



Amélioration de la production d'Artemia dans les salines tunisiennes par fertilisation minérale : comparaison entre deux types de fertilisants minéraux

Item Type	Journal Contribution
Authors	Hussenot, J.; Aloui, N.; El Abed, A.
Citation	Bull. INSTM Salammbo, 29. p. 111-123
Publisher	INSTM
Download date	09/02/2023 13:33:31
Link to Item	http://hdl.handle.net/1834/249

AMELIORATION DE LA PRODUCTION D'ARTEMIA DANS LES SALINES TUNISIENNES PAR FERTILISATION MINERALE : COMPARAISON ENTRE DEUX TYPES DE FERTILISANTS MINERAUX

Néji ALOUI¹, Jérôme HUSSENOT² et Amor EL ABED¹

1- Institut National des Sciences et Technologies de la Mer, 2025 Salammbô, Tunisie.

2- Ifremer-Cnrs, Centre de Recherche en Ecologie Marine et Aquaculture, 17137 l'Houmeau, France.

ملخص

تحسين انتاج الارتميا في الملاحات التونسية بالتسميد المعدني، مقارنة بين نوعين من السماد : في هذه الدراسة تمت مقارنة نوعين من السماد المعدني على انتاج الارتميا الموجودة في الملاحات التونسية. النوع الاول يتكون من ثنائي فسفاط الامونيا والاوريا. النوع الثاني يتكون من نترات البوتاسيوم وثلاثي الفسفاط. وفي كل حالة تمت المقارنة مع شاهد لا يحتوي على السماد. بينت التجربة ان كلا السمادين يتفوقان على الشاهدين بعامل 2 مع تفوق طفيف للسماد الاول من حيث انتاج الارتميا. ولذا تم اختيار السماد الاول لكثرة انتاجه ولقلة تكلفته الاقتصادية. **كلمات مفاتيح :** ملاحات، تسميد معدني، ارتميا.

RESUME

Pour augmenter la production de masse en salines tunisiennes de l'espèce locale *Artemia tunisiana*, nous avons entrepris d'optimiser l'emploi de fertilisants minéraux azotés et phosphorés. La première phase, présentée ici, a permis de choisir entre deux stratégies proposées dans des travaux internationaux, utilisant soit le phosphate double d'ammoniaque (DAP) et l'urée, soit le nitrate de potassium et le triple superphosphate. L'expérience a été menée avec 3 répliquats par traitement durant 44 jours. L'effet de chaque fertilisation a été significatif ($p < 0,10$) comparé aux essais témoins, sur le développement de la biomasse microalgale, ainsi que sur la production de cystes et d'adultes d'*Artemia*, qui a été augmentée d'un facteur 2. La première stratégie utilisant l'ammoniaque et l'urée comme source d'azote a été retenue, donnant des résultats de production d'*Artemia* légèrement supérieurs, avec un coût économique plus réduit sur la base du prix des engrais sur le territoire tunisien.

Mots clés : *Dunaliella*, *Artemia*, salines, fertilisation minérale.

ABSTRACT

Improvement of the Artemia production in Tunisian salt works by mineral fertilization : Comparison between two mineral fertilizers : To increase the mass production in Tunisian salt works of the local species *Artemia tunisiana*, we began to optimize the use of Nitrogen and Phosphorus mineral fertilizers. The first phase, presented here, allowed to choose between two strategies proposed in scientific papers, using (i) di-ammonium phosphate (DAP) and urea, or (ii) potassium nitrate and triple superphosphate (TSP). The experiment was carried out with 3 replicates by treatment during 44 days. The effect of each fertilization was significant compared to controls, on the development of the microalgale biomass ($p < 0,10$), as well as on the production of cysts and adults of *Artemia*, which was increased by a factor 2. The first strategy using ammonia and urea as sources of nitrogen was selected, giving results of *Artemia* production slightly superior, with an economic cost more reduced on the basis of the price of fertilizers in the Tunisian territory.

Key-words : *Dunaliella*, *Artemia*, salt works, mineral fertilization.

INTRODUCTION

A l'échelle mondiale, la demande de cystes (œufs de durée) d'*Artemia* nécessaires aux élevages larvaires de poissons et de crevettes est de plus en plus importante

(environ 2000 tonnes). Ceci entraîne une montée rapide du prix des cystes. En Tunisie, il est intéressant d'examiner les possibilités d'amélioration des rendements de production de cystes et de biomasse d'*Artemia* en salines pour répondre à la demande locale du secteur aquacole, ou d'exporter ce produit de plus en plus recherché. Notre but est d'évaluer, par une étude en microcosmes, les effets de deux techniques de fertilisation déjà expérimentées soit pour la production en bassins de terre d'*Artemia* (Tackaert et Sorgeloos, 1991), soit pour la culture de masse de la micro-algue *Dunaliella* (Araneda et al., 1992), qui domine

principalement dans ces milieux hypersalés, et sert de "fourrage" à ce crustacé.

Cette technique a révélé de bons résultats en Indonésie, en Chine et au Vietnam (Dupeux, 1989).

METHODOLOGIE

1 . Plan d'expérimentation

L'expérimentation a été réalisée dans le bassin 5 de la saline de Mégrine (Fig. 1 et 2). Nous avons mis en place deux enclos à l'aide de piquets en bois et de bâches ; chaque enclos mesure 5m de longueur et 2m de largeur et sert de structure de maintien et de protection pour les bacs d'expérimentation proprement dite.

2 . Matériel et Méthodes

Les bacs plastiques de forme circulaire ont chacun un volume de 70 litres. Trois bacs ont servi de témoins (3 replicats), trois autres ont servi pour tester le premier fertilisant (Minéral 1) et les trois derniers ont servi pour tester le deuxième fertilisant (Minéral 2).

L'abréviation utilisée est : (1T, 2T, 3T, 4M1, 5M1, 6M1, 7M2, 8M2, 9M2) .

(T= témoin, M1= Minéral 1, M2= Minéral 2).

Les 9 bacs sont placés dans les deux enclos ; ils reposent sur des briques immergées dans l'eau de la saline et qui servent de support. Chaque bac est maintenu à l'aide d'une corde de fixation (Fig. 2).

Au moment du démarrage de l'expérimentation, le volume d'eau utilisé dans chacun des 9 bacs est de 55 litres (soit une hauteur d'eau de 31cm). Cette eau est prise dans le bassin 5 de la saline et filtrée sur une toile à plancton, de vide de maille de 70 μ m, afin de laisser passer uniquement l'inoculum de micro-algues de la saline et d'arrêter l'*Artemia* ou tout autre élément particulière supérieur en taille.

3 . Fertilisants et doses utilisées

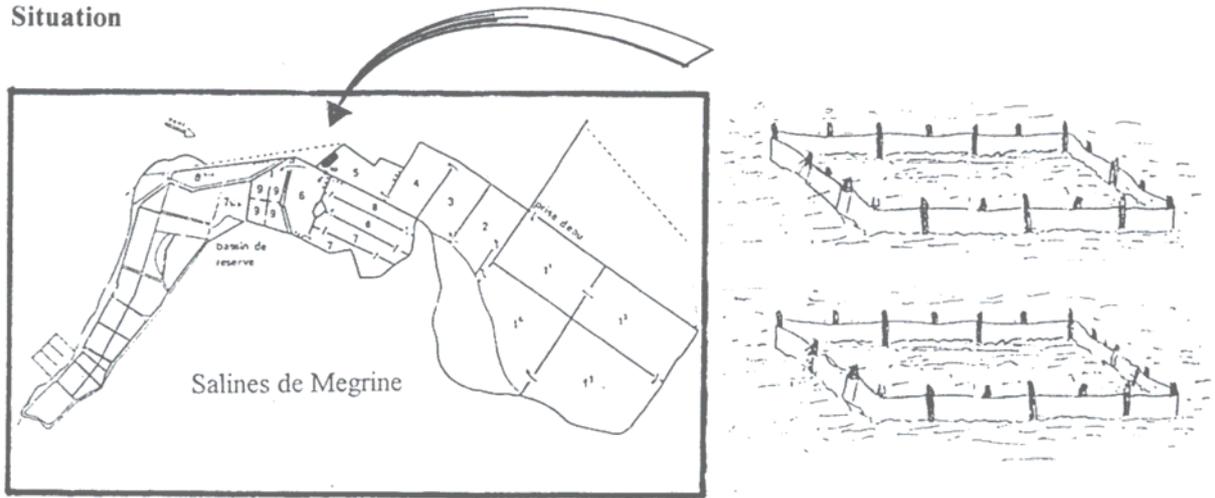
Deux fertilisants minéraux ont été retenus. Le premier fertilisant minéral qui est à base de phosphate de di-ammonium (DAP) et d'Urée dont l'étiquetage du premier composant est 18 : 46 : 00 et celui du deuxième composant est 44 : 00 : 00 . Ce fertilisant a été développé initialement par (Tackaert et Sorgeloos, 1991) pour la culture semi- intensive d'*Artemia* .

Le deuxième fertilisant minéral qui est à base de nitrate de potassium (KNO₃) et de triple - super - _phosphate (TSP) dont l'étiquetage du premier composant est 14 : 00 : 00 et celui du deuxième composant est 00 : 46 : 00 .

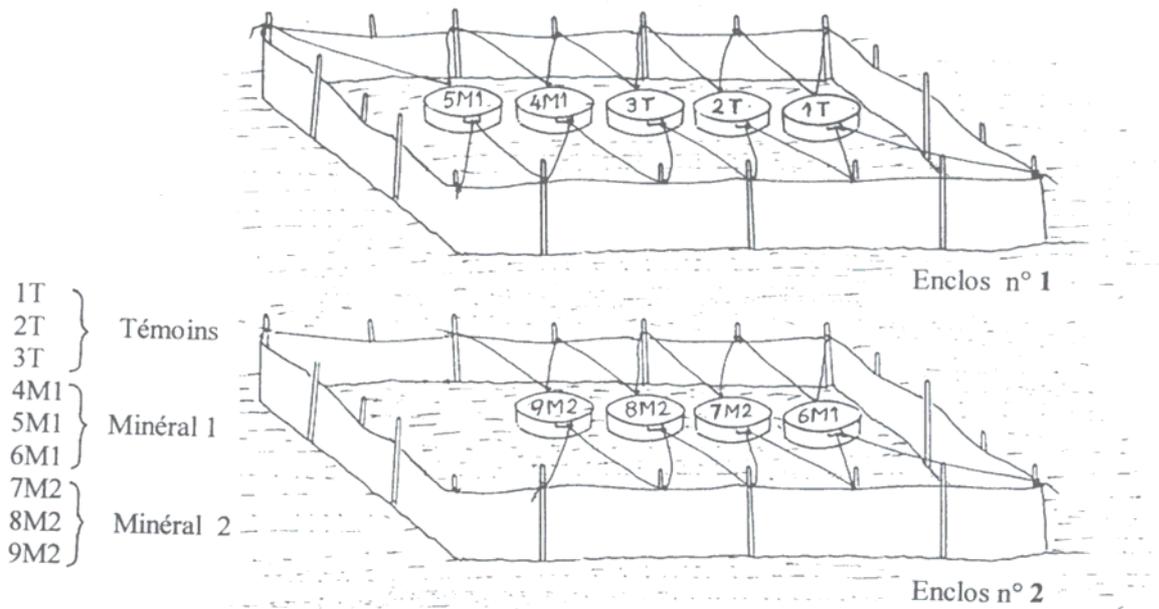


Fig. 1: Le site d'expérimentation (saline de Mégrine- bassin 5).

Situation



Bacs d'expérimentations



Installation d'un bac

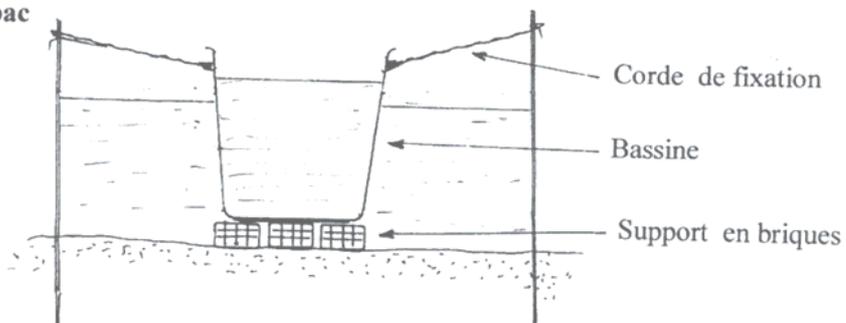


Fig. 2 : Plan des bacs d'expérimentation, installés dans la saline de Megrine (bassin n° 5).

Ce Minéral 2 a été développé par Araneda et al., 1992) pour cultiver en masse *Dunaliella salina* en vue d'une extraction de Bêta- carotène.

Les doses utilisées sont portées sur le tableau I.

Une dose initiale a été ajoutée dans les bacs concernés, ensuite une demi- dose (dose d'entretien) y a été ajoutée hebdomadairement durant 5 semaines.

Dans cette expérimentation, nous avons testé Minéral 1 et Minéral 2 et ceci en apportant la même quantité d'azote(N) et de phosphore (P) et également la même quantité de fer dans les deux traitements

Tableau I : Engrais disponibles pour les essais et doses employées

Engrais	Etiquetage (%N : %P2O5 : %K2O)	Concentration (g/l ou ml/l)	Dose initiale par bac	Dose d'entretien par bac
Phosphate de di-ammonium	18 46 00	0,015 g/l	0,83 g/bac	0,415 g/bac
Urée	44 00 00	0,015 g/l	0,83 g/bac	0,415 g/bac
Nitrate de potassium	14 00 00	0,068 g/l	3,74 g/bac	1,87 g/bac
Triple super-phosphate	00 46 00	0,027 g/l	1,51 g/bac	0,755 g/bac
Perchlorure de fer		0,54 ml/l	30 ml/bac	15 ml/bac

Minéral 1 (M1) = D.A.P. + Urée + Fer. Minéral 2 (M2) = KNO3 + Triple super- phosphate +Fer.

4. Calendrier de travail durant l'expérimentation

Le calendrier d'intervention sur les bacs expérimentaux est porté sur le tableau II.

Tableau II : Calendrier d'intervention sur les bacs expérimentaux.

Jour	Date	Hydrobiologie	Fertilisation	Artemia
J0	30 . 04 . 98	H	F	-
J4	04 . 05 . 98	H	-	-
J7	07 . 05 . 98	-	-	Inoculation
J8	08 . 05 . 98	H	F/2	-
J15	15 . 05 . 98	H	F/2	-
J21	21 . 05 . 98	H	F/2	-
J28	28 . 05 . 98	H	F/2	-
J35	04 . 06 . 98	H	F/2	-
J43	12 . 06 . 98	H	-	Récolte

H : hydrobiologie ; F : fertilisation principale ; F/2 : fertilisation d'entretien

5. Inoculation d'Artemia

L'inoculation des nauplii d'*Artemia* (stade I) a été effectuée le jeudi 07mai 1998 à 10h du matin (soit J7 de l'expérience), à une densité de 50 Nauplii/litre (soit 2750 Nauplii/bac). Ces nauplii ont été obtenus après incubation au laboratoire de cystes d'*Artemia* récoltés dans le bassin 5 de la même saline durant le mois de mai 1997.

6. Paramètres retenus dans le suivi de l'expérimentation

Nous avons fait un suivi des paramètres physico-chimiques : température, salinité, niveau d'eau dans les bacs, turbidité, pH, sels nutritifs (NH3-4, NO2-, NO3-, PO4- - -) et des paramètres biologiques : phytoplancton et *Artemia*.

La température des eaux des bacs d'expérimentation a été relevée à l'aide d'un thermomètre ordinaire avec une précision de 0,5°C.

La salinité des eaux des bacs a été mesurée à l'aide d'un réfractomètre à main (ATAGO) gradué de 1 à 10% (salinité).

Le niveau d'eau (hauteur d'eau) dans les bacs d'expérimentation a été mesuré à l'aide d'une règle graduée en cm.

Le pH a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre (marque : WTW) après calibration avec deux solutions tampons 7 et 9.

Les sels nutritifs (NO2-, NO3-, NH3-4, PO4- - -) ont été mesurés par analyse directe sur échantillon de 25 ml pour chaque élément, et ceci après filtration sur filtre Wathman GF/A (diamètre du filtre = 4,7 cm ; porosité = 47µm), puis analyse à l'aide d'un spectrophotomètre (marque : BECKMAN SPECTROPHOTOMETR ACTA III). Les résultats sont exprimés en µmoles-N/l.

La chlorophylle a a été mesurée après filtration d'un échantillon de 100 ml d'eau sur filtre Wathman GF/A et extraction à l'acétone 90%, puis analysée à l'aide d'un

spectrophotomètre à deux longueurs d'onde (665nm et 750nm) avant et après acidification.

Concernant l'*Artemia*, un échantillon de 30 individus par bac est prélevé chaque semaine pour suivre le développement des stades dans les différents bacs d'expérimentation inoculés. A la fin de l'expérimentation, l'*Artemia* (cystes et biomasse) a été récoltée pour quantifier la production dans les différents bacs (bacs non fertilisés et bacs fertilisés).

Les paramètres de la colonne d'eau ont été mesurés à une profondeur de 10 cm sous la surface de l'eau sur l'ensemble des 9 bacs dans un délai inférieur à 30 minutes pour la physico-chimie et inférieur à 2 heures pour le plancton (phytoplancton et zooplancton (*Artemia*)), avec une fréquence hebdomadaire régulière (voir calendrier du travail durant l'expérimentation).

Les prélèvements d'échantillon ont été effectués toujours en milieu de journée (entre 11h et 14h).

Nous avons récolté les cystes d'*Artemia* ainsi que la biomasse après 44 jours d'expérimentation pour évaluer la production finale dans chacun des 9 bacs.

7. Conditions climatiques durant l'expérimentation

Les conditions climatiques qui ont prévalu durant les mois d'avril à juin 1998, ont eu une influence certaine sur le comportement des bacs. Nous décrirons rapidement d'après les données relevées par les services de la Météorologie Nationale, l'évolution de la température, la pluviométrie et l'ensoleillement sur le secteur Rades- Mégrine (station de Tunis-Carthage).

7.1. Température de l'air

La température moyenne de l'air a varié durant la période de l'expérimentation entre 16,6°C et 32,1°C. La valeur minimale a été enregistrée au cours de la journée du 07 mai 98 (début de l'expérience) et la valeur maximale a été enregistrée le 02 juin 98 (vers la fin de l'expérimentation).

7.2. Pluviométrie

La pluviométrie enregistrée montre que les pluies sont rares durant la période de l'expérimentation. Les précipitations cumulées ont atteints 24,9 mm, dont 9 mm durant la seule journée du 03 mai 98.

7.3. Ensoleillement

Les valeurs relatives à l'insolation ont fluctué entre 6 et 131 1/10 heures avec un temps ensoleillé durant l'expérimentation, mis à part la première semaine où l'insolation était plus ou moins faible (32 à 114 1/10 heures) du fait que le ciel était nuageux avec des chutes de pluies.

RESULTATS

1. Evolution des paramètres physico-chimiques de la colonne d'eau

Les résultats sont représentés sous forme de graphiques. Nous signalons que, nous avons fait une représentation des moyennes des 3 replicats.

1.1. Température de l'eau (Fig. 3)

La figure 3 montre que les 3 séries de bacs ont évolué de la même façon depuis le début de l'expérience jusqu'à la fin. La température a évolué entre des minima enregistrés début mai (17°C) et des maxima enregistrés vers le 15 mai (27,5°C). Les conditions météorologiques durant l'expérimentation doivent donc être considérées comme représentatives plus d'une période printanière qu'estivale car les maxima en été dépassent des valeurs de 34-35°C, qui sont des températures létales pour *Artemia*.

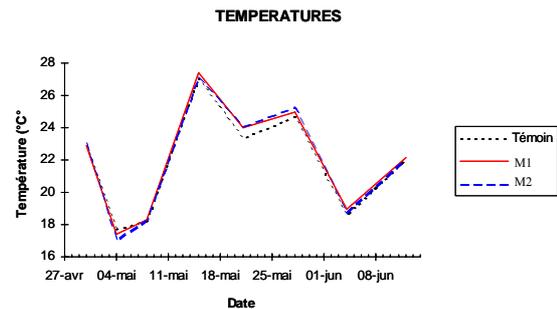


Fig. 3 : Variations de la température de l'eau. Comparaison des 3 types de traitements

1.2. pH (Fig. 4)

La figure 4 montre que les 3 séries de bacs ont évolué de la même façon dans une première phase (les 10 premiers jours), puis quand le phytoplancton s'est bien développé dans les bacs fertilisés avec Minéral1 et Minéral2, une différence entre l'évolution de la qualité de l'eau est apparue. Au cours de cette deuxième phase, les deux séries fertilisées ont continué à évoluer d'une façon similaire et marquant des valeurs supérieures à la série témoin.

Ainsi pour la série témoin, le pH a fluctué entre des minima de l'ordre de 7,22 et des maxima de 7,91; alors que pour les deux séries fertilisées, le pH a fluctué d'une façon similaire entre des minima de l'ordre de 7,55 et des maxima pouvant dépasser 8,60.

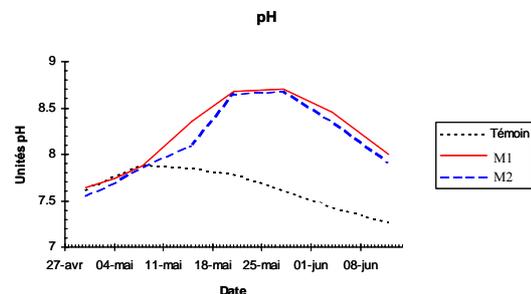


Fig. 4 : Variations du pH de l'eau. Comparaison des 3 types de traitements.

1.3. Salinité de l'eau (Fig. 5)

La salinité a augmenté régulièrement et d'une façon similaire dans les 3 séries tout au long de l'expérimentation. Elle est de l'ordre de 128 g/kg en début d'expérimentation, celle-ci est passée à une valeur de l'ordre de 254 g/kg en fin d'expérimentation (Fig. 5). Cette augmentation de la salinité de l'eau dans les bacs est due à l'effet de l'évaporation.

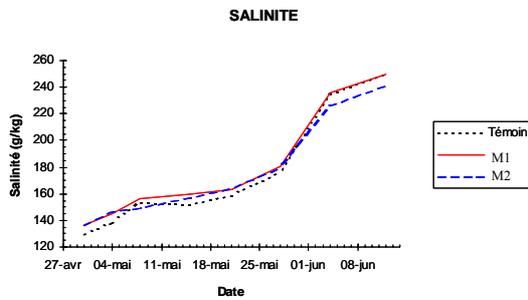


Fig. 5 : Variations de la salinité de l'eau. Comparaison des 3 types de traitements.

1.4. Niveau d'eau (hauteur d'eau) dans les bacs (Fig. 6)

Le niveau d'eau a évolué de façon identique dans les 3 séries de bacs et ceci tout au long de l'expérimentation. Il est à noter la baisse progressive du niveau d'eau dans les bacs, qui est passée de 31 cm (début de l'expérience) à 21 cm (en fin d'expérience) (Fig. 6). Elle est due à l'évaporation de l'eau.

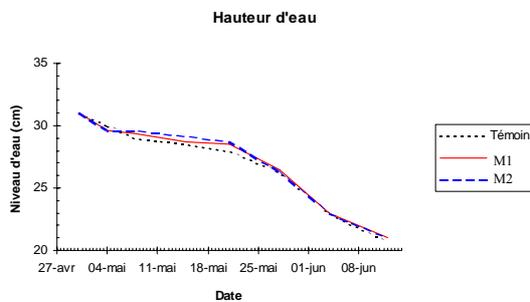


Fig. 6 : Variations de la hauteur d'eau en centimètres dans les bacs. Comparaison des 3 types de traitements

1.5. Nutriments

Nous rappelons que pour le fertilisant Minéral 1, l'azote est apporté sous la forme N-NH₃-4 ; alors que pour le fertilisant Minéral 2, l'azote est apporté sous la forme N-NO₃.

Concernant le phosphore, nous remarquons que pour le premier fertilisant, la seule source est le D.A.P. ; alors que pour le deuxième fertilisant, la seule source est le superphosphate (TSP).

1.5.1. Eléments azotés

a- L'azote ammoniacal total (Fig. 7)

L'examen de la figure 7 montre que la série témoin et la série fertilisée à l'aide du fertilisant Minéral 2 (M2) ont évolué de la même façon et que les quantités d'azote ammoniacal dosées dans ces deux séries sont faibles par rapport aux quantités dosées dans la série fertilisée à l'aide du Minéral 1(M1) ; ce qui se traduit sur la figure 30 par une courbe qui se distingue nettement des deux courbes relatives aux deux séries précédentes.

Cette différence entre la série fertilisée à l'aide du Minéral 1 (M1) et les deux autres séries (série témoin et série fertilisée à l'aide du Minéral 2 (M2)) est due au fait que dans minéral1(M1), l'azote est apporté sous forme ammoniacale, alors que dans Minéral2(M2), l'azote est apporté sous forme de nitrates et dans le témoin il n'y a aucun apport.

Toutefois, une partie de l'azote ammoniacal apportée dans Minéral 1 est utilisée par les micro-algues ; l'autre partie est restée libre dans le milieu, ce qui se traduit par des quantités plus importantes que Minéral 2(M2).

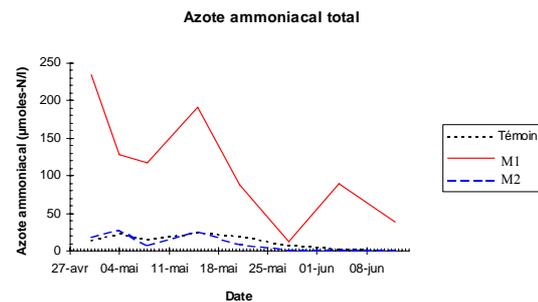


Fig. 7 : Evolution de la concentration en azote ammoniacal dans l'eau des bacs. comparaison des 3 types de traitements.

b- Les nitrites (Fig. 8)

La figure 8 montre que les nitrites évoluent de la même façon dans les 3 séries en début de l'expérience, puis vers le 18 mai, les quantités de nitrites restent faibles dans la série témoin et dans la série fertilisée à l'aide du Minéral 1(M1) et dont les deux courbes évoluent de la même manière ; par contre dans la série fertilisée à l'aide du Minéral 2 et à partir du 18 mai, les quantités de nitrites commencent à augmenter jusqu'à atteindre un maximum de l'ordre de 100µmoles/l.

Il est clair que pour la série fertilisée à l'aide du Minéral 2(M2) ; il y a eu en fin d'expérience une réduction des nitrates en nitrites ; ces derniers atteignant presque 100µmoles/l ; ces valeurs très fortes sont susceptibles de gêner le développement des *Artemia*. Il y a donc eu vraisemblablement un déficit en oxygène, dû à la respiration du phytoplancton et des *Artemia* et peut être un début de mortalité des algues pouvant entraîner une poussée bactérienne.

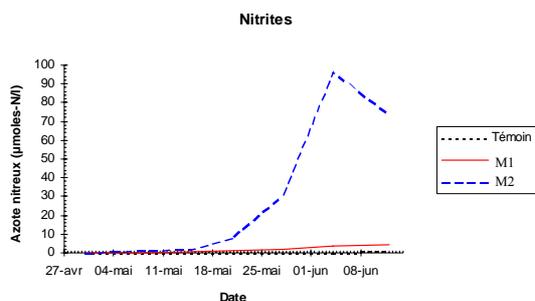


Fig. 8 : Evolution de la concentration en nitrites dans l'eau des bacs. comparaison des 3 types de traitements.

c- Les nitrates (Fig. 9)

La figure 9 montre l'effet contraire, c'est à dire cette fois ci l'azote est apporté sous forme de nitrates. Cette figure montre que la série témoin et la série fertilisée à l'aide du Minéral 1 (M1) ont évolué de la même façon et que la quantité de nitrates dans chacune de ces deux séries est très faible. Au contraire dans la troisième série fertilisée à l'aide du Minéral 2 (M2) ; l'azote est apporté sous forme de nitrates.

Cette différence entre la série fertilisée à l'aide du Minéral 2(M2) et les deux autres séries (série témoin et série fertilisée à l'aide du Minéral 1(M1)) est due au fait que dans Minéral 2 l'azote est apporté sous forme de nitrates, alors que dans Minéral 1, l'azote est apporté sous forme d'azote ammoniacal et dans le témoin où il n'y a aucun apport.

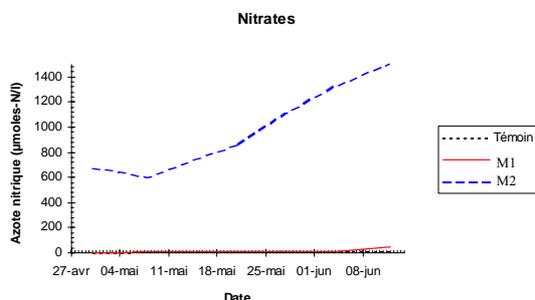


Fig. 9 : Evolution de la concentration en nitrates dans l'eau des bacs. comparaison des 3 types de traitements

Une partie de l'azote apporté sous forme de nitrates dans Minéral 2 est utilisée par les micro-algues, l'autre partie reste libre dans le milieu, ce qui se traduit par des quantités plus importantes que Minéral 1.

Nous remarquons également d'après la figure 9, que les nitrates restent en excès dans le milieu en fin d'expérimentation.

1.5.2. Eléments phosphorés (Fig. 10)

L'évolution des phosphates est similaire pour les deux séries fertilisées à l'aide de Minéral 1 (M1) et Minéral2 (M2). Ces deux séries se distinguent bien de la série témoin qui évolue en présentant des valeurs très faibles.

Pour les deux séries fertilisées, une partie des phosphates est utilisée par les micro-algues et l'autre partie reste libre dans la colonne d'eau. Il persiste en permanence de 50 à 120µmoles/l en moyenne dans la colonne d'eau, laissant toujours un excès de PO₄ après chaque fertilisation. Ces résultats confirment des travaux antérieurs, utilisant le même engrais mixte (DAP 18-46-00), lesquels avaient montré que l'effet fertilisant sur la colonne d'eau pouvait être durable durant un à deux mois, malgré des échanges d'eau fréquents (Sagata, 1990).

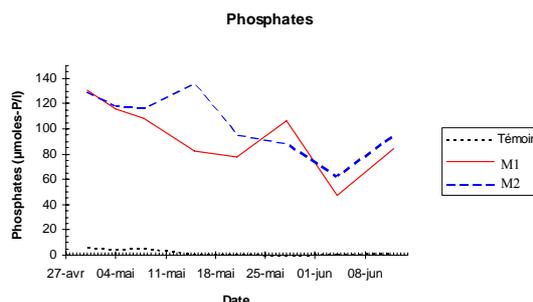


Fig. 10 : Evolution de la concentration en phosphates dans l'eau des bacs comparaison des 3 types de traitements

2. Evolution des paramètres biologiques

2.1. Le phytoplancton

2.1.1. Biomasse phytoplanctonique (Fig. 11)

Elle est exprimée par la mesure de la chlorophylle a. La figure 11 montre que dans les deux séries de bacs ayant subi la fertilisation à l'aide du Minéral1(M1) et Minéral2(M2), le "bloom" phytoplanctonique s'est installé dès le 6ème jour et il s'est traduit par une augmentation de la chlorophylle a dans les deux séries fertilisées qui se distinguent bien de la série témoin. Les valeurs maximales de la chlorophylle a reflétant fidèlement le grand développement de micro-algues sont atteintes 4 semaines après la première fertilisation (fertilisation principale); Quand aux valeurs enregistrées, elles sont de 200µg/l de chlorophylle a pour la série fertilisée à l'aide du Minéral 2 et 400µg/l de chlorophylle a pour la série fertilisée à l'aide du Minéral 1. Le fertilisant Minéral 1 paraît avoir une meilleure efficacité.

Au contraire, dans la série témoin, les valeurs de la chlorophylle a restent faibles tout au long de l'expérimentation, avec un maximum de l'ordre de 30 µg/l.

Nous avons réalisé un traitement statistique (test de Newman-Keuls) pour vérifier si la biomasse phytoplanctonique exprimée par la quantité de chlorophylle a présente ou non une différence dans les

trois traitements et à trois dates bien données (J22, J29 et J36).

Les résultats obtenus montrent que la différence est significative entre Minéral 1 et le témoin. Elle est également significative entre Minéral 2 et le témoin ; mais il n'y a pas de différence significative entre Minéral 1 et Minéral 2. Les valeurs relatives aux phéopigments ont commencé à croître à partir du 6ème jour après la fertilisation principale pour atteindre un maximum 4 semaines après la fertilisation. Les valeurs maximales de phéopigments atteintes sont de 200µg/l pour la série fertilisée à l'aide du Minéral 2 et 260µg/l pour la série fertilisée à l'aide du Minéral 1.

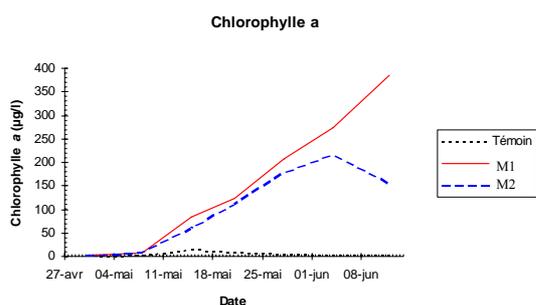


Fig. 11 : Evolution de la concentration en chlorophylle a dans l'eau des bacs. comparaison des 3 types de traitements.

Au contraire, dans la série témoin, les valeurs de phéopigments restent faibles tout au long de l'expérimentation (Fig. 12).

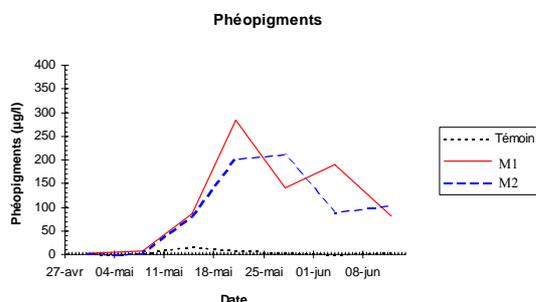


Fig. 12 : Evolution de la concentration en phéopigments dans l'eau des bacs. comparaison des 3 types de traitements

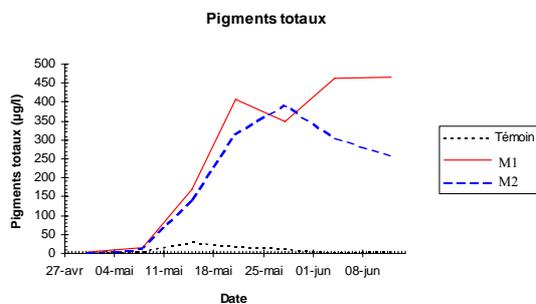


Fig. 13 : Evolution de la concentration en pigments totaux dans l'eau des bacs. comparaison des 3 types de traitements.

La figure 13 montre que dans les deux séries de bacs ayant subi la fertilisation à l'aide du Minéral 1 et Minéral 2, les pigments totaux ont suivi la même rythmicité que la chlorophylle a et les phéopigments ; c'est à dire dès le 6ème jour après la fertilisation principale, les pigments totaux ont commencé à augmenter pour atteindre des maxima qui coïncident aux maxima de la chlorophylle a et des phéopigments. Les valeurs maximales des pigments totaux sont 370µg/l pour la série fertilisée à l'aide du Minéral 2 et 400 µg/l pour la série fertilisée à l'aide du Minéral 1. Dans la série témoin, les valeurs des pigments totaux restent faibles tout au long de l'expérimentation.

Nous constatons que la chlorophylle a, les phéopigments et les pigments totaux évoluent de la même façon pour les 3 séries (série témoin et séries fertilisées). L'évolution des trois paramètres montre bien l'effet positif de la fertilisation qui stimule un développement important de micro- algues dont la biomasse phytoplanktonique est exprimée par les trois paramètres sus- indiqués.

L'allure des différentes courbes montre que le fertilisant Minéral 1(M1) est plus intéressant que le Minéral 2(M2) pour développer le phytoplankton.

2. 1. 2. Aspect qualitatif du phytoplankton

Des échantillons prélevés dans les 3 séries (témoins et fertilisés) durant la phase exponentielle du développement des micro- algues et après examen ; nous avons pu déterminer deux catégories de cellules algales qui se distinguent l'une de l'autre par la taille, par la forme, par la couleur et par le mouvement.

Première cellule micro- algale

Taille : plus grande (15-20 µm de diamètre)

Forme : ronde

Couleur : homogène – verdâtre

Mouvement : lent – circulaire

Deuxième cellule micro- algale

Taille : moins grande (8-12 µm de diamètre)

Forme : plus ou moins ovale

Couleur : non homogène avec la partie apicale ransparente

Mouvement : rapide – aléatoire

Tous ces critères nous ont permis d'identifier ces deux catégories de cellules de micro- algues. La première pourrait correspondre à *Dunaliella salina* et la deuxième pourrait correspondre à *Dunaliella viridis*.

Les résultats d'identification effectuée par Billard (Université de Caen) confirment nos résultats relatifs à l'identification de deux espèces de micro- algues : *Dunaliella salina* et *Dunaliella viridis* avec la présence d'une troisième micro- algue présente uniquement dans les bacs fertilisés ; il s'agit d'*Asteromonas gracilis*.

En conclusion de cette partie sur le phytoplankton, nous pouvons dire que :

* Sur le plan quantitatif, la biomasse phytoplanktonique exprimée par la chlorophylle a a été enregistrée dans les deux séries fertilisées à l'aide du Minéral 1 (M1) et du

Minéral 2 (M2) qui se distinguent bien de la série témoin . Nous remarquons aussi que c'est la fertilisation à l'aide du Minéral 1 qui donne le meilleur résultat.

* Sur le plan qualitatif, les principales espèces phytoplanctoniques dominantes sont *Dunaliella salina* et *Dunaliella viridis* avec dominance nette de la première.

2 . 2 . L'Artemia

2 . 2 . 1 . Inoculation d'Artemia dans les bacs d'expérimentation

L'introduction des nauplii dans les bacs d'expérimentation a été effectuée une semaine après la fertilisation principale, soit au J7 de l'expérience, à une densité de 50 N/l.(soit 2750 N/bac). Les nauplii utilisés pour cette opération sont issus de cystes en provenance de la saline de Mégrine (B 5).

2 . 2 . 2 . Stades de développement d'Artemia au cours de l'expérimentation

Nous avons essayé de suivre les stades de développement de l'Artemia dans les 9 bacs d'expérimentation. Un prélèvement hebdomadaire d'un échantillon de 30 individus par bac a été effectué et les résultats sont consignés dans le tableau III.

Nous remarquons que dans les bacs témoins, les Artemia mettent 29 jours pour atteindre le stade adulte ; alors que dans les bacs fertilisés , elles mettent seulement 22 jours ; ceci laisse supposer que l'aspect nutritionnel semble avoir un effet sur la croissance.

2 . 2 . 3 . Récolte d'Artemia en fin d'expérimentation

A la fin de l'expérimentation et une fois que toutes les femelles ont émis leurs cystes, nous avons récolté les cystes et la biomasse dans les 9 bacs d'expérimentation.

Les cystes ont été traités , séchés selon les techniques décrites au début du présent travail, puis pesés afin de quantifier la quantité de cystes produite dans chaque bac. Les Artemia, adultes (biomasse) ont été traitées , pesées et dénombrées afin de quantifier la production de la biomasse de chaque bac en poids et en nombre d'individus.

a - Les cystes

Nous avons récolté les cystes dans les 9 bacs d'expérimentation

Les quantités produites par bac ainsi que les moyennes des trois séries (série témoin et séries fertilisées) sont consignés dans le tableau IV.

Ces résultats montrent que la production moyenne de la série témoin est de 95mg de poids sec de cystes , elle est de 165mg de poids sec de syctes pour la moyenne de la série fertilisée à l'aide du Minéral 2 et est de 200mg de poids sec de cystes pour la moyenne de la série fertilisée à l'aide du Minéral 1 .

b - La biomasse

Nous avons estimé la biomasse dans les 9 bacs d'expérimentation. Les quantités produites par bac ainsi que les moyennes des trois séries (série témoin et séries fertilisées) sont consignées dans le tableau IV.

Ces estimations montrent que la production moyenne de la série témoin est de 9,3 g de poids frais, elle est de 20,7 g de poids frais pour la série fertilisée à l'aide du Minéral 1 et elle est de 17,0 g de poids frais pour la série fertilisée à l'aide du Minéral 2.

Ces résultats justifient bien que la production moyenne des trois bacs fertilisés à l'aide du Minéral 1 permet la meilleure production d'Artemia (cystes et biomasse).

Tableau III : Evolution des stades d'Artemia durant la première expérimentation.

Bacs	07/05/1998	14/05/1998	21/05/1998	28/05/1998	04/06/1998	12/06/1998
1T	Nauplii	Juvéniles	Juv.-Pré-adul.	Pré-adultes	Adultes	Récolte
2T	Nauplii	Juvéniles	Juv.-Pré-adul.	Pré-adultes	Adultes	"
3T	Nauplii	Juvéniles	Juv.-Pré-adul.	Pré-adultes	Adultes	"
4M1	Nauplii	Juvéniles	Pré-adultes	Adultes	Adultes	"
5M1	Nauplii	Juvéniles	Pré-adultes	Adultes	Adultes	"
6M1	Nauplii	Juvéniles	Pré-adultes	Adultes	Adultes	"
7M2	Nauplii	Juvéniles	Pré-adultes	Adultes	Adultes	"
8M2	Nauplii	Juvéniles	Pré-adultes	Adultes	Adultes	"
9M2	Nauplii	Juvéniles	Pré-adultes	Adultes	Adultes	"

Nauplii :larves avant apparition des thoracopodes - Juvéniles :larves possédant des thoracopodes et non différenciées sexuellement
Pré-adultes : individus différenciés sexuellement mais n'ayant pas encore atteint la phase de reproduction - Adultes : stades matures qui sont séparés en mâles et femelles et qui ont atteint la phase de reproduction

c - Dénombrement des *Artemia* en fin d'expérimentation

Nous avons dénombré à la fin de l'expérience les *Artemia* dans les 9 bacs d'expérimentation. Les résultats portés dans le tableau IV montrent que le nombre moyen d'*Artemia* dans la série témoin est de 772, il est de 1683 pour la série fertilisée à l'aide du Minéral 1 et il est de 1433 pour la série fertilisée à l'aide du Minéral 2. Nous remarquons qu'à la fin de la manipulation, il reste plus d'*Artemia* dans les bacs fertilisés que dans les bacs témoins ; ce qui explique bien que le taux de survie des *Artemia* est meilleur dans les bacs fertilisés que dans les bacs témoins, ceci s'explique par la richesse du milieu en micro-algues. Il ressort également que le nombre d'*Artemia* produit avec le fertilisant Minéral 1 est légèrement supérieur à celui donné avec le fertilisant Minéral 2.

Nous avons fait un traitement statistique (ANOVA) pour voir si la différence est significative ou non entre les traitements. Toutefois, les résultats obtenus ont montré qu'il n'y a pas de différence significative entre les traitements par Minéral 1 et Minéral 2.

2.2.4. Production d'*Artemia*

Les productions d'*Artemia* (cystes et biomasse) sont portées sur le tableau IV.

a – Les cystes

Nous remarquons que la moyenne des repliquats des bacs non fertilisés (témoin) donne une production de 95 mg de cystes en poids sec ; alors que la moyenne des repliquats des bacs fertilisés avec Minéral 1 (M1) donne une production de 200 mg de cystes en poids sec ; quant à la moyenne des repliquats des bacs fertilisés avec Minéral 2 (M2), elle donne une production de 165 mg de cystes en poids sec.

La meilleure production de cystes est obtenue avec le fertilisant Minéral 1 (M1). Cette production est deux fois plus forte que la production du témoin. Le fertilisant Minéral 2 (M2) donne aussi une bonne production de cystes, mais reste toutefois inférieure à la production donnée par Minéral 1 (M1).

b – La biomasse

La moyenne des repliquats des bacs non fertilisés (témoin) donne une production de 9,3 g de poids frais ; alors que la moyenne des repliquats des bacs fertilisés avec Minéral 1 (M1) donne une production de 20,7 g de poids frais ; quant à la moyenne des repliquats des bacs fertilisés avec Minéral 2 (M2), elle donne une production de 17,0 g de poids frais. Ces valeurs montrent que la meilleure production de biomasse est obtenue avec le fertilisant Minéral 1 (M1). Cette production est ici encore deux fois supérieure à la production du témoin.

Le fertilisant Minéral 2 (M2) donne aussi une bonne production de biomasse, mais inférieure à celle donnée par Minéral 1 (M1).

Ces résultats nous permettent de dire que le fertilisant Minéral 1 (M1) permet de doubler la production d'*Artemia* (cystes et biomasse) par rapport au témoin.

2.2.5. Estimation du développement de la productivité

Les résultats obtenus en microcosmes et leur extrapolation à grande échelle (salines) montrent que la fertilisation permet de doubler la production de cystes et de biomasse d'*Artemia*, avec un résultat sensiblement supérieur pour le fertilisant Minéral 1 (M1) à base de phosphate de di-ammonium (DAP) et d'urée.

Toutefois, si nous faisons une synthèse de tous ces résultats ; nous obtenons les valeurs portées sur le tableau V

Tableau IV : Production d'*Artemia* dans les différents bacs d'expérimentation.

Résultats								
Bacs	Quantité de cystes récoltée(mg)ps		Biomasse récoltée (g)pf		Nombre d'individus		Taux de survie	Taux de survie moyen
Bacs	Quantité de cystes récoltée(mg)ps		Biomasse récoltée (g)pf					
1T	60		6		462		16,80%	
2T	120	MT=95	11,4	MT=9,3	944	MT=772	34,32%	28,07%
3T	105		10,5		910		33,09%	
4M1	130		14,1		1100		40%	
5M1	300	M1=200	30	M1=20,7	2449	M1=1683	89,05%	61,20%
6M1	170		18		1500		54,54%	
7M2	235		25		2150		78,18%	
8M2	120	M2=165	12	M2=17,0	1000	M2=1433	36,36%	52,10%
9M2	140		14		1149		41,78%	

MT : Moyenne des bacs témoins M1 : Moyenne des bacs fertilisés avec M1 M2 : Moyenne des bacs fertilisés avec M2

Tableau V : Production d'*Artemia* (cystes et biomasse) en microcosmes et en salines.

Artemia Traitement	Cystes (mgps) Par bac	Cystes(kgps) Par hectare	Biomasse (gpf) Par bac	Biomasse (kgpf) Par hectare
Témoin : T	95	8,6	9,3	845,4
Minéral1 : M1	200	17,2	20,7	1881,8
Minéral2 : M2	165	14,2	17,0	1545,0

DISCUSSION ET CONCLUSION

L'évolution des paramètres physico-chimiques et biologiques montre les faits suivants :

Les valeurs thermiques minimale (17,0°C) et maximale (27,5°C) enregistrées dans les trois séries (série témoin et séries fertilisées) sont bien tolérées par l'*Artemia*, car cette fourchette thermique est incluse dans la zone thermique optimale (15,0°C – 30,0°C) pour ce Crustacé (Aloui, 1995). Nous remarquons que la température de l'eau des bacs d'expérimentation a subi une fluctuation qui est due principalement à la variation de la température atmosphérique.

L'*Artemia* peut supporter une température minimale de l'ordre de 9,0°C et une température maximale de l'ordre de 34,0°C (Aloui, 1995).

Certains auteurs signalent qu'elle se maintient entre 6,0°C et 37,0°C et peut survivre quelques semaines à 40,0°C (Vos et Tansutapanit, 1979). D'autres résultats apportés par Persoone et Sorgeloos (1980) confirment bien que la température supérieure de tolérance est d'environ 35,0°C.

Pour la salinité de l'eau des bacs d'expérimentation, nous constatons que les valeurs minimales (120 g/kg) sont enregistrées au début de l'expérimentation et les valeurs maximales (250 g/kg) sont enregistrées à la fin de l'expérience dans les trois séries sont des valeurs bien tolérées par l'*Artemia*. Cette augmentation de la salinité est due à l'évaporation de l'eau qui est justifiée par la diminution de la hauteur d'eau dans les bacs d'expérimentation qui est passée de 31 cm (début de l'expérimentation) à 21 cm (en fin d'expérimentation).

Ces valeurs sont incluses dans la gamme de salinité que supporte l'*Artemia* (35 g/kg – 300 g/kg) (Aloui, 1995).

Quant à la fourchette optimale de salinité, elle est située entre 100 et 200 g/kg (Aloui, 1995).

Grâce à son pouvoir d'osmorégulation, l'*Artemia* peut assurer ses fonctions physiologiques à des salinités comprises entre 9 g/kg (Brisset, 1984) et 340 g/kg (Post et Youssef, 1977). Dans la nature, elle prolifère dans des milieux où la salinité est supérieure à 100 g/kg, niveau que supporte difficilement les prédateurs comme les mullets (Hedgpeth, 1959).

Concernant le pH, nous avons vu que dans la série témoin, ce paramètre croît et atteint un maximum de l'ordre de 7,90 ; alors que dans les deux séries fertilisées, le pH croît et atteint 8,70 et 8,80. Cette augmentation du pH dans les deux séries fertilisées

s'explique par l'action photosynthétique du phytoplancton (micro-algues) qui consomme d'une façon importante le CO₂ dans le milieu, ce qui fait croître le pH dans le milieu (eau des bacs d'expérimentation).

Les données bibliographiques montrent que jusqu'à ce jour, l'*Artemia* n'a été rencontrée qu'en milieu neutre ou alcalin. Si peu d'informations existent sur l'influence du pH sur la croissance de juvéniles et le maintien des adultes, il est important de noter que le rôle du pH est capital lors de l'éclosion des cystes (Sato, 1967).

Des expériences réalisées par Brisset (1984) pour la mise au point d'une méthode de transport d'animaux vivants à haute densité a permis de constater que les pH inférieurs à 6 sont généralement létaux.

Pour les nutriments, nous pouvons dire que l'azote n'était pas limitant dans les bacs fertilisés ; l'azote ammoniacal apporté par minéral 1 est bien assimilé, alors que les nitrates apportés par minéral 2 se sont accumulés dans l'eau en fin d'expérience, et sont probablement en excès. Il est clair que pour la série fertilisée à l'aide du minéral 2, il y a eu en fin de manipulation une réduction des nitrates en nitrites qui est due vraisemblablement à un déficit en oxygène dissous dans l'eau des bacs, dû à la respiration d'*Artemia* et du phytoplancton développé dans le milieu. Les phosphates apportés sous des formes différentes dans les deux fertilisations sont restés en excès.

Ces résultats nous ont incité à entreprendre un travail plus fin sur la dose optimale d'engrais à apporter pour éviter une accumulation inutile de nutriments dans l'eau des bacs d'expérimentation.

L'effet des différents traitements (témoin, minéral 1 et minéral 2), sur les micro-algues, nous permet de dire que les deux fertilisants testés ont stimulé leur développement. La biomasse phytoplanctonique exprimée par la quantité de chlorophylle a montre bien l'effet positif des deux fertilisants testés. Toutefois, le fertilisant minéral 1 est aussi efficace que minéral 2.

En plus, les composants du fertilisant minéral 1 à base de DAP et d'urée sont moins onéreux que ceux du fertilisant minéral 2 à base de KNO₃ et de triple-superphosphate (TSP).

En tenant compte de ces deux raisons, nous retenons le fertilisant minéral 1 pour la poursuite de nos recherches. Sur le plan qualitatif, le phytoplancton développé est composé essentiellement de l'algue *Dunaliella* (*Dunaliella salina* (98%) et *Dunaliella viridis* (2%)). Nous avons enregistré aussi la présence d'une autre

micro- algue uniquement dans les bacs fertilisés : *Asteromonas gracilis*.

Ainsi, nous pouvons expliquer le développement du "bloom" phytoplanctonique constitué principalement de l'algue microscopique du genre *Dunaliella* par l'apport en éléments nutritifs (fertilisants) d'une part, et par la fourchette thermique adéquate (15,0°C-30,0°C) (Aloui, 1995) permettant un développement optimal de cette micro- algue.

La culture intensive de *Dunaliella* comme aliment pour *Artemia*, s'effectue habituellement à 26,0°C, sous une illumination continue et constante (6000 à 8000 lux) et une aération modérée (Haddag, 1991).

Ces résultats rejoignent bien nos observations dans le milieu naturel (bassins des salines), qui nous ont permis de constater que la période du "bloom" de micro-algues dans les bassins des salines s'étend de mars à juillet. Durant cette période de l'année, tous les paramètres sont favorables (énergie solaire, disponibilité en sels nutritifs, température adéquate, etc...) pour stimuler le développement d'une biomasse phytoplanctonique importante.

L'effet des différents traitements sur *Artemia* montre que :

* le suivi de développement des stades dans les bacs d'expérimentation révèle que l'*Artemia* met 29 jours pour arriver au stade adulte dans les bacs non fertilisés (témoins) ; alors que dans les bacs fertilisés à l'aide du minéral 1 et minéral 2, l'animal met seulement 22 jours. Cette différence est dûe vraisemblablement à l'aspect nutritionnel, c'est à dire dans les bacs fertilisés, il y a une bonne productivité primaire, par conséquent l'animal se nourrit convenablement et atteint le stade adulte avant l'*Artemia* des bacs non fertilisés, qui en se trouvant dans un milieu plus ou moins pauvre en micro-algues met plus de temps pour arriver au stade adulte.

Ces adultes rentrent en période de reproduction ; une semaine plus tard, les femelles émettent leurs œufs (cystes).

* l'exploitation d'*Artemia* (cystes et biomasse) et le dénombrement des animaux en fin d'expérimentation dans les différents bacs traités et non traités montre bien que la fertilisation permet de multiplier par 2 la production de cystes et de biomasse, avec un résultat sensiblement supérieur pour le fertilisant minéral 1 à base de phosphate de di-ammonium (DAP) et d'urée.

Toutefois, en faisant une corrélation entre le nombre des animaux et la quantité de cystes produite, nous remarquons qu'il y a une corrélation positive, c'est à dire plus il y a d'*Artemia* dans le milieu, plus il y a de cystes. Ceci est bien confirmé par nos observations personnelles dans le milieu naturel (salines).

Cette biomasse est composée de mâles et de femelles, et c'est l'augmentation du nombre des femelles dans le milieu qui fait augmenter la quantité de cystes.

Les résultats obtenus montrent que les essais de fertilisation que nous avons effectué à l'aide du minéral 1 et minéral 2 ont permis de stimuler un développement

phytoplanctonique constitué de micro-algues dont les principales espèces dominantes sont *Dunaliella salina* et *Dunaliella viridis*, avec la présence d'*Asteromonas gracilis* uniquement dans les bacs fertilisés.

Le "boom" phytoplanctonique développé a permis l'optimisation de la production d'*Artemia* dans les bacs fertilisés à l'aide des deux fertilisants testés. Cette optimisation est bien justifiée par les quantités de cystes et de biomasses récoltées ainsi que le nombre d'*Artemia* dénombré dans les différents bacs à la fin de l'expérimentation.

Les deux types d'enrichissement ont donné des résultats comparables qui permettent de conclure au choix de la méthode utilisant les produits les plus économiques, à savoir le traitement minéral 1 à base de DAP et d'urée, méthode préconisée par Tackaert et Sorgeloos (1991) pour la culture semi-intensive d'*Artemia* en bassins de terre. Cela représente une production de 8-10 kg/ha/mois, alors que dans la nature, elle est généralement inférieure à 5 kg/ha/mois.

L'abondance, en fin d'élevage, des nutriments azotés et phosphorés non consommés, nous a incité néanmoins à engager une recherche complémentaire dans une deuxième phase, pour définir la meilleure dose d'emploi.

BIBLIOGRAPHIE

- Aloui N., 1995. – Recherches biologiques et écologiques sur l'*Artemia* dans un milieu salin : la saline de Mégrine. *Bull. Inst. Natn. Scient. Tech. Océanogr. Pêche Salammbô*, 22 : 59-80.
- Araneda P., Tapia I., Gomez-silva B., 1992.- Microalgas del Norte de Chile. *Estud. Oceanol. Univ. Antofagasta*, 11 : 53-59.
- Brisset P., 1984. – Elevage et utilisation en aquaculture de l'*Artemia*. Thèse Doct. 3^e cycle Univ. de Lille I, 137p.
- Dupeux D., 1989. – Valorisation de la biomasse d'*Artemia* : le point de vue d'un propriétaire récoltant. *Aquarevue* 23 : 12- 15.
- Haddag M., 1991. – Contribution à l'étude d'une souche d'*Artemia (Artemia tunisiana)* endémique aux eaux de la saline d'Arzew, Algérie. Magister en Biologie, option : aquaculture. ISMAL, Alger, 68 p.
- Hedgpeth J. W., 1959. – Some preliminary considerations of the biology of inland Mineral waters. *Archivio Oceanogr. Limnol.*, 11 (suppl.) : 111-141.
- Persoone G., Sorgeloos P., 1980. – General aspects of the ecology and biogeography of *Artemia*. In the brine shrimp *Artemia*. Vol. 3 . Ecology, Culturing, Use in Aquaculture. Eds. Persoone G., P. Sorgeloos, O. A. Roels, E. Jaspers. Universa Press, Wetteren, (Belgium), 3-24.

- Post F. J., Youssef N., 1977. – A prokaryotic intracellular symbiont of the GSL brine shrimp *Artemia salina* (L). *Can. J. Microbiol.* 23 (9) : 1232-1236.
- Sato N. L., 1967. – Enzymatic contribution to the excystment of *Artemia salina* *Sci. Rep. Tohoku Univ.*, 33 (3-4) : 319-327.
- Tackaert W., Sorgeloos P., 1991. – Semi- intensive culturing in fertilized ponds. In : R. A. Browne, P. Sorgeloos and C. N. A. Trotman. *Artemia* biology. CRC Presss, Boca Raton, Florida, 287-315.
- Vos J., Tansutapanit A., 1979. – Detailed report on *Artemia* cysts inoculation in Bangpakong, Chachoengsao Province. FAO/UNDP Field Document. THA/75/008/54 pp.