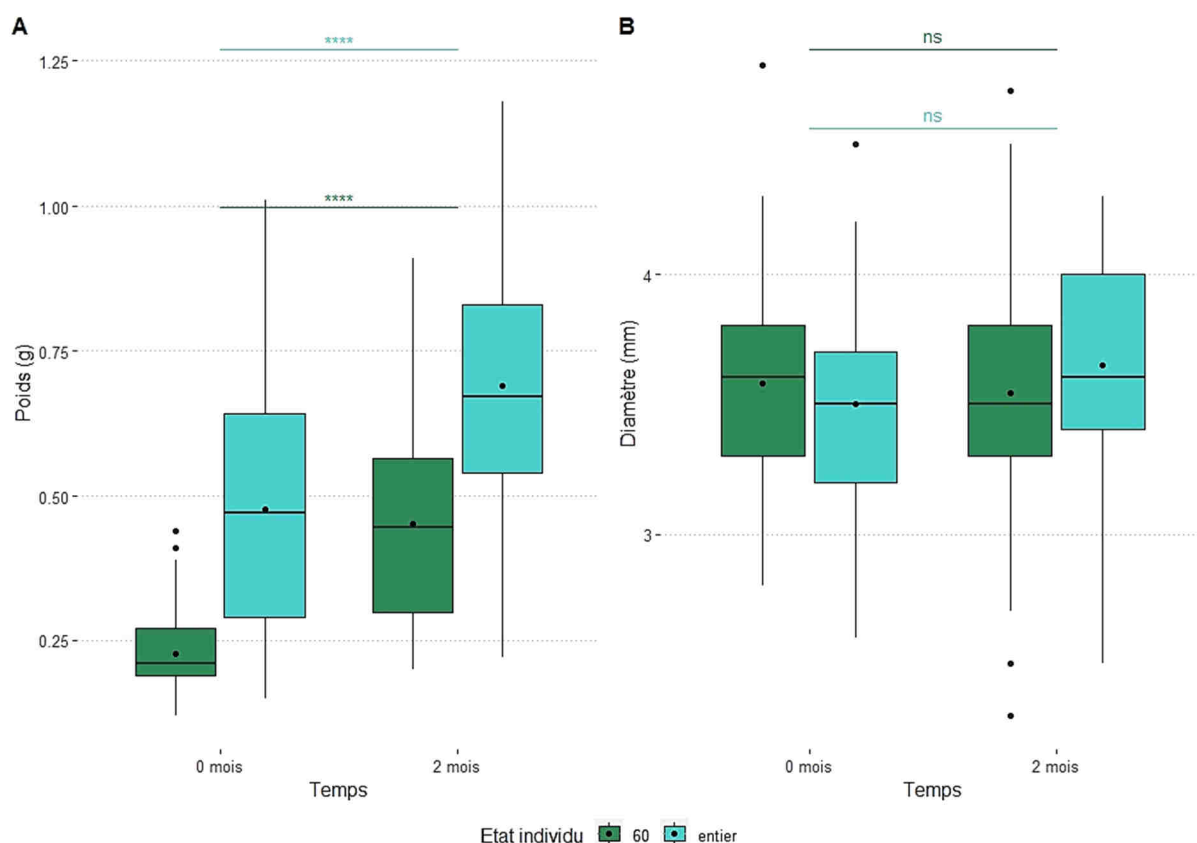


Figure 37. Performances de croissance des vers tubes juveniles *Diopatra biscayensis* dans les marais de CAPENA pendant deux mois en fonction A. du poids et B. de leur diamètre au 10^{ème} sétigère, pour des individus coupés au 60^{ème} sétigère (vert) et entiers (bleu)

La température de l'eau est un paramètre qui a été suivi au cours de ces expérimentations en milieu naturel. Le premier mois de test (fin mars- fin avril) a été particulièrement marqué par des conditions environnementales potentiellement stressantes pour les vers étant donné la forte variation de températures. De surcroît, ce fut une période avec de forts coups de vent, ce qui a impacté le sédiment dans les mannes où se trouvaient les vers. En effet, le sable a été brassé et une partie s'en est allée avec le courant. Pour limiter cette problématique, de la vase a été ajoutée pour créer une couche compacte au dessus de ce sédiment très meuble.

Après ce premier mois, la température a augmenté progressivement au fur et à mesure du temps. On constate la température dans les marais est toujours plus élevée par rapport à celle de la Mortane. Il y a entre 2 et 6°C de différence en fonction de la période (Fig.38).

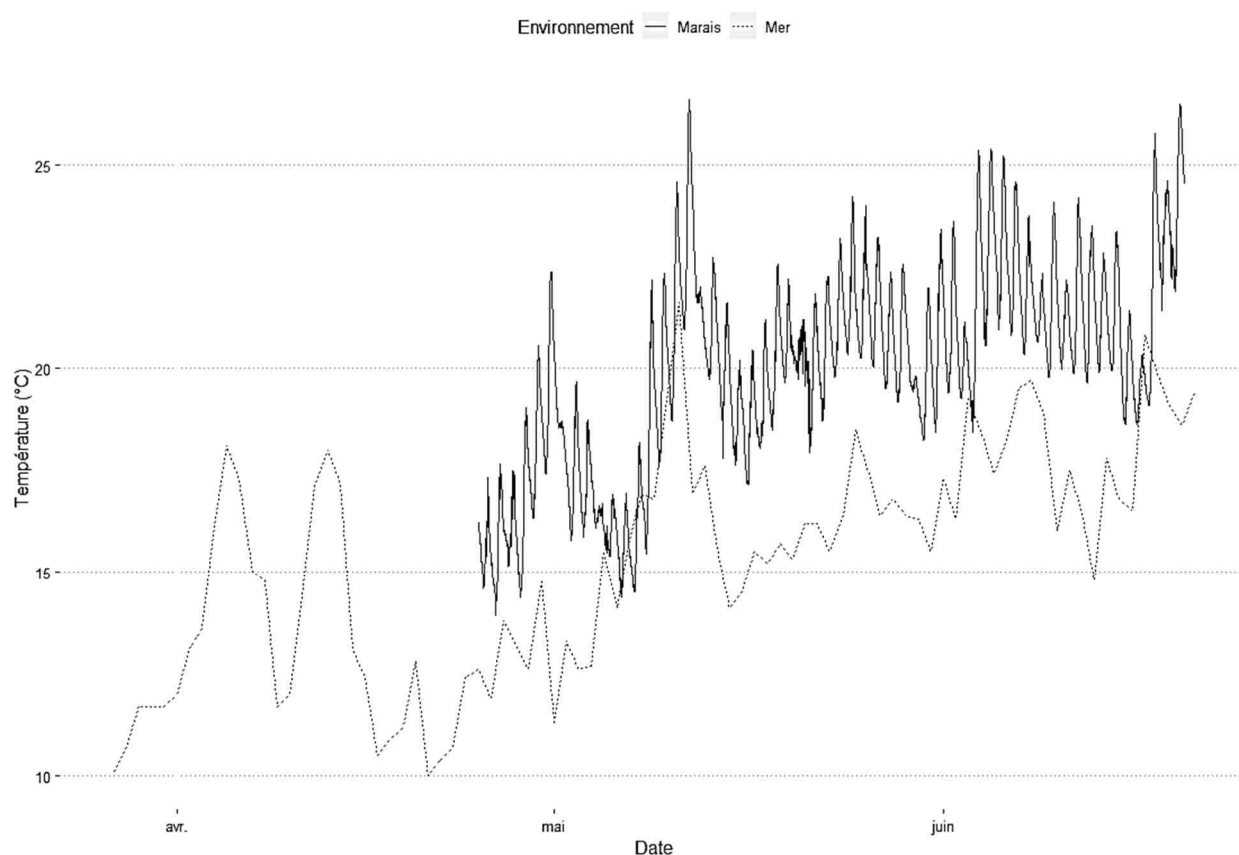


Figure 38. Evolution de la température (°C) de l'eau dans les marais de CAPENA (Réserve et B12) et en pleine mer issue d'une sonde immergée à la Mortane

3.5 DISCUSSION GENERALE

- Comparaison des croissances

La croissance d'individus juvéniles de l'espèce d'intérêt *Diopatra biscayensis* a été suivie dans différentes conditions d'élevage. Le premier résultat qui en ressort est qu'il y a un gain de poids lors de chaque expérience. De plus, la grande majorité des vers tubes se sont régénérés et ont créé en moyenne une centaine de nouveaux sétigères. Toutefois, on constate que le gain de poids est variable en fonction des environnements testés. Les vers tubes sous les tables ostréicoles ont gagné 0.21 g en moyenne par mois, ceux dans les marais 0.11 g et 0.05 g pour les vers dans les bassins hors-sol. Néanmoins, il ne semble pas avoir de différence de poids entre les individus provenant de deux densités dans les bassins hors sol. De plus, il ne semble pas avoir de différence non plus entre le gain de poids des individus entiers et coupés lors de l'expérience dans les marais.

Safarik et al. (2006) a étudié les effets de la densité d'élevage sur des variables de croissance telles que la longueur, le poids et le nombre de sétigère pour des juvéniles de l'espèce *Diopatra aciculata*. Il est important de noter que dans le milieu naturel, la densité de cette espèce n'excède pas les 52 ind/m² avec une moyenne de 3,47 ind/m² (Van Rensburg et al., 2020). Il est connu que l'augmentation de la densité peut avoir des effets délétères sur la croissance de certaines espèces de polychètes au stade juvénile (Zajac, 1986; Pesch et al., 1987; Miron et al., 1991; Scaps et al., 1998; Parandavar, Hossein et al., 2015). Cependant, il est familier pour le genre *Diopatra* de les retrouver à de forte densité d'une centaine d'individus dans le milieu naturel (Mangum et al., 1968; Thomsen and McGlathery, 2005; Rodrigues et al., 2009; Woodin et al., 2014; Escobar-Ortega et al., 2024).

Les auteurs ont choisi les densités de 500, 1000 et 2000 ind/m² en fonction des observations faites dans les bassins de production de l'entreprise australienne Aquabait. Ils ont pu observer un gain de poids journalier respectivement de 0.047, 0.040 et 0.026 g. C'est-à-dire au cours d'une journée à la plus faible densité, cette espèce grossit autant qu'un ver tube *Diopatra biscayensis* dans un bassin hors sol en un mois. Ces résultats mettent en évidence qu'il existe une potentielle marge d'amélioration pour le taux de croissance de cette espèce. Néanmoins, les taux de croissances peuvent différer entre les deux espèces et dans des conditions environnementales différentes. De plus, les conditions d'élevage testées dans le projet ANCOVA 17 nécessitent moins de manutention, elles sont peu énergivores et facilement transférables à la profession aquacole.

- L'alimentation

Il est décrit dans la littérature que les espèces du genre *Diopatra* sont omnivores (cf. §1.4.1). Par conséquent, il est important de leur fournir une source de protéine conséquente pour optimiser leur croissance en milieu contrôlé. C'est pour cette raison que nous avons choisi d'apporter de la chaire d'huître broyée et des granulés pour vers Coppens® (45% protéine). Safarik et al. (2006) apportait 3% de la biomasse totale par jour, en granulés protéinés (pas de marque donnée). Nous avons choisi de les nourrir *ad libitum* deux fois par semaine et en retirant le surplus 24h plus tard pour éviter de dégrader la qualité de l'eau. Cependant, nous avons observé dans le cadre de l'expérimentation en bassin hors sol, des vers avec du sable dans leur tractus digestif (Fig.39.B). Ceci a déjà été décrit précédemment par Vasseur (2021) dans le cadre de test en bassin avec du substrat sableux. On peut donc supposer qu'ils

peuvent avoir un comportement psammivore. Ce résultat laisse à penser que les vers n'avaient pas tous accès aux aliments lors du nourrissage. En effet, aux densités testées les vers étaient répartis de façon assez éparse et certains étaient isolés.

Ce que nous pouvons conseiller pour la suite de ce projet est de réaliser un nourrissage journalier avec des quantités d'aliments plus adaptées ce qui limitera l'impact sur la qualité de l'eau. De plus, il peut être intéressant de tester à de plus forte densité telle que 1000 ind/m² pour homogénéiser la présence des vers sur toute la surface du substrat.

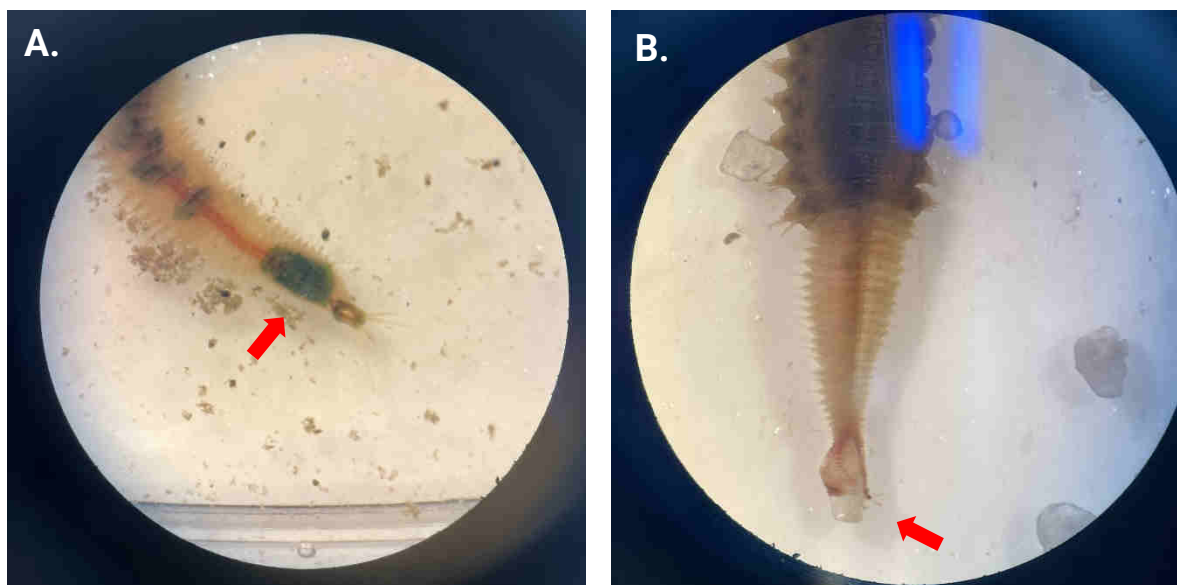


Figure 39. Photographies d'une vue à la binoculaire de la partie postérieure A. avec des morceaux de macroalgues vertes dans le tractus digestif (flèche rouge) et B. cristal sortant par le pygidium (flèche rouge)

En ce qui concerne les tests dans le milieu naturel, nous avons observé des fèces dans le tractus de la majorité des vers étudiés. En particulier dans les individus disposés sous les tables ostréicoles, où l'on a pu voir par transparence des morceaux de macroalgues vertes (Fig.39.A). Des algues de cette famille ont été retrouvées sur les tubes et mannes à la fin de l'expérience. On peut donc supposer que la croissance était la plus efficace dans cet environnement car les vers tubes avaient accès à une alimentation diversifiée. Cette hypothèse est renforcée par la relation qui existe entre un débit d'eau important et la disponibilité des aliments dans le milieu naturel (Jumars et al., 2015). Le fort taux de mortalité lors de ce test s'explique sûrement à cause des tempêtes au début de l'expérimentation, qui ont brassé le substrat et provoqué l'évasion de certains individus.

- La température de l'eau

Un des facteurs abiotiques les plus impactant sur les capacités reproductives de l'espèce *Diopatra biscayensis* dans le milieu naturel, est la température de l'eau (cf. §2.2). Dans le cadre de ces expérimentations, nous avons remarqué que ce paramètre jouait également un rôle important sur la croissance d'individus juvéniles. En effet, nous avons observé dans un premier temps que les vers tubes dans les bassins hors sol étaient peu réactifs et se nourrissaient

moins le premier mois. Cette observation a été confirmée lors du premier temps de prélèvement (au bout d'un mois), où la régénération devait être quantifiée. Les vers ne sont pas régénérés au cours de cette période (Fig.40). A ce moment-là, la température de l'eau n'a pas ou rarement excédée les 12°C. Si on compare avec le test Régé'sis 2 (cf. §1.3.4) où la température de l'eau était maintenue à 21°C, les vers juvéniles avaient déjà bien entamés leur régénération au bout d'un mois de test.

Il semblerait donc qu'une température basse limite la régénération et donc la croissance de l'espèce *Diopatra biscayensis*. Ces résultats sont cohérents avec ceux de Pires et al. (2015) pour l'espèce *Diopatra neapolitana*. Lors de cette étude, la température minimale testée fût 17°C et le phénomène de régénération était significativement plus lent par rapport aux individus à 20 et 24°C. D'autres articles scientifiques confirment cette hypothèse pour les polychètes *Polydora colonia* et *Sabella spallanzanii* (David and Williams, 2012; Licciano et al., 2012).



Figure 40. Photographie d'une vue à la binoculaire d'une partie postérieure non régénérée au bout d'un mois de test

Pour conclure, il est possible d'utiliser des mannes pour élever le ver tube *Diopatra biscayensis* et de les installer en marais, sous les ostréicoles ou en bassins hors sol. Il y a donc plusieurs avantages tels que le faible investissement en matériel et la facilité de transfert de connaissances vers les professionnels. Toutefois, la manipulation de ces mannes est difficilement réalisable par une personne seule ce qui implique d'être en équipe pour son exploitation.

4 ETUDE DE MARCHÉ DU VER TUBE EN TANT QU'APPAT DE PECHE

4.1 CONTEXTUALISATION

Les polychètes constituent une importante ressource économique dans le monde entier et concerne une grande diversité d'espèces (Watson et al., 2017). Selon Cole et al. (2018), on retrouve sur le marché européen de l'appât de pêche de loisir, près de 20 espèces de 9 familles différentes. Les *Onuphidae* comprenant le genre *Diopatra*, est l'une des plus familles les appréciées avec *Arenicolidae*, *Eunicidae* et *Nereididae* (Cole et al., 2018). En 1999, le marché des vers marins en Europe était estimé à plus de 200 millions d'€ (Cunha et al., 2005; Barrington et al., 2009).

Nous avons décidé de réaliser une étude de marché de l'offre et la demande sur le ver tube en tant qu'appât de pêche de loisir, pour estimer le potentiel de celui-ci si un élevage venait à se développer. Dans le cadre de ce projet, nous ne faisons pas de distinction entre les différentes espèces françaises telles que le ver tube *Diopatra neapolitana* et celle d'intérêt *Diopatra biscayensis*. En effet, les vers du genre *Diopatra* sont très proches morphologiquement et ont donc des qualités similaires.

4.2 LA DEMANDE

4.2.1 Méthodologie et description de la population interrogée

L'enquête a été réalisée sur internet par l'intermédiaire d'un questionnaire Google Form (https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSe3GCm_LGy0n4i3vXPsmjo7VLg0UdRyZ84J9lusi9MIRL9ImQ/viewform). Celui-ci a été publié sur des pages ou des groupes Facebook spécifiques à la technique de pêche dite de surfcasting, consommatrice de ce type d'appât. Au total, 71 personnes ont répondu à ce questionnaire en ligne.

21 personnes sur 71 sont des personnes retraitées qui pratiquent la pêche de loisir. Les 50 autres personnes sont des cadres, fonctionnaires, étudiants, employés, ouvriers de domaine divers. 8 d'entre eux étudient ou travaillent dans l'aquaculture de manière générale. L'âge moyen est de 48 ans : de 16 à 79 ans.

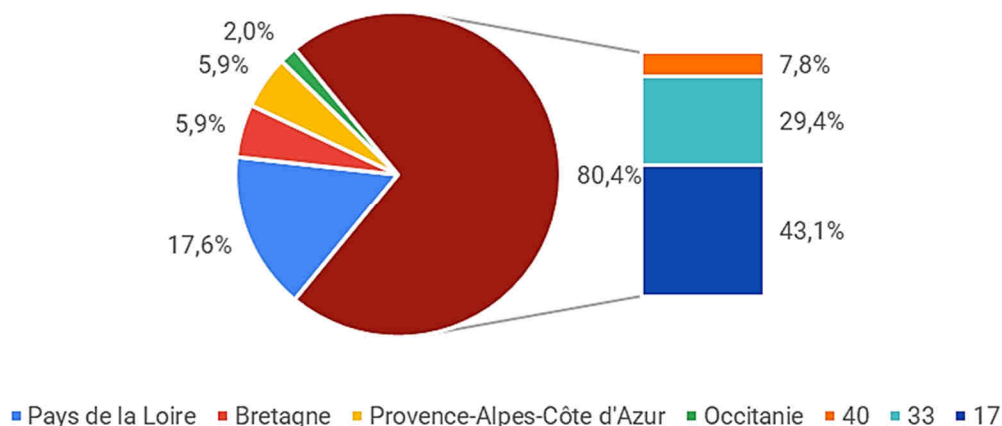


Figure 41. Zones de pêche où les enquêtés ont l'habitude de pratiquer

Plus de 80 % des sondés pêchent en Nouvelle-Aquitaine. La Charente-Maritime est le département le plus représenté avec 43,1 %, puis la Gironde avec 29,4%. On retrouve également la région Pays de la Loire où il s'agit principalement des vendéens qui ont répondu. En plus petites proportions, certains enquêtés se rendent en Bretagne (5,9%), en Provence-Alpes-Côte d'Azur (5,9%) et en Occitanie (2%) pour pêcher sur la côte (Fig.41).

4.2.2 Pratiques et routines de pêche des personnes sondées

La population ciblée est donc abonnée à des pages ou des groupes qui traitent notamment du surfcasting. C'est pour cette raison que 91,5 % des sondés pratiquent le surfcasting et d'autres types de pêche tels que la pêche à la canne embarquée (18,3 %), la pêche au flotteur/bouchon (6,7 %) et la pêche à la cuiller/cuillère (7,7 %).

Ils pratiquent la pêche autant au printemps et en automne qu'en été (environ 27 %). L'hiver semble être une saison où le surfcasting est le moins pratiqué. Néanmoins, 16,1 % des enquêtés pêchent à cette période. 2 personnes (2,2 %) pêchent toute l'année, il s'agit des pêcheurs professionnels qui ont répondu à ce questionnaire (Fig.42.A). Au cours de ces saisons, le nombre de sorties est majoritairement d'une à plusieurs fois par semaine (61,7 %). Les sorties moins fréquentes représentent 37 % (Fig.42.B).

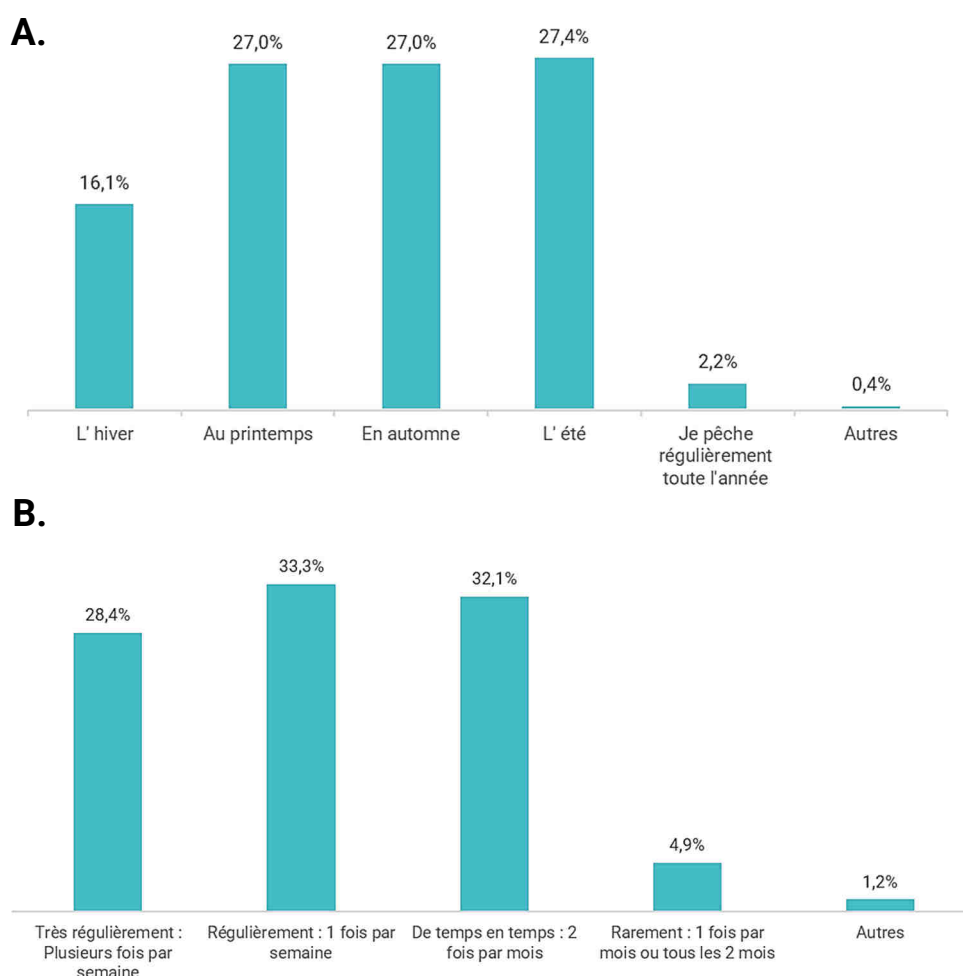


Figure 42. A. Saisons et B. fréquences des sorties « pêche » pour les personnes interrogées (N=71)

Les enquêtés sont donc des pêcheurs de loisir qui sortent majoritairement toute au long de l'année de façon régulière. Nous nous sommes donc questionnés sur la quantité d'appât (ver tube et/ou autres vers) utilisés au cours d'une année. 52,1% ont répondu qu'ils avaient besoin de plus de 200 vers au total. L'autre moitié en utilisent dans de moindre quantité, en raison de sorties surement moins fréquentes (Fig.43).

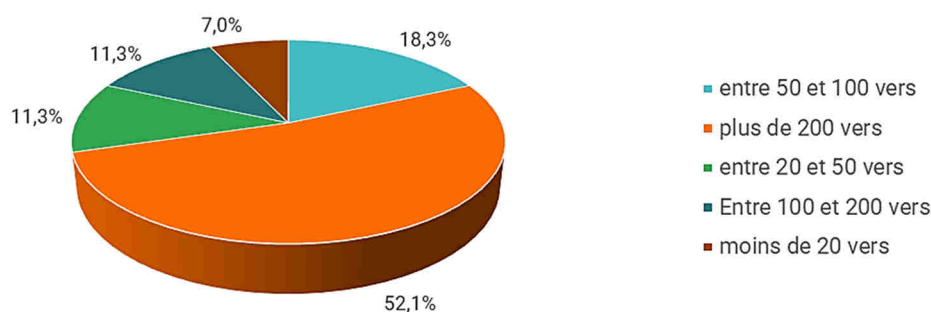


Figure 43. Quantité estimée des appâts de pêche utilisés sur une année (N = 71)

Il existe une grande variété de vers marins utilisés comme appât de pêche sur le marché. Les personnes interrogées ont l'habitude d'en acheter ou pêcher eux-mêmes plusieurs types. A la première place, le ver tube avec 73,9 % puis l'arénicole à 71 % et le dernier est le RAG (ou grande gravette) à 15,9 % (Fig.44).

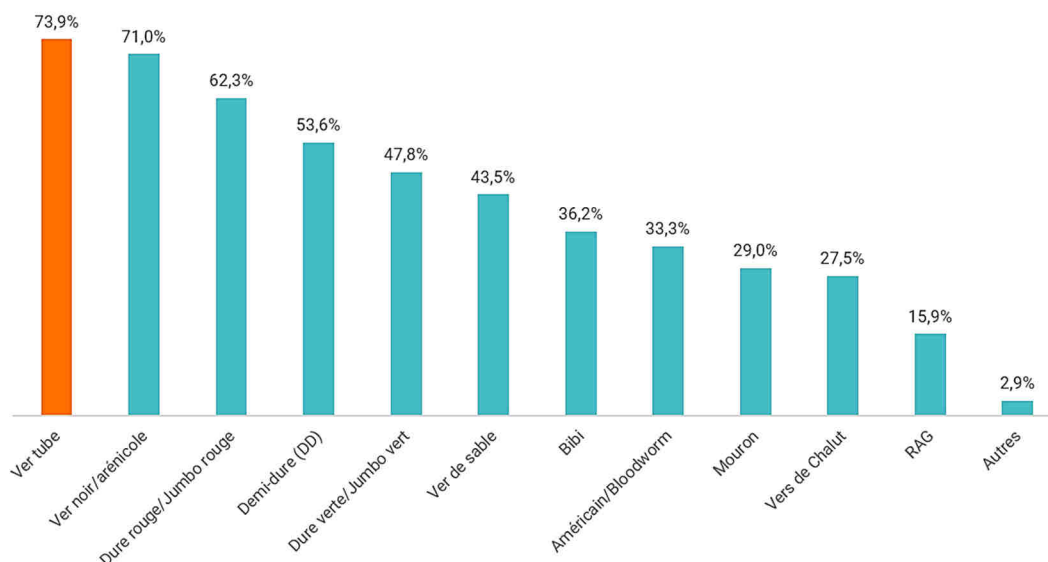


Figure 44. Vers marins sur le marché utilisés comme appât de pêche par les personnes interrogées (Réponses à choix multiples)

Dans cette population initiale de 71 personnes sondées, 61 connaissent le ver tube, ce qui représente 85,9 %. La suite des questions a donc été posé à ces individus.

4.2.3 Questionnement sur le ver tube en tant qu'appât de pêche

61 personnes savent donc reconnaître un ver tube dont 51 qui ont l'habitude d'en acheter ou d'en utiliser d'après les retours du questionnaire. De plus, on constate que 57 % les pêchent par leur propre moyen, en grande majorité avec une ferrée (48 %). L'autre moitié les achètent (Fig.45).

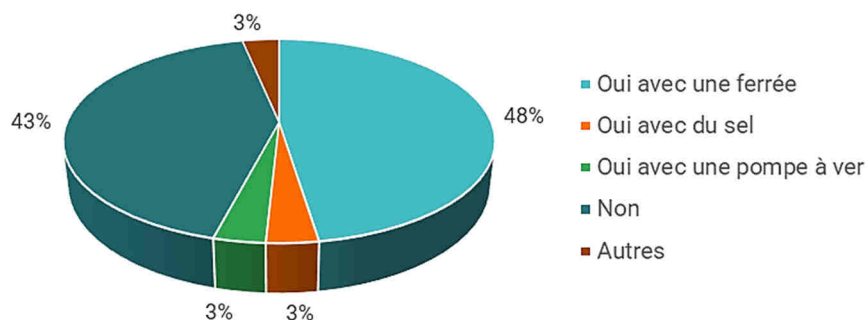


Figure 45. Achat ou techniques de pêche utilisées pour le ramassage des vers tubes

En ce qui concerne les qualités qui font de lui un appât de pêche apprécié, il est principalement reconnu pour sa bonne tenue à l'hameçon (27 %) et son efficacité la nuit (21 %). Puis à des proportions similaires entre 9 et 15 %, il est apprécié pour sa bonne conservation, son efficacité le jour, son odeur et son aspect (Fig.46). En effet, un pêcheur a précisé que « ce ver se conserve très bien vivant en aquarium et aussi salé contrairement aux demi-dures, jumbo et autres vers ». Néanmoins, une autre personne indique « le problème du ver tube c'est sa conservation lors de différentes manipulations et envoie donc énormément de pêcheurs les piocher eux même ! ».

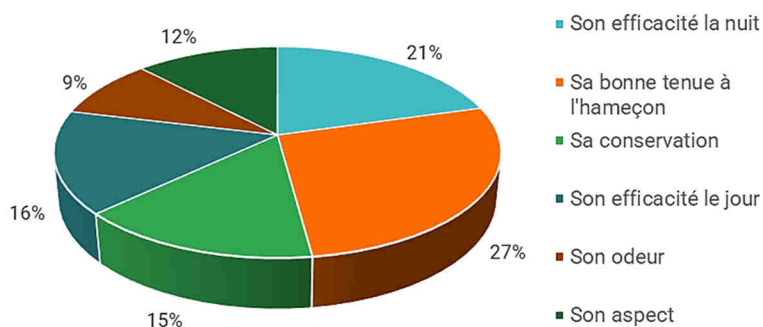


Figure 46. Trois qualités du ver tube citées par les sondés

4.2.4 Questionnement autour de l'achat du ver tube

Le ver tube est considéré comme un appât « haut de gamme » par les connaisseurs, avec un prix plus élevé que les appâts communs tels que les dures ou les demi-dures (échanges

avec des vendeurs en magasin spécialisé). On retrouve trois catégories de prix estimé par les personnes sondées, à des proportions relativement similaires sur le marché :

- « < 0,7 €/ver » avec 34,8 %
- « 0,7 € < ver < 1€ » avec 26,1 %
- « > 1 €/ver » avec 39,1 %

Les personnes sondées se fournissent principalement dans les magasins spécialisés (42 %) et dans les « Grandes et Moyennes Surfaces » (32 %) (Fig.47).

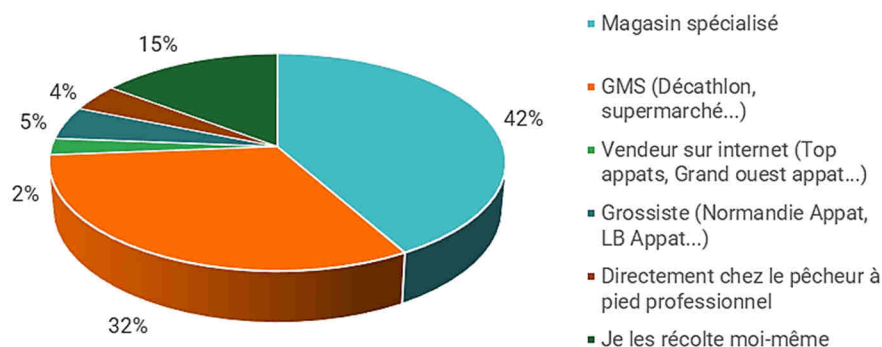


Figure 47. Structures fréquentées par les enquêtés pour l'achat du ver tube

Le prix du ver tube et sa disponibilité en magasin, ont été cités comme les critères qui permettraient de l'intégrer potentiellement plus facilement dans leur routine avec respectivement 43 % et 29 %. 11 % des sondés ne souhaitent pas changer d'appât de pêche (Fig.48).

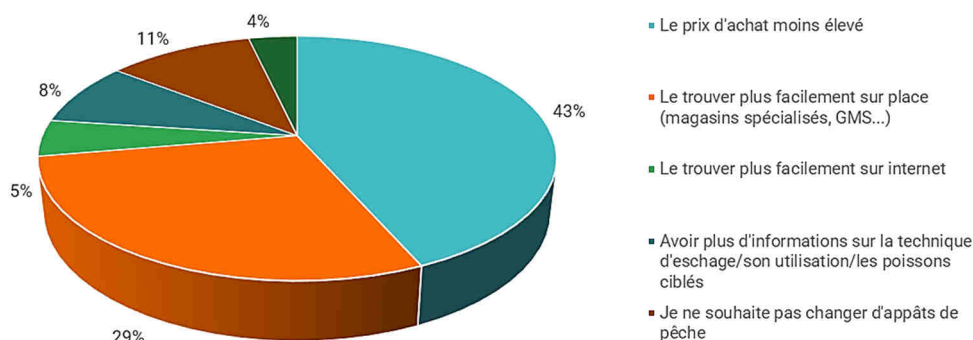


Figure 48. Critères cités pour initier une intégration du ver tube dans la routine des pêcheurs enquêtés

Une des personnes interrogées à indiquer que « le manque d'appâts et le prix très élevé deviennent récurrents et pesants ! On ne trouve presque plus du tout en Charente maritime de ver tube et d'arénicole ou alors hors de prix ! Alors qu'en Espagne ça ne coûte rien ! ». Un autre à ajouter « C'est un des meilleurs vers. Difficile à trouver en commerce et trop cher à l'achat ».

4.3 L'OFFRE

Les enquêtes ont été menées chez 6 magasins spécialisés et une GMS. Les enseignes interrogées se trouvent dans un rayon de 50 km autour du site de CAPENA (Château d'Oléron) (Fig.49). L'ensemble des entretiens se sont déroulés par échange téléphonique au cours du mois de mai 2024.



Figure 49. Cartographie des enseignes interrogées dans le cadre de cette étude de marché avec les magasins spécialisés (orange) et la GMS (vert)

Les réponses obtenus au cours de ces enquêtes ont montré que la majorité des magasins vendent des vers tubes dans leur structure, sauf « Le pêcheur d'Antioche » car il a des difficultés à trouver des fournisseurs. En ce qui concerne le prix, il est assez variable en fonction des structures : entre 0,62€ et 1,5€ le ver (Tab.13). Le magasin « Pro Pêche 17 » propose des vers tubes à un prix relativement bas avec une plus grosse quantité par boîte : 20 vers par boîte. En haute saison, c'est-à-dire l'été, ce magasin vend en moyenne 25 boîtes par jour soit 500 pièces. La fréquence d'achat baisse lorsque le prix augmente (« Au joyeux petit pêcheur ») et en période hivernale également où les sorties sont moins fréquentes (Fig.42.A). Toutefois, les vers tubes restent le ver le plus vendu dans ces structures et donc le plus apprécié dans la majorité des magasins sondés (sauf au « Comptoir de la mer » à la tremblade). Selon plusieurs magasins spécialisés, la raison de cet engouement est la provenance de ces vers principalement pêchés localement.

Tableau 13. Récapitulatif des informations fournies par les enseignes interrogées

Enseigne	Ver tube à la vente ?	Prix par ver (prix boîte/quantité)	Fournisseur(s)	Fréquence d'achat	Vers les plus vendus ?
Le pêcheur d'Antioche	NON car pas de fournisseurs/pêcheurs locaux	-	-	-	1. Dure 2. Jumbo 3. Arénicole
Au joyeux petit pêcheur	OUI	0,85€/ver (8,5€ une boîte de 10 vers)	- Normandie Appât - Pêcheur professionnel - Réapprovisionnement par employé en hiver	Été = 20 à 30 boîtes tout les 3j Hiver = 30 boîtes par semaine	1. Ver tube 2. Dure
Pro pêche 17	OUI	0,62€/ver (12,5€ une boîte de 20 vers)	Pêcheur professionnel : Bruno Barateau	Été = 25 boîtes par jour Hiver = 25 boîtes par semaine	1. Ver tube
Natura pêche 17	OUI	0,89€/ver (8,9€ une boîte de 10 vers)	App'vers (La Roche-sur-Yon)	Avril – Septembre 2023 = 200 boîtes	1. Ver tube
Le comptoir de la mer – Bourcefranc-le-Chapus	OUI	1,5€/ver (6,7€ un sachet de 4 à 5 vers)	LB Appât	Année 2023 = 57 sachets	1. Ver tube
Le comptoir de la mer – La Tremblade	OUI	1,5€/ver (6,7€ un sachet de 4 à 5 vers)	LB Appât	Juillet 2023 – Mai 2024 = 72 sachets	1. Arénicole 2. Ver tube
Décathlon - Rochefort	OUI	0,8€/ver (7,95€ une boîte de 10 vers)	Normandie Appât	-	-

En parallèle de ces enquêtes, l'entreprise Normandie Appât a été contactée pour échanger sur l'ampleur du marché du ver tube en France. Il s'agit du leader sur le marché des vers marins pour la pêche de loisir au niveau européen (<https://www.normandie-appats.com>).

Dans un premier temps, ils nous ont indiqué qu'ils avaient arrêté la vente de cet appât au niveau national depuis 2/3 ans. En effet pour eux la vente, surtout localisée dans le sud, était trop marginale. D'après leurs retours, le peu de demande serait dû à un prix trop élevé et une connaissance limitée sur ce ver par la plupart des plaisanciers. Ils seraient plus intéressés par les néréides (jumbo, dure et demi-dure) qui ont un meilleur rapport qualité/prix.

Les vers tubes vendus sous leur nom proviennent de grossistes partenaires qui développent leurs gammes d'appâts locaux. Ce qui explique que l'on peut en retrouver de Normandie Appât « au joyeux petit pêcheur » et au Décathlon de Rochefort.

4.4 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Le ver tube est un appât de pêche de loisir particulièrement apprécié dans la région Nouvelle-Aquitaine et plus précisément en Charente-Maritime. Les pêcheurs de loisir et les magasins sondés ont majoritairement mis en avant ce ver marin comme un appât de choix lors de cette étude de marché. L'approvisionnement semble être compliqué pour certaines structures ce qui démontre qu'un élevage de ce type peut se développer. Toutefois, son prix relativement élevé limite l'achat en magasin et certains pêcheurs préfèrent aller le pêcher eux-mêmes.

Il existe donc un marché pour l'élevage du ver tube *Diopatra biscayensis* en Nouvelle-Aquitaine, une région où le ver tube est connu. Pour étendre le marché, il serait intéressant de communiquer sur ce ver marin dans l'ensemble du territoire lors de salons dans d'autres régions par exemple.

5 UNE VOIE DE DIVERSIFICATION AVEC DE NOUVEAUX DEBOUCHES ?

5.1 RECHERCHE DE BIOMOLECULE D'INTERET DANS LE VER ET SON TUBE

5.1.1 Etat de l'art pour les vers du genre *Diopatra*

Dans le cadre d'une revue de littérature écrite par Arias et al. (2023), deux espèces du genre *Diopatra* sont décrites comme des sources de composés bioactifs avec un potentiel thérapeutique et anti-infectieuse. La première espèce en question est *Diopatra sugokai*, qui produit une protéase ayant des propriétés fibrinolytique et anticoagulante (Kim et al., 2018). La seconde espèce étudiée est *Diopatra clapedii*, dont les études ont mis en évidence des métabolites avec des activités antibactériennes contre *Escherichia coli* et *Pseudomonas aeruginosa* (Che Soh et al., 2020) ou encore *Staphylococcus* et *Salmonella typhi* (Piong et al., 2021).

Nous nous sommes questionnés sur la présence de l'hémoglobine valorisée par Hemarina comme transporteur d'oxygène universel pour des greffons par exemple (cf.§ 1.3.2). En effet, le ver *Arenicola marina* élevé par cette entreprise sur l'île de Noirmoutier, vit sur l'estran comme le ver tube et subit les mêmes variations des paramètres environnementaux dues au marnage. Nous supposons donc que le ver tube s'est adapté à son environnement et produit ce type de molécule qui peut être valorisé à l'avenir.

5.1.2 Résultats issus de l'équipe du Liens (Université de la Rochelle)

L'étude s'est déroulée sous forme de plusieurs stages de L3 et M1 sur la période 2023-2024, encadrés par Stéphanie Bordenave-Juchereau (Directrice du département de Biotechnologies). Les rapports de fin de stage sont en cours de finalisation.

5.2 ESSAI EN TANT QUE COMPLEMENT DANS L'ALIMENTATION DE LA CREVETTE IMPERIALE *PENAEUS JAPONICUS*

5.2.1 Contexte

En milieu naturel, les vers polychètes sont des proies choisies préférentiellement par les crevettes parmi la faune benthique (Lyndsay et al., 2022). Aujourd'hui ils représentent une véritable ressource alimentaire pour les systèmes de productions péneicoles dans le monde entier, grâce notamment à leur forte valeur nutritionnelle. Ils sont riches en Acide Gras (AG), particulièrement en Acides Gras Polyinsaturés (« PUFAS », acronyme en anglais) et en AG essentiels (Fidalgo e Costa et al., 2000 ; Paironhakul et al., 2021 ; Jerónimo et al., 2021 ; Kannappan et al., 2021). Cet apport via le régime alimentaire permet de palier à un défaut de synthèse de certains acides gras chez la crevette (Massucci, 2013 ; Moussa Dorgham et al., 2015). L'ensemble de ces phospholipides exercent une forte influence sur les capacités reproductives des crevettes pénéides en optimisant le développement et la maturation des gonades (Yang et al., 2022), en aidant l'induction de la ponte (Luis and Ponte, 1993), tout en améliorant la vitellogenèse et la production larvaire (Merlin et al., 2015 ; Vijayan et al., 2005). De la même façon, les polychètes sont également des sources d'hormones reproductives similaires à celles des crevettes : la progestérone (P4), la 17 α -hydroxyprogestérone et la prostaglandine (PGE2) (Meunpol et al., 2010 ; Meunpol et al., 2007 ; Chimsung, 2014).

Aujourd'hui on trouve en France l'élevage de deux espèces de crevettes pénéides. La première est l'espèce *Penaeus vannamei*, produite par l'entreprise ligérienne Lisaqua. Leur ferme est localisée à Saint-Herblain et génère plus de 10 tonnes par an de crevettes. A l'horizon de 2025, il souhaite ouvrir la plus grande ferme de crevettes d'Europe en Seine-et-Marne avec 500 tonnes/an. La seconde espèce élevée en métropole est *Penaeus japonicus* en coculture avec des huîtres *Magallana gigas* ou des palourdes *Ruditapes philippinarum* dans des claires ostréicoles. La majorité de la production de cette espèce est recensée en Charente-Maritime avec 40 tonnes déclarées sous démarche qualité (producteurs adhérents à l'ACRIMA) ce qui est très sous estimées par rapport au nombre de producteurs non-adhérents potentiels

réalisant une production sans suivi. Dans cette zone, on retrouve donc deux écloséries de cette espèce dont l'entreprise « Huitres impériales ». Il existe donc un vrai marché national en pleine expansion, visant l'intégration des vers polychètes dans l'alimentation des géniteurs de crevettes.

Dans le cadre du projet ANCOVA 17, des nouveaux débouchés sont recherchés pour un possible élevage du ver tube *Diopatra biscayensis*. Nous nous sommes donc questionnés sur l'utilisation du ver tube *Diopatra biscayensis* en tant qu'aliment complémentaire pour une production de crevette impériale *Penaeus japonicus* à deux stades différents : en pré-grossissement dans des marais et pour les géniteurs de l'entreprise « Huitres impériales ». L'objectif étant de mettre évidence l'intérêt de l'apport de ver tube *Diopatra biscayensis* dans l'alimentation des géniteurs de crevettes, pouvant jouer un rôle sur la fin de la maturation et l'induction de la ponte.

5.2.2 En cours de pré-grossissement – Juillet/Août 2023

5.2.2.1 Matériel & Méthode

L'expérimentation se déroule dans quatre claires de la série D de CAPENA (Centre pour l'Aquaculture et la Pêche en Nouvelle-Aquitaine). Les trois claires D6 (D6a, b et c ; Fig. 1) sont divisées en deux à l'aide de filets pour obtenir 6 réplicas de 16 m² (Fig 50, A1, A2, B1, B2, C1 et C2). Le protocole suivi pour le traitement des claires est le même que pour une exploitation standard de crevettes en marais à savoir l'assec, une filtration de l'eau entrante, des pièges à crabe et un filet de protection aviaire.

Les 210 crevettes impériales utilisées pour cette expérimentation proviennent de la société d'Ewenn Stephan localisée à Artouan (Charente-Maritime). Ces crevettes, d'un poids moyen de 7 g (Tab.14), issues d'un bassin de pré-grossissement, sont réparties pour l'expérience à une densité de deux individus par m² (élevage extensif) correspondant à 32 individus par réplica. De plus, pour palier une possible mortalité due à leur pêche par verveux, les manipulations et le changement de lieu de production, 3 individus ont été ajoutés par réplica (~ 10% de la population totale d'un réplica).

L'expérience a commencé le 26 juillet 2023 avec 35 crevettes mises à l'eau par réplica (Fig. 1).

Tableau 14. Récapitulatif du poids moyen (en g $\pm$ écart-type) des crevettes impériales par réplica

Condition	Alimentation conventionnelle			Alimentation avec ajout de ver tube		
Réplica	A1	B2	C2	A2	B1	C1
Poids moyen (g) $\pm$ écart-type	7,1 $\pm$ 1,33	7,3 $\pm$ 1,22	7,2 $\pm$ 1,65	7,1 $\pm$ 1,24	6,5 $\pm$ 1,27	7,8 $\pm$ 1,43

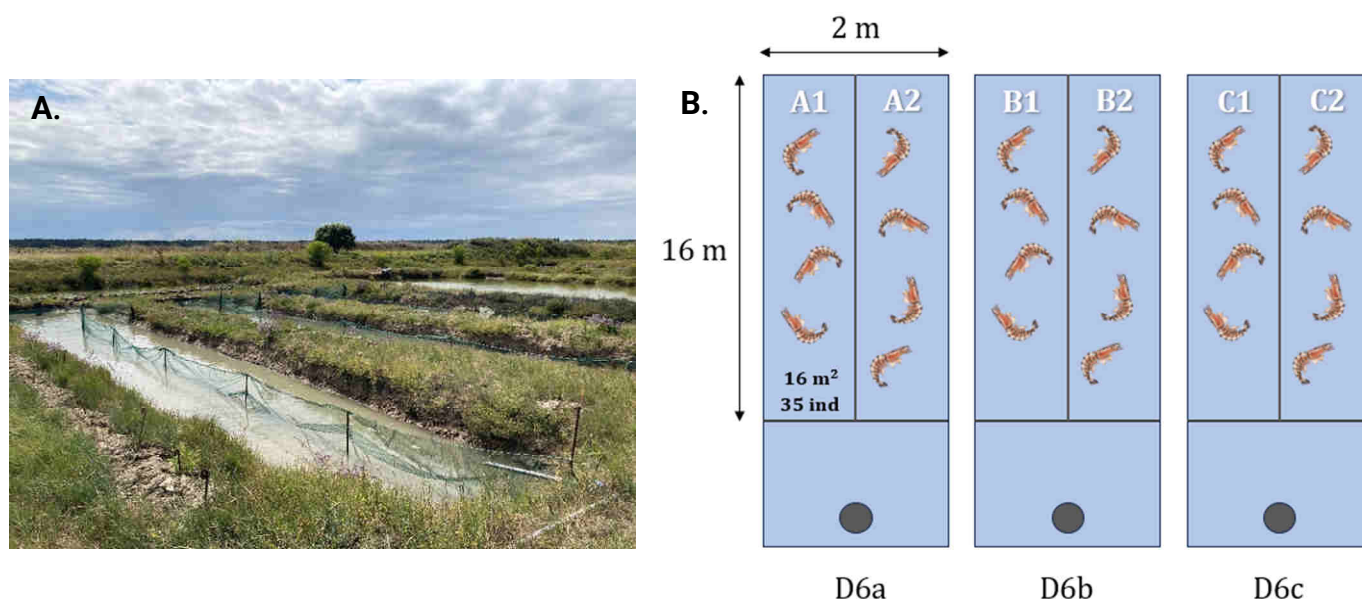


Figure 50. A. Photographie et B. Schéma des marais exploités à CAPENA

La claire D5 est également garnie de crevettes impériales pour vérifier leur appétence pour le ver tube. Pour cela, des vers tubes ont été déposés dans la claire lorsque les crevettes chassent, c'est-à-dire la nuit. Un casier à crevettes appâtée avec des vers tubes est déposé au milieu de la claire pendant 24h.

Une deuxième manipulation est réalisée en déposant des vers dans la claire avec une GoPro à proximité pour identifier les potentiels prédateurs de ces vers. Une dernière expérience s'est déroulée en milieu contrôlé (pour éviter toute prédation annexe), des crevettes ont directement été mis en contact avec des vers tubes pendant 24h.

- Mise en place du protocole de nourrissage

Nous avons choisi de comparer des crevettes nourries classiquement avec de l'aliment de la marque Coppens dans les élevages actuels, en complétant ou non leur alimentation avec des vers tubes congelés. Les claires A1, B2 et C2 seront les claires témoins, c'est-à-dire sans ajout de ver tube dans leur alimentation.

Le protocole de nourrissage est inspiré de la table de nourrissage issue des guides techniques de CAPENA (ex-CREAA depuis 2021) (Blachier, 1998) pour une densité de deux crevettes/m² (Fig.51).

L'apport d'aliment de la marque Coppens (« aliment carpe » dans le document du CREAA) a pour but de fertiliser le milieu, c'est-à-dire de nourrir les vers présents naturellement pour optimiser la présence de proie pour les crevettes. L'apport de ces granulés est le même pour les deux conditions (avec et sans ver tube) et suit les quantités journalières recommandées pour un élevage de deux crevettes/ m² (Fig.51).

Grossissement : aliment à apporter en g par m² de bassin en fonction du poids moyen des crevettes et de la densité réelle.

Poids	Jusqu'à 1 crevette/m ²		2 crevettes/m ²		3 crevettes/m ²		4 crevettes/m ²		5 crevettes/m ²	
	Crev.	Carpe	Crev.	Carpe	Crev.	Carpe	Crev.	Carpe	Crev.	Carpe
1 g	0	0	0	1	0	1	0	1		
2 g	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1
3 g	0	0	0	1	0	1	0	1	0,1	1
4 g	0	0	0	1	0	1	0,8	1	0,3	1
5 g	0	0	0	1	0	1	0,2	1	0,6	1
6 g	0	0	0	1	0,1	1	0,4	1	0,7	1
8 g	0	0	0	1	0,2	1	0,7	1	1,1	1
10 g	0	0	0	1	0,4	1	0,9	1	1,4	1
12 g	0	0	0	1,1	0,6	1	1,1	1	1,7	0,8
14 g	0	0	0	1,2	0,8	1	1,3	1	1,9	0,6
16 g	0	0	0	1,3	0,9	1	1,5	0,9	2,2	0,3
18 g	0	0	0	1,4	1,1	1	1,7	0,8	2,4	0
20 g	0	0	0	1,5	1,2	1	1,9	0,6	2,7	0
22 g	0	0	0	1,6	1,3	1	2,1	0,4	2,8	0
24 g	0	0	0	1,6	1,5	1	2,3	0		
26 g	0	0	0	1,7	1,6	0,9				

Figure 51. Table de nourrissage simplifiée pour le stade de pré-grossissement et grossissement (la colonne « Crev. » correspond à l'aliment spécifique à la crevette)

Ce qui change pour les répliques A2, B1 et C1, est l'apport de ver tube dont les quantités ont été calculé en parti en fonction d'un ratio entre le taux de protéines dans un ver tube et celui dans un aliment « type » pour crevette. En effet, en moyenne il y a 16,7 % de protéine dans un ver tube *Diopatra neapolitana* (Freitas et al., 2016 ; Freitas et al., 2015a ; Freitas et al., 2015b ; Pires et al., 2016 ; Pires et al., 2017 ; Carregosa et al., 2014 ; De Marchi et al., 2017) provenant des côtes portugaises et le niveau de protéine optimum que l'on retrouve dans la nourriture pour crevette est en moyenne 54,5% (Deshimaru and Yone, 1978). Il y a donc 3,3 fois moins de protéines dans un ver tube par rapport à la composition nutritionnelle que l'on retrouve dans un aliment formulé spécifiquement pour l'élevage de crevettes.

De plus, au regard de la table de nourrissage pour les crevettes élevées à deux individus/m², il semble qu'elles n'ont pas besoin d'un apport en nourriture pour « crevette » (Fig. 51). Néanmoins, pour mettre en évidence un potentiel gain de poids par ajout de ver tube dans leur alimentation, nous avons choisi de surestimer l'apport en protéine. C'est pour cette raison que pour cette expérimentation, une équivalence a été calculée en fonction du grammage par m² de bassin pour un élevage à trois individus/m². Par exemple, pour des crevettes d'un poids moyen de 7 g : un élevage avec trois crevettes/m² a besoin de 0,15 g/m²/journalier ce qui équivaut à 0,095 g/m²/journalier pour un élevage avec une densité de 2 crevettes/m². Le tableau 15 résume ces calculs en prenant en compte le poids moyen des crevettes au T₀ qui était d'environ 7 g et au gain de 2g en moyenne par semaine.

Tableau 15. Tableau de nourrissage pour un élevage avec une densité de 2 crevettes/m² (adaptation des notes techniques du CREAA)

Poids moyen (g)	ver tube (g/m ² /j)	Aliment vers Coppens (g/m ² /j)
7	0,095	1
9	0,2	1
11	0,375	1,05
13	0,505	1,15

Le tableau 16 permet de mettre en évidence les quantités totales d'aliment et notamment de ver tube, qu'il faudra récolter sur l'estran de Saint-Trojan-les-Bains (Plage du soleil, lieu de récolte habituel) pour toute l'expérimentation. Les vers seront stockés par portion de 100g dans des sachets plastiques à - 20°C.

Tableau 16. Equivalent des quantités d'aliments par semaine et au total

Semaine	Complément alimentaire ver tube (g/semaine/répliat)	Alimentation classique vers Coppens (g/semaine/ciaire)
1	90,288	576
2	221,76	672
3	415,8	705,6
4	399,96	552
Quantité totale	1127,808	2505,6

Dans le tableau 17, une représentation plus précise de la distribution d'aliment est détaillée en quantité d'aliment (g) par jour de nourrissage et distribuée par réplia au cours du mois d'expérimentation. Le nourrissage et le suivi des paramètres physico-chimique sont réalisés deux fois par semaine (le lundi et le jeudi) en fin d'après-midi.

Tableau 17. Tableau récapitulatif des portions de ver tube et d'aliment Coppens à distribuer au cours du mois d'expérimentation

Alimentation	Distribution	27-juil	31-juil	03-août	07-août	10-août	15-août	17-août
Ver tube	en g/répliat de 16 m ² (A2/B1/C1)	20,1	20,6	42,3	40,9	99	46,464	106,7
Coppens	en g/ciaire de 32 m ² (A/B/C)	128	96	128	97,6	168	70,4	147,2

A la fin de l'expérimentation, des verveux (nasses pour piéger les crevettes) ont été posés le lundi 21 août et relevés le lendemain matin. Une pêche de nuit a été programmé pour récupérer les dernières crevettes restantes le soir même.

Les paramètres suivis sur les crevettes sont le taux de survie (%) et le poids moyen (g). Un test de Wilcoxon sur le poids médian (g), a été réalisé pour mettre en évidence un potentiel effet significatif de l'apport de ver tube sur la prise de poids des crevettes impériales.

5.2.2.2 Résultats & Discussion

- Les claires D6

Cette expérience a débuté le 26 juillet 2023 avec une biomasse individuelle moyenne des crevettes impériales de 7 g. A la fin de l'expérience, celles-ci avaient un poids moyen de 15 g, ce qui correspond à une prise de poids de 8 g. Ce résultat est cohérent car nous avons estimé 2 g de gain de poids par semaine lors de la mise en place du protocole. Ce qui démontre que les crevettes étaient dans des conditions adéquates car leur prise de poids est similaire à des conditions d'élevage standard.

Il n'y a pas de différence significative entre les crevettes nourries de façon conventionnelle (condition témoin) et celles avec un ajout de ver tube dans leur alimentation (Test de Wilcoxon, $p > 0,05$) (Fig. 52.A). Comme nous pouvons le voir grâce aux valeurs des écart-types (Tab.18), la dispersion des données s'est accentuée au bout d'un mois d'expérimentation ce qui rend difficile la mise en évidence d'un possible effet sur le poids moyen.

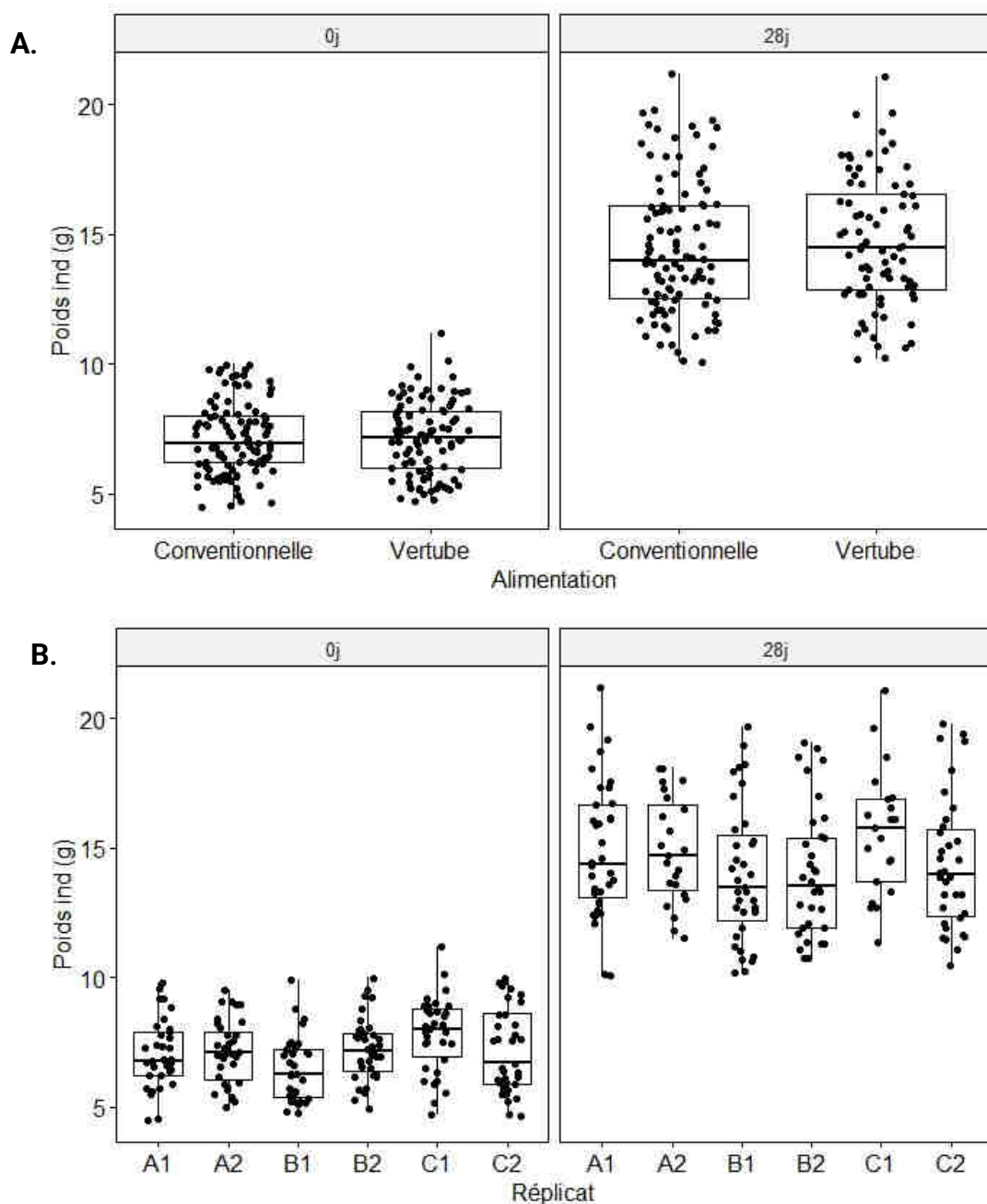


Figure 52. Effet de l'ajout de ver tube dans l'alimentation des crevettes impériales *Penaeus japonicus*

Analyses statistiques des biomasses individuelles en fonction A. des conditions (alimentation conventionnelle et alimentation conventionnelle avec ajout de ver tube), B. des réplicats (A1, B2 et C2 : alimentation conventionnelle et A2, B1 et C1 : alimentation conventionnelle avec ajout de ver tube) et au début ou au bout d'un mois d'expérimentation.

Le taux de recapture est très élevé pour quatre des six réplicats : entre 97% et 100% (Tab. 5). Néanmoins, les deux valeurs faibles (66% et 60%) peuvent s'expliquer potentiellement par de la prédation ou un échappement vers la partie de la claire non exploitée pour l'expérimentation (zone avec le bondon). En effet, deux crevettes ont été trouvées dans cette zone de la claire C. Cela peut s'expliquer par un écart sur le filet du côté du réplica C1.

Tableau 18. Résumé du taux de survie et du poids moyen pour les six répliques après un mois d'expérimentation

Condition	Alimentation conventionnelle			Alimentation avec ajout de ver tube		
Réplikat	A1	B2	C2	A2	B1	C1
Taux de survie (%)	100	97	97	66	100	60
Poids moyen (g) ± écart-type	15 ± 2,64	14,1 ± 2,49	14,4 ± 2,58	14,9 ± 2,09	14 ± 2,66	15,6 ± 2,42

- Expériences dans la claire D5

Le casier ne contenait pas de crevettes impériales (*Penaeus japonicus*). Néanmoins, comme on peut le voir sur la photographie ci-dessous (Fig.5), le contenu était composé de bouquet du marais (*Palaemon varians*), de crabe vert (*Carcinus maenas*) et de gobie (*Pomatoschistus sp.*). Ce sont des prédateurs avérés des vers tubes.

La raison pour laquelle nous n'avons pas retrouvé de crevettes impériales dans le casier est sûrement la conformation de celui-ci (spécifique aux crevettes roses). Les entrées latérales sont probablement trop petites pour accueillir les individus. La technique utilisée pour la pêche de la crevette impériale est l'utilisation de verveux vietnamiens non appâtés, elles s'y piègent en naviguant en pleine eau la nuit.



Figure 53. Photographie du casier, appâté avec du ver tube, et de son contenu après 24h d'immersion dans la claire D5

Les observations précédentes sont confirmées par les photographies C et D de la Figure 54 où l'on peut observer des gobies et des bouquets du marais très proches du tas de vers tubes dans la claire D5. Les photographies ont été prises entre 18h30 et 20h30. Cependant, on peut constater qu'à partir de 20h30 les vers ont subi une prédation totale avant que la nuit soit tombée et que les crevettes se mettent à naviguer et se nourrir. On peut douter de la validité de cette information sur les claires D6 (expérimentation décrite précédemment) car la prédation a été réduite par un assec et une vidange totale avant le début de l'expérience. En effet, seulement quelques crabes verts ont été pêchés en même temps que les crevettes à la fin de l'expérimentation dans le réplica C2.

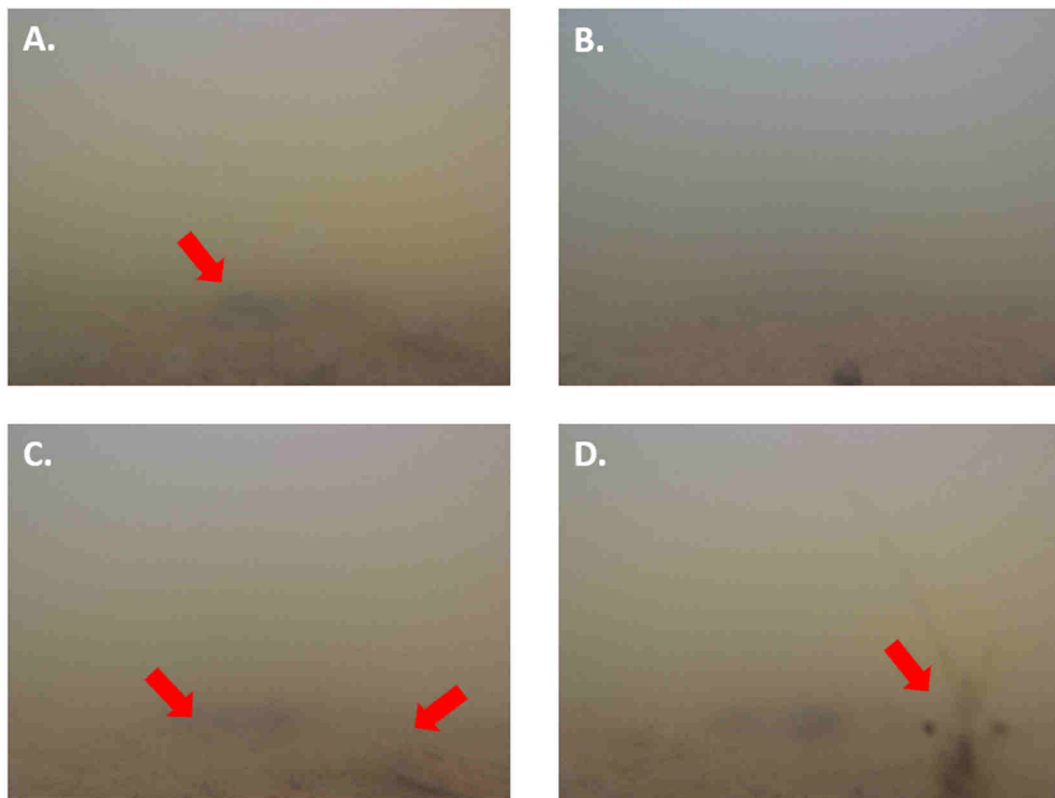


Figure 54. Suivi de vers déposés sur le fond de la claire D5

Timelapse (1photo/2s) par une GoPro le jeudi 17 août. A. Tas de vers à 18h30 (début de l'expérimentation). B. Plus de ver à 20h30 dû à une prédation : C. par des gobies et D. des bouquets du marais.

- Expérience complémentaire

Pour confirmer le fait que les crevettes impériales se nourrissent du ver tube *Diopatra biscayensis*, quatre individus ont été mis directement en contact avec des vers congelés dans un milieu contrôlé. C'est-à-dire pendant 24h, ces crevettes ont été placées dans une boîte qui elle-même était dans une cuve d'une centaine de litres d'eau de mer pour éviter les autres types de prédation (Fig.55).

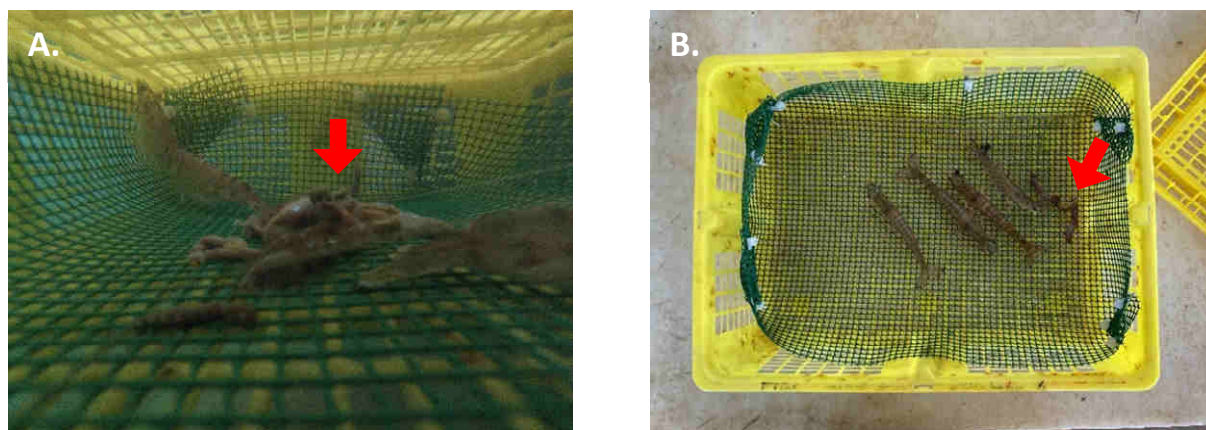


Figure 55. Photographies des crevettes impériales en présence des vers tubes congelés durant 24h

A. Au début de l'expérience, prise par une GoPro B. A la fin de l'expérience, il ne reste qu'un bout de ver.

Après 24h d'expérimentation, il ne restait qu'une petite partie des vers dans la boîte avec les quatre crevettes. De plus, on sait que les vers tubes ne se dégradent pas en 24h. On peut donc en déduire que celles-ci se sont nourries des vers tubes.

5.2.2.3 Conclusion & Perspectives

Les résultats de ces expérimentations ont montré que l'ajout de ver tube dans l'alimentation des crevettes impériales (*Penaeus japonicus*) n'a pas d'effet sur leur prise de poids après 28 jours de test. Or, on sait que les crevettes se nourrissent des vers tubes décongelés qui ont été proposés lors de cette expérimentation. Néanmoins, on peut se questionner sur l'heure de nourrissage qui serait plus adaptée à la tombée de la nuit (lorsque les crevettes sont actives) plutôt qu'en fin d'après-midi. En effet, cela permettrait de limiter la prédation par les crabes verts, les bouquets des marais et les gobies.

De plus, concernant la durée d'expérimentation, elle était peut-être trop courte pour mettre en évidence un effet sur la croissance. En effet, nous pouvons envisager un test sur la totalité de la phase de grossissement qui est de deux mois. Toutefois, la quantité totale de ver tube pour le nourrissage serait donc doublée (plus de 2 kg), ce qui demandera une anticipation et un soutien technique plus important pour préparer cette expérimentation.

5.2.3 Pour un cheptel de géniteur

Un test a été réalisé dans l'écloserie de crevettes « Huitres impériales » à la fin de la saison de ponte (fin mai 2024), avec deux femelles dont l'une a été nourrie avec des vers « néréis » et des moules et l'autre uniquement avec du ver tube. Au stade de la maturation, l'exploitant Frédéric Madroux, indique que le ver tube a accéléré le processus mais pas de manière significative par rapport aux géniteurs nourris de manière conventionnelle : 1 à 2 jours de différence sur quinze jours. De plus, il ne semble pas avoir de différence entre le nombre

de nauplii (premier stade des larves) par ponte : 23000 et 22000 individus pour les deux conditions.

Il est difficile de tirer des conclusions sur cette expérimentation avec trop peu d'individus testés. Un nouveau test doit être mené en séparant totalement des lots de géniteurs dans les deux conditions en comptant le nombre d'œufs fécondés par ponte pour estimer le taux de fécondité, la survie des larves et post-larves.

6 CONCLUSION GENERALE & PERSPECTIVES

L'élevage de vers marins est une production d'avenir que ce soit dans le cadre d'un système d'AMTI (Jerónimo et al., 2020; Jerónimo et al., 2021) ou pour offrir une voie de diversification aux aquaculteurs, et notamment les ostréiculteurs de Charente-Maritime. Les recherches et la mise en place de ce type de production nécessitent des années à l'image de l'entreprise Polychaeta (cf.§1.3.2). Les connaissances limitées sur la biologie de l'espèce d'intérêt *Diopatra biscayensis* dans le milieu naturel rend la tâche encore plus ardue. Néanmoins, les études menées par CAPENA sur cette espèce a permis d'affiner les connaissances et d'en apprendre davantage sur sa reproduction et sur les paramètres influençant son développement.

En effet, les premiers résultats obtenus lors du projet MEDIHOM (2021) ont été consolidés au cours de cette étude ANCOVA 17. La maturation sexuelle peut être induite en augmentant progressivement la température de l'eau à 21°C sans que la régénération de la partie postérieure impact négativement le phénomène. Ce résultat est similaire dans le milieu naturel où la maturation n'est pas affectée pour des individus avec la partie antérieure régénérée.

L'étude des stades larvaires n'a pas pu être développée dans ce projet car aucun sac gélatineux n'a été observé dans le milieu naturel ou lors des expérimentations en milieu contrôlé. La maîtrise en milieu contrôlé de cette étape, peut donc être un point de blocage pour le développement de cet élevage.

En ce qui concerne les phases de pré-grossissement et grossissement, elles sont possibles dans les mannes remplies de sable. La période idéale semble être l'été car les températures sont plus adaptées pour optimiser leur croissance. Néanmoins, il sera nécessaire de réaliser des études complémentaires pour définir l'environnement le plus adéquate : à savoir les marais ostréicoles ou sur l'estran sous les structures d'élevage d'huîtres ?

Il peut être également intéressant d'intégrer l'espèce *Diopatra neapolitana* dans la mise en place de ce type d'élevage. Il s'agit d'une espèce du genre *Diopatra* beaucoup plus étudiée sur le continent européen. Plusieurs articles décrivent sa biologie, dans l'un d'eux, les auteurs ont réussi à produire des larves grâce à une fécondation *in vitro* (Pires et al., 2012b). De plus, il est possible de pêcher des vers entiers pour obtenir des géniteurs qui ne seront pas biaisés à cause de la régénération (cf.§2.3.1). Concernant sa valorisation, il existe un marché pour le ver tube au niveau de la région Nouvelle-Aquitaine où il n'y a pas distinction entre ces deux espèces. Un projet pourrait également s'envisager dans le Bassin d'Arcachon, où cohabitent sur l'estran les deux espèces du genre *Diopatra* présentes en Nouvelle-Aquitaine.

Remerciements

Nous tenons à remercier toutes les personnes et structures qui ont participé à ce projet à commencer par Vincent Gayet et Aurélie Chamaret du le lycée de Bourcefranc-le-Chapus pour leur implication dans le projet. Puis, Gregory Raymond de l'Institut Agro pour son accompagnement et ses conseils tout au long du projet. Nous souhaitons également remercier Ewenn Stephen et Alexandre Boinot pour leur aide dans la mise en place de l'expérimentation de pré-grossissement dans les marais de CAPENA. Et enfin Frédéric Madroux, gérant de l'entreprise « Huitres Impériales » et Stéphanie Bordenave du Liens de l'université de la Rochelle pour leur participation au développement de cette nouvelle filière.

Annexe I : Protocole d'analyse des ovocytes

- Préparation de l'échantillon

Etape 1 : Stocker les vers tubes dans de l'eau de mer à la même température/salinité que le milieu naturel.

Etape 2 : Préparation d'une solution anesthésiante avec du Chlorure de Magnésium anhydre ($MgCl_2$) à 2%. Puis répartition de la solution dans des boîtes de pétri contenant des vers encore dans leur tube.

Attention : Ne pas laisser les vers plus d'une heure dans la solution de $MgCl_2$ pour éviter que les tissus/organites ne se dégradent à cause du produit chimique. Laisser les vers en attente dans de l'eau de mer saine puis en mettre quelques-uns dans la solution et en ajouter au fur et à mesure.

Etape 3 : S'assurer que le ver est bien anesthésié en testant les réactions à des stimuli physiques puis vérifier qu'il s'agit de l'espèce *Diopatra biscayensis* (un lobe chaetal sur les premiers parapodes modifiés).

Etape 4 : Positionner le ver en mettant sa partie ventrale en évidence. Compter les cinquante sétigères en partant de la tête, et utiliser une seringue pour pomper le liquide coelomique.

Etape 5 : Disposer le liquide prélevé sur une cellule de comptage (notamment utilisé pour le comptage des larves d'huitres) et regarder sous un microscope optique.

- Analyse des ovocytes sous le microscope

Etape 6 : Relever le diamètre de quarante ovocytes par ver grâce à un optique gradué. Utiliser les cellules de comptage pour se repérer et éviter de relever le diamètre d'un même ovocyte.

Etape 7 : Si l'ovocyte est circulaire de façon homogène, alors prendre une seule valeur du diamètre. Au contraire, si l'ovocyte a une forme hétérogène alors faire la moyenne entre la plus courte et longue distance.

Annexe II : Critères de sélection des vers utilisés pour les expérimentations

Fréquemment lors des campagnes de prélèvements, nous retrouvons des individus avec des parties régénérés. Il est assez aisé de reconnaître cette caractéristique car ces zones sont souvent plus claires que la partie du corps initial.

Les vers ne doivent pas avoir des parties antérieures ou postérieures en cours de régénération. Comme nous pouvons le constater sur la Figure 56, les parties en cours de régénération sont plus petites que le reste du corps. Les individus dans cette situation sont donc exclus de l'expérimentation car cela est considéré comme un biais.

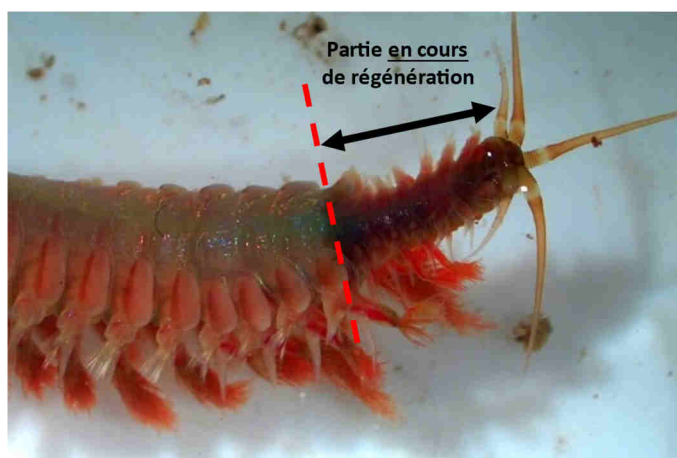


Figure 56. Individu avec sa partie antérieure en cours de régénération

A l'inverse, les individus qui ont une partie complètement régénérés ont pu être sélectionnés pour cette expérimentation. Pour s'assurer que la régénération soit finie, il faut que le diamètre de la partie non régénérée soit le même que le dernier sétigère régénéré comme pour le ver sur la Figure 57 ci-dessous.

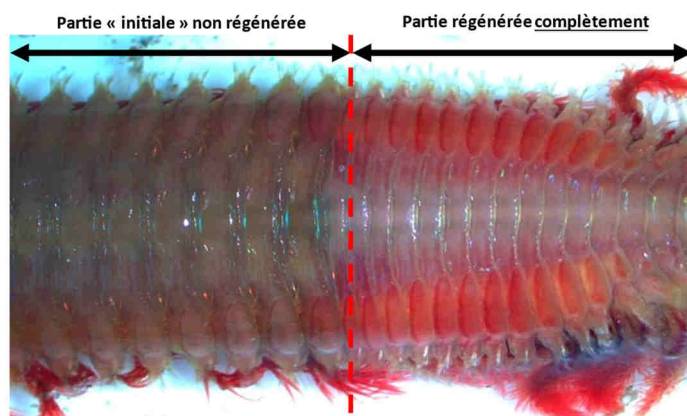


Figure 57. Individu avec sa partie antérieure complètement régénérée

Bibliographie

- Åkesson B** (1974) Morphology and Life History of *Ophryotrocha maculata* sp. n. (Polychaeta, Dorvilleidae). *Zool Scripta* **2**: 141–144
- Andries J-C** (2001) Endocrine and environmental control of reproduction in Polychaeta. *Can J Zool* **79**: 254–270
- Arias A, Paxton H** (2015) The cryptogenic bait worm *Diopatra biscayensis* Fauchald et al., 2012 (Annelida: Onuphidae) – Revisiting its history, biology and ecology. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **163**: 22–36
- Arias A, Paxton H, Budaeva N** (2016) Redescription and biology of *Diopatra neapolitana* (Annelida: Onuphidae), a protandric hermaphrodite with external spermaducal papillae. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **174**: 1–17
- Arias A, Richter A, Anadón N, Paxton H** (2013) Evidence of simultaneous hermaphroditism in the brooding *Diopatra marocensis* (Annelida: Onuphidae) from northern Spain. *J Mar Biol Ass* **93**: 1533–1542
- Arias A, Woodin SA, Paxton H** (2023) An Introduction to *Diopatra*, the Amazing Ecosystem Engineering Polychaete. *Biology* **12**: 1027
- Baeta M, Navarrete A, Ballesteros M** (2019) First description of a new worm bait fishery in the NW Mediterranean Sea. *Medit Mar Sci* **20**: 302
- Bailey-Brock JH** (1984) Ecology of the tube-building polychaete *Diopatra leuckarti* Kinberg, 1865 (Onuphidae) in Hawaii: community structure, and sediment stabilizing properties*. *Zoological Journal of the Linnean Society* **80**: 191–199
- Barrington K, Chopin T, Robinson S** (2009) Integrated mariculture: a global review. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome
- Bergamo G, Carrerette O, Nogueira JMDM** (2019) Continuous and non-seasonal reproductive cycle of the alien species *Diopatra neapolitana* (Onuphidae, Annelida) in a tropical bay of SW Atlantic. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **231**: 106479
- Berke SK** (2022) A Review of *Diopatra* Ecology: Current Knowledge, Open Questions, and Future Threats for an Ecosystem Engineering Polychaete. *Biology* **11**: 1485
- Berke SK, Cruz V, Osman RW** (2009) Sublethal Predation and Regeneration in Two Onuphid Polychaetes: Patterns and Implications. *The Biological Bulletin* **217**: 242–252
- Bowman RE, Stillwell CE, Michaels WL, Grosslein MD** (2000) Food of Northwest Atlantic Fishes and Two Common Species of Squid.
- Brenchley GA** (1976) Predator detection and avoidance: Ornamentation of tube-caps of *Diopatra* spp. (Polychaeta: Onuphidae). *Mar Biol* **38**: 179–188
- Chérel D** (2020) L'atrésie ovocytaire chez les bivalves *Cerastoderma edule* (Linné, 1758) et *Tapes philippinarum* (Adams et Reeve, 1850).

- Cole VJ, Chick RC, Hutchings PA** (2018) A review of global fisheries for polychaete worms as a resource for recreational fishers: diversity, sustainability and research needs. *Rev Fish Biol Fisheries* **28**: 543–565
- Crisp M** (1977) The development of the serpulid *Pomatoleios kraussii* (Annelida, Polychaeta). *Journal of Zoology* **183**: 147–160
- Cunha T, Hall A, Queiroga H** (2005) Estimation of the *Diopatra neapolitana* annual harvest resulting from digging activity in Canal de Mira, Ria de Aveiro. *Fisheries Research* **76**: 56–66
- David AA, Williams JD** (2012) Asexual reproduction and anterior regeneration under high and low temperatures in the sponge associate *Polydora colonia* (Polychaeta: Spionidae). *Invertebrate Reproduction & Development* **56**: 315–324
- De León-González JA, Cornejo-Rodriguez MH, Degraer S** (2008) A new species of *Australonuphis* (Polychaeta: Onuphidae) from the eastern Pacific. *J Mar Biol Ass* **88**: 739–742
- Escobar-Ortega D, Couceiro L, Muíño R, No E, Fernández N** (2022a) Insights into Environmental Drivers on the Reproductive Cycle of *Diopatra neapolitana* (Polychaeta: Onuphidae). *Biology* **11**: 1504
- Escobar-Ortega D, Fernández N, Casal G, Muíño R, Couceiro L** (2024) Understanding the density patterns of the polychaete *Diopatra neapolitana* and its relationship with environmental factors in the NW Spain. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **296**: 108590
- Escobar-Ortega D, Fernández N, Muíño R, Parapar J, Bettoso N, Couceiro L** (2022b) On the presence of a giant bristle worm (*Eunice roussaei*) IN NW Iberian Peninsula: Comments on its taxonomy and reproductive cycle. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **274**: 107899
- Fauchald K, Berke SK, Woodin SA** (2012) *Diopatra* (Onuphidae: Polychaeta) from intertidal sediments in southwestern Europe. *Zootaxa* **3395**: 47
- Febvre M** (1975) Contribution à l'étude de l'atrésie ocoytaire chez *Serranus cabrilla* en captivité. *Revue des Travaux de l'Institut des Pêches Maritimes* 343–351
- Ferri A, Righi S, Prevedelli D, Simonini R** (2024) Optimal growth and feeding behaviour of the valuable bait *Halla parthenopeia* (Polychaeta: Oenonidae) in small-scale rearing systems. *Aquaculture* **580**: 740289
- Galaska MP, Wetthey DS, Arias A, Dubois SF, Halanych KM, Woodin SA** (2021) The impact of aquaculture on the genetics and distribution of the onuphid annelid *Diopatra biscayensis*. *Ecology and Evolution* **11**: 6184–6194
- García del Real J, Canteras J, Bedia J, Valcarce A, González J, Ansorena F, Laso L, Gautier A** (2007) Técnicas aplicables al cultivo de gusanos marinos para su producción intensiva. 66–74
- Hartman O** (1959) Catalogue of the polychaeta. Allan Hancock Foundation, University of Southern California Press, Los Angeles
- Harwell MC, Orth RJ** (2001) Influence of a tube-dwelling polychaete on the dispersal of fragmented reproductive shoots of eelgrass. *Aquatic Botany* **70**: 1–7
- Hole W** (2000) Demersal Fish and American Lobster Diets in the Lower Hudson - Raritan Estuary.

- Jerónimo D, Lillebø AI, Maciel E, Domingues MRM, Cremades J, Calado R** (2021) Unravelling the fatty acid profiles of different polychaete species cultured under integrated multi-trophic aquaculture (IMTA). *Sci Rep* **11**: 10812
- Jerónimo D, Lillebø AI, Santos A, Cremades J, Calado R** (2020) Performance of polychaete assisted sand filters under contrasting nutrient loads in an integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) system. *Sci Rep* **10**: 20871
- Jobson S, Hamel J-F, Mercier A** (2024) Shake it off: exploring drivers and outcomes of autotomy in marine invertebrates. *Biol Lett* **20**: 20240015
- Jumars PA, Dorgan KM, Lindsay SM** (2015) Diet of Worms Emended: An Update of Polychaete Feeding Guilds. *Annu Rev Mar Sci* **7**: 497–520
- Kent AC, Day RW** (1983) Population dynamics of an infaunal polychaete: The effect of predators and an adult-recruit interaction. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **73**: 185–203
- Lewis C** (2005) Aspects of the reproductive biology of the South African polychaete, *Arenicola loveni loveni* (Kinberg 1866). *Invertebrate Reproduction & Development* **48**: 147–160
- Lewis C, Olive PJW, Bentley MG, Watson G** (2002) Does seasonal reproduction occur at the optimal time for fertilization in the polychaetes *Arenicola marina* L. and *Nereis virens* Sars? *Invertebrate Reproduction & Development* **41**: 61–71
- Licciano M, Murray JM, Watson GJ, Giangrande A** (2012) Morphological comparison of the regeneration process in *Sabella spallanzanii* and *B. ranchiommma luctuosum* (Annelida, Sabellida). *Invertebrate Biology* **131**: 40–51
- Mangum CP, Santos SL, Rhodes W** (1968) Distribution and feeding in the onuphid polychaete, *Diopatra cuprea* (Bose). 2:
- Miron G, Desrosiers G, Retière C, Lambert R** (1991) Dispersion and prospecting behaviour of the polychaete *Nereis virens* (Sars) as a function of density. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **145**: 65–77
- Nash R, Keegan BF** (2003) Reproductive cycle of *Bispira volutacornis* (Polychaeta: Sabellidae) on the west coast of Ireland. *Marine Biology* **143**: 919–925
- Nesto N, Simonini R, Prevedelli D, Da Ros L** (2018) Evaluation of different procedures for fertilization and larvae production in *Hediste diversicolor* (O.F. Müller, 1776) (Nereididae, Polychaeta). *Aquac Res* **49**: 1396–1406
- Olive PJW** (1978) Reproduction and Annual Gametogenic Cycle in *Nephtys hombergfi* and *N. caeca* (Polychaeta: Nephtyidae). *Marine Biology* **83**: 83–90
- Olive PJW** (1999) Polychaete aquaculture and polychaete science: a mutual synergism. In AWC Dorrestein, W Westheide, eds, *Reproductive Strategies and Developmental Patterns in Annelids*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp 175–183
- Parandavar, Hossein, Kim, Kyeong-Hun, Kim, Chang-Hoon** (2015) Effects of Rearing Density on Growth of the Polychaete Rockworm *Marphysa sanguinea*. *Fisheries and aquatic sciences* **18**: 57–63

- Paxton H, Fadlaoui S, Lechapt J-P** (1995) *Diopatra Marocensis*, a New Brooding Species of Onuphidae (Annelida: Polychaeta). *J Mar Biol Ass* **75**: 949–955
- Pesch CE, Zajac RN, Whitlatch RB, Balboni MA** (1987) Effect of intraspecific density on life history traits and population growth rate of *Neanthes arenaceodentata* (Polychaeta: Nereidae) in the laboratory. *Mar Biol* **96**: 545–554
- Pflugfelder O** (1929) Histogenetische und organogenetische Prozesse bei der Regeneration polychaeter Anneliden. I. Regeneration des Vorderendes von *Diopatra amboinensis*. *wissenschaftliche Zoologie* 121–210
- Pires A, Figueira E, Moreira A, Soares AMVM, Freitas R** (2015) The effects of water acidification, temperature and salinity on the regenerative capacity of the polychaete *Diopatra neapolitana*. *Marine Environmental Research* **106**: 30–41
- Pires A, Freitas R, Quintino V, Rodrigues AM** (2012a) Can *Diopatra neapolitana* (Annelida: Onuphidae) regenerate body damage caused by bait digging or predation? *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **110**: 36–42
- Pires A, Gentil F, Quintino V, Rodrigues AM** (2012b) Reproductive biology of *Diopatra neapolitana* (Annelida, Onuphidae), an exploited natural resource in Ria de Aveiro (Northwestern Portugal). *Marine Ecology* **33**: 56–65
- Pires A, Paxton H, Quintino V, Rodrigues AM** (2010) *Diopatra* (Annelida: Onuphidae) diversity in European waters with the description of *Diopatra micrura*, new species. *Zootaxa*. doi: 10.11646/zootaxa.2395.1.2
- Premoli MC, Sella G** (1995) Sex economy in benthic polychaetes. *Ethology Ecology & Evolution* **7**: 27–48
- Rangel LF, Santos MJ** (2009) *Diopatra neapolitana* (Polychaeta: Onuphidae) as a Second Intermediate Host of *Gymnophallus choledochus* (Digenea: Gymnophallidae) in the Aveiro Estuary (Portugal): Distribution Within the Host and Histopathology. *Journal of Parasitology* **95**: 1233–1236
- Rodrigues AM, Pires A, Mendo S, Quintino V** (2009) *Diopatra neapolitana* and *Diopatra marocensis* from the Portuguese coast: Morphological and genetic comparison. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **85**: 609–617
- Safarik M, Redden AM, Schreider MJ** (2006) Density-dependent growth of the polychaete *Diopatra aciculata*. *Sci Mar* **70**: 337–341
- Scaps P, Brenot S, Retiere C, Desrosiers G** (1998) Space Occupation by the Polychaetous Annelid *Perinereis Cultrifera*: Influence of Substratum Heterogeneity and Intraspecific Interactions on Burrow Structure. *J Mar Biol Ass* **78**: 435–449
- Sella G** (1988) Reciprocation, Reproductive Success, and Safeguards Against Cheating in a Hermaphroditic Polychaete Worm, *Ophryotrocha diadema* Åkesson, 1976. *The Biological Bulletin* **175**: 212–217
- Sella G, Premoli MC, Turri F** (1997) Egg trading in the simultaneously hermaphroditic polychaete worm *Ophryotrocha gracilis* (Huth). *Behavioral Ecology* **8**: 83–86
- Storch V, Welsch U** (1969) Zur Feinstruktur des Nuchalorgans von *Eurythoe complanata* (Pallas) (Amphinomidae, Polychaeta). **100**: 411–420

- Thomsen MS, McGlathery K** (2005) Facilitation of macroalgae by the sedimentary tube forming polychaete *Diopatra cuprea*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **62**: 63–73
- Van Rensburg H, Matthee CA, Simon CA** (2020) Moonshine worms (*Diopatra aciculata* : Onuphidae, Annelida) in the Knysna Estuary, South Africa; taxonomy and distribution. *J Mar Biol Ass* **100**: 897–907
- Vasseur L** (2021) Étude de faisabilité d'un élevage du ver tube *Diopatra biscayensis*.
- Wang H, Hagemann A, Malzahn AM, Handå A, Uhre M, Kjørsvik E, Reitan KI** (2020) The Role of Manipulating Photoperiod and Temperature in Oocyte Development of the Polychaete *Hediste diversicolor* (O.F. Müller, 1976). *Front Mar Sci* **7**: 544061
- Watanabe K, Tamai K, Numachi K** (1992) Feeding Habits and Distribution Pattern of Two Forms of Flatfishes (Genus *Pleuronichthys*) in Kiisuido Channel Waters off the Pacific Coast of Central Japan. *NIPPON SUISAN GAKKAISHI* **58**: 2253–2260
- Watson GJ, Bentley MG, Gaudron SM, Hardege JD** (2003) The role of chemical signals in the spawning induction of polychaete worms and other marine invertebrates. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **294**: 169–187
- Watson GJ, Murray JM, Schaefer M, Bonner A** (2017) Bait worms: a valuable and important fishery with implications for fisheries and conservation management. *Fish and Fisheries* **18**: 374–388
- Watson GJ, Williams ME, Bentley MG** (2000) Can synchronous spawning be predicted from environmental parameters? A case study of the lugworm *Arenicola marina*. *Marine Biology* **136**: 1003–1017
- Wetthey DS, Woodin SA** (2008) Ecological hindcasting of biogeographic responses to climate change in the European intertidal zone. *Hydrobiologia* **606**: 139–151
- Woodin SA** (1978) Refuges, Disturbance, and Community Structure: A Marine Soft-Bottom Example. *Ecology* **59**: 274–284
- Woodin SA** (1981) Disturbance and Community Structure in a Shallow Water Sand Flat. *Ecology* **62**: 1052–1066
- Woodin SA, Wetthey DS, Dubois SF** (2014) Population structure and spread of the polychaete *Diopatra biscayensis* along the French Atlantic coast: Human-assisted transport by-passes larval dispersal. *Marine Environmental Research* **102**: 110–121
- Zajac RN** (1985) The effects of sublethal predation on reproduction in the spionid polychaete *polydora ligni* Webster. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **88**: 1–19
- Zajac RN** (1986) The effects of intra-specific density and food supply on growth and reproduction in an infaunal polychaete, *Polydora ligni* Webster. *J Mar Res* **44**: 339–359



Laura Vasseur

Chargée de mission aquaculture
contact@cape-na.fr

CAPENA – Expertise et Application

Prise de Terdoux 17480 Le Château d'Oléron
<https://www.cape-na.fr/>



RÉGION
**Nouvelle-
Aquitaine**

