

République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة أبو بكر بلقايد- تلمسان
Université ABOUBEKR BELKAID – TLEMEN
كلية علوم الطبيعة والحياة، وعلوم الأرض والكون
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, et des Sciences de la Terre et de
l'Univers
Département d'Ecologie et Environnement



MÉMOIRE

Présenté par

MEDJDOUB SANAA

En vue de l'obtention du

Diplôme de MASTER

En Sciences de la mer

Thème

**Étude comparative de quelques protocoles d'élevage des
copépodes (Crustacea)**

Soutenu le 10/07/2021, devant le jury composé de :

Président Mr BOUCHIKHI TANI Zoheir MCA Université de Tlemcen

Encadrant Mr MAHI Abdelhakim. MCA Université de Tlemcen

Examineur Mme BENMANSOUR Bouchra. MAA Université de Tlemcen

Année universitaire 2020/2021

تلخيص:

كانت الدراسة المقارنة لبعضير وتوكولات تربية مجدافيات الأرجل (القشريات) موضوعاً طرحت نهاية الدورة هذه. كان الهدف من هذا العمل هو معرفة الطرق المختلفة لتربية مجدافيات الأرجل ومقارنتها، والطرق التي وجدناها هي التربية الأحادية النوع التي تمثل تربية نوع واحد من مجدافيات الأرجل، التربية المختلطة والتي تعرفها بتربية نوعين من مجدافيات الأرجل أو أكثر. قادتنا النتائج إلى القول بأنها لا يمكننا تحديد الطريقة الأفضل لأننا نتجت مختلف حسب أنواع مجدافيات الأرجل.

كلمات مفتاحية:

مجدافيات الأرجل، تربية، التربية الأحادية النوع، التربية المختلطة.

Abstract :

The comparative study of some protocols of culture of copepods (Crustacea) was the subject of this thesis.

The aim of this work was to know the different methods of culture of copepods and to compare them, the methods found are the monoculture which represents the breeding of only one species of copepod, and the mixed culture which is defined by the breeding of several species of copepods (2 or more).

The results led us to say that we cannot define which is the best method because the results differ from one species to another.

Key words: copepod, breeding, monoculture, mixed culture.

Résumé :

L'étude comparative de quelques protocoles d'élevage des copépodes (Crustacea) a fait l'objet de ce mémoire de fin de cycle.

Le but de ce travail a été de connaître les différentes méthodes de culture des copépodes et les comparer, les méthodes trouvées sont la monoculture qui représente l'élevage d'une seule espèce de copépode, et la culture mixte qui se définit par l'élevage de plusieurs espèces de copépodes (2 ou plus).

Les résultats nous ont mené à dire qu'on ne peut pas définir quelle est la meilleure méthode car les résultats diffèrent d'une espèce à l'autre.

Mots clés : copépode, élevage, monoculture, culture mixte.

Remerciements

*Je tiens tout d'abord à remercier **ALLAH** le tout puissant de m'avoir donné la force, le courage, la patience et la volonté d'accomplir ce modeste travail.*

*Je remercie vivement Mr **MAHI ABDELHAKIM** maitre de conférences au département d'Ecologie et Environnement à l'université Abou Bekr Belkaid Tlemcen de m'avoir encadré et facilité les conditions de la réalisation de cette étude. Je lui témoigne mes profondes reconnaissances, pour ses précieux conseils, ses orientations bienveillantes, son soutien permanent et sans relâche sa disponibilité, ses encouragements et son soutien moral.*

*Je remercie **BOUCHIKHI TANI Z.** maitre de conférences au département d'Ecologie et Environnement à l'université Abou Bekr Belkaid Tlemcen de l'intérêt qu'il a bien voulu porter à ce travail en acceptant de présider le jury. je tiens à vous exprimer mon profond respect et mon estime.*

*Je tiens à remercier **M^{me} BENMANSOUR B.** qui m'a fait l'honneur d'examiner ce travail. Qu'elle soit assurée de ma profonde gratitude.*

Mes remerciements vont ensuite à tous les enseignants qui ont pu faire de cette formation une réussite, ils nous ont offert un cadre et une expérience très enrichissante tant sur le plan scientifique mais aussi humain.

Ma profonde gratitude et mon obligeance va ensuite envers ma famille et mes amies leur foi en moi et leur soutien m'ont été primordiaux,

Enfin, je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail
A ceux qui ont attendu avec patience le fruit de leur éducation,
mes parents.*

*A toi mon père MEDJDOUB ABDESSAMAD, l'homme de
ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et ma source de
joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir
réussir.*

*A toi maman BERIKSI REGUIG FARIDA, la lumière de mes
jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et
mon bonheur. Votre prière et votre bénédiction m'ont été d'un
grand secours pour mener à bien mes études Que DIEU vous
procure une bonne santé et une longue vie.*

A toute ma famille sans exception.

A mes meilleures amies RASHA, INTISSAR, RANIA

SANAA

Liste des figures

Figure 1 : Schéma de la morphologie générale externe d'un copépode. **P4**

Figure 2 : Traits du cycle de vie d'un copépode. **P6**

Figure 3 : Répartition géographique des copépodes. **P7**

Figure 4: Distribution géographique des espèces et genres des copépodes d'eau douce (nombre d'espèces / Nombre de genre), codés selon les principales régions zoogéographiques. **P8**

Figure 5 : *Parvocalanus crassirostris*. **P12**

Figure 6a : *P. crassirostris* Femelle. **P14**

Figure 6b : *P. crassirostris* Mâle. **P14**

Figure 7 : *P. crassirostris* a. Femelle b. Mâle. **P15**

Figure 8 : Stades de développement de *Parvocalanus crassirostris*. **P17-P18**

Figure 9 : Femelle adulte vivante *Apocyclops royi* portant deux sacs d'œufs pleins. **P20**

Figure 10 : *Acartia (Acartiura) clausi*. **P25**

Figure 11 : *Acartia (Acartiura) clausi*. **P26**

Figure 12 : *Acartia (Acartiura) clausi*. **P27**

Figure 13 : *Tisbe furcata*. **P28**

Figure 14 : Distribution du genre *Pseudodiaptomus* en Amérique. **P32**

Figure 15: Micrographie de *Pseudodiaptomus eurysalinus*. **P33**

Figure 16: Production moyenne de nauplius (organismes/L) de *Pseudodiaptomus eurysalinus* et de *Tisbe monozota* dans des cultures de laboratoire monospécifiques et mixtes après 15 jours. 1. **P36**

Figure 17: Production moyenne d'adultes (organismes/L) de *Pseudodiaptomuseuryhalinus* et de *Tisbemonozota* dans des cultures de laboratoire monospécifiques et mixtes après 15 jours.1. **P37**

Figure18:Production moyenne de copépodites (organismes/L) de *Pseudodiaptomuseuryhalinus* et de *Tisbemonozota* dans des cultures de laboratoire monospécifiques et mixtes après 15 jours.1. **P38**

Figure 19: Production moyenne de copépodites+adultes (organismes/L) de *Pseudodiaptomuseuryhalinus* et de *Tisbemonozota* dans des cultures de laboratoire monospécifiques et mixtes après 15 jours.1. **P40**

Figure 20 : pourcentage final moyen de *Pseudodiaptomuseuryhalinus* et *Tisbemonozota* (%) dans des cultures de laboratoire monospécifiques et mixtes après 15 jours.1. **P41**

Figure21 :Production de la progéniture d'une femelle initiale de *Pseudodiaptomuseuryhalinus* (organismes/Litre) dans des cultures monospécific et mixtes après 15 jours dans des conditions de laboratoire**P42**

Figure 22 :Production de la progéniture d'une femelle initiale de *Tisbemonozota* (organismes/Litre)dans des cultures monospécific et mixtes après 15 jours dans des conditions de laboratoire.**P43**

Listes des tableaux

Tableau 1 :

-Récapitulatif de la taxonomie des copépodes : classification scientifique (a).**P2**

-principales caractéristiques des différents ordres (b).**P3**

Tableau 2 : Taille des mailles des tamis/soie de boulonnage pour la filtration de différents stades de *Parvocalanus crassirostris*. **P19**

Tableau 3 : La durée moyenne des stades nauplii et copépodite, qui ont été conservés et cultivés en laboratoire. **P21**

Tableau 4 : La longueur du prosome et la longueur totale du corps (prosoma + urosome) des copépodes à différents stades de vie. **P22**

Table des matières

| | |
|--|----------|
| Introduction : | 1 |
| <i>Chapitre I :Analyse bibliographique.....</i> | <i>1</i> |
| 1. Définition d'un copépode (phylogénie, morphologie et cycle de vie) : | 2 |
| 2. Morphologie : | 3 |
| 3. Reproduction et Cycle de vie : | 4 |
| 4. Répartition géographique : | 7 |
| 5. Rôle trophique et importance des copépodes : | 8 |
| 5.1 Rôle trophique : | 8 |
| 5.2 Les copépodes comme espèces clefs des écosystèmes aquatiques : | 9 |
| 6. Etude du comportement des copépodes : | 10 |
| 7. Généralité sur les espèces de copépodes les plus répondus en élevage : | 12 |
| 7.1 <i>Parvocalanus crassirostris</i> : | 12 |
| 7.1.1 Informations de base : | 12 |
| 7.1.2 Informations biologiques : | 13 |
| 7.1.3 Conditions environnementales : | 15 |
| 7.1.4 Protocoles de culture : | 16 |
| 7.2 <i>Apocyclops royi</i> : | 20 |
| 7.2.1 Stades de vie : | 21 |
| 7.2.2 Protocole d'élevage : | 23 |
| 7.3 <i>Acartia clausii</i> : | 23 |
| 7.3.1 Caractéristiques: | 24 |
| 7.4 <i>Tisbe furcata</i> : | 28 |
| <i>Chapitre II :Matériel et Méthodes</i> | <i>1</i> |
| 1. Notions sur les deux types d'élevage : | 30 |
| 1.1 Définition de la monoculture : | 30 |
| 1.2 Définition de La polyculture : | 30 |
| 2. Caractéristiques des espèces étudiées : | 31 |
| 2.1 <i>Pseudodiaptomus euryleptus</i> : | 31 |
| 2.2 <i>Tisbe monoceros</i> : | 33 |
| 3. Protocoles d'élevage de <i>Tisbe monoceros</i> et <i>Pseudodiaptomus euryleptus</i> : | 33 |
| <i>Chapitre III : Interprétation des résultats.....</i> | <i>1</i> |
| 1. Production moyenne des nauplius en monoculture et culture mixte : | 36 |
| 2. Production moyenne d'adultes en monoculture et culture mixte : | 37 |
| 3. Production moyenne des copépodites en monoculture et culture mixte : | 38 |

| | |
|---|----|
| 4. La production moyenne de copépodites+adultes en culture mixte et monoculture : ... | 40 |
| 5. Le pourcentage final moyen de <i>Pseudodiaptomuseuryhalinus</i> et <i>Tisbemonozota</i> en culture mixte et en monoculture : | 41 |
| <i>Discussion et Conclusion</i> | 1 |

Introduction

Introduction :

Les copépodes sont la nourriture naturelle des larves d'espèces marines ; ce sont des organismes riches sur le plan nutritionnel, car ils ont des niveaux élevés d'acides gras essentiels et d'antioxydants naturels, montrant une supériorité nutritionnelle sur les artémias et les rotifères (Payne et al. 1998 ; Payne et Rippingale, 2000 ; Stottrup et al. 1999 ; De Lima et Souza-Santos, 2007 et Der Meeren et al. 2008).

Ils sont également abondants, largement répartis dans divers habitats à travers le monde et présentent une grande variété de formes et de tailles qui les rendent aptes à servir de nourriture pendant les stades larvaires. Stottrup et Norsker (1997) et Stottrup (2000) ont démontré que l'inclusion de copépodes pendant une courte période dans la culture de larves de poissons assure un développement normal, avec des améliorations de la croissance et de la survie, ce qui réduit considérablement l'apparition de maladies, de malformations et de pigmentations anormales, et qu'ils ont été utilisés avec succès dans la larviculture de plusieurs espèces de poissons marins dans lesquels ils ont montré une excellente survie et des taux de croissance élevés (Payne et al. 1998). En réponse à la demande d'alternatives d'aliments vivants par les aquaculteurs locaux et dans l'intention de soutenir le développement de la technologie pour la culture d'espèces marines indigènes, nous pouvons citer à titre d'exemple le laboratoire de nutrition et de larviculture du CIAD-Mazatlan a mené des recherches depuis 2000 afin d'optimiser la production contrôlée dans la culture de diverses espèces de copépodes. Il existe actuellement des souches de copépodes harpacticoïdes et calanoïdes qui ont été cultivées avec succès à l'échelle pilote.

Les premiers auteurs qui se sont intéressés à la survie en laboratoire de Copépodes planctoniques marins sont Allen et Nelson (1910). Depuis les années 1960, la culture des copépodes est devenue de plus en plus fiable et environ 60 espèces de copépodes ont été élevées avec succès (Mauchline et al. 1998). Nous pouvons citer les essais de Zillioux et Wilson (1966), Katona et Moodie (1969), Paffenhöfer (1970) et Nassogne (1970).

Le présent travail s'articule sur trois chapitres. Le premier chapitre comporte une synthèse bibliographique sur les copépodes. Le deuxième chapitre est consacré au matériel et méthodes. Le troisième traite les résultats obtenus dans des cultures mixtes et monoculture de copépodes et leurs interprétations suivies d'une discussion générale. Et enfin une conclusion.

Chapitre I : Analyse bibliographique

1. Définition d'un copépode (phylogénie, morphologie et cycle de vie) :

Le terme 'copépode' provient étymologiquement du grec 'Kope', signifiant rame ; et 'Podos', signifiant pied, en référence à ses pattes en forme de rames (Hensen, 1887). Il caractérise les organismes en suspension dans la colonne d'eau, le plus souvent d'apparence passive (Humes, 1994).

Les copépodes forment une sous-classe appartenant aux sous-embranchements des crustacés. Ils forment un groupe extrêmement diversifié comprenant dix ordres contenant quelques 210 familles, 2400 genres et plus de 14000 espèces décrites dont plus de 10000 sont marines (Tableau 1) (Moison,2009).

Tableau 1: Récapitulatif de la taxonomie des copépodes : classification scientifique (a) et principales caractéristiques des différents ordres (b). (Maud,2009)

(a)

| Classification |
|-----------------------------|
| Règne:Animal |
| Embranchement:Arthropode |
| Sous embranchement:Crustacé |
| Classe:Maxillopode |
| Sous classe:Copépode |

(b)

| Ordres | Nombre d'espèces considérées | Forme* | Milieu* | Compartiment* |
|--------------------|---|-------------------|------------------------|---------------|
| Calanoides | 41 familles, 195 genres et 1800 espèces | Libre | marin | plancton |
| Cyclopoides | 90 familles, 340 genres et 2770 espèces | Libre et parasite | Marin et continental | |
| Gelyelloides | 1 famille, 1 genre et 2 espèces | libre | continental souterrain | |
| Harpacticoides | 54 familles, 463 genres et 3000 espèces | Libre | marin | benthos |
| Misophrioides | 3 familles, 16 genres et 34 espèces | libre | marin | benthos |
| Monstrilloide | 1 famille, 4 genres et 76 espèces | parasite | marin | |
| Mormonilloides | 1 famille, 1 genre et 2 espèces | libre | marin | Plancton |
| Platycopioïdes | 1 famille, 4 genres et 11 espèces | libre | marin | benthos |
| Poecilostomatoides | 61 familles | parasite | marin | |
| Siphonostomatoïde | 37 familles, 245 genres et 1430 espèces | parasite | marin | |

* Caractéristiques majoritaires

La diversité réelle reste néanmoins encore largement sous-estimée (notamment chez les harpacticoides benthiques, les poecilostomatoïde et les siphonostomatoïdes), certains chercheurs ont estimé que ce nombre pourrait facilement doubler d'ici le milieu du XXI^e siècle (Humes, 1994). Environ la moitié de ces espèces sont des endo- ou ectoparasites et ont des corps fortement modifiés (principalement des monstrilloïdes et des siphonostomatoïdes). Présents dans les écosystèmes d'eau douce et marins, ils se fixent sur les poissons, les requins, les mammifères marins, et plusieurs espèces d'invertébrés tels que les mollusques, les tuniciers ou les coraux (Moison,2009).

2. Morphologie :

Les Copépodes sont des petits crustacés nageurs ou marcheurs, à l'allure de petites crevettes dont la taille varie entre 0,3 et 8 mm (Dussart, 1980). Ainsi, la longueur habituelle des adultes est de 1 à 2 mm, mais les adultes de certaines espèces peuvent être aussi petits que 0,2 mm et d'autres peuvent atteindre 10 mm.

Leur corps (Fig. 01) est fusiforme et constitué de trois parties plus ou moins distinctes (Dussart, 1989):

- Une partie antérieure constituée de 6 segments soudés qui constituent un Céphalosome ;
- Une partie médiane ou thorax, fondamentalement constituée de 5 segments tous porteurs d'une paire d'appendices natatoires ou préhensiles ;
- Une partie postérieure ou abdomen, composée de deux segments le plus souvent soudés en un segment génital, de deux autres segments dépourvus d'appendices et un segment anal sur lequel est inséré postérieurement les deux branches du telson constituant une furca agrémentée de soies caractéristiques.

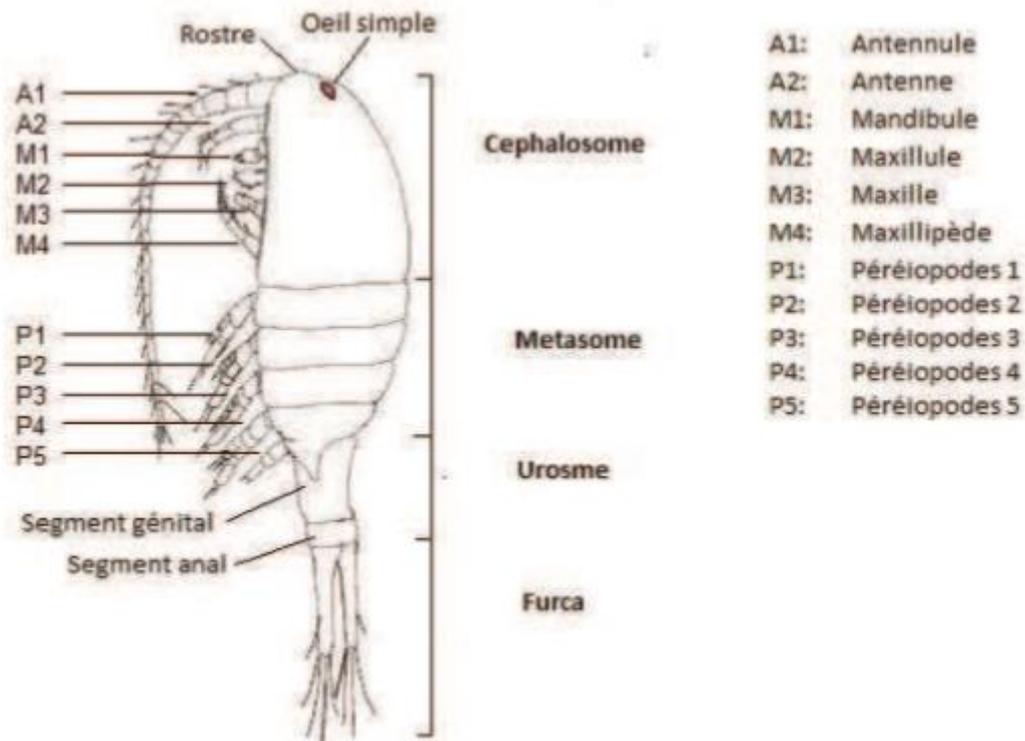


Figure 1 : Schéma de la morphologie générale externe d'un copépoïde (Moison,2009)

3. Reproduction et Cycle de vie :

Chez les copépoïdes la reproduction est sexuée et se fait toujours via un accouplement, car contrairement à beaucoup d'autres espèces aquatiques, il n'y a pas d'émission directe de gamètes dans le milieu. Le processus reproductif a lieu tout au long de l'année ou saisonnièrement selon l'espèce, la disponibilité en nourriture et l'environnement.

Dans un premier temps, le mâle mature est attiré par l'émission de phéromones par la femelle. Au cours de l'accouplement, le mâle copépode attrape la femelle à l'aide de sa cinquième paire de péréopodes et de sa première paire d'antennes, parfois modifiée à cet effet. Le mâle produit alors un spermatophore et le transfère à l'ouverture des organes génitaux de la femelle grâce à ses membres thoraciques. L'accouplement est très rapide. Ensuite, soit le contenu du spermatophore est transféré vers une spermathèque où il est conservé, la fécondation se fera alors au fur et à mesure de la production des œufs par la femelle, soit ces derniers sont directement fécondés. Les œufs sont alors parfois relâchés directement dans l'eau (surtout chez les espèces calanoïdes), mais beaucoup d'espèces les enferment dans un sac ovigère présent sur l'urosome de la femelle jusqu'à leur éclosion (majoritairement chez les espèces cyclopoïdes et les harpacticoïdes). La femelle peut produire quelques dizaines à quelques centaines d'œufs par jour. En général, les œufs libres, de part leur forme et leur contenu lipidique induisant une vitesse de sédimentation faible, éclosent en pleines eaux. Mais il arrive parfois, lorsque les conditions sont défavorables, que ceux-ci tombent sur le fond et restent quiescents pendant des périodes prolongées, ce sont des œufs de « diapause ou de résistance ». Ainsi, les œufs n'éclosent que lorsque l'environnement devient moins stressant et / ou lorsqu'ils sont remis en suspension grâce aux courants (Hairston,1996 et Marcus,1996).

Le développement des copépodes est constitué de 12 stades distincts répartis en 6 stades naupliens (N1 à N6) et 6 stades copépodites (C1 à C6), le dernier étant le stade adulte (Figure 2).

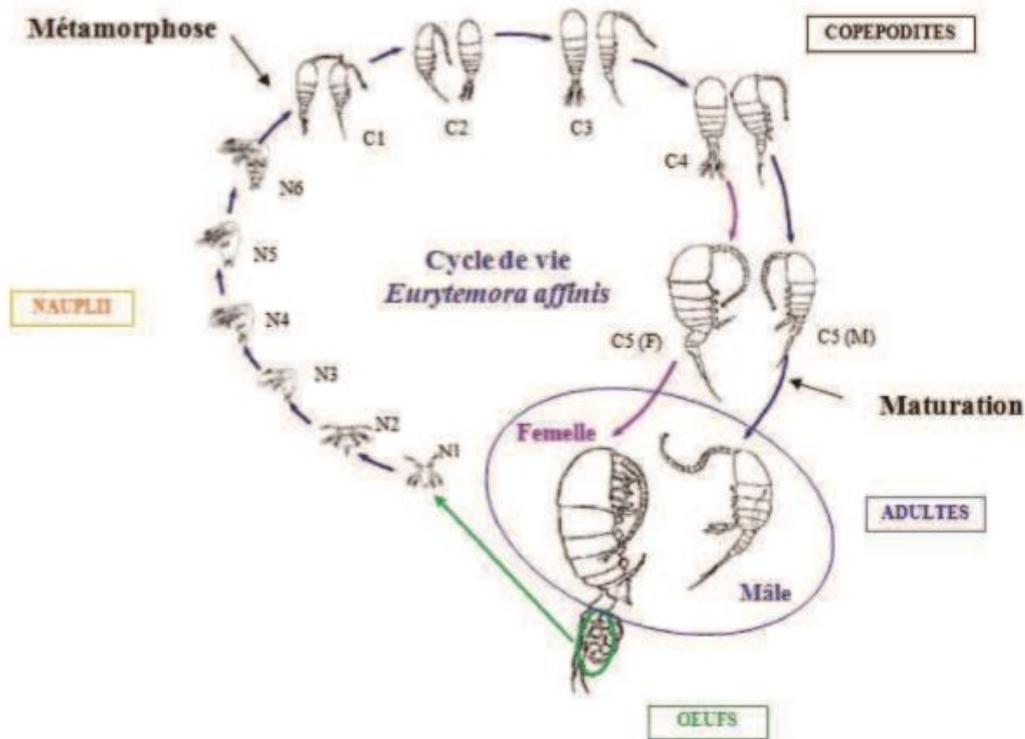


Figure 2 : Traits du cycle de vie d'un copépode (modifié par S. Souissi, d'après Katona 1971)

Les œufs éclosent en larves nauplius. Celles-ci, de forme ovoïde, se composent d'une tête avec trois paires d'appendices (antennules, antennes et mandibules), sans thorax ou abdomen réellement différencié. Après cinq mues nauplius, l'ébauche d'une segmentation et de nouveaux appendices commencent à émerger. Ce n'est qu'au passage du premier stade «copepodite » que la larve commence à ressembler à l'adulte ; en effet l'abdomen est clairement segmenté et deux paires de péréiopodes thoraciques sont visibles. Après une nouvelle période de cinq mues, le copépode prend enfin, petit à petit sa forme adulte avec l'augmentation régulière du nombre de segmentations et du nombre d'appendices. Au passage à l'âge adulte, l'individu devient mûre et les caractères sexuels sont bien visibles (différentiation du segment génital et de la dernière paire de péréiopode).

Les copépodes sont des organismes poïkilothermes. La durée de leur développement est donc fortement influencée par la température. Elle dépend également, mais dans une moindre mesure, de la présence de ressources nutritives. L'ensemble du processus, de l'éclosion jusqu'à l'âge adulte, peut durer selon les espèces une semaine (espèces plutôt tempérées) à un an (espèces polaires)(Fransz et al, 1984 ; Drits et al, 1994).

4. Répartition géographique :

Les copépodes se développent dans tous les milieux aquatiques, du plus grand des océans au plus petit des étangs, possédant de grandes capacités d'adaptation. Ils ont ainsi colonisé les milieux salés, saumâtres et d'eau douce, les eaux froides et chaudes, et les eaux profondes et les lacs d'altitude (Boxshall et Defaye, 2008).

Avec environ 13000 morph-espèces connues, la plus grande diversité de copépodes se trouve dans le milieu marin, mais environ 2814 espèces habitant les eaux douces (Boxshall et Defaye, 2008).

Les copépodes marins sont ainsi présents dans toutes les mers du globe (Fig. 3). Certains ordres se sont adaptés à des types d'habitats spécifiques (Boxshall et Halsey, 2004).

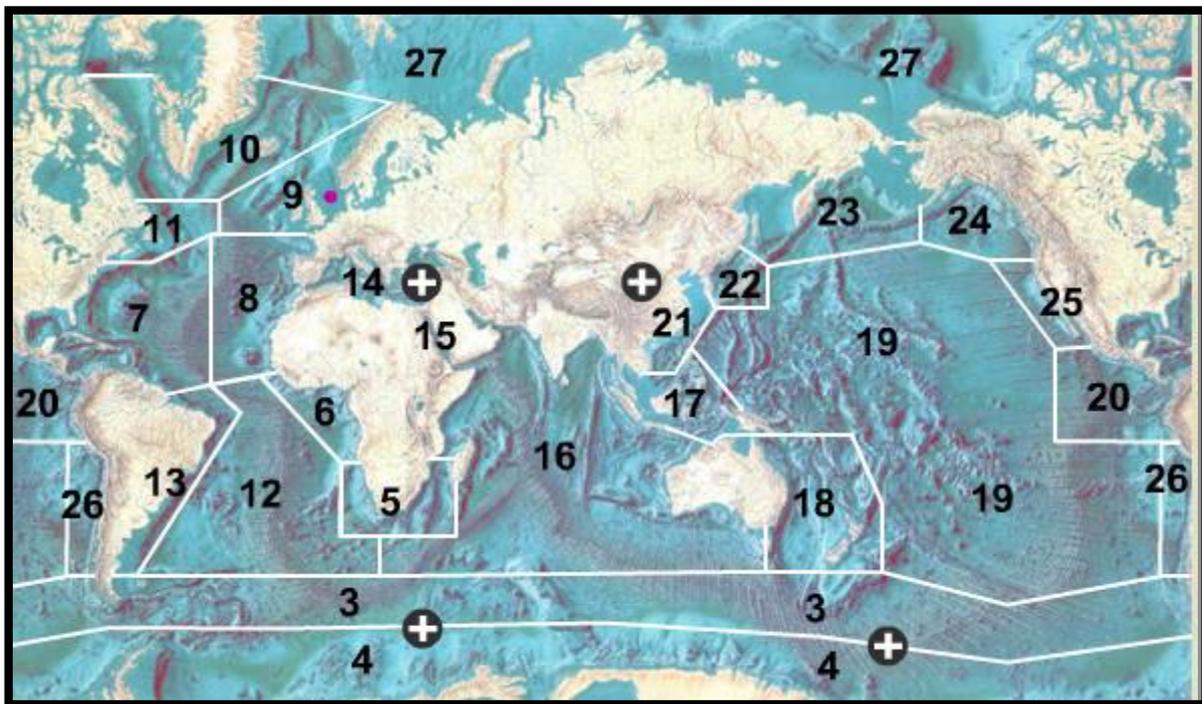


Figure 3 : Répartition géographique des copépodes (Razouls et al, 2015-2016)

3- Sub-Antarctique (281 espèces), 4- Antarctique (296 espèces), 5- Afrique du Sud (456 espèces), 6- Golf de Guinée (353 espèces), 7- Mer des Antilles (715 espèces), 8- Iles du Cap Vert (749 espèces), 9- Irlande (384 espèces), 10- Islande du Sud (204 espèces), 11- Cap Cod (261 espèces), 12- Atlantique sud central (335 espèces), 13- Brésil-Argentine (393 espèces), 14- Mer Méditerranée (562 espèces), 15- Mer Rouge (261 espèces), 16- Océan Indien (972 espèces), 17- Golfe de Thaïlande (640 espèces), 18- Australie Est (525 espèces), 19- Pacifique tropical central (537 espèces), 20- Pacifique tropical est (505 espèces), 21- Mer de Chine (632 espèces), 22- Mer du Japon (705 espèces), 23- Pacifique nord-ouest (356 espèces), 24- Pacifique nord-est (296 espèces), 25- Golfe de Californie (451 espèces), 26- Chili (435 espèces), 27- Océan Arctique (184 espèces).

Les copépodes d'eau douce sont présents dans tous les continents, y compris les îles océaniques et de mers (Fig. 04)

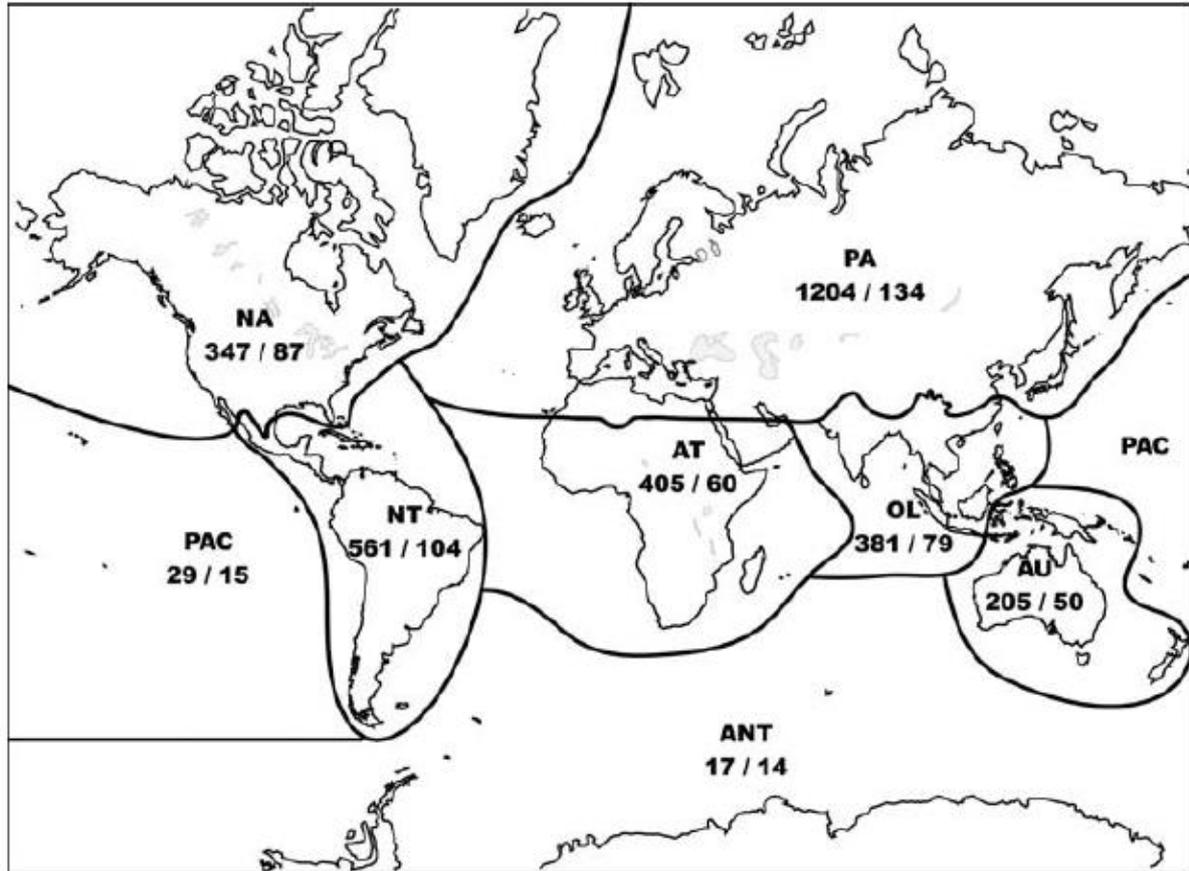


Figure 4: Distribution géographique des espèces et genres des copépodes d'eau douce (nombre d'espèces / Nombre de genre), codés selon les principales régions zoogéographiques. PA: Paléarctique, NA: Néarctique, NT: Néotropical, AT: Afrotropical, OL: Oriental, AU: Australasian, PAC: Iles océaniques du Pacifique, ANT: Antarctique. (Geoff et al, 2008)

5. Rôle trophique et importance des copépodes :

5.1 Rôle trophique :

Compte tenu de la diversité spécifique, la variabilité morphologique et les fenêtres environnementales occupées, le type de nourriture et le comportement alimentaire vont être très différents d'une espèce à l'autre, mais aussi d'un stade à l'autre et d'une saison à l'autre. On peut établir néanmoins différentes catégories. Les copépodes planctoniques herbivores sont presque toujours des filtreurs. Leurs appendices buccaux créent des courants (« feeding current »), les proies sont alors concentrées vers un « tamis » formé de soies, puis

ingérées par la bouche. Les proies ainsi capturées sont le plus souvent des algues unicellulaires de petite taille (5 à 50 μm environ) constituant l'essentiel du phytoplancton en eau douce et dans les océans. Parmi ces algues, on retrouve les diatomées, les dinoflagellées, les chrysophycées, ou les cryptophycées. Certains copépodes herbivores, en particulier ceux des mers froides, emmagasinent de l'énergie sous forme de gouttelettes lipidiques lors de la prolifération printanière du plancton. Ces gouttelettes peuvent occuper plus de la moitié du volume du corps chez les espèces polaires.

La plupart des grandes espèces de copépodes sont des prédateurs. Elles capturent directement leurs proies après avoir détecté leur mouvement (mécanoréception) ou leurs signaux chimiques (chémoréception). On va donc retrouver dans leur régime alimentaire des proies plutôt mobiles : les radiolaires, les rotifères, des larves d'autres crustacés ou encore d'autres copépodes. Le cannibalisme n'est pas rare (Basedow et Tande, 2006; Camus et al, 2009).

Enfin, beaucoup de copépodes benthiques se nourrissent des débris organiques ou des bactéries. Leurs pièces buccales sont adaptées pour gratter et attraper.

Néanmoins, beaucoup de copépodes planctoniques oscillent entre ces différents comportements notamment en fonction de la disponibilité des proies. Ainsi chez ces espèces omnivores, on va retrouver parmi leur proies des algues ou du petit zooplancton et même des débris.

Qu'ils appartiennent au plancton ou au benthos, et quel que soit leur régime alimentaire, les copépodes se montrent souvent extrêmement sélectifs. Ils sont ainsi capables de trier les particules qu'ils ont capturées pour ne conserver que celles jugées intéressantes au point de n'ingérer parfois que certaines espèces très précises d'algues ou de protozoaires. Le principal critère de sélection mis en évidence est souvent la taille des proies mais la composition chimique et la qualité nutritive de celles-ci jouent également un rôle très important. Ce mécanisme permet ainsi aux copépodes d'éviter l'ingestion de certaines espèces toxiques mais aussi d'améliorer le rapport entre le gain d'énergie apporté par la proie et la perte d'énergie nécessaire à sa capture et à son assimilation. (Moison, 2009)

5.2 Les copépodes comme espèces clefs des écosystèmes aquatiques :

Les copépodes jouent un rôle important non seulement du point de vue de l'écologie mondiale, notamment pour son rôle dans le cycle du carbone, mais aussi du point de vue de l'économie maritime. Ces animaux occupent en effet une position clé dans la chaîne alimentaire.

Le copépode est la forme de zooplancton la plus abondante et la plus présente dans tous les environnements aquatiques. Il constitue donc le premier lien majeur dans la chaîne alimentaire transférant la matière organique produite par les producteurs primaires phytoplanctoniques et les boucles microbiennes vers les niveaux trophiques plus élevés comme les poissons, les mammifères marins, les oiseaux de mer et autres crustacés. Ils sont une source alimentaire majeure pour de nombreuses espèces marines et notamment des espèces économiquement importantes. La plupart des poissons exploités commercialement, notamment dans les eaux tempérées, se nourrissent directement de copépodes au cours de leur développement larvaire (bar, sardine, morue, hareng...) et parfois, comme le hareng, tout au long de leur vie (Turner, 1984). Ainsi ils forment la base de pratiquement toutes les chaînes alimentaires pélagiques. Mais, les poissons pélagiques ne sont pas les seuls à utiliser les copépodes comme source de nourriture. Les Harpacticoïdes sont aussi un élément prédominant dans le régime alimentaire des poissons plats et des salmonidés. Ces espèces de copépodes ayant une valeur nutritive élevée, elles ont aussi un rôle essentiel à jouer dans le développement de la pisciculture (Gee, 1989). De plus, de par la prédation exercée sur les populations algales et microbiennes, les copépodes contrôlent ces populations évitant parfois le développement excessif de ces dernières qui pourrait conduire à l'asphyxie de certains milieux.

6. Etude du comportement des copépodes :

Longtemps les copépodes ont été considérés comme des particules de la colonne d'eau, incapables de mouvement propre, dont le déplacement était essentiellement dû aux propriétés physiques de la masse d'eau. Néanmoins, des zones d'agrégations de zooplancton ont été observées verticalement et horizontalement (Bollens et Frost, 1989; Dam et Peterson, 1993; Buskey, 1998...). Ainsi, Powell et Okubo (1994) et Abraham (1998) ont constaté que l'analyse spectrale de la densité du zooplancton ne suit pas toujours une loi de puissance de pente $5/3$, caractéristique de la turbulence (Kolmogorov, 1941 ; Frisch, 1995). Ces chercheurs suggèrent que c'est le comportement agrégatif qui accroît la variance observée aux petites échelles (dizaines de centimètres à millimètres). Ces zones à relativement forte densité sont souvent attribuées à des processus physiques mais aussi peut être le reflet de comportements individuels différentiels (Banas et al, 2004). En effet, les processus physiques tels que les vagues, les courants, la stratification, la turbulence, peuvent affecter la position des copépodes et donc la dynamique de la population mais seulement à de grandes échelles spatiales et

temporelles. Toutefois, à des échelles intermédiaires, les copépodes sont susceptibles d'avoir adapté des stratégies optimisant l'efficacité de recherche et minimisant les dépenses d'énergie. Ces réponses comportementales qui conduisent à des agrégations sont imputables soit à des interactions sociales (Yamazaki, 1993), soit à une réaction individuelle simultanée à des signaux environnementaux (Okubo et Anderson, 1984; Okubo, 1986).

Ainsi le zooplancton peut présenter un comportement collectif facilitant la recherche du partenaire lors des périodes d'accouplement et réduisant le risque de prédation (au même titre que les bancs de poissons) (Ambler, 2002), mais aussi des réponses à des signaux environnementaux comme la lumière, les perturbations hydrodynamiques, ou la présence de composés chimiques provenant notamment de prédateur (Banas et al, 2004) (voir paragraphe suivant). La phototaxie par exemple est connu pour générer des essaims chez certains copépodes cyclopoïdes (Ambler et al, 1991). En outre, les copépodes sont connus pour s'agréger aux niveaux des zones de fronts (présentant des forts gradients physico-chimiques) riches en phytoplancton. Ce comportement favorise sûrement l'accroissement du taux de prédation tout en réduisant l'effort de recherche de nourriture (Holliday et al, 1998 ; Leising et Franks, 2000). De même, certains copépodes effectuent une migration verticale quotidienne le long de la colonne d'eau alternativement entre la surface et les profondeurs (Neill, 1990). Certains tels *Centropagestypicus* remontent la nuit vers la surface pour se nourrir de phytoplancton, et pendant les heures de clarté demeurent dans les couches relativement profondes, limitant de fait le risque de prédation (Calbet et al, 1999 ; Saiz et Alcaraz, 1990). D'autres, à l'instar de *Anomalocera ornate*, effectuent une montée vers des eaux peu profondes au lever du soleil, suivi d'une descente en eaux profondes au coucher du soleil. Cette dernière stratégie pourrait offrir une protection contre la migration des prédateurs nocturnes. Les espèces estuariennes sont capables elles aussi de migrer verticalement sur un cycle de marée à des profondeurs différentes suivant le sens du flux afin de se maintenir dans un habitat favorable (Morgan et al, 1997 ; Devreker et al, 2008 ; Schmitt et al, 2009).

Ainsi, si la dynamique de l'individu et a fortiori de la population est déterminée en premier par les caractéristiques physiques de l'écosystème (topographie du fond, vent, vagues courants...), les copépodes sont capables dans une certaine mesure soit de se maintenir soit de migrer activement en faisant preuve d'un comportement complexe dont les composantes varient en fonctions du milieu.

7. Généralité sur les espèces de copépodes les plus répondus en élevage :

7.1 *Parvocalanus crassirostris* :



Figure 5 : *Parvocalanus crassirostris* (F. Dahl, 1894) var. *cochinensis*

7.1.1 Informations de base :

Parvocalanus est un important genre de copépo­de planctonique, largement distribué dans les habitats marins et estuariens du monde entier. *Parvocalanus* spp. est similaire à *Paracalanus* spp. du point de vue morphologique et les deux appartiennent à la famille des Paracalanidae. La seule différence notable entre les deux genres est la taille et la segmentation de la 5e patte des mâles et des femelles. Même après des analyses moléculaires, l'ambiguïté taxonomique n'est pas encore levée pour ce groupe de copépo­des (Razouls et al., 2005-2017).

Parvocalanus crassirostris est l'une des plus importantes espèces de copépo­des largement utilisée dans les écloséries du monde entier pour la culture commerciale. En Inde, il s'agit du premier rapport de culture réussie de cette espèce pour la larviculture des poissons à nageoires (Stottrup et Norsker, 1997 ; Stottrup, 2003, 2006 ; Marcus, 2005 ; Toledo et al., 2005 ; Santhosh et al., 2016). Il s'agit d'une espèce de copépo­de largement distribuée dans toutes les eaux tropicales et subtropicales. En raison de sa petite taille et de sa croissance

prolifère, cette espèce est largement utilisée dans les éclosiers marins pour l'élevage larvaire des poissons ayant de très petits stades larvaires comme les mérus, les vivaneaux et les demoiselles. Cette espèce est très idéale pour nourrir tous les types de larves de poissons. C'est l'un des aliments vivants les plus acceptés et les mieux établis pour les éclosiers de poissons marins, les aquariums de récifs et pour toutes les autres espèces planctoniques. *Parvocalanus crassirostris cochinchinensis* est une souche différente rapportée uniquement dans les eaux indiennes (Wellershaus, 1969).

7.1.2 Informations biologiques :

Habitus : La taille des adultes varie de 500-610 μm pour les femelles et de 470-550 μm pour les mâles. Il est difficile de distinguer le mâle de la femelle (Fig. 6a&b, 7a&b). La principale différence réside dans la forme et la segmentation de la patte 5 (Fig. 8m&n).

Cette espèce est un copépode à nage lente, que l'on trouve souvent à la dérive dans la colonne d'eau. En culture, elle sera répartie uniformément dans toute la colonne d'eau. *P. crassirostris* est partiellement attiré par la lumière mais ne se concentre pas près de la source lumineuse. Ce n'est pas un copépode prédateur et il se nourrit uniquement par filtration. La durée de vie des adultes est d'environ 15-20 jours. Les femelles sont observées plus souvent en culture et le rapport des sexes en culture est toujours supérieur à 1:10.

Œufs : Petits œufs sphériques mesurant 55-65 μm avec une surface externe lisse (Fig. 8a). Les œufs sont dispersés dans l'eau et coulent au fond. Les œufs seuls peuvent être facilement récoltés en siphonnant le sédiment du fond et en le filtrant à l'aide d'une maille de 40 μm . Les œufs éclosent en 12-20 h à 25-28°C. La fécondité varie de 25-50 œufs/jour. (Santhosh, 2018).

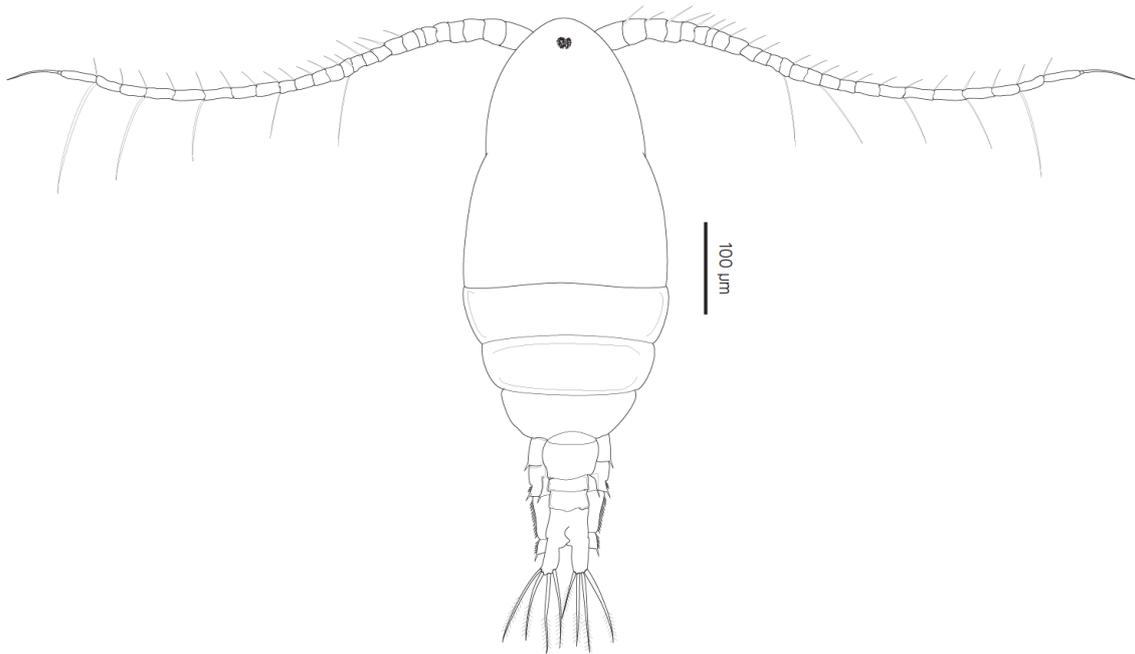


Figure 6a : *P. crassirostris* Femelle(Santhosh,2018)

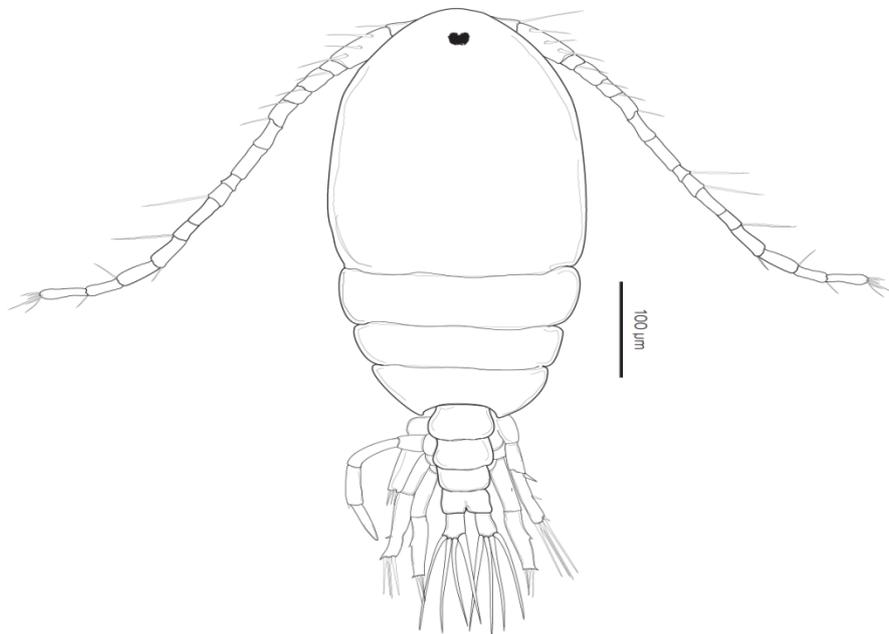


Figure 6b : *P. crassirostris* Mâle(Santhosh,2018)

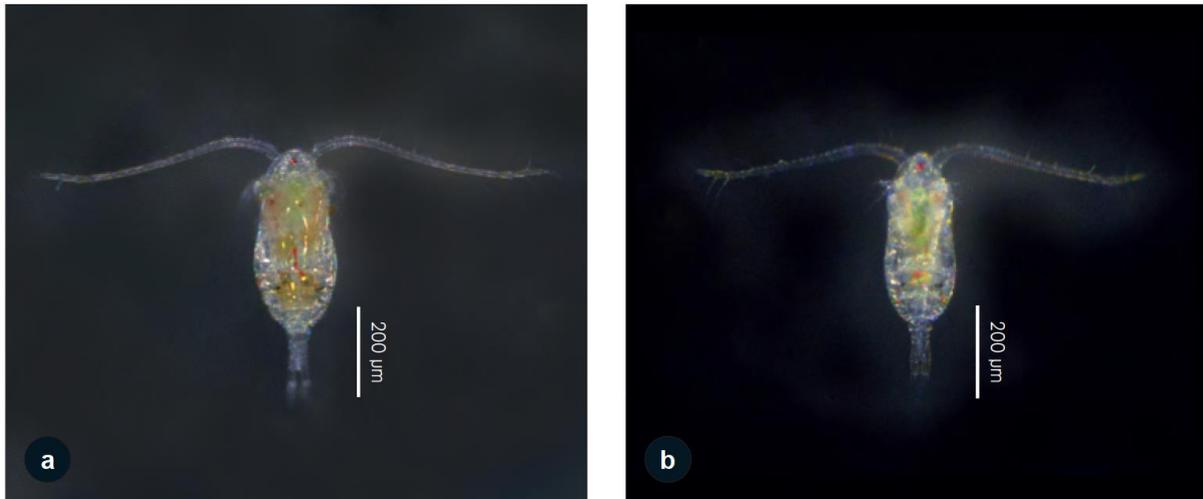


Figure 7 :*P. crassirostris* a. Femelle b. Mâle (Santhosh,2018)

Stades larvaires :Il existe 6 stades naupliaires et 5 stades copépodites (Fig. 8 b-l). Le nauplii prend presque 9 jours pour atteindre le stade adulte (Fig. 8m&n). Le premier stade naupliaire a une longueur de 55-65 µm et une largeur de 35-45 µm. La longueur du naupliar varie de 55 µm à 160 µm et sa largeur de 35 µm à 65 µm. (Santhosh,2018)

7.1.3 Conditions environnementales :

P. crassirostris peut tolérer une large gamme de températures (15-35°C) et la température idéale pour la culture se situe entre 25-28°C. Il peut survivre dans des salinités comprises entre 15-45 ppt mais la salinité optimale pour la culture est de 30 à 35 ppt.

Une lumière du jour normale et diffuse est préférable. La lumière directe du soleil n'est pas favorable. La longueur normale des jours tropicaux est idéale pour la culture. Un pH compris entre 8 et 8,5 est idéal. Le niveau d'ammoniac doit être inférieur à 1 ppm. Il peut être cultivé dans des récipients de 1 L jusqu'à des réservoirs de 5 tonnes. La profondeur du réservoir peut aller jusqu'à 1 m.

Une faible aération est préférable tout au long de la journée et de la nuit. L'eau de mer traitée (chlorée et déchlorée) est idéale pour la culture. Si les paramètres de qualité de l'eau se détériorent, remplacez l'eau. (Santhosh,2018).

7.1.4 Protocoles de culture :

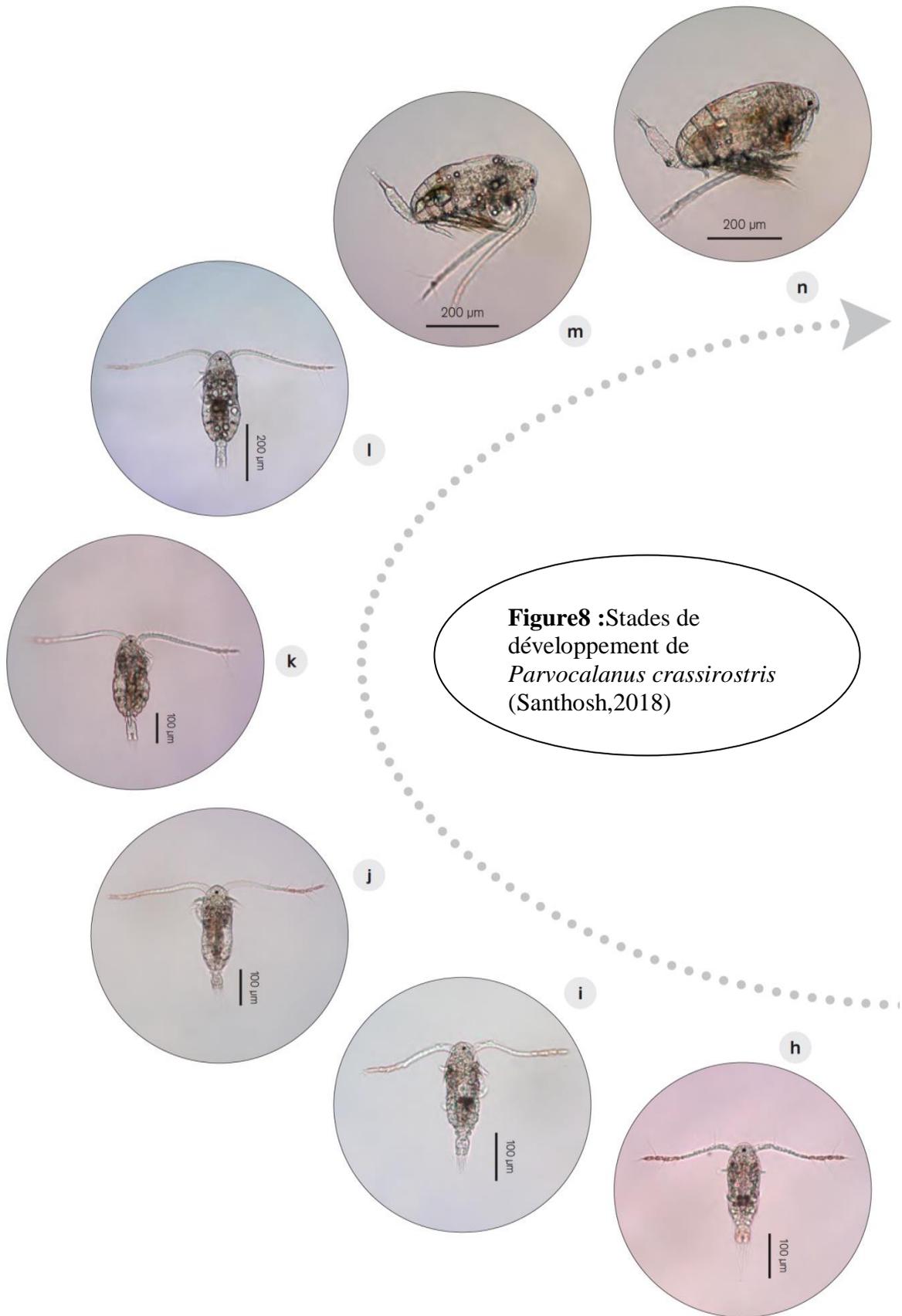
a. Nourriture et alimentation :

Cette espèce est fondamentalement très sélective et sensible dans son alimentation. En culture de masse, une bonne production a été obtenue en la nourrissant avec une combinaison d'*Isochrysis galbana* et de *Nannochloropsis salina* dans un rapport de 3:1. La gamme idéale de densité cellulaire des algues pour la culture était de 30000-40000 cellules/mL. Les algues doivent être exemptes de contamination et en phase de croissance.

b. Densité :

La densité maximale à un niveau durable de culture dans des conditions normales peut atteindre 4-5 nos/mL. Dans des conditions normales, une culture de stock de 20 L avec une densité de 2000/L, si elle est introduite dans un réservoir de 1000 L pour une culture de masse, elle peut atteindre la densité maximale en 14-16 jours. La même culture peut être maintenue pendant 2 à 3 mois dans les mêmes récipients avec un nettoyage approprié et une récolte régulière. La récolte quotidienne est possible sous forme d'œufs, de nauplii, d'adultes ou d'un mélange de tous les stades (Tableau 2).

Cette espèce ne survit que quelques jours dans une culture mixte, mais elle peut rarement dominer les autres espèces de la culture. Une production durable ne peut être obtenue que par la culture d'une seule espèce. Elle peut être utilisée comme aliment avec d'autres espèces dans les bassins d'élevage larvaire. (Santhosh,2018)



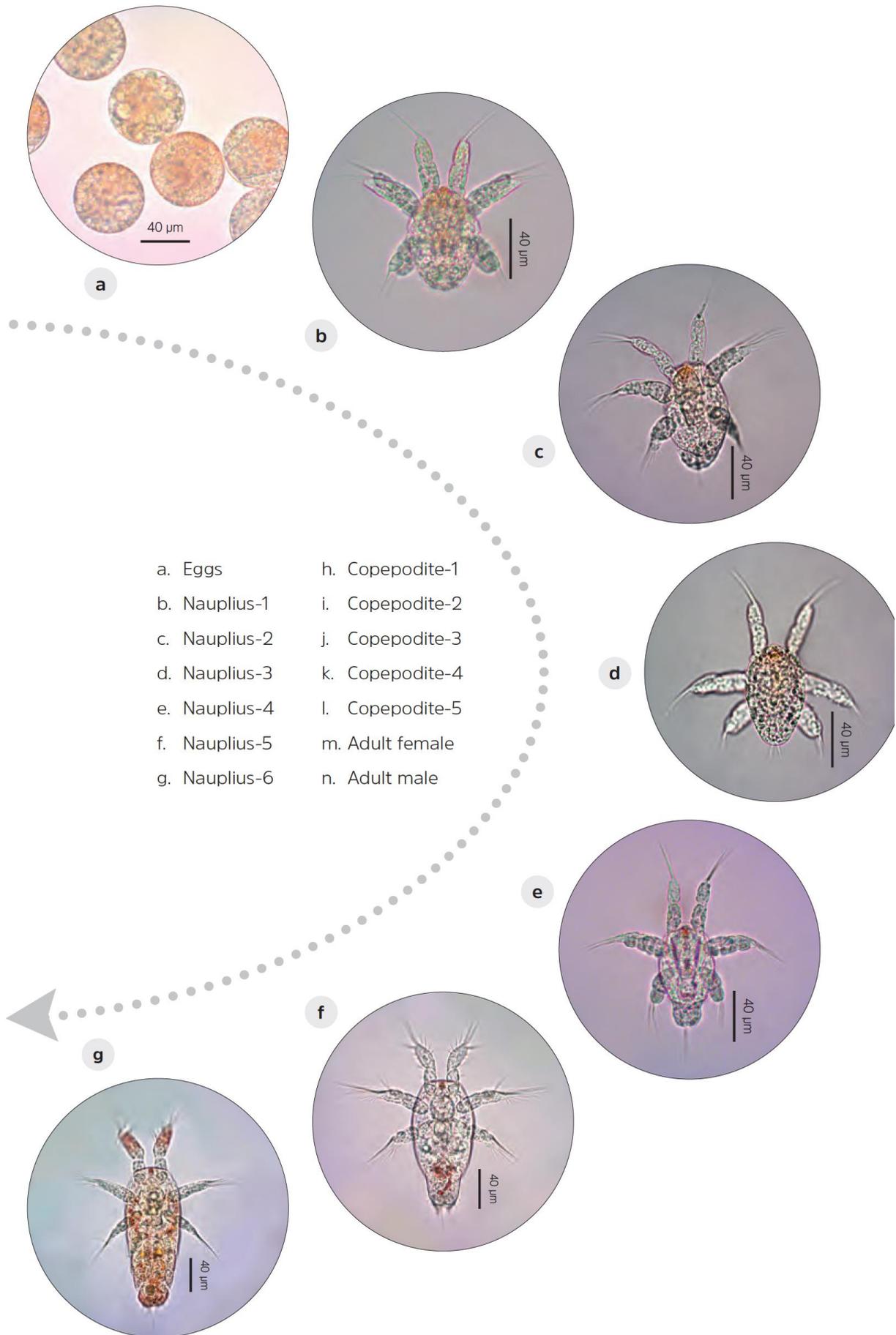


Tableau 2 : Taille des mailles des tamis/soie de boulonnage pour la filtration de différents stades de *Parvocalanus crassirostris* (Santhosh,2018)

| Sl. No. | Étapes requises | Taille des mailles des tamis (µm) | Schéma de filtration |
|---------|-------------------------------------|-----------------------------------|---|
| 1. | Tous les stades, y compris les œufs | 35 | Filtration simple |
| 2. | Nauplii seul | 70 et 35 | Filtration en série. Filtrer à travers 70 µm pour éliminer les adultes et les copépodites et prendre le résidu de 35 µm pour les nauplii. |
| 3. | Adulte seul | 170 | Filtration simple |
| 4. | Œufs seuls | 60 et 35 | Siphonner le fond après la décantation et filtrer en série à travers 60 µm et 35 µm et le résidu dans 35 µm pour les œufs.. |

Précautions :

Il s'agit d'une espèce sensible en culture. Elle doit être nourrie uniquement avec de bonnes algues au niveau requis et tous les paramètres doivent être maintenus à des niveaux optimaux. Une récolte régulière est nécessaire pour réguler le niveau de la population. Toutes sortes de contaminations doivent être régulièrement contrôlées. La suralimentation et la sous-alimentation doivent être évitées. (Santhosh,2018).

7.2 *Apocyclopsroyi*:

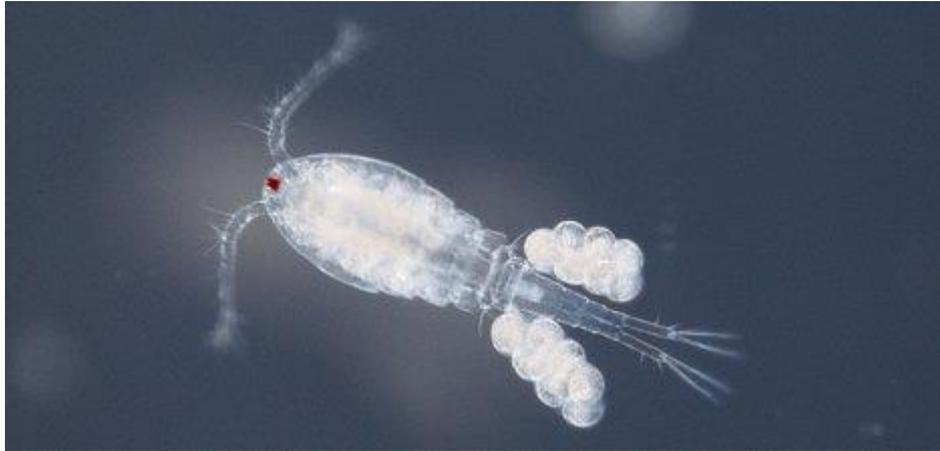


Figure 9 : Femelle adulte vivante *Apocyclopsroyi* portant deux sacs d'œufs pleins. (<https://www.scoop.it/topic/entomonews/p/4104918412/2019/01/24/le-minuscule-copepode-apocyclops-royi-semble-avoir-une-capacite-unique-produire-des-omega-3-en-grande-quantite>)

Le copépode cycloïde *Apocyclopsroyi* est un arthropode pélagique omnivore qui vit dans les estuaires, les eaux saumâtres et les zones d'eau douce (Balian et al., 2008) dans les régions tropicales et subtropicales (Marinespecies.org, 2018). Ils sont capables de survivre dans une large gamme de salinités et de températures et sont actuellement l'une des seules espèces de copépodes cultivées commercialement pour l'industrie aquacole en tant qu'aliment vivant à Taïwan (Dhanker&Hwang, 2013 ; Su et al., 1997). C'est un organisme très important dans certains écosystèmes aquatiques tropicaux comme source de nourriture pour diverses espèces de larves de poissons (Lee et al., 2013 ; Pan et al., 2016). *A. royi* consomment eux-mêmes une grande variété de microalgues présentes dans leurs environnements naturels. *A. royi* est également un organisme très important dans les environnements naturels. Cela est dû à sa capacité à habiter des environnements pauvres en nutriments, qui manquent de sources de certains acides gras. En effet, il est capable de transformer ces acides gras à chaîne courte en AGPI à chaîne longue, Il a en fait été démontré que même en l'absence d'algues contenant l'acide gras à longue chaîne DHA (C22:6, ω -3), ces copépodes contenaient un pourcentage significatif de DHA (19-27% des acides gras totaux) dans leur corps. Cela suggère fortement qu'ils étaient capables de synthétiser des AGPI-LC à partir de l'acide gras à chaîne courte ALA (C18:3, n-3) qui était présent dans leur source de nourriture (Nielsen & Götterup, 2017 ; Pan et al., 2017). Cela a suscité un grand intérêt pour la culture de copépodes comme *A. royi* à

des densités élevées et dans des tailles variées pour répondre aux différents besoins de taille des proies vivantes dont ont besoin les larves de poissons dans les aquacultures (Dhont et al., 2013).

7.2.1 Stades de vie :

Comme les autres cyclopoïdes, *A. royi* est un copépode porteur d'œufs dont le développement comprend six stades de nauplii, cinq stades de copépodite et le stade adulte final (Stottrup, 2003). Ces stades de vie sont divisés en différences morphologiques, différences de longueur et durée des stades de vie, comme le montrent les tableaux 3 et 4 (Chang & Lei, 1993).

Tableau 3 : La durée moyenne des stades nauplii et copépodite, qui ont été conservés et cultivés en laboratoire (modifié de Chang & Lei, 1993).

| Stade Nauplius | | | | | | |
|-------------------------|------------------|-----|-----|-----|---|-------------|
| Instar | I | II | III | IV | V | VI |
| Durée(jour) | Quelques minutes | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 1 | 1 |
| Stade Copepodite | | | | | | |
| Instar | I | II | III | IV | V | VI (adulte) |
| Durée(jour) | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |

Tableau 4 : La longueur du prosome et la longueur totale du corps (prosoma + urosome) des copépodes à différents stades de vie (modifié de Chang & Lei, 1993).

| stade de développement | | Longueur du Prosome (μm) | Longueur du prosoma + urosoma(μm) |
|------------------------|-----|--|--|
| Nauplius | I | 110.0 \pm 8.9 | - |
| | II | 122.5 \pm 2.9 | - |
| | III | 152.5 \pm 19.5 | - |
| | IV | 209.5 \pm 23.2 | - |
| | V | 240.3 \pm 30.0 | - |
| | VI | 265.0 \pm 18.2 | - |
| Copepodite | I | 294.0 \pm 26.1 | 424.8 \pm 42.7 |
| | II | 344.3 \pm 18.4 | 513.9 \pm 36.1 |
| | III | 415.2 \pm 45.0 | 647.9 \pm 81.2 |
| | IV | 521.1 \pm 29.5 | 846.0 \pm 54.7 |
| | V | 588.4 \pm 11.8 | 976.5 \pm 22.6 |
| (Adulte) | VI | 618.0 \pm 16.9 | 1034.1 \pm 35.6 |

Comme le montre le tableau 4, les nauplii n'ont que des valeurs numériques sous la rubrique " longueur du prosome ", car ils ne sont constitués que du prosome, autrement dit de la carapace. Les copépodites et les adultes contiennent également un urosome, qui se termine par une furca caudale (Chang & Lei, 1993). Dans le présent projet, lorsque les mesures de longueur sont décrites, la longueur totale du corps est utilisée ; la longueur du prosome pour les nauplii, et la longueur du prosome et de l'urosoma mais sans la furca caudale pour les copépodites.

En tant qu'arthropodes, ils se développent en muant pour se débarrasser de leurs exosquelettes chitineux rigides. Ils ont un temps de génération court par rapport aux autres espèces de copépodes (≥ 13 jours), et un taux de croissance relativement rapide qui semble être étroitement lié à la température, au type de nourriture et à la disponibilité de la nourriture (Lee et al., 2005). Cette espèce se reproduit de manière sexuée, et les femelles peuvent utiliser

le liquide spermatique reçu des mâles pour féconder les grappes d'œufs qui font éclore 10 à 15 nauplii par jour (Pan et al., 2016). Les femelles portent les œufs dans des sacs à œufs doubles attachés à leur premier somite abdominal (Stottrup, 2003). Le taux de croissance élevé et la forte production d'œufs sont quelques-unes des raisons pour lesquelles *A. royi* présente un intérêt comme aliment vivant pour l'aquaculture.

7.2.2 Protocole d'élevage :

Une souche pure du copépode cyclopoïde *A. royi* a été obtenue auprès du Tungkang Biotechnology Research Center à Taiwan. Des cultures stables ont ensuite été établies à la station LOG-Marine de Wimereux, France, pendant 18 mois avant le début de cette étude. Les copépodes ont été cultivés dans des bonbonnes en polycarbonate de 20 L contenant de l'eau de mer diluée avec une salinité de 20 (un mélange d'eau distillée et d'eau de mer naturelle 1- μ m-filtered). Les cultures ont été placées dans une chambre photopériodique (cycle lumière-obscurité de 12 heures avec une intensité d'éclairage de \sim 3000lux), et des chauffages thermostatiques (EHEIM thermo control 50W, EHEIM GmbH, Allemagne) ont été utilisés pour maintenir la température de l'eau à 28°C, ce qui simule la température de leur habitat naturel. Tous les 10 jours, les copépodes (tous les stades) ont été délicatement collectés à l'aide d'une maille de 38- μ m et placés dans un nouveau milieu de culture

Une sélection à froid simple a été réalisée à l'échelle de la population dans cette étude. Une culture mère de 20 litres d'*A. royi* a été divisée en deux souches. La souche témoin a été cultivée dans une bonbonne de 10 litres dans les mêmes conditions de culture que la culture mère (28°C). La souche sélective a été transférée dans deux béciers de 5 L dans un incubateur thermostatique programmé à une température plus basse (18°C). Les copépodes ont été nourris tous les 2 jours avec la microalgue *Isochrysis galbana* (\sim 105 cellules mL⁻¹).

Les copépodes (tous les stades) ont été délicatement collectés à l'aide d'une maille de 38- μ m et transférés dans un nouveau milieu de culture tous les 10 jours. Les deux souches ont été acclimatées pendant 10 mois (correspondant à \sim 40 et 15 générations, respectivement, pour les souches témoin et sélective) jusqu'au début des expériences. (YEN-JU P et al ,2017).

7.3 *Acartiaclausii* :

Acartiaclausii est un copépode calanoïde que l'on trouve dans l'Atlantique Nord ainsi que dans la mer Noire et la mer Méditerranée. Ils sont typiquement très communs et abondants dans les eaux peu profondes (zooplankton ID Guid).

Les *A. clausii* sont plus grands que les espèces similaires, mesurant plus de 1mm en moyenne. Ils ont une tête plate ou de forme triangulaire, une morphologie de corps ovale, et des premières antennes qui s'étendent plus longtemps que leur prosome mais pas plus que la longueur du prosome et des ramis. Les coins du dernier segment thoracique sont arrondis et il n'y a pas de rostre visible au microscope. *A. clausii* peut être distingué des autres espèces d'*Acartia* par les 4-5 épines sur leur dernier segment thoracique (zooplankton ID Guid).

7.3.1 Caractéristiques:

- Une rangée de grandes épines au niveau du métasome.
- Premières antennes longues (au moins la moitié de la longueur de leur corps)
- Deuxièmes antennes ramifiées
- Jointure entre les cinquième et sixième segments du corps
- Morphologie du corps en forme de saucisse

Si votre spécimen possède une cinquième patte, il s'agit d'un adulte. Sinon, il s'agit d'un copépodite. Si votre spécimen a une teinte rougeâtre sur son urosome, il s'agit d'un individu femelle. Si un *A. clausii* est gravide, il aura deux sacs à œufs de chaque côté de son corps. (zooplankton ID Guid)



Figure 10 : *Acartia (Acartiura)*

clausi(<https://www.st.nmfs.noaa.gov/nauplius/media/copepedia/taxa/T4000086/html/photoframe.html>)

Zooplankton : Copepoda : Calanoida : Acartiidae : Acartia : Acartia (Acartiura) :

Acartia (Acartiura) clausi



Photo Credit:

EHU Zooplankton Ecology Group
University of Basque Country (UPV-EHU)

COPEPEDIA
T4000086



Figure 11 : *Acartia (Acartiura)*

clausi(<https://www.st.nmfs.noaa.gov/nauplius/media/copepedia/taxa/T4000086/html/photoframe.html>)

Zooplankton : Copepoda : Calanoida : Acartiidae : Acartia : Acartia (Acartiura) :

Acartia (Acartiura) clausi



Photo Credit:

EHU Zooplankton Ecology Group
University of Basque Country (UPV-EHU)

COPEPEDIA
T4000086



Figure 12 : *Acartia (Acartiura)*

clausi(<https://www.st.nmfs.noaa.gov/nauplius/media/copepedia/taxa/T4000086/html/photoframe.html>)

7.4 *Tisbefurcata* :



Figure13 : *Tisbefurcata*

(https://www.researchgate.net/figure/Pictures-of-focal-copepods-a-Tisbe-furcata-b-Ectinosoma-dentatum-c-Diosaccus_fig1_325194182)

Tisbefurcata est un copépode littoral qui envahit couramment les systèmes d'eau salée reliés à la mer. Il est facile à élever à tous les stades de son développement. En tant que charognard, il se nourrit de divers types d'aliments, mais les fines tranches d'algues fraîches et de varech déshydraté sont particulièrement acceptables. Après l'œuf, il y a six stades naupliaires et six stades copépodides, dont le dernier est l'adulte. Chaque stade est séparé par une mue. La période d'incubation est de deux à quatre jours, généralement environ 2,5 jours. La durée totale du stade naupliaire est de trois à huit jours, généralement cinq jours environ.

Le premier signe de maturité sexuelle, qui se manifeste par l'agrippement du mâle, apparaît entre le 10^e et le 25^e jour, généralement vers le 16^e jour. Le temps minimum entre les

générations (c'est-à-dire entre l'œuf et la production d'œufs) était de 15 jours, mais habituellement de 19 à 24 jours.

La durée de vie des individus était très variable. Elle a été étudiée principalement chez les femelles, dont certains individus vivaient de 40 à 50 jours. Le spécimen le plus âgé avait une durée de vie de 70 ou 71 jours, mais aucun œuf n'était produit après le 53^e jour.

Le nombre de couvées indiqué par les sacs d'œufs produits par les femelles isolées varie de 7 à 12, avec une moyenne d'environ 9. Après le premier sac d'œufs, les suivants apparaissent à des intervalles de deux à cinq jours, généralement environ trois jours. Le nombre d'œufs dans une couvée variait de 29 à 93, avec une moyenne de 43 dans un échantillon et de 72 dans un autre. Chaque femelle ne s'accouplait qu'une seule fois, et cet accouplement suffisait à la fertilisation de tous les œufs produits. Les mâles étaient capables de s'accoupler plusieurs fois. Environ 80 % des larves écloses ont survécu jusqu'à l'état adulte. Il n'y a pas de preuve de parthénogenèse (Martin et al, 2014).

Chapitre II : Matériel et Méthodes

Dans ce chapitre, nous allons essayer de présenter quelques notions sur l'élevage en monoculture et la culture mixte. D'autre part, nous allons présenter les protocoles sur lesquels nous avons travaillé.

1. Notions sur les deux types d'élevage :

1.1 Définition de la monoculture :

La monoculture, comme son nom l'indique, consiste à cultiver une seule espèce d'organisme dans un système de culture de n'importe quelle intensité, que ce soit dans n'importe quel type d'eau, douce, saumâtre ou salée.

Afin de répondre aux différents besoins d'une seule espèce on les élève dans plusieurs types de culture. Dans certains cas, la "monoculture" fait référence à la culture et à l'élevage d'une seule espèce. Les performances de reproduction d'une seule espèce peuvent être facilement observées et enregistrées dans un système de monoculture. De plus, il n'y a aucune compétition pour la nourriture et l'espace entre les espèces.

Catégories de monoculture :

- Culture en eau douce.
- Culture en eau de mer.
- Culture en eau saumâtre.

Il n'en reste pas moins que dans les systèmes de production en monoculture extensive et semi-intensive, une part importante du potentiel de production est sous-utilisée ou pas utilisée du tout. Néanmoins, la monoculture est un système assez facile à contrôler, c'est pourquoi tous les élevages intensifs sont, en général, en monoculture.

1.2 Définition de La polyculture :

La polyculture, comme son nom l'indique, est la culture de plusieurs espèces dans un même plan d'eau, elle est aussi appelée « culture mixte », « culture associée » ou l'élevage d'espèces mélangées. Le système de culture dépend généralement de la nourriture naturelle d'un plan d'eau, parfois augmentée artificiellement par fertilisation et/ou par alimentation complémentaire. Si une nourriture artificielle est donnée, il s'agit d'une nourriture commune acceptable pour toutes ou la plupart des espèces cultivées.

Le principe est que la production d'espèces dans les étangs peut être maximisée en élevant une combinaison d'espèces ayant des habitudes alimentaires différentes. Le concept de polyculture des espèces aquatiques est basé sur le concept d'utilisation totale des différentes

niches trophiques et spatiales d'un étang afin d'obtenir une production maximale d'espèces par unité de surface. Le mélange d'espèces permet une meilleure utilisation de la nourriture naturelle disponible produite dans un étang. Les espèces compatibles ayant des habitudes alimentaires complémentaires sont stockées de manière à ce que toutes les niches écologiques de l'écosystème des étangs soient efficacement utilisées. La polyculture a commencé en Chine il y a plus de 1000 ans. La pratique s'est répandue dans toute l'Asie du Sud-Est et dans d'autres parties du monde. Elle est un moyen d'intensifier la pisciculture sans apport d'aliments coûteux. De cette façon, la nourriture naturelle produite dans l'environnement d'élevage est utilisée dans une plus large mesure grâce à des habitudes alimentaires compatibles ou complémentaires des poissons qui ne sont pas en compétition les uns avec les autres. Afin d'utiliser au maximum la nourriture naturelle, et comme les poissons peuvent changer de nourriture si leurs ressources alimentaires habituelles sont épuisées, il est très important de déterminer le rapport correct entre les différentes espèces de la polyculture en fonction des conditions écologiques de l'étang et de les ajuster pour qu'il ne va pas y avoir de concurrence.

2. Caractéristiques des espèces étudiées :

2.1 *Pseudodiaptomuseuryhalinus* :

P. euryhalinus est un copépode calanoïde semi-planctonique avec une large tolérance à la salinité, capable de s'accoupler et de se reproduire entre environ 2 et 68. Les femelles sont plus longues que les mâles (1520-1735 et 1020-1234 μ m, respectivement) et, lorsqu'ils sont matures, les mâles saisissent l'urosome des femelles et forment des couples d'accouplement stables qui durent jusqu'à la mort (Johnson 1939). Normalement, les œufs éclosent 2 ou 3 j après l'apparition des sacs d'œufs jumeaux. Après l'éclosion, six nauplii (taille initiale de N1 : 70 \pm 0,5 μ m) et six stades copépodites se produisent en 13 j (Johnson 1948) bien que, dans des conditions favorables, nous ayons observé que dans nos cultures de masse, de nouveaux adultes peuvent apparaître en 10-11 j, et que de nouvelles paires d'accouplement sont déjà présentes en culture 15 j après l'éclosion (Puello-Cruz et al. 2009).

Elle est largement distribuée dans les mers tropicales et subtropicales du Pacifique oriental (des côtes de la Californie, USA, à l'Equateur). Plus précisément, l'espèce *P. euryhalinus* est distribuée de la baie de San Francisco, CA (USA) aux côtes de Baja California Sur, Mexique (Fig. 2) (Walter, 1989). Cette espèce a été décrite pour la première fois par Johnson en 1939.

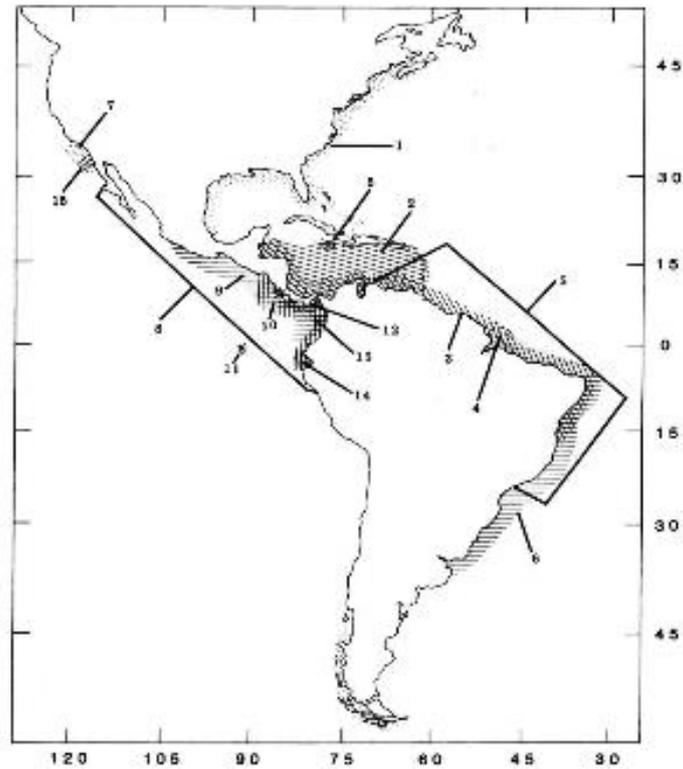


Figure 14 :Distribution du genre *Pseudodiaptomus* en Amérique (Mapatomate par Walter, 1989).

(1) pelagicus (2) cokeri (3) marshi (4) gracilis (5) acutus (6) richardi (7) euryhalinus (8) wrighti (9) culebrensis (10) P.sp (11) galapagensis (12) panamensis (13) cristobalensis (14) longispinosus (15) marinus.

Dans des conditions de laboratoire, *P. euryhalinus* présente une distribution différentielle dans leurs stades respectifs : les nauplii ont tendance à être pélagiques, tandis que les adultes ont tendance à être épibenthiques, de sorte que la plupart essaient de s'approcher du fond, ainsi que de s'accrocher à un substrat qui est suspendu dans la colonne d'eau ou les murs de la zone de culture (Osorio, 1998). *P. euryhalinus* présente un dimorphisme sexuel en ce qui concerne la taille des individus, où les femelles ont une moyenne de 1465 μm et les mâles de 805 μm , ces mesures peuvent être différenciées à partir du 8ème jour de culture (Johnson, 1939). Ce copépode présente cinq stades naupliaires de vie libre après l'éclosion et la larve peut être reconnue du Nauplius II grâce à ses structures déjà développées. Finalement, il développe six stades de copépodite avec un dimorphisme sexuel dans sa taille à partir du copépodite IV. Cependant, il n'atteint pas la maturité sexuelle avant le stade VI du copépodite, à partir duquel le segment génital est complètement développé (Johnson, 1939 et 1948).



Figure 15:Micrographie de *Pseudodiaptomuseuryhalinus*(20X2)(Flores ,2008)

2.2 *Tisbemonozota* :

Tisbemonozota est un copépode harpacticoïde benthique. Les femelles adultes ne portent qu'un seul œuf, qui apparaît après l'accouplement et le transfert des spermatophores; un accouplement suffit pour produire au moins trois sacs d'œufs de taille normale successifs. Cette espèce peut se nourrir d'une grande variété de produits alimentaires, et le type et la quantité de nourriture fournie affectent la production d'œufs, qui peut aller de 60 à 120 œufs / couvain / femelle. Les premiers nauplii apparaissent entre 1 et 3 jours après l'apparition du sac œuf, la durée du cycle de vie est similaire à celle de *P. euryhalinus*, et il se compose de six nauplii (55–65 µm) et de six stades copépodites(puello-cruz et al , 2013).

3. Protocoles d'élevage de *Tisbemonozota* et *Pseudodiaptomuseuryhalinus* :

Pour évaluer uniquement la production de la progéniture des adultes d'origine, l'expérience a duré environ un cycle de vie (15 j). Elle a été réalisée dans des flasks en verre à fond rond de 1 L avec 500mL d'eau de mer filtrée à 2µm et stérilisée aux UV (salinité 35), en utilisant cinq réplicats pour chaque traitement. Des isolats locaux du calanoïde *Pseudodiaptomuseuryhalinus*, Johnson 1939, et de l'harpacticoïde *T. monozota*, Bowman 1962, sont maintenus en cultures de masse monospécifiques continues depuis 2000 dans le laboratoire de nutrition et de larviculture du Centro de Investigaci'on en Alimentaci'on y Desarrollo, Campus de Mazatl'an, où ils sont utilisés pour l'alimentation larvaire de

plusieurs espèces de poisson (PuelloCruz et al. 2008, 2011 ; Velasco-Blanco et al. 2011). Les cultures mères sont conservées sans aération dans des flasks en verre de 5 et 10L, en renouvelant l'eau et en ajoutant des cultures de microalgues lorsque cela est justifié, généralement une ou deux fois par semaine.

Les conditions de culture optimales pour les deux espèces sont: salinité 35, température 27C, 12h: 12h lumière: photopériode sombre et 320 cellules / μ L de *Chaetocerosmuelleri* Lemmermann pour *P. euryhalinus*, et un régime mixte de *Tetraselmis suecica* (Kyllin) Butcher, *Isochrysis galbana* Parke et *C. muelleri* (rapport 3: 1: 1) pour *T. monozota*.

Sachant qu'aucun comportement cannibale ou prédateur n'a été observé chez l'une ou l'autre des espèces (Puello-Cruz et al. 2006, 2011; Velasco-Blanco et al. 2011).

Les adultes ont été obtenus du laboratoire de nutrition du CIAD-Mazatlan. Le nombre initial d'adultes dans les monocultures et dans les cultures mixtes dépendait des caractéristiques de reproduction des deux espèces.

Le nombre d'adultes de départ des traitements utilisés pour l'expérience était:

- *P. euryhalinus* monospécifique: 10 couples d'accouplement
- *T. monozota* monospécifique: 10 femelles ovigères
- *P. euryhalinus* + *T. monozota* (rapport 1: 1): 5 couples accouplés de *P. euryhalinus* et 5 femelles ovigères de *T. monozota*.
- *P. euryhalinus* + *T. monozota* (rapport 2: 1): 10 couples accouplés de *P. euryhalinus* et 5 femelles ovigères de *T. monozota*.
- *P. euryhalinus* + *T. monozota* (rapport 1: 2): 5 couples accouplés de *P. euryhalinus* et 10 femelles ovigères de *T. monozota*.

Les conditions de culture étaient de 28 ± 1 C (mesurées deux fois par jour avec un thermomètre à mercure), 12h: 12h de lumière artificielle: photopériode sombre, alimentées par quatre lampes fluorescentes de 110W connectées à un TorkMod. Minuterie 1101 (NS Industries, Mount Vernon, NY, États-Unis). Aucune aération n'a été fournie tout au long de l'expérience et aucune eau n'a été éliminée en raison de la faible densité des copépodes, et parce que cela a permis le dépôt de nourriture et de débris non consommés, et la formation de biofilm pour que le copépode harpacticoïde puisse se nourrir.

L'alimentation était avec 320 cellules / μ L d'*Isochrysis* sp. (Souche T-Iso), qui a été choisie car elle est considérée comme un régime alimentaire efficace pour la production d'œufs dans les cultures de copépodes (Stottrup et Jensen 1990; Teixeira et al. 2010).

La concentration cellulaire a été déterminée avec un hémocytomètre et ajustée quotidiennement. Au jour 15, les concentrations des déchets azotés (ammoniac et nitrites, N-NH₄⁺ et N-NO₂⁻) ont été déterminées selon Strickland et Parsons (1972) à l'aide d'échantillons en triple. Tous les organismes présents dans chaque flask ont été récoltés et comptés sous un microscope à dissection Leica MZ6 / L2 (Leica Microsystems, Wetzlar, Allemagne) séparant les femelles ovigères, les adultes seuls et les copépodites de *T.monozota*, et les couples d'accouplement avec ou sans sacs d'oeufs, unique adultes et copépodites, dans le cas de *P. euryhalinus*. Nauplii n'a pas pu être identifié au niveau de l'espèce et a été considéré comme une production totale.

Chapitre III : Interprétation des résultats

1. Production moyenne des nauplius en monoculture et culture mixte :

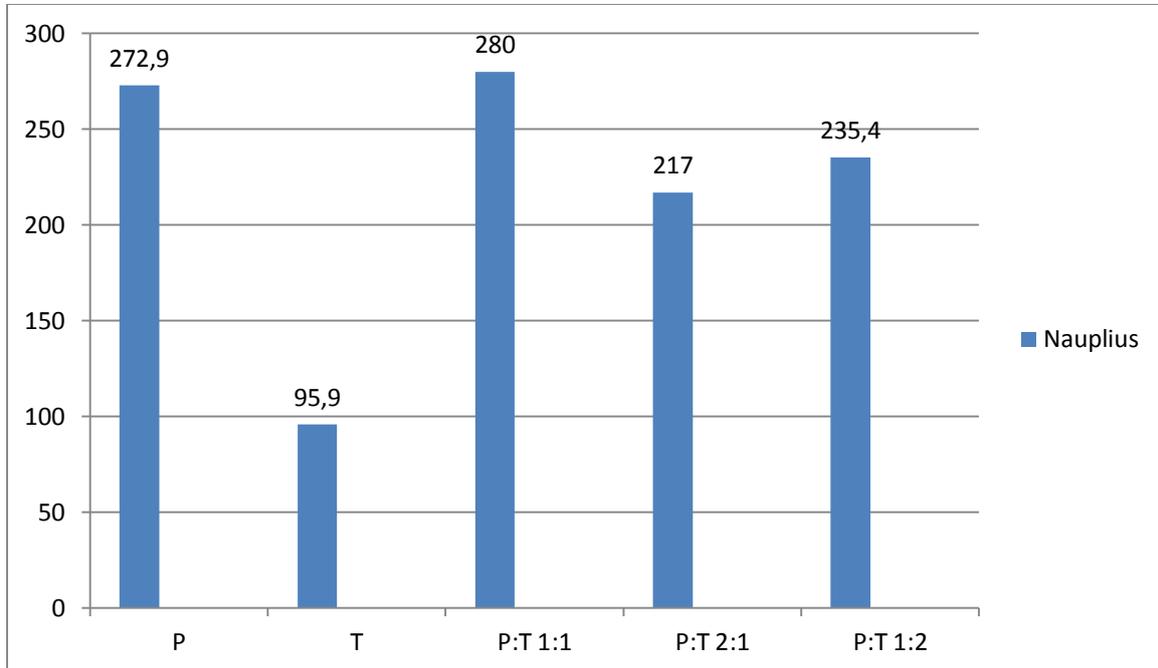


Figure 16: Production moyenne de nauplius (organismes/L) de *Pseudodiaptomuseuryhalinus* et de *Tisbemonozota* dans des cultures de laboratoire monospécifiques et mixtes après 15 jours.

P = *P. euryhalinus*

T = *T. monozota*

P:T = 1:1, 2:1, et 1:2: mixte *P. euryhalinus* : *T. monozota*

(Rapports initiaux 1:1 ; 2:1, et 1:2, respectivement).

En comparant la monoculture de *Pseudodiaptomuseuryhalinus* avec les cultures mixtes de *Pseudodiaptomuseuryhalinus*+*Tisbemonozota* (P:T = 1:1, 2:1, et 1:2) on voit qu'il n'y a pas de différence significative entre les productions moyennes des nauplius exprimées en organismes/ Litre. Cependant, la production moyenne de *P.euryhalinus* en monoculture est de 272,9 organismes/L, une valeur qui est dans un intervalle de 217 à 280 organismes/L pour une culture mixte.

Par contre, la production moyenne des nauplius de *Tisbemonozota* exprimée en organismes/ Litre est diminuée d'une manière hautement significative en monoculture par rapport aux autres cultures contenant cette espèce. Ainsi, la production moyenne est de 95,9 organismes/L, une valeur faible et loin de la moyenne observée entre les trois cultures mixtes qui est de 244,33 organismes/L.

Notons que les cultures mixtes diffèrent en fonction des rapports initiaux :

P:T= 1:1 (280 organismes/L), 2:1 (217 organismes/L), et 1:2 (238,4 organismes/L): mixte *P. euryhalinus* : *T. monozota*. D'autre part, la production moyenne des nauplius des deux espèces en monoculture reste différente.

2. Production moyenne d'adultes en monoculture et culture mixte :

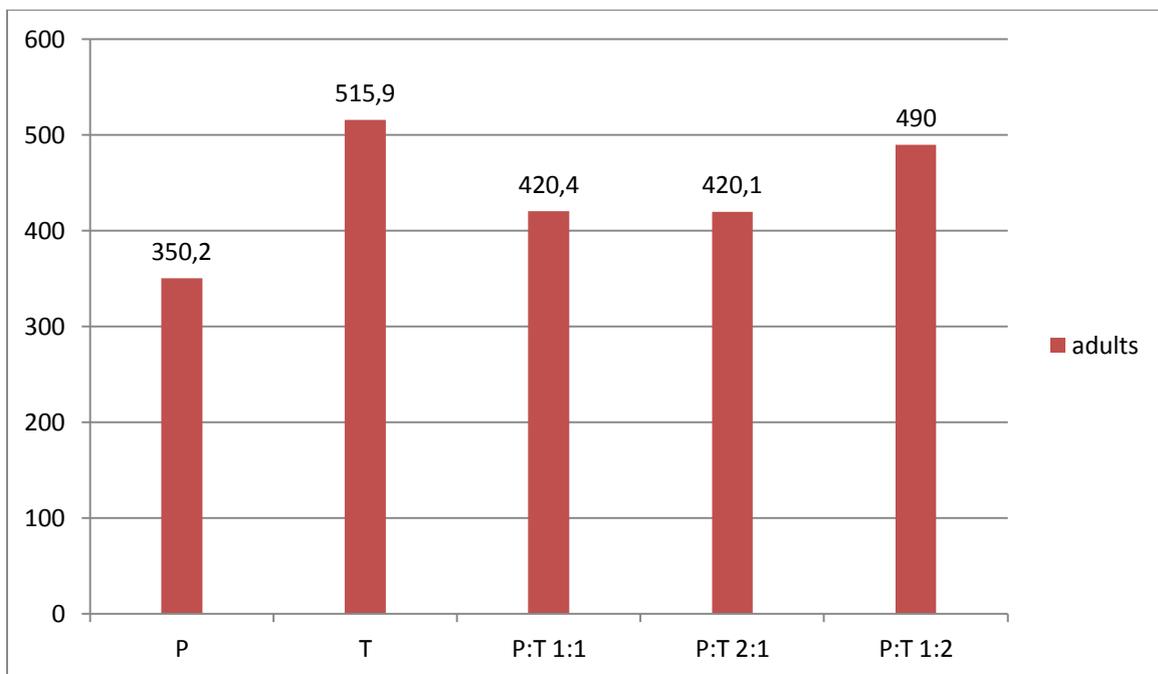


Figure 17: Production moyenne d'adultes (organismes/L) de *Pseudodiaptomus euryhalinus* et de *Tisbemonozota* dans des cultures de laboratoire monospécifiques et mixtes après 15 jours.1

P = *P. euryhalinus*

T = *T. monozota*

P:T= 1:1, 2:1, et 1:2: mixte *P. euryhalinus* : *T. monozota*

(Rapports initiaux 1:1 ; 2:1, et 1:2, respectivement).

La production moyenne d'adultes exprimée en organismes/ litre dans les trois cultures mixtes de *Pseudodiaptomuseuryhalinus* et *Tisbemonozota* est relativement plus élevée que la production moyenne d'adultes en monoculture de *Pseudodiaptomuseuryhalinus*. En effet, une moyenne de 350,2 organismes/L a été observée chez les adultes contre une moyenne de 443,5 organismes/L pour les trois cultures mixtes.

La production moyenne d'adultes exprimée en organismes/ litre en monoculture de *Tisbemonozota* est élevée d'une manière hautement significative par rapport aux autres cultures. Ainsi, une moyenne de 515,9 organismes/L a été enregistrée contre une moyenne de 443,5 organismes/L pour les trois cultures mixtes.

Deux cultures mixtes présentent une production des adultes qui est similaire dans le cas des rapports initiaux P:T= 1:1 (420,2 organismes/L) et 2:1 (420,1 organismes/L) (*P. euryhalinus* : *T. monozota*). En revanche, pour une monoculture, la production des adultes est différente entre les deux espèces avec 350,2 organismes/L pour *P. euryhalinus* et 515,9 organismes/L pour *Tisbemonozota*.

3. Production moyenne des copépodites en monoculture et culture mixte :

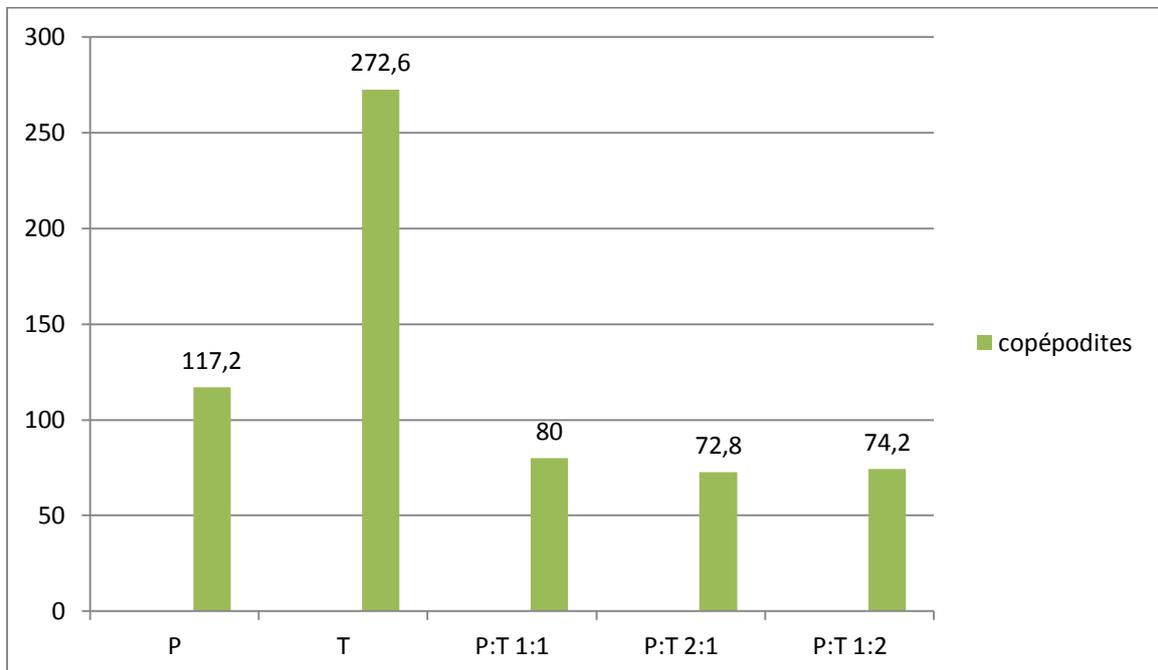


Figure 18: Production moyenne de copépodites (organismes/L) de *Pseudodiaptomuseuryhalinus* et de *Tisbemonozota* dans des cultures de laboratoire monospécifiques et mixtes après 15 jours. 1

P = *P. euryhalinus*

T = *T. monozota*

P:T = 1:1, 2:1, et 1:2: mixte *P. euryhalinus* : *T. monozota*

(Rapports initiaux 1:1 ; 2:1, et 1:2, respectivement).

L'analyse de la figure 19 montre que la production moyenne de copépodites exprimée en organismes/litre en culture monospécifique de *Pseudodiaptomus euryhalinus* est relativement plus élevée (117,2 organismes/L) que la production moyenne de copépodites en cultures mixtes de *Pseudodiaptomus euryhalinus* et *Tisbe monozota* (75,66 organismes/L entre les trois rapports initiaux).

La production moyenne de copépodites exprimée en organismes/litre dans une monoculture de *Tisbe monozota* est élevée (272,6 organismes/L) d'une manière hautement significative en comparaison avec les autres cultures (75,66 organismes/L entre les trois rapports initiaux).

Les cultures mixtes diffèrent légèrement en fonction des rapports initiaux :

P:T = 1:1 (80 organismes/L), 2:1 (72,8 organismes/L), et 1:2 (74,2 organismes/L): mixte *P. euryhalinus* : *T. monozota*. De même, en monoculture la production des copépodites des deux espèces est significativement différente avec 117,2 organismes/L pour *P. euryhalinus* et 272,6 organismes/L pour *T. monozota*.

4. La production moyenne de copépodites+adultes en culture mixte et monoculture :

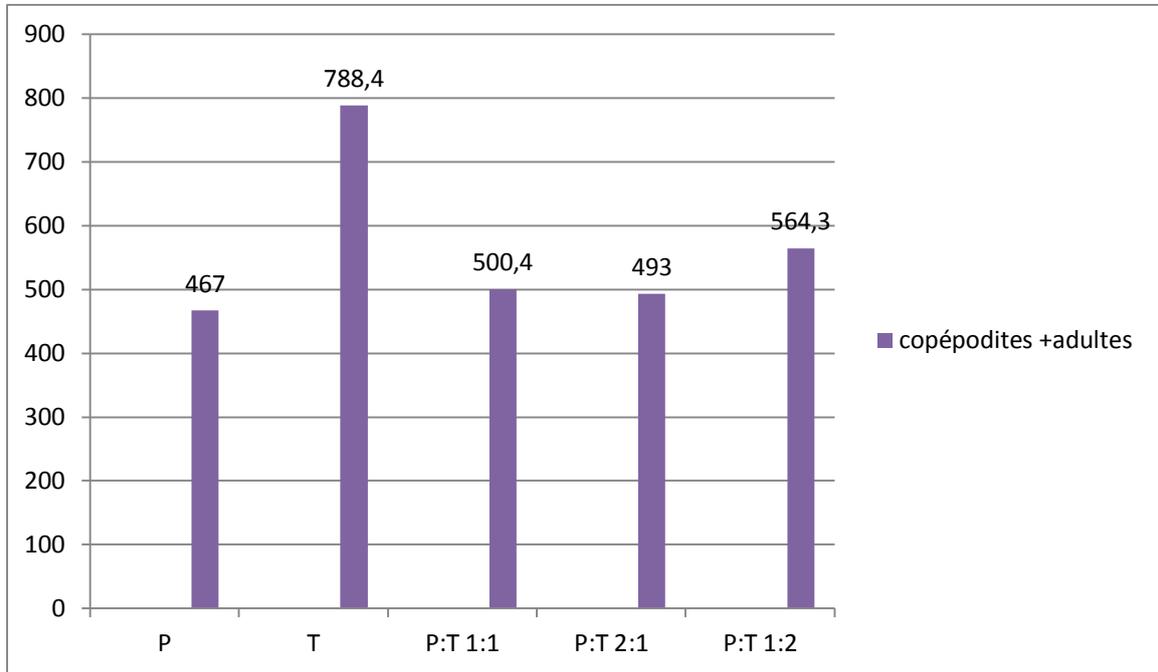


Figure 19: Production moyenne de copépodites+adultes (organismes/L) de *Pseudodiaptomuseuryhalinus* et de *Tisbemonozota* dans des cultures de laboratoire monospécifiques et mixtes après 15 jours.

Il n'y a pratiquement pas de différences entre la production moyenne de copépodites+adultes exprimée en organismes/ Litre dans la monoculture de *Pseudodiaptomuseuryhalinus* (467 organismes/L) et les cultures mixtes de *Pseudodiaptomuseuryhalinus* et *Tisbemonozota* (P :T = 1:1 et 2:1 dont la moyenne entre les deux est 496,7 organismes/L). Par contre, la production moyenne de copépodites+adultes exprimée en organismes/Litre en culture mixte (P:T = 1 :2) reste plus élevée (564,3 organismes/L).

Quant à la monoculture de *Tisbemonozota*, la production moyenne de copépodites +adultes exprimée en organismes/Litre est élevée d'une manière hautement significative par rapport aux autres cultures mixtes. En effet, une valeur de 788,4 organismes/L a été observée en monoculture contre une moyenne de 519,23 organismes/L pour les trois cultures mixtes.

Entre les trois cultures mixtes, les deux rapports initiaux P : T = 1:1 et 2:1 ne présentent pas une différence significative avec respectivement 500,4organismes/L et 493organismes/L.

Quant à la monoculture, la production moyenne de copépodites+adultes exprimée en organismes/ Litre montre une différence significative entre les deux espèces *Pseudodiaptomuseuryhalinus* (467organismes/L) et *Tisbemonozota* (788,4organismes/L).

5. Le pourcentage final moyen de *Pseudodiaptomuseuryhalinus* et *Tisbemonozota* en culture mixte et en monoculture :

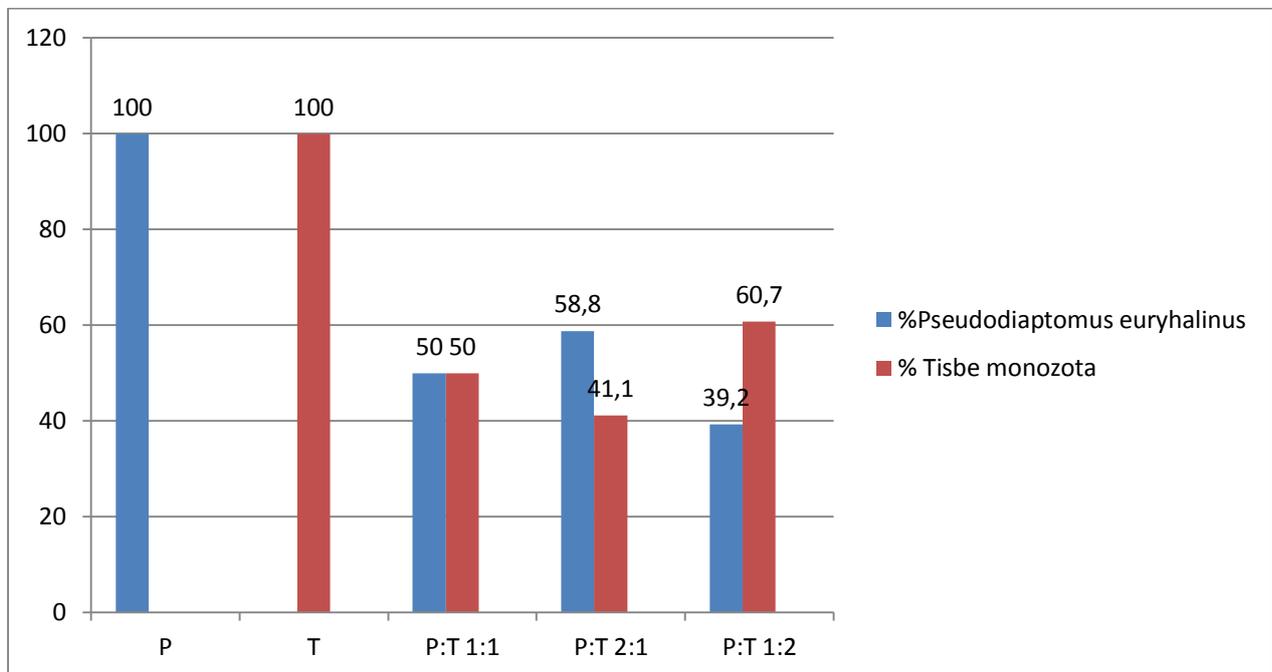


Figure 20: pourcentage final moyen de *Pseudodiaptomuseuryhalinus* et *Tisbemonozota* (%) dans des cultures de laboratoire monospécifiques et mixtes après 15 jours.

P = *P. euryhalinus*

T= *T. monozota*

P:T= 1:1, 2:1, et 1:2: mixte *P. euryhalinus* : *T. monozota*

(Rapports initiaux 1:1 ; 2:1, et 1:2, respectivement).

Le pourcentage final moyen des deux espèces *Pseudodiaptomus euryhalinus* et *Tisbemonozota* exprimé en % dans une monoculture est de 100 %.

Le pourcentage final moyen des deux espèces présentes dans les cultures du mélange 1:1 était similaire. Dans les mélanges 2:1 et 1:2 (58.8% pour *P. euryhalinus*:41.1 % pour *T. monozota* et 39.2% pour *P. euryhalinus*:60.7% pour *T. monozota* respectivement), les rapports finaux respectifs tendaient à être proches de 60%:40% et 40%:60%.

6. Production de la progéniture d'une femelle initiale de *Pseudodiaptomus euryhalinus* et de *Tisbemonozota* dans des cultures monospécific et mixtes :

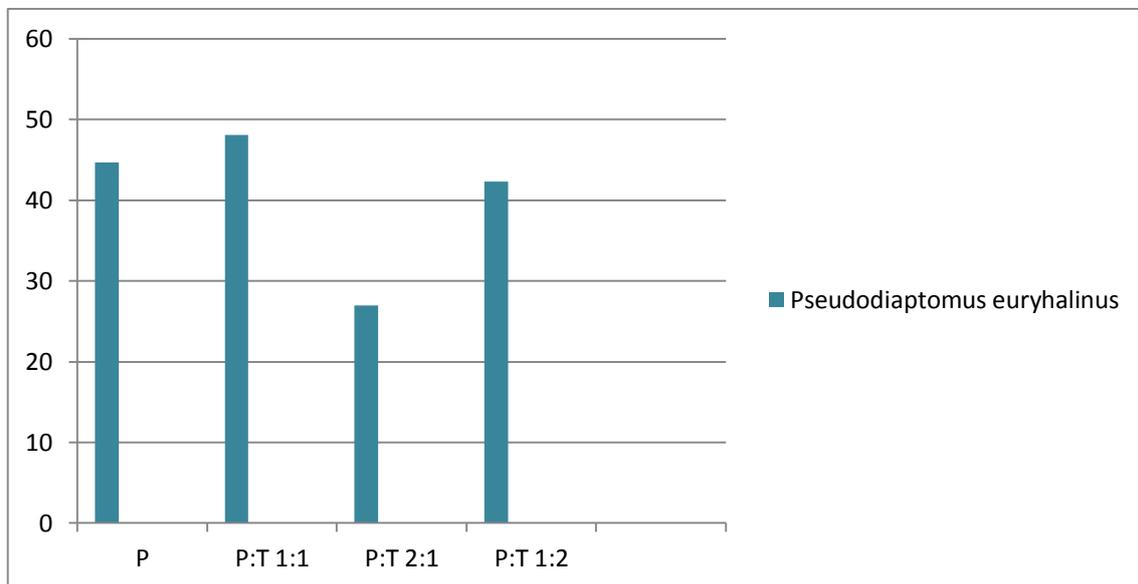


Figure 21 : Production de la progéniture d'une femelle initiale de *Pseudodiaptomus euryhalinus* (organismes/Litre) dans des cultures monospécific et mixtes après 15 jours dans des conditions de laboratoire

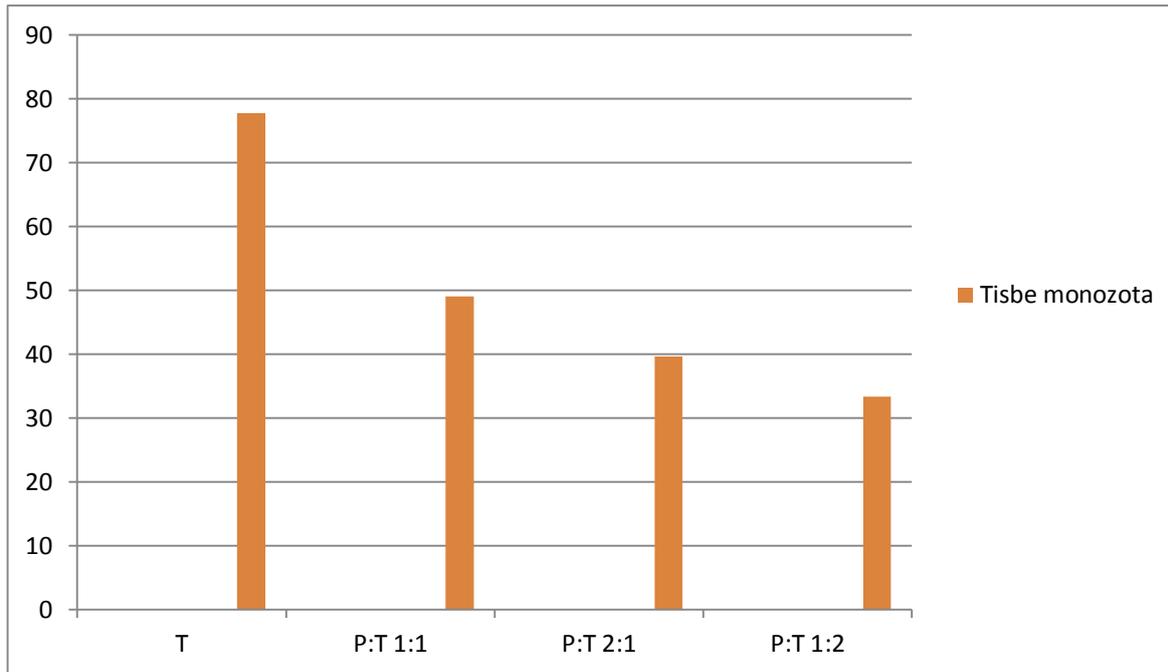


Figure 22 : Production de la progéniture d'une femelle initiale de *Tisbemonozota* (organismes/Litre) dans des cultures monospécific et mixtes après 15 jours dans des conditions de laboratoire.

P = *P. euryhalinus*

T = *T. monocota*

P:T = 1:1, 2:1, et 1:2: mixte *P. euryhalinus* : *T. monocota*

(Rapports initiaux 1:1 ; 2:1, et 1:2, respectivement).

La Production de la progéniture d'une femelle initiale de *Pseudodiptomuseuryhalinus* en culture mixte et en monoculture reste presque la même sauf en une seule culture mixte (P :T= 2 :1) où on remarque une diminution. Par contre, la production de la progéniture d'une femelle initiale de *Tisbemonozota* a diminué dans toutes les cultures mixtes.

Discussion et Conclusion

A fin d'étudier l'élevage des copépodes par une approche comparative, deux type de cultures ont été choisies à savoir, une monoculture et une culture mixte. Pour cela, nous avons pris deux espèces de copépodes : *Pseudodiaptomuseuryhalinus* et *Tisbemonozota*.

L'espèce *T. monozota* présente une production individuelle des femelles proche de 78 descendants/femelle. Des résultats similaires ont été observés par Puello-Cruz et al. (2006), qui ont trouvé 90 individus/femelle avec la même ration quotidienne de microalgues mélangées. Quant à l'espèce *P. euryhalinus*, une faible production a été obtenue avec moins de 45 individus/femelle. Cela, confirme généralement une productivité plus faible des copépodes calanoïdes par rapport aux copépodes harpacticoïdes (Cutts 2002, 2003). Cette différence est due aux habitudes alimentaires de chaque espèce. En effet, les calanoïdes sont principalement des filtreurs et dépendent uniquement de la nourriture disponible dans la colonne d'eau (Mauchline 1998), alors que les harpacticoïdes utilisent mieux les ressources alimentaires disponibles, car ils se nourrissent d'éléments alimentaires en suspension, ainsi que de détritiques et de bactéries, d'algues benthiques et de ciliés se développant sur le fond ou sur d'autres substrats solides (Delbare et al. 1996 ; Cutts 2003 ; Azovsky et al. 2005).

La productivité/femelle de *T. monozota* dans toutes les cultures mixtes a diminué, et celle de *P. euryhalinus* reste similaire à celle de la monoculture dans deux des trois traitements de culture mixte. Ceci est cohérent avec la dominance observée des calanoïdes par rapport aux harpacticoïdes dans des cultures polyspécifiques (Stottrup 2003), et avec une production des calanoïdes plus élevée en culture mixte harpacticoïdes-calanoïdes que dans une monoculture (Person-Le Ruyet, 1975).

Plusieurs travaux ont cité les avantages et les inconvénients des cultures des copépodes calanoïdes et harpacticoïdes. Ainsi, les calanoïdes sont pélagiques et donc facilement disponibles pour les larves de poissons, mais leur culture demande de grands volumes d'eau qui limitent les technologies rentables pour la production en masse, tandis que la forte densité d'harpacticoïdes peut être obtenue en fournissant de larges surfaces plutôt que des volumes d'eau élevés.

L'élevage des copépodes a pour but d'améliorer la culture des poissons vu que les copépodes constituent une source très précieuse de nourriture vivante pour l'élevage des larves de poisson. Cependant, malgré des progrès importants dans la culture des copépodes, leur utilisation reste sporadique. Cela peut être attribué à la rareté de l'utilisation des copépodes dans les milieux commerciaux. Ainsi, des efforts conscients doivent être faits pour

faire passer la culture des copépodes à des niveaux commerciaux afin d'assurer la production d'un approvisionnement fiable et continu de copépodes à grande échelle.

Le domaine de l'élevage des copépodes a besoin des recherches approfondies dans le but d'améliorer les techniques de culture et atteindre une meilleure production de copépodes, pour les utiliser comme aliment vivant pour les larves de poissons.

Références Bibliographiques

- Abraham ER** (1998) The generation of plankton patchiness by turbulent stirring. *Nature*, 391:577-580
- Ambler JW** (2002) Zooplankton swarms: characteristics, proximal cues and proposed advantages. *Hydrobiologia* ,480:155-164
- Ambler JW, Ferrari FD, Fornshell J** (1991) Population structure and swarm formation of the cyclopoid copepod *Dioithona oculata* near mangrove shores. *J Plankton Res*,13: 1257-1272
- Azovsky, A. I., M. A. Saburova, E. S. Chertoprood, and I. G. Polikarpov** (2005) Selective feeding of littoral harpacticoids on diatom algae: hungry gourmands? *Marine Biology* 148:327–337
- Balian, E.V., Segers, H., Lévêque, C. and Martens, K**(2008) The freshwater animal diversity assessment: an overview of the results. *Hydrobiologia*, 595(1) :627-637.
- Banas NS, Wang D-P, Yen J** (2004) Experimental Validation of an Individual-Based Model for Zooplankton Swarming. In: Seuront L, Strutton PG (eds) *Handbook of Scaling Methods in Aquatic Ecology: Measurement, Analysis, Simulation* CRC Press
- Basedow SL, Tande KS** (2006) Cannibalism by female *Calanus finmarchicus* on naupliar stages. *Mar Ecol-Prog Ser*, 327:247-255
- Bollens, S.M. and Frost, B.W**(1989) Predator-induced diet vertical migration in a planktonic copepod. *J. Plankton Res*, 11 :1047-1065.
- Boxshall GA , Halsey S.H** (2004) *An Introduction to Copepod Diversity*. The Ray Society, London, 966 .
- Boxshall GA, Defaye D** (2008) Global diversity of copepods (Crustacea: Copepoda) in freshwater. *Hydrobiologia* 595: 195-207.
- Buskey, E.J** (1984) Swimming pattern as an indicator of the roles of copepod sensory systems in the recognition of food. *Marine Biology*, 79 :165--175.
- Chang, W.B., Lei, C.H**(1993) Development and energy content of a brackish-water copepod, *Apocyclops royi* (Lindberg) reared in a laboratory. *Bull. Inst. Zool. Acad. Sin*, 32 :62-81.
- Cutts, C. J** (2002) Copepod culture: a review. Report of the working group on marine fish culture. Report ICES CM 2002/F:01. International Council for the Exploration of the Sea, Mariculture Committee, Copenhagen : 80–89.
- Cutts, C. J** (2003) Culture of harpacticoid copepods: potential as live feed for rearing marine fish. *Advances in Marine Biology* 44:295–316.
- Dam, H.G. and Peterson, T.W**(1993) Seasonal contrasts in the diel vertical distribution, feeding behavior, and grazing impact of the copepod *Temora longicornis* in Long Island Sound. *Journal of Marine Research*, 51 : 561-594.
- De Lima CML, Souza-Santos LP** (2007) The ingestion rate of *Litopenaeus vannamei* larvae as a function of *Tisbe biminiensis* copepod concentration. *Aquaculture*, 271:411-419.
- Delbare, D., P. Dhert and P. Lavens** (1996) Zooplankton. Lavens, P. and P. Sorgeloos. *Manual on the production and use of live food for aquaculture*. FAO Fisheries Technical ,361 : 252–265.

Der Meeren TV, Olsen RE, Hamre K, Fyhn HJ (2008) Biochemical composition of copepods for evaluation of feed quality in production of juvenile marine fish. *Aquaculture* ,274:375-397.

Devreker D, Souissi S, Molinero JC, Nkubito F (2008) Trade-offs of the copepod *Eurytemora affinis* in mega-tidal estuaries: insights from high frequency sampling in the Seine estuary. *J Plankton Res* ,30:1329-1342

Dhanker, R., Hwang, J.S(2013) Predation by *Apocyclops royi* (Cyclopoid: copepod) on ciliates and rotifers. *Journal of Marine Science and Technology*, 21 :246-251.

Dhont, J., Dierckens, K., Støttrup, J., Van Stappen, G., Wille, M. and Sorgeloos, P(2013) Rotifers, *Artemia* and copepods as live feeds for fish larvae in aquaculture. In *Advances in aquaculture hatchery technology* : 157-202

Drits AV, Pasternak AF, Kosobokova KN (1993) Physiological-characteristics of the antarctic copepod *calanoides-acutus* during late summer in the weddell sea 5th International Conference on Copepoda. *Kluwer Academic Publ, Baltimore, Md* :201-207

Dussart B (1980) Les Copépodes. *In Flore et Faune aquatique de l'Afrique Sahelo-soudanienne*. Tome 1; Durand, J. R. & Lévêque, C., (Eds.); ORSTOM, Paris: 333-356.

Dussart B., 1989- Crustacés copépodes calanoïdes des eaux intérieures africaines.

Flores, R(2008) Variación en el Contenido de Ácidos Grasos del Copépodo Calanoide *Pseudodiaptomus euryhalinus*(Johnson, 1939), Alimentados con las microalgas *Chaetoceros calcitrans* e *isochrysis galbana*. Tesis de Maestría. CIBNOR,52 .

Folmer, O., Black, M., Hoeh, W., Lutz, R. and Vrijenhoek, R(1994) DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates. *Molecular Marine Biology and Biotechnology*, 3: 294-299.

Fransz HG, Miquel JC, Gonzalez SR (1984) Mesozooplankton composition, biomass and vertical distribution, and copepod production in the stratified central north-sea. *Neth J Sea Res* ,18:82-96

Frisch U (1995) *Turbulence : The Legacy of A.N. Kolmogorov*, Vol. Cambridge Univ. Press

Gee JM (1989) An ecological and economic-review of meiofauna as food for fish. *Zool J Linn Soc* 96:243-261

Geoff A, Boxshall G.A, Defaye D (2008) Global diversity of copepods (Crustacea: Copepoda) in freshwater. *Hydrobiologia* , 595:195–207.

Hairston NGJ (1996) Zooplankton egg banks as biotic reservoirs in changing environments. *Limnology and Oceanography*, 41:1087-1092

Holliday DV, Pieper RE, Greenlaw CF, Dawson JK (1998b) Acoustical sensing of small-scale vertical structures in zooplankton assemblages. *Oceanography* ,11: 18-23

<https://watershed.ucdavis.edu/experiments/zoopsid/IDGuide/guidepgz4.html>

https://www.researchgate.net/figure/Pictures-of-focal-copepods-a-Tisbe-furcata-b-Ectinosoma-dentatum-c-Diosaccus_fig1_325194182

<https://www.scoop.it/topic/entomonews/p/4104918412/2019/01/24/le-minuscule-copepode-apocyclops-royi-semble-avoir-une-capacite-unique-produire-des-omega-3-en-grande-quantite>

<https://www.st.nmfs.noaa.gov/nauplius/media/copepedia/taxa/T4000086/html/photoframe.html>

Humes AG (1994) How many copepods? *Hydrobiologia* ,292-293:1-7

Johnson, M. W. (1948) The postembryonic development of the copepod *Pseudodiaptomus ewyhditms* Johnson, and its phylogenetic significance. *Trans. Am. Microsc. Soc.*,68(4): 3 19-330

Johnson, M. W.(1939)*Pseudodiaptomus* (*Pseudodiaptallous*) *euryhalinus* a new subgenus and species of copepoda, with preliminary notes on its ecology. *Trans. Am. Microsc. Soc.*,58(3): 349-355.

Katona SK (1971) The Developmental Stages of *Eurytemora Affinis* (Poppe, 1880) (Copepoda, Calanoida) Raised in Laboratory Cultures, Including a Comparison With the Larvae of *Eurytemora Ameri Cana* Williams, 1906, and *Eurytemora Herdmani* Thompson Scott, 1897. *Crustaceana* ,21:5-20

Kolmogorov AN (1991) Kolmogorov, Andrey Nikolaevich (July 8 1991). "The local structure of turbulence in incompressible viscous fluid for very large Reynolds numbers". *Proceedings of the Royal Society of London, Series A: Mathematical and Physical Sciences*, 434:15–17

Lee, K.W., Dahms, H.U., Park, H.G. and Kang, J.H.(2013)Population growth and productivity of the cyclopoid copepods *Paracyclops nana*, *Apocyclops royi* and the harpacticoid copepod *Tigriopus japonicus* in mono and polyculture conditions: a laboratory study. *Aquaculture Research*, 44(5) : 836-840.

Lee, K.W., Kwon, O.N. and Park, H.G.(2005) Effects of Temperature, Salinity and Diet on the Productivity of the Cyclopoid Copepod, *Apocyclops royi*. *Journal of Aquaculture*, 18(1) :52-59.

Marcus NH (1996) Ecological and evolutionary significance of resting eggs in marine copepods: past, present, and future studies. *Hydrobiologia* 320:141-152

Marcus, N. H.(2005). Calanoid copepods resting eggs and aquaculture. In: *Copepods in Aquaculture*. Lee, C. S., O'Bryen, P. J. and Marcus, N. H. (Eds.), Blackwell Publishing Ltd., Oxford, UK :3-9.

Marinespecies.org. 2018: WoRMS - World Register of Marine Species - *Apocyclops royi* (Lindberg,1940).[online]URL:<http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=357094> [Accessed 21 Aug. 2018].

Martin ,W,Johnson and J. Bennet Olson(2014)The Life History and Biology of a Marine Harpacticoid Copepod, *Tisbe Furcata* (Baird). *Biological Bulletin*, Vol. 95, No. 3 (Dec., 1948) : 320-332

Mauchline, J (1998) Gut, food and feeding. in J. H. S. Blaxter, A. J. Southward, and P. A. Tyler, editors. *The biology of calanoid copepods*. Academic Press, London, UK : 140–172.

Moison, M.(2009) Approche expérimentale et numérique du comportement individuel de *Temora longicornis* (Müller, 1792), copépode calanoïde typique de la Manche orientale : réponses aux forçages biotiques et abiotiques, 303.

Morgan CA, Cordell JR, Simenstad CA (1997) Sink or swim? Copepod population maintenance in the Columbia River estuarine turbidity-maxima region. *Marine Biology* 129:309-317

- Neill WE** (1990) Induced vertical migration in copepods as a defence against invertebrate predation. *Nature* 345:524-526
- Nielsen, B. L. H., Gøtterup, L** (2017) Trophic upgrade of long-chain polyunsaturated fatty acids by cyclopoid copepod *Apocyclops royi*. Masters thesis, RUC.
- Osorio, M**(1998) Efecto de la Temperatura y La Salinidad en Parametros Poblacionales de *Pseudodiaptomus euryhalinus* Johnson (CRUSTACEA: COPEPODA: CALANOIDEA) En Condiciones Controladas. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S., México, 68 .
- Pan, Y.J., Souissi, A., Sadovskaya, I., Hansen, B.W., Hwang, J.S. and Souissi, S.**, 2017: Effects of cold selective breeding on the body length, fatty acid content, and productivity of the tropical copepod *Apocyclops royi* (Cyclopoida, Copepoda). *Journal of Plankton Research*, 39(6) :994-1003.
- Pan, Y.J., Souissi, A., Souissi, S. and Hwang, J.S** (2016) Effects of salinity on the reproductive performance of *Apocyclops royi* (Copepoda, Cyclopoida). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 475 :108-113.
- Payne MF, Rippingale RJ** (2000) Evaluation of diets for culture of the calanoid copepod *Gladioferens imparipes*. *Aquaculture* 187:85-96
- Payne MF, Rippingale RJ, Longmore RB** (1998) Growth and survival of juvenile pipefish (*Stigmatopora argus*) fed live copepods with high and low hufa content. *Aquaculture* 167:237-24
- Powell TM, Okubo A** (1994) Turbulence, Diffusion and Patchiness in the Sea. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B: Biological Sciences*, 343:11-18
- Puello-Cruz A.C. & Mezo-Villalobos S** (2013) Progeny production of the copepods *Pseudodiaptomus euryhalinus* and *Tisbe monozota* in monospecific and mixed cultures. *Journal of the World Aquaculture Society*, 44 (3): 447-454
- Puello-Cruz, A. C., B. González-Rodríguez, and A. García-Ortega** (2008) Investigación en producción y uso de copépodos en larvicultura. L. E. Cruz-Suárez, D. Ricque-Marie, M. Tapia-Salazar, M. G. Nieto-López, D. A. Villareal-Cavazos, J. P. Lazo, and M. T. Viana, editors. *Avances en Nutrición Acuícola IX*. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Mexico : 90–107 .
- Puello-Cruz, A. C., B. González-Rodríguez, and A. García-Ortega** (2011) Compilación sobre el uso y producción de copépodos como alimento vivo para larvicultura marina en el CIAD-Mazatlán. A. Ruiz Luna, C. A. Berlanga-Robles, and M. Betancourt-Lozano, editors. *Avances en acuicultura y manejo ambiental*. Trillas, Mexico, D.F :123–135.
- Puello-Cruz, A. C., E. Yen-Ortega, B. González-Rodríguez, G. Velasco-Blanco, M. Nieves-Soto, and B. Gómez-Gil** (2006) Recent advances in the production and use of *Tisbe monozota* Bowman, 1962 (Copepoda: Harpacticoida: Tisbidae) in high-density cultures, and maintained under control conditions. in M. E. Hendrickx, editor. *Contributions to the study of East Pacific Crustaceans*, Volume 4 (1). UNAM, Mexico, D.F : 13–24
- Puello-Cruz, A. C., S. Mezo-Villalobos, B. González-Rodríguez, and D. Voltolina** (2009) Culture of the calanoid copepod *Pseudodiaptomus euryhalinus* (Johnson 1939) with different microalgal diets. *Aquaculture* 290:217–219.
- Razouls C., Bovee FD., Kouwenberg J., Desreumaux N** (2015-2016) Diversité et répartition géographique chez les Copépodes planctoniques marins.

- Razouls, C., de Bovée, F., Kouwenberg, J. and Desreumaux, N**(2015-2017). Diversity and geographic distribution of marine planktonic copepods.
- Samonte, I. E., Pagulayan, R.C. and Mayer, W. E** (2000) Molecular phylogeny of Philippine freshwater sardines based on mitochondrial DNA analysis. *Journal of Heredity*, 91(3): 247-253.
- Santhosh B., Anil M. K., Muhammed Anzeer F., Aneesh K. S., Mijo V. Abraham, Gopakumar G., Rani Mary George, Gopalakrishnan A. and Unnikrishnan C. (Eds.)**(2018) Culture techniques of marine copepods. ICAR-Central Marine Fisheries Research Institute, Kochi, Kerala, India,144.
- Santhosh, B. Muhammed Anzeer, F. Unnikrishnan C. and Anil, M. K** (2016) Potential species of copepods for marine finfish hatchery. In: Course Manual Winter School on Technological Advances in Mariculture for Production Enhancement and Sustainability. Imelda Joseph and B oby Ignatius, (Eds.) C entral Marine Fisheries Research Institute, Kochi :170-176.
- Souissi S, Ban S** (2001) The consequences of individual variability in moulting probability and the aggregation of stages for modelling copepod population dynamics. *J Plankton Res* ,23:1279-1296
- Stottrup JG** (2000) The elusive copepods: their production and suitability in marine aquaculture. *Aquac Res* ,31:703-711.
- Stottrup JG, Bell JG, Sargent JR** (1999) The fate of lipid during development and cold-storage of eggs in the laboratory-reared calanoid copepod, *Acartia tonsa* Dana, and in response to different algal diets. *Aquaculture*, 176:257-269.
- Stottrup JG, Norsker NH** (1997) Production and use of copepods in marine fish larviculture. *Aquaculture*, 155:231-247.
- Stottrup, J. G**(2003) Production and nutritional value of copepods In: Live Feeds in Marine Aquaculture, Stottrup, J. G. and McEvoy, L. A. (Eds.) Blackwell Publishing Company, Oxford, U.K.p :145-205.
- Stottrup, J. G**(2006) A review on the status and progress in rearing copepods for marine larviculture. Advantages and disadvantages among calanoid, harpacticoid and cyclopoid copepods. *Advences en Nutrition Acuicola*, VIII 333(5): 970-694.
- Støttrup, J. G. and J. Jensen** (1990) Influence of algal diet on feeding and egg production of the calanoid copepod *Acartia tonsa* Dana. *Aquaculture* ,141:87-105.
- Su, H.M., Su, M.S. and Liao, I.C**(1997) Collection and culture of live foods for aquaculture in Taiwan. *Hydrobiologia*,358(1-3) :37-40.
- Teixeira, P. F., S. M. Kaminski, T. R. Avila, A. P. Cardozo, J. G. F. Bersano, and A. Bianchini**(2010) Diet influence on egg production of the copepod *Acartia tonsa* (Dana, 1896). *Anais da Academia Brasileira de Ciências* ,82:333–339
- Toledo, J. D., Golez, M. S. and Ohno, A** (2005) Studies on the use of copepods in the semi-intensive seed production of grouper *Epinephelus coioides*, In: *Copepods in Aquaculture*. Lee, C. S., O’Bryen, P. J. and Marcus, N. H. (Eds.), Oxford: Blackwell publishing :169-182.
- Turner JT** (1984) The Feeding Ecology of Some Zooplankters That are Important Prey Items of Larval Fish, U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE

Vandromme P, Schmitt FG, Souissi S, Buskey EJ, Strickler J, Wu C-H, Hwang J-S (2009) Symbolic analysis of plankton swimming trajectories: case study of strobilidium sp. (protista) helical walk under various food conditions. Zoological Studies In press

Velasco-Blanco, G., A. C. Puello-Cruz, L. AlvarezLajonch`ere, B. Gonz`alez-Rodr`iguez, M. I. Abdo-de la Parra, L. E. Rodr`iguez-Ibarra, and A. Garc`iaOrtega (2011) Alimento vivo – Cop`epodos. in L. Alvarez-Lajonch`ere and A. C. PuelloCruz, editors. El pargo flamenco: Lutjanus guttatus. Producci`on controlada de huevos, larvas y juveniles. Clave Editorial, M`exico, D.F : 79–97

Walter, T. C (1989) Review of the new world species of Pseudodiaptomus (COPEPODA: CALANOIDA) with a key to the species. Bull. Mar. Sci, 45 (3): 590-628.

Wellershaus, S(1969) On the taxonomy of planktonic Copepoda in the Cochin backwater (a South Indian estuary). Ver`offentlichungen des Instituts f`ur Meeresforschung in Bremerhaven, 11: 245-286.

Yamazaki H (1993) Lagrangian study of planktonic organisms - perspectives Zooplankton Ecology Symp. Rosenstiel Sch Mar Atmos Sci, Appleton, Wi : 265-278