

50376
1984
6

50376
1984
6

THESE

présentée à

L'UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE LILLE

pour l'obtention du titre de

DOCTEUR 3^e CYCLE

(BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE ANIMALES)

Option : BIOLOGIE APPLIQUEE



ELEVAGE ET UTILISATION

EN AQUACULTURE

DE L'ARTEMIA

Patrice BRISSET

Soutenue le 19.1.1984 devant la commission d'examen

Président : M. VIVIER, Professeur

Examineurs: M. LAUBIER, Directeur Scientifique au C.N.E.X.O.

M. GIRIN, Directeur technique, France Aquaculture.

M. PORCHET, Professeur, Université de Lille I

Rapporteur : M. RICHARD, Professeur, Université de Lille I

AVANT-PROPOS

Je tiens à remercier ici tous ceux qui m'ont aidé à la réalisation de cette étude et plus particulièrement,

A. Richard, Directeur de la Station Marine de Wimereux qui a bien voulu accepter de diriger ce travail.

P. Sorgeloos, Directeur de l'Artemia Reference Center qui m'a accueilli dans son laboratoire et aidé par ses conseils.

Les responsables de la Société Solvay qui m'ont permis d'effectuer mes recherches sur leurs installations portugaises.

Ainsi que toute l'équipe de la Station Marine de Wimereux qui a toujours répondu avec bonne humeur et compétence à mes nombreuses requêtes.

Pour leur patience et encouragements, je remercie tout spécialement Martine et mes parents et profite de cette occasion pour leur dédier cet ouvrage.

SOMMAIRE

	Page
INTRODUCTION	1
1ère PARTIE : PRESENTATION DE L' <i>ARTEMIA</i>	3
1. SYSTEMATIQUE	5
2. ECOLOGIE	9
2.1. Répartition géographique	9
2.1.1. A travers le monde	9
2.1.2. Les divers milieux	12
2.2. Niveaux de tolérance	14
2.2.1. Composition ionique et salinité	14
2.2.2. Température	15
2.2.3. Oxygène	16
2.2.4. pH	16
2.3. Alimentation	16
2.3.1. Mode d'alimentation	16
2.3.2. Taille des particules	17
2.3.3. Composition	19
3. LE CYCLE D' <i>ARTEMIA</i>	21
3.1. Reproduction	21
3.1.1. Oviparité, Ovoviviparité	21
3.1.2. Parthénogénèse, bisexualité	22
3.2. Conservation et éclosion des cystes	23
3.2.1. Conservation	23
3.2.2. Eclosion	23
3.2.2.1. Température	25
3.2.2.2. Salinité	25
3.2.2.3. pH	26
3.2.2.4. Oxygène	27
3.2.2.5. Lumière	27
3.2.2.6. Charge en cystes	27

3.3. Du nauplius à l'adulte	28
3.3.1. Développement du nauplius	28
3.2.2. Du métanauplius à l'adulte	28
3.3.3. Précopulation, copulation	29
2ème PARTIE : ELEVAGE	31
1. ELEVAGE EXTENSIF	32
1.1. Description des milieux	32
1.1.1. Lacs salés	33
1.1.2. Lagunes	34
1.1.3. Marais salants	34
1.1.4. Description des salines portugaises	37
1.2. Facteurs climatiques	40
1.3. Facteurs hydrobiologiques	44
1.3.1. Matériel et méthodes	44
1.3.1.1. Salinité et température	44
1.3.1.2. Turbidité	44
1.3.1.3. Etude faunistique	45
1.3.2. Résultats	46
1.3.2.1. Salinité	46
1.3.2.2. Température	50
1.3.2.3. Turbidité	53
1.3.2.4. Autres paramètres	53
1.3.2.5. Etude faunistique	53
1.4. Technique d'élevage	57
1.4.1. Choix de la souche	57
1.4.2. Aménagement des bassins	57
1.4.3. Inoculation	58
1.4.3.1. A partir de nauplii	59
1.4.3.2. A partir d'adultes	59
1.4.4. Apports en eau et aliments	62
1.4.5. Pêche des <i>Artemia</i>	62
1.4.6. Récolte des cystes	65
1.4.7. Résultats de production	65
1.5. Conclusion	66

2. ELEVAGE INTENSIF	68
2.1. Alimentation	68
2.1.1. Analyse granulométrique et solubilité	68
2.1.1.1. Matériel et méthode	68
2.1.1.2. Résultats	69
2.1.1. Tests sur <i>Artemia</i>	71
2.1.2.1. Matériel et méthode	71
2.1.2.2. Résultats	71
a) Influence de la charge	71
b) Dosage alimentaire	72
c) Comparaison des produits	75
2.1.3. Conclusion	77
2.2. Elevage	77
2.2.1. Circuit fermé	77
2.2.1.1. Matériel et méthode	77
2.2.1.2. Résultats	82
a) Levure de pain	82
b) Lactosérum	82
c) Farine de maïs	84
2.2.1.3. Conclusion	86
2.2.2. Circuit ouvert	86
2.2.2.1. Matériel et méthode	86
2.2.2.2. Résultats	90
a) Sur la source géothermique	90
b) Au Portugal	92
2.2.2.3. Conclusion	95
3ème PARTIE : UTILISATION D' <i>ARTEMIA</i> EN AQUACULTURE	98
1. INTRODUCTION	99
2. TRANSPORT DES <i>ARTEMIA</i> VIVANTES	100
2.1. Méthodologie	100
2.1.1. Description du matériel	100
2.1.2. Mise en oeuvre des essais	100

2.2. Résultats	102
2.2.1. pH	102
2.2.2. Température	103
2.2.3. Salinité	105
2.2.4. Rapport oxygène-eau	105
2.2.5. Charge en animaux	107
2.2.6. Provenance des animaux	107
2.2.7. Age des animaux	108
2.3. Conclusion	108
3. UTILISATION D' <i>ARTEMIA</i> EN ECLOSERIE	110
3.1. Méthode	110
3.1.1. Obtention des <i>Artemia</i>	110
3.1.2. Obtention des zoés de <i>Crangon crangon</i>	110
3.1.3. Tests sur zoés	113
3.2. Recherche des optima pour l'élevage larvaire de <i>Crangon crangon</i>	113
3.2.1. Charge en larves par litre	114
3.2.2. Oxygénation du milieu	115
3.2.3. Substrat	115
3.2.4. Salinité	116
3.2.5. Température	117
3.2.6. Alimentation	119
3.2.7. Conclusion	121
3.3. Technique d'utilisation des nauplii en écloserie	121
3.3.1. Conservation	122
3.3.2. Décapsulation	123
3.3.3. Conclusion	125
3.4. Utilisation des juvéniles et adultes d' <i>Artemia</i>	126
3.4.1. Ration alimentaire	126
3.4.1.2. En fonction de la taille	126
3.4.1.3. Au cours du cycle de mue	127
3.4.2. Croissance	127
3.4.3. Conclusion	128
CONCLUSION GENERALE	129
BIBLIOGRAPHIE	132

INTRODUCTION

En 1975 en écrivant la croissance... de la famine ! René DUMONT évoquait l'Aquaculture de la façon suivante : "Les grands chalutiers sont en train de détruire les thons de la côte d'Afrique occidentale, en ramassant à moins d'un kilo les poissons susceptibles d'atteindre un quintal. Ils avaient déjà dramatiquement réduit les potentialités des harengs, des morues et de bien d'autres espèces. L'Aquiculture peut certes se développer, surtout le long des côtes et des estuaires, à la condition qu'on ne continue pas à les dégrader, à les polluer terriblement ; on n'en prend pas le chemin."

A cette époque l'Aquaculture semblait être un moyen de développement et une source de protéines pour de nombreux pays souffrant de malnutrition. De nos jours, rares sont les réalisations dans ce sens et trop peu nombreuses sont les productions qui alimentent les marchés locaux.

L'Aquaculture a donc partiellement failli à ces objectifs et n'a pas diminué l'inégalité croissante entre pays développés et pays dominés. L'*Artemia* en est un exemple parmi d'autres. Ce petit crustacé qui prolifère dans les milieux saumâtres fut longtemps utilisé comme aliment par certaines peuplages lybiennes qui trouvaient dans l'*Artemia* une source de protéines appréciable dans un pays où elles sont rares.

Depuis une vingtaine d'années les élevages d'*Artemia* se sont développés à travers le monde pour une autre raison. Par sa caractéristique de produire des "œufs" qui peuvent éclore très rapidement pour donner des larves de quelques dixièmes de millimètres ; l'*Artemia* est devenue un aliment indispensable en écloserie en attendant l'avènement de la nourriture inerte.

KINNE (1977) mentionne que 85 % des animaux marins cultivés l'ont été avec de l'*Artemia* uniquement ou en complément d'autres nourritures.

Le développement de l'Aquaculture a provoqué une surenchère des prix des "œufs" ce qui a poussé des firmes à développer des zones de productions

dont les populations environnantes tirent rarement partie.

L'avenir des élevages d'*Artemia* peut être envisagé de deux façons. D'une part, à court terme et moyen terme, il est probable que se développent des essais de productions "d'œufs" qui fourniront des produits de haute qualité aux écloséries. D'autre part, à long terme on peut penser que seront réalisées des inoculations dans des milieux non productifs comme les lacs et lagunes hypersalés pour le compte d'organismes humanitaires. Les animaux récoltés, riches en protéines (60 % du poids sec) pourraient être fournis vivants ou après transformation aux élevages terrestres et aquatiques de ces régions, et pourquoi pas aux hommes dans certains territoires déshérités.

Ces différents intérêts justifient qu'une étude soit consacrée sur les différents élevages d'*Artemia* et son utilisation en Aquaculture.

Nous vous proposons, dans la première partie, par une étude bibliographique, de présenter l'*Artemia*, son cycle et ses caractéristiques. Dans la deuxième partie, nous définirons les diverses méthodes d'élevages extensifs en milieu naturel et intensifs sur effluents réchauffés. Après l'étude du transport de l'*Artemia* vivante, son utilisation, du nauplius à l'adulte sera envisagée au cours de la troisième partie par une application sur *Crangon crangon*.

1ère PARTIE

PRESENTATION DE L'ARTEMIA

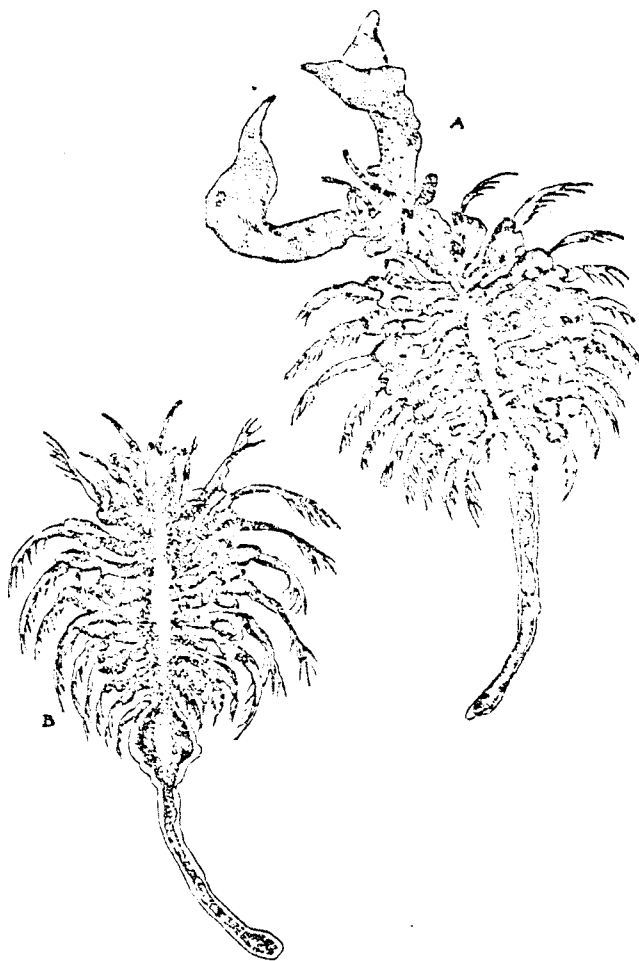


Fig. 1 Dessin de SCHLOSSER (1755)
(d'après Kuenen et Baas-Becking, 1938)

Position systématique

REGNE	Animal
SOUS REGNE	Métazoaire
DIVISION	Eumétazoaire
SUBDIVISION	Bilatéral
SERIE	Protostomien
EMBRANCHEMENT	Arthropode
LIGNEE	Mandibulate
SOUS EMBRANCHEMENT	Branchifère
CLASSE	Crustacé
SOUS CLASSE	Anostracé (branchiopode)
ESPECE	<i>Artemia</i> sp

1 - SYSTEMATIQUE

La généralisation de l'utilisation de l'*Artemia* en Aquaculture a permis de découvrir de nombreuses souches dont la classification n'est toujours pas élucidée.

S'agit-il d'une même espèce avec de nombreuses races ou d'espèces fondamentalement différentes ? Bien des problèmes se posent sur la taxonomie des Artemies. Théoriquement le nom conventionnel *Artemia salina* L ne doit être utilisé que pour la souche originelle provenant des marais salants de Lymington en Angleterre observée par SCHLOSSER en 1755 et LINNE en 1758 (KUENEN et BAAS-BECHING, 1938).

De nombreux travaux ont prouvé l'existence d'importantes différences entre les souches comme le montre le tableau 1 (BARIGOZZI, 1980).

Les Artemies peuvent être classées en deux groupes distincts : les souches parthénogénétiques et bisexuelles.

Si l'on peut définir six espèces pour ces dernières : *Artemia franciscana*, *A. tunisiana*, *A. urmiana*, *A. monica*, *A. persimilis*, *A. odessensis*, on préfère regrouper les souches parthénogénétiques sous le même nom *Artemia parthenogenetica*. Dans ce cas, il est nécessaire de préciser la région d'origine comme le signale BARIGOZZI (1980), (tableau 2).

Ce classement ne résoud pas tous les problèmes et bien des espèces ne peuvent être classées de façon définitive, ce qui a poussé BOWEN (1978) à les regrouper sous le dénominatif *Artemia sp.* La multiplication des inoculations volontaires souvent anarchiques effectuées à travers le monde à partir de souches commercialisées ou non complique ces études.

Dans le but d'identifier et de comparer, chaque utilisateur devrait mentionner la zone de récolte s'il s'agit d'une souche collectée directement dans la nature, par contre s'il travaille avec des cystes commercialisés, il devrait mentionner la marque et le numéro du lot.

On aurait ainsi par exemple, pour des cystes provenant des marais salants situés à Alcochête au Portugal la dénomination suivante : *Artemia* sp. Alcochête Portugal. Pour des cystes de Great Salt Lake commercialisés par SANDERS : *Artemia franciscana* (SANDERS) lot (218.1).

Le terme *Artemia* ne sera utilisé que pour des observations générales concernant les souches.

Matériel de choix puisque de conservation aisée et d'obtention facile et rapide comme nous le verrons dans le chapitre concernant les élevages, l'*Artemia* par sa faculté de produire des œufs de résistance, plus communément appelés cystes fut surtout étudiée par les biochimistes, physiologistes et généticiens...

Bien qu'elles se développent actuellement dans des buts de valorisation ou d'exploitation de marais salants et lagunes saumâtres, les études écologiques sur l'*Artemia* sont encore peu nombreuses puisque l'on ne peut en dénombrer qu'une centaine sur les 2 736 références répertoriées dans la bibliographie publiée par l'European Mariculture Society (1980).

Et pourtant, comment peut-on concevoir de développer des élevages d'*Artemia* sans cerner l'écologie de ce petit crustacé que les anglophones définissent sous le nom de crevette de saumure (brine shrimp), ce qui est déjà un qualificatif écologique.

Il apparaît donc nécessaire de réserver un chapitre à l'écologie avant de développer les méthodes d'élevage et les diverses utilisations de ce branchiopode.

Techniques	Principaux Auteurs	Epoque	Critères biologiques étudiés
Microscopie description des caractères morphologiques, reproduction	SCHLOSSER LINNE LEACH VON SIEBOLD VERRILL	1775 1865	Morphologie et ses variations, modes de reproduction
Cytologie et génétique sur animaux collectés et cultivés	BRAUER ARTOM KUENEN BARIGOZZI'GROUP STEFANI BOWEN	1893 (PICCINELLI et al.) 1976	Polyploïdie, méiose chez les souches bisexuelles et parthénogénétiques contrôle chromosomique de la taille cellulaire, mutants, isolement des diverses souches, détermination du sexe.
Techniques biochimiques : électrophorèse de l'hémoglobine et des enzymes	BOWEN'S GROUP MOENS and KONDO	1869 1978	Polymorphismes détermination des transmissions des gènes intra et inter souches, analyse du génotype

Tableau I : Historique des recherches sur la systématique d'*Artemia*
(d'après BARIGOZZI, 1980)



Groupe	Nom	Pays d'origine	Nombre chromosomique
I. Bisexuel diploïde subdiploïde et tétraploïde	<i>A. salina</i> LEACH	Lyngington (GB)	42
	<i>A. franciscana</i> KELLOG	Amérique du nord (Californie etc.)	42
	<i>A. tunisiana</i> BOWEN	Afrique du nord	42
	<i>A. urmiana</i> GUNTHER	Cagliari (Sardaigne) Lake Urmia (Iran)	?
	<i>A. persimilis</i> PROSDOCIMI et PICCINELLI	S. Bartolomeo (Cagliari), Hidalgo (Mexique)	44
	<i>A. monica</i> VERRILL	Mono Lake (Californie)	?
	<i>A. odessensis</i>	Odessa (URSS)	84 ?
II. Parthénogénétique avec des différents degrés de ploïdie et différents mécanismes de régulation du nombre chromosomique	<i>A. parthenogenetica</i> de ISTRIA	Istria	prédominante 84
	<i>A. parthenogenetica</i> de Sta Gilla	Sta Gilla (Cagliari)	42
	<i>A. parthenogenetica</i> de Apulia	Margherita di Savoia (Italie)	42.84
	<i>A. parthenogenetica</i> de Comacchio	Comacchio (Italie)	84
	<i>A. parthenogenetica</i> de Sète	Sète (France)	42
	<i>A. parthenogenetica</i> de Odessa	Odessa (URSS)	84
	<i>A. parthenogenetica</i> d'Inde	Madras (Kutch)	?
	<i>A. parthenogenetica</i> d'Australie	Port Hedland (Australie)	?
	<i>A. parthenogenetica</i> du Japon	Yamaguchi (Japon)	?
	<i>A. parthenogenetica</i> Mer morte	Mer morte	63.105

Tableau 2 : Systématique du génome (caryotype) *Artemia*
(d'après BARIGOZZI, 1980)

2 - ECOLOGIE

2.1. REPARTITION GEOGRAPHIQUE

2.1.1. A travers le monde

Il en est de l'*Artemia* comme de la daphnie ; on en trouve sur tous les continents.

Si,voici quelques dizaines d'années,on dénombrerait 80 souches provenant de salines disséminées à travers le monde (ABONYI, 1915 ; ARTOM, 1922 ; STELLA, 1933 ; MATHIAS, 1937), la généralisation de l'utilisation d'*Artemia* en aquariophilie et aquaculture a permis d'en dénombrer plus de 200, toutes répertoriées à l'*Artemia* Reference Center par SORGELOOS et VANHAECKE (1981). Il n'est guère de mois sans une communication concernant un nouveau site où prolifèrent les *Artemia* (fig. 2).

En fait, il est probable que des études poussées permettraient de découvrir de nombreuses souches différentes les unes des autres par leur biométrie, leur mode de reproduction et leur ploïdie. C'est ce qu'a prouvé AMAT en 1979 par une étude sur la distribution des populations d'*Artemia* dans la péninsule ibérique dans laquelle il détermine 36 souches différentes (fig. 3). A l'inverse,des souches paraissent avoir disparu à jamais par la destruction des sites comme ce fut le cas en Allemagne, Yougoslavie, et en Angleterre : il a ainsi été perdu la première souche observée en 1755.

Actuellement l'*Artemia* a été découverte sur tous les continents dans les zones tempérées, tropicales et subtropicales du 52^e parallèle nord (Gull Lake ; Canada) au 40^e parallèle sud (Galera ; Chili) dans des milieux thalassohalins et athalassohalins.

Bien des hypothèses tentent d'expliquer la dissémination de cette espèce. Si pour certains elle existait avant la séparation des continents (ABONYI, 1971), la colonisation a pu être assurée par des transports éoliens de cystes dont le poids ne dépasse pas une dizaine de microgrammes.

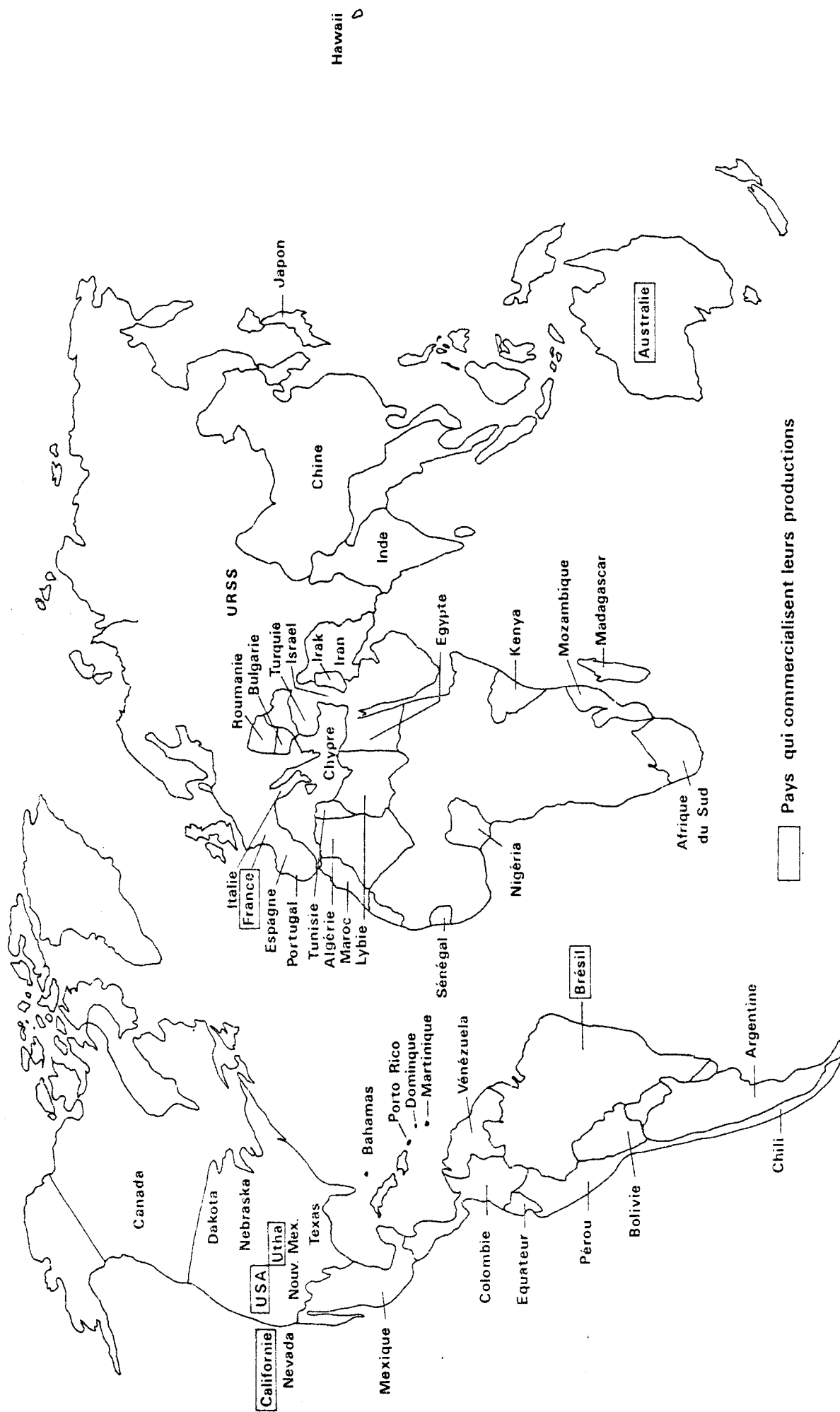


Fig. 2 : Distribution des *Artemia* à travers le monde

- | | | |
|-----------------------------|----------------------------|------------------------|
| 1 Medinaceli + | 14 San Fernando .° | 27 Villena . |
| 2 Rienda + | 15 San Juan .° | 28 Calpe ° |
| 3 Imon + | 16 San Pablo.° | 29 Salinera Espanola . |
| 4 Saelices + | 17 Sta Leocadia.° | 30 Campos del Puerto ° |
| 5 Armalla + | 18 La Chica .° | 31 s. San Antonio + |
| 6 Laguna de Quero ° | 19 Janubio (Lanzarote).° | 32 Peralta de la Sal + |
| 7 Alcochete + | 20 Roquetas . | 33 Gerri de la Sal ° |
| 8 Ayamonte ° | 21 Cabo de Gata° | 34 Laguna de la Playa |
| 9 Lepe ° | 22 s. Catalana . | Bujaraloz + |
| 10 Isla Cristina ° | 23 s. Punta Galera . | 35 Lerin . |
| 11 San Juan del Puerto . | 24 San Pedro del Pinatar . | 36 Poza de la Sal . |
| 12 Sanlucar de Barrameda °+ | 25 Molina del Segura . | |
| 13 s. San Félix .° | 26 Santa Pola °. | |

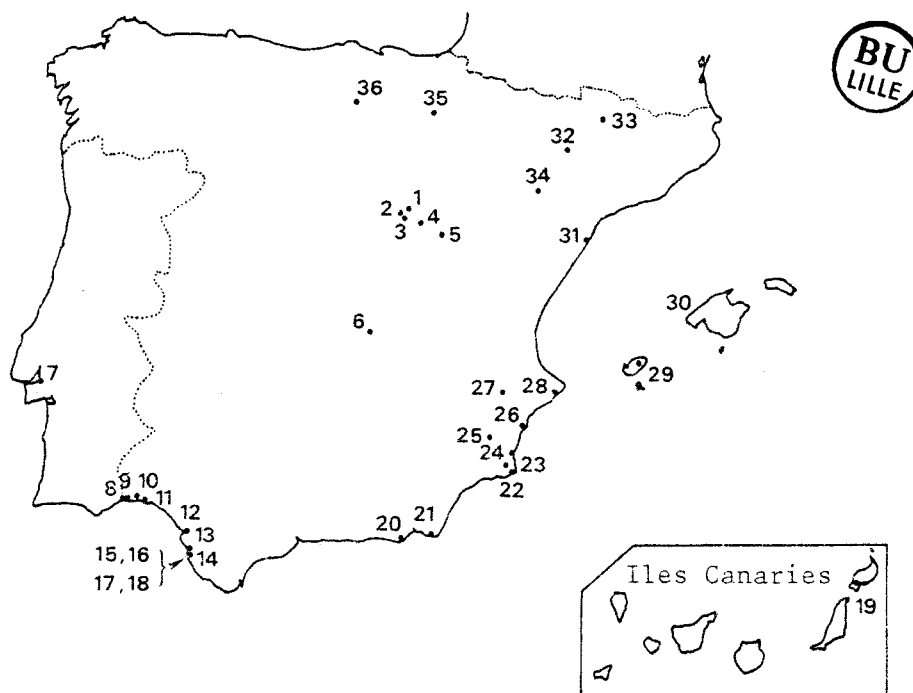


Fig. 3 : Distribution des différentes souches d'*Artemia* dans la péninsule ibérique et les îles voisines (F. AMAT DOMENECH, 1980)

L'hypothèse la plus plausible reste la dissémination par les oiseaux migrateurs comme le flamant rose ou le tadorne qui peuvent transporter des cystes collés sur leurs pattes mais aussi dans leur tractus digestif dans lequel les embryons protégés par l'épais chorion ne subissent pas tous d'altérations durant les quelques heures nécessaires au transit intestinal (MAC DONALD, 1980 ; LOFFLER, 1964). C'est sans doute ce type de colonisation qui assura la prolifération des *Artemia* dans les salines iraniennes où se multiplie la même souche génétique. Cette hypothèse permettrait d'expliquer l'absence d'*Artemia* sur des sites favorables par le manque d'axe migratoire, comme c'est le cas pour certaines salines brésiliennes où des inoculations volontaires ont été couronnées de succès (SORGeloos, 1976).

Depuis sa découverte l'intérêt des *Artemia* dans les marais salants fut controversé. On croyait que sa présence augmentait la production de sel, ce qui poussa de nombreux exploitants à l'introduire dans leurs salines. Actuellement, il a été démontré que si elle n'assurait pas directement de meilleures récoltes, elle permettait d'obtenir du sel de meilleure qualité. En effet l'animal, par sa faculté d'absorber les particules végétales en suspension dans les premiers bassins de concentration entraîne une épuration du sel (DAVIS, 1978). Il est probable que les souches australiennes proviennent d'inoculations effectuées par l'homme (GEDDES, 1980).

Activité hautement rémunératrice, de nombreux professionnels ont développé des productions de cystes. En France, les Salins du Midi ont tenté de développer de telles productions mais la qualité est médiocre et l'offre fluctue de façon importante. Il existe actuellement 8 firmes principales qui commercialisent ce produit au Monde. (tableau 3).

2.1.2. Les divers milieux

D'une taille de quelques mètres carrés comme au Portugal par exemple, à des surfaces de 5 000 km² comme le lac Rezaiyeh en Iran (LOFFLER, 1961), les sites où prolifèrent les *Artemia*, de profondeur variable, peuvent présenter des stratifications chimiques et physiques.

Ils sont classés en deux groupes : milieux thalassohalins et athalassohalins suivant la composition ionique.

Les milieux thalassohalins présenteront une prédominance de chlorure de sodium. Au bord des côtes, ces milieux proviennent soit de l'évaporation naturelle

Firme	Adresse	Produit commercialisé
AQUAFAUNA BIO-MARINE INC.	P.O. Box 5, Hawthorne, CA 90250, USA	cystes de Great Salt Lake
AQUARIUM PRODUCTS	180L Penrod Court, Glen Burnie, MD 21061, USA	cystes d'Argentine et de Colombie
ARTEMIA INC.	P.O. Box 2891, Castro Valley, CA 94546, USA	cystes de Shark Bay-Australie et de Macau-Brésil
CHINA NATIONAL CEREALS, OILS & FOODSTUFFS IMPORT & EXPORT CORP. TIENTSIN BRANCH	No. 134 Chih Feng Road, Tientsin, PR China	cystes de Tientsin-PR Chine
HL MARINOCULTURA LTDA.	Caixa Postal 25, Macau RN 59500 Brazil	cystes de Macau-Brésil
JUNGLE LABORATORIES CORPORATION	P.O. Box 66, Comfort TX 78013, USA	cystes de Chaplin Lake-Canada
SANDERS BRINE SHRIMP CO.	1255 West 4600 South, Ogden, UT 84403, USA	cystes de Great Salt Lake
SAN FRANCISCO BAY BRAND INC.	8239 Enterprise Drive, Newark, CA 94560, USA	cystes de San Francisco Bay

Tableau 3 : Liste des principales firmes qui commercialisent des cystes d'Artemia (SORGELLOOS, 1980)



en lagune soit de l'activité humaine dans les marais salants. Il en existe aussi loin des côtes et le meilleur exemple est celui du lac américain de l'état d'Utah : Great Salt Lake dont la production est mondialement connue.

Les biotopes athalassohalins sont situés à l'intérieur des terres et présentent des compositions ioniques très différentes de celle de l'eau de mer. Il en existe trois grands types. Certains présentent une prédominance de sulfates comme le lac Chaplin au Sas Katchevan au Canada (HAMMER et coll., 1975), d'autres de carbonates comme le lac Mono en Californie (MASON, 1967) et certains comme quelques la du Nébraska se caractérisent par des eaux riches en potassium.

L'*Artemia* en colonisant ces milieux que l'on peut qualifier d'hostiles a su se protéger d'une prédation intense contre laquelle elle ne peut lutter faute du moindre système de défense.

2.2. NIVEAUX DE TOLERANCE

2.2.1. Composition ionique et salinité

L'*Artemia* a développé un système de défense écologique qui lui permet de supporter des compositions ioniques et des salinités létales pour la majorité des espèces animales aquatiques. Son système d'osmorégulation exceptionnel en a fait, s l'on peut dire, l'espèce championne des métazoaires aquatiques (COLE et BROWN, 1967

Si dans certains biotopes, les rapports ioniques sont proches de ceux de l'eau de mer, l'*Artemia* se multiplie aussi dans des eaux où ils sont très différent

Le tableau ci-dessous donne les rapports ioniques des eaux où prolifèrent les *Artemia* comparés à ceux de l'eau de mer, d'après COLE et BROWN, 1967 ; BOWEN et al, 1978.

Rapport ionique	Eau de mer	
Na^+/K^+	28	de 8 à 173
$\text{Cl}^-/\text{CO}_3^{2-}$	137	de 101 à 310
$\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$	7	de 0,5 à 90

Grâce à son pouvoir d'osmorégulation, l'*Artemia* peut assurer ses fonctions physiologiques à des salinités comprises entre 9‰ (BRISSET, 1981) et 340 ‰ (POST et YOUSSEF, 1977). Dans la nature elle proliférera dans des milieux où la salinité est supérieure à 100 ‰, niveau que supporte difficilement les prédateurs comme les mulets ou tilapias (HEDGPETH, 1959).

L'autre aspect important de la salinité sur la vie de l'*Artemia* est son influence sur la production des cystes et leur déshydratation. Phénomène dépendant de la souche, les femelles n'émettront des cystes qu'à partir d'un certain niveau de salinité qui limite le taux d'oxygène dissous, ceux-ci seront déshydratés et ne pourront éclore que lors d'une chute suffisante de la concentration en sel pour assurer une hydratation nécessaire pour le bon déroulement de l'éclosion. Ce niveau se situe à 85 ‰ pour la souche californienne de San Francisco (SORGELOOS, 1980), aspect non négligeable car directement lié à l'industrie de l'*Artemia* ; les milieux à haute salinité de l'ordre de 150 à 200 ‰ permettront en général d'obtenir des productions de cystes propres et de bonne qualité.

2.2.2. Température

L'*Artemia* se maintient entre 6 et 37° C et peut survivre quelques semaines à 40° C (VOS et TANSUTAPANIT, 1979). Son optimum de croissance variable suivant la souche peut être situé entre 25 et 30° C (SORGELOOS, 1980).

Les cystes déshydratés dépassent de loin les possibilités de l'animal puisqu'ils peuvent supporter des conditions proches du zéro absolu et du point d'ébullition de l'eau avec une baisse négligeable du taux d'éclosion.

Limite inférieure :

- . - 271,7° C durant 2 heures (IWASAKI, 1973)
- . - 190 ° C durant 24 heures (WHITAKER, 1940)
- . - 270,8° C durant 6 jours à basse pression (SKOULTCHI et MOROWITZ, 1964).

Limite supérieure :

- . +103 ± 0,5° C durant 1 heure 30 (HINTON, 1954, 1968)
- . + 66 ° C durant toute l'inoculation (DUTRIEU, 1960 ; IWASAKI, 1973)

2.2.3. Oxygène

Observée lors de bloom algal durant lesquels le taux d'oxygène peut atteindre 150 % de la saturation comme dans les milieux où le taux est inférieur à 1 ppm,

l'Artemia peut être qualifiée d'euroxybionte. Nous verrons par la suite qu'en milieu pauvre elle peut développer un système spécifique pour capter l'oxygène.

Les élevages intensifs permettent de penser que l'optimum se placerait à des valeurs proches de la saturation.

2.2.4. pH

L'Artemia jusqu'à ce jour n'a été rencontrée qu'en milieu neutre ou alcali. 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 son rôle est capital lors de l'éclosion (SATO, 1967).

Les expériences réalisées pour la mise au point d'une méthode de transport d'animaux vivants à haute densité a permis de constater que des pH inférieurs à 6 sont généralement létaux comme nous le verrons dans la 3^è partie.

2.3. ALIMENTATION

L'Artemia est typiquement un "filter-feeder" phagotrophe obligé (PROVASOLI et SHIRAIISHI, 1959). Elle se nourrit par filtration et cela durant toute sa vie. En perpétuels mouvements de nage *l'Artemia* assure son alimentation par sa locomotion.

2.3.1. Mode l'alimentation

La deuxième paire d'antennes qui assure l'alimentation chez le nauplius (TOBIAS et coll., 1979) est ensuite remplacée avantageusement au fil des mues par onze paires d'appendices thoraciques chez l'adulte. Par des battements rythmiques et coordonnés, *l'Artemia* capte, grâce aux soies garnissant l'exopodite et l'endopodite de ses thoracopodes, toutes particules inertes ou vivantes en suspension (VOLLMER, 1952) (fig. 4).

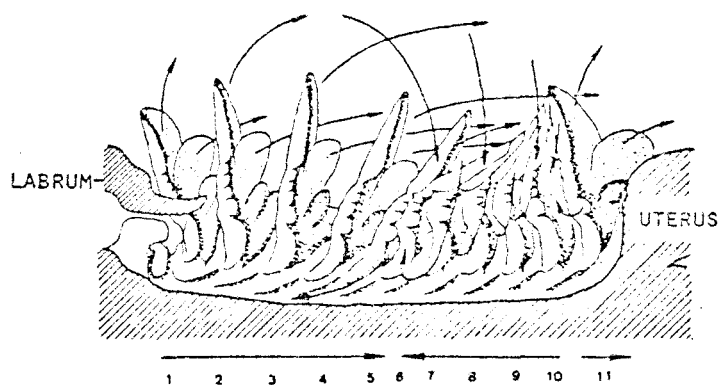


Fig. 4 : Diagramme schématique du mouvement des thoracopodes (VOLLMER, 1952).

Durant cette phase les thoracopodes 1 à 5 et 11 assurent la propulsion, les autres créent une dépression ce qui provoque la prise des particules par les exo et endopodites.

2.3.2. Taille des particules

Quelle que soit la nature des particules en suspension l'*Artemia* les ingère si elles sont d'une taille acceptable (REEVE, 1963). SEKI (1966) et TAKANO (1967) ont montré que l'*Artemia* était capable d'absorber des particules de quelques microns comme les bactéries jusqu'à des tailles de 25 microns. Les études de DOBBELEIR (1980) à l'Artemia Reference Center ont permis de déterminer la taille optimale des particules alimentaires non seulement pour le nauplius mais aussi pour l'adulte.

Taille optimale des particules :

- pour le nauplius : 25 à 30 microns
- pour l'adulte : 40 à 50 microns.

2.3.3. Composition

L'incapacité chez tout animal de choisir son alimentation simplifie son élevage et présente un intérêt économique indéniable.

Cette non-sélectivité agrandit considérablement l'éventail des aliments sur lesquels peut se développer l'*Artemia*. Quelle que soit la matière vivante ou inerte elle devra toutefois présenter deux caractéristiques primordiales pour être ingérée par l'*Artemia* :

- insolubilité,
- taille inférieure à 50 microns.

Si les premiers élevages d'*Artemia* le furent sur une nourriture vivante le plus souvent composée d'algues, on utilisa ensuite pour des raisons de facilité des algues atomisées comme la spiruline (PERSON LE RUYET, 1976). Rapidement abandonnées par certains centres de recherche car trop coûteuse, la plupart des élevages effectués actuellement sont réalisés en utilisant des produits agro-alimentaires de type farine ou mélasse qui donnent d'aussi bons résultats en croissance et survie.

La liste des produits, vivants ou inertes, connus à ce jour pour avoir été utilisés avec succès est imposante (tableau 5).

Liste de quelques nourritures vivantes et inertes connues pour assurer une bonne croissance des *Artemia* d'après BRAUN, 1980 (1) ; COLLINS, 1980 (2) ; CZECZUGA, 1980 (3) ; D'AGOSTINO, 1980 (4) ; DE LOS SANTOS, 1980 (5) ; DOBBELEIR, 1980 (6) ; DUTRIEU, 1960 (7) ; DXIVEDI, 1980 (8) ; JOHNSON, 1980 (9) ; KINISHITA, 1961 (10) ; PAVILLON, 1980 (11) ; PERSON LE RUYET, 1976 (12) ; PERSOONE, 1978 (13) ; SAMAIN, 1980 (14) ; SORGELOOS, 1973, 1979, 1980 (15) ; TOBIAS et coll., 1980 (16).

Nourriture vivante

Algues

Diatomées

<i>Amphora coffaeiformis</i>	4
<i>Amphora perpusilla</i>	4
<i>Bacteriastrium</i> sp	5
<i>Chaetoceros</i> sp	5
<i>Chaetoceros curvisetus</i> (STX-167)	16
<i>Coscinodiscus</i> sp	5
<i>Cyclotella nana</i> (no.3H)	4
<i>Navicula</i> sp	4
<i>Nitzschia acicularis</i>	4
<i>Nitzschia closterium</i> (no 640)	4
<i>Phaeodactylum tricornatum</i>	1,4,12

Chlorophycées

<i>Chlamydomonas</i> sp	2,7
<i>Chlorella vulgaris</i>	3
<i>Dunaliella</i> sp	4
<i>Dunaliella salina</i>	4
<i>Dunaliella tertiolecta</i>	4,9
<i>Dunaliella viridis</i>	4
<i>Tetraselmis suecica</i>	14

Chrysophycée

<i>Stichochrysis immobilis</i>	4
--------------------------------	---

Cryptophycées

<i>Chroocomonas</i> sp	4
<i>Cryptomonas</i> sp	4
<i>Hemiselmis rufescens</i>	4
<i>Rhodomonas</i> sp	4
<i>Rhodomonas lens</i>	4

Cyanophycées

<i>Coccochloris</i> sp	4
<i>Lyngbya</i> sp	5
<i>Oscillatoria</i> sp	5
<i>Spirulina</i> sp	5

Levures

<i>Rhodotorula</i> sp	9
<i>Saccharomyces</i> sp	3,9

Bactéries

<i>Aspergillus eremothecium</i>	10
---------------------------------	----

Nourriture inerte

Algues

<i>Scenedesmus</i> sp	15
<i>Spirulina</i> sp	7,9,11,12
<i>Enteromorpha</i> sp	9

Produits agro-alimentaires

Son de riz	5,6,13,15
Son de blé	6
Soja	6,15
Lactoserum	6,13,15
Amidon	4
Albumine	4

On peut en dégager deux types couramment utilisés dont le premier paraît sans contexte voué à être le seul retenu :

- les farines de type son de riz, blé,
- les algues séchées comme la spiruline.

L'alimentation représente 5 à 30 % du prix de revient de l'*Artemia* adulte et c'est pour cette raison que de nombreux utilisateurs poursuivent leurs recherches pour trouver le produit le meilleur marché qui assurera des hauts rendements.

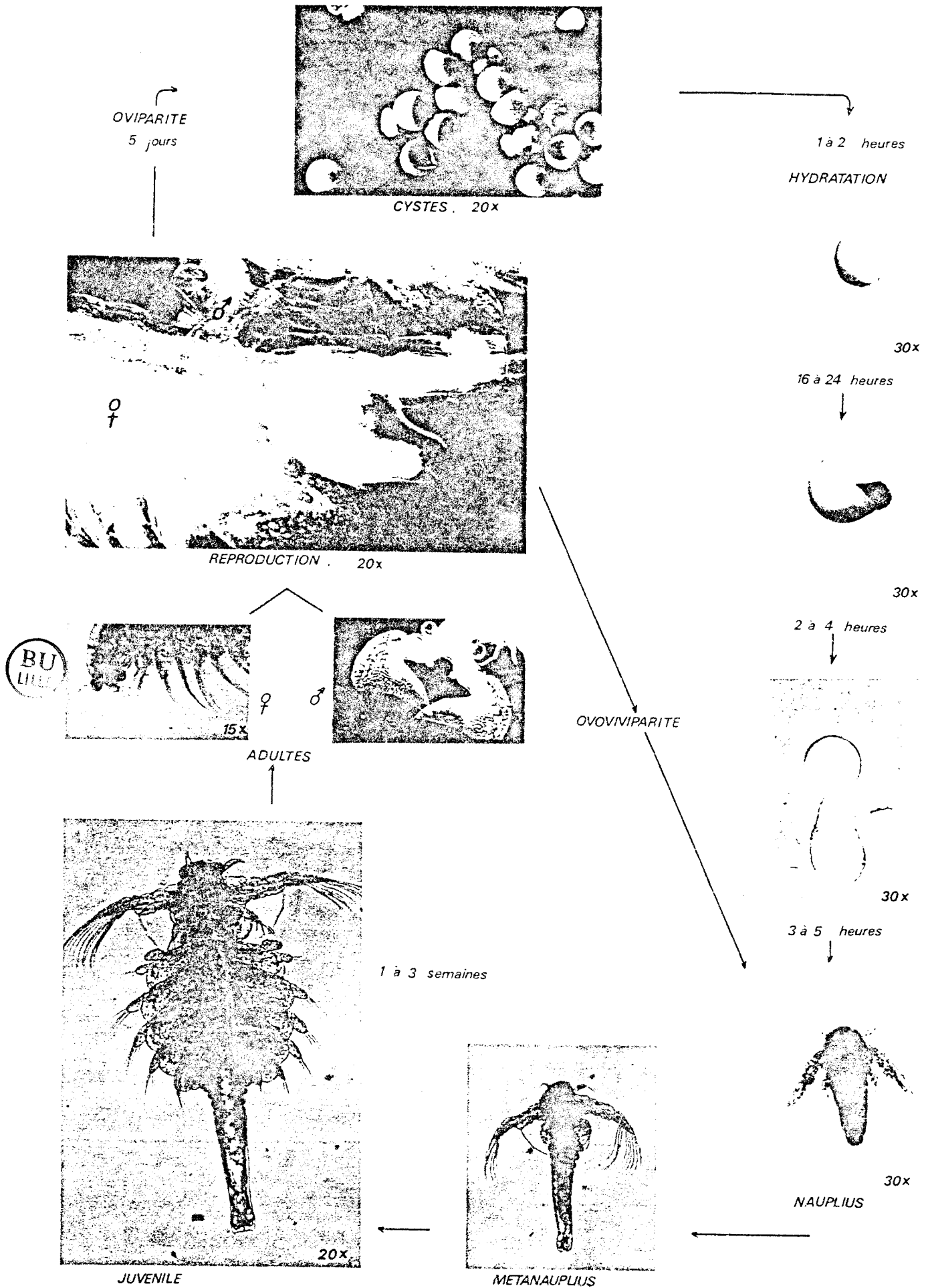
2.4. COMPETITION PREDATION PARASITISME

L'*Artemia* ne semble pas avoir de compétiteurs du moins dans les milieux hypersalés. A des salinités inférieures à 70 grammes par litre, quelques groupes d'invertébrés peuvent rentrer en compétition avec elle : rotifères, ciliés et plus rarement divers crustacés comme des anostacés et des copépodes.

Comme nous le détaillerons dans la 2^e partie, les ennemis des *Artemia* sont nombreux et le sont d'autant plus que la salinité est proche de celle de l'eau de mer. Tout zooplanctonophage trouvera dans l'*Artemia* un mets de choix de capture facile par sa lenteur dans ses déplacements.

Contrairement à ce que l'on pensait autrefois l'*Artemia* est sujette à des maladies et des parasites. Peu de littérature existe à ce sujet d'après SORGELOOS (1980), on peut toutefois énumérer des contaminations par des virus, procaryotes et spirochètes, champignons et des cestodes qui ne semblent être que des cas individuels et ne pas s'étendre à des populations entières.

FIG. 5 : LE CYCLE DE L'ARTEMIA



3 - LE CYCLE DE L'*Artemia* (Fig. 5)

3.1. REPRODUCTION

3.1.1. Oviparité et ovoviviparité

Sur les bords des salines peuplées d'*Artemia* quand les conditions sont adéquates, s'échouent sur les berges de petits grains de 200 à 400 microns de couleur brunâtre. Ceux-ci sont vivants et constitués d'embryons au stade gastrula, enkystés et en dormance de 3 00 à 4 000 cellules (NAKANISHI, 1962 ; OLSON et CLEGG, 1976). Appelés improprement oeufs de résistance, ce sont des cystes qui présentent une forme sphérique dont l'un des pôles déprimé donne un aspect général de coupelle.

Leur taille, comprise entre 220 et 300 microns, est variable suivant la souche et des variations moindres peuvent être observées au sein d'une même population voire sur une ponte d'une femelle (VANHAECKE et coll., 1980). Protégé par un épais chorion de 4 à 15 microns (VANHAECKE, 1980) dont la couleur varie du gris au brun et qui, excepté pour quelques souches comme Monolake assure la flottabilité du cyste, l'embryon restera en diapause tant que des conditions d'hydratation sont insuffisantes.

Ce mode de reproduction par cyste pourrait être qualifié de naturel car il prédomine dans les milieux où prolifèrent les *Artemia* comme les lagunes hypersalées et marais salants. Toutefois on peut observer, à des salinités auxquelles l'*Artemia* ne pourrait survivre par l'importance de la prédation, une reproduction que l'on peut qualifier d'ovovivipare et qui assure une rapide colonisation du milieu.

Phénomène réversible (VERSICHELE, 1980) c'est l'activité des glandes coquillères qui contrôlera le passage de l'oviparité à l'ovoviviparité :

- Si les sécrétions sont faibles on obtiendra des nauplii directement,
- Si elle est moyenne les femelles pondront des œufs qui éclorement rapidement,
- Si elle est importante ce sont des cystes qui seront émis.

A des valeurs proches de 2 à 4 ppm d'oxygène le sang de l'*Artemia* s'enrichit d'hémoglobine, ce qui lui assure une couleur rouge. Déchets du catabolisme de cette molécule, l'hématine est secrétée abondamment par les glandes coquillères (DUTRIEU, 1960 ; SORGELOOS, 1973). Les embryons sont alors recouverts d'un chorion épais formé essentiellement d'hématine (ANDERSON et coll., 1970). Emis dans un milieu hypersalé d'où la chute du taux d'oxygène, les cystes sont immédiatement déshydratés dès leur émission et flottent au grès du vent pour s'échouer sur les bords où ils se conserveront jusqu'à une réhydratation le plus souvent provoquée par une pluie ou une montée du niveau de l'eau due à une entrée d'eau de mer.

3.1.2. Parthénogénèse - Bisexualité

Il existe des souches parthénogénétiques et d'autres bisexuelles.

L'application des techniques électrophorétiques utilisées par BOWEN en 1978 puis ABEU GROBOIS en 1980 permet à ce dernier de proposer un tableau de l'évolution des différentes formes d'*Artemia* qui correspond à l'hypothèse émise par STEFANI en 1964 selon laquelle les souches parthénogénétiques proviendraient d'une souche bisexuelle.

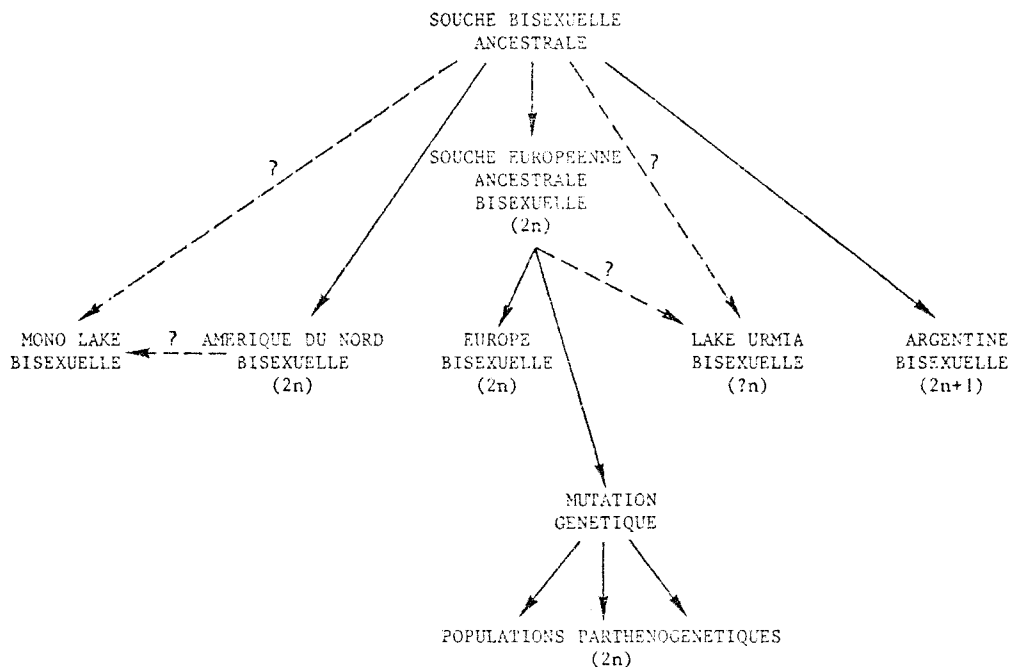


Fig. 6 : Schéma d'évolution de l'espèce *Artemia* d'après ABEU GROBOIS, 1980

Bien que parthénogénétiques, il n'est pas rare de rencontrer dans des populations des mâles qui n'ont aucune fonction reproductrice (STEFANI, 1964 ; ABEU GROBOIS, 1980) et d'observer dans un même milieu une coexistence avec des souches bisexuelles (AMAT DOMENECH, 1980). Par ailleurs les cystes provenant de ces souches parthénogénétiques ont un diamètre plus important qui est en corrélation avec le degré de ploïdie (VANHAECKE, 1980). De nombreux utilisateurs ont constaté que ces souches parthénogénétiques semblent être plus résistantes mais présentent une adaptabilité plus faible que les souches bisexuelles (SORGELOOS, 1980).

3.2. CONSERVATION ET ECLOSION DES CYSTES

3.2.1. Conservation

Bien que déshydratés les cystes présentent un faible métabolisme qu'il sera nécessaire de diminuer voire éliminer pour assurer une conservation de plusieurs années sans chute du taux d'éclosion.

Les cystes devront être maintenus déshydratés, à basse température et surtout à l'abri de l'oxygène (BOWEN, 1963 ; CLEGG, 1967, 1973, 1980).

Suivant la durée de conservation désirée on peut utiliser diverses méthodes. Pour quelques mois, les cystes peuvent être placés directement dans la saumure saturée. Si le stockage doit se prolonger ils doivent être déshydratés au soleil ou dans une étuve puis placés sous vide ou en atmosphère inerte (azote). Les entreprises qui commercialisent des cystes (tableau 3) utilisent en général ce dernier système.

3.2.2. Eclosion

Au niveau des écloseries, étant donné le prix actuel des cystes, l'impératif sera de réaliser des éclosions où le rapport poids de nauplii obtenus sur poids de cystes soit le plus haut possible.

Pour une éclosion optimale certains critères de base devront être observés en les adaptant à la souche utilisée.

Résumons en premier lieu, par les schémas proposés par MORRIS en 1971 et modifiés par BENIJTS et VANDEPUTTE en 1977, le déroulement de l'éclosion.

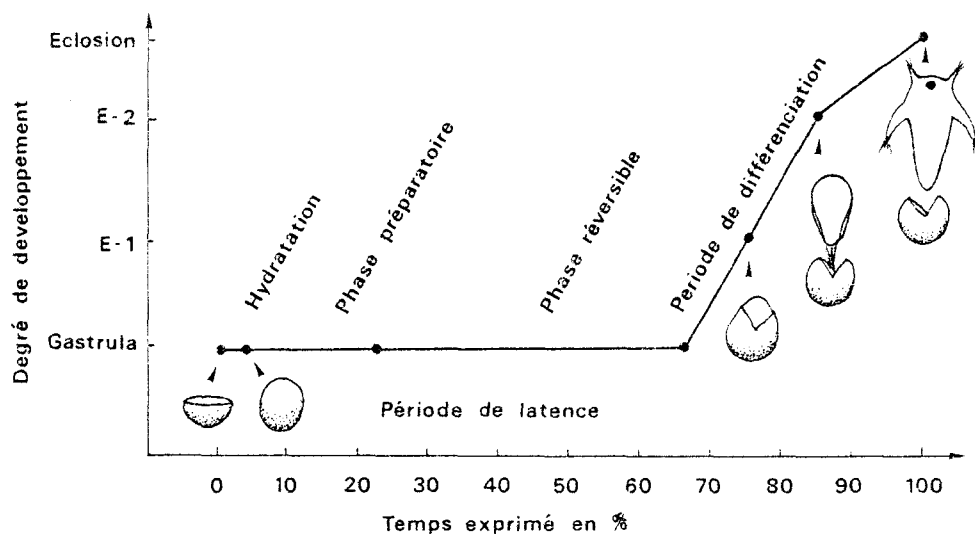


Fig. 7 : Déroulement de l'éclosion

D'après MORRIS modifié par
BENIJTS et VANDEPUTTE

Première étape de l'éclosion, l'hydratation ne dure que de une à deux heures suivant la salinité du milieu. L'incubation peut être divisée en deux périodes : une de latence et une de différenciation. La première peut être divisée en deux phases : une de préparation et une de réversibilité. Durant la première, si le cyste subit une déshydratation, replacé dans de bonnes conditions il reprendra son développement à partir du stade auquel il était arrivé avant la déshydratation. Par contre dans la phase de réversibilité le cyste déshydraté reprendra son développement au début de la période de réversibilité même s'il était en fin de celle-ci. Les précipitations et périodes de dessiccation dans le milieu naturel pouvant se succéder rapidement, ce phénomène peut être considéré comme un moyen de protection de l'espèce. Il nécessite toutefois des dépenses énergétiques qui provoqueront des baisses du rendement de l'éclosion d'où l'intérêt de récolter les cystes le plus rapidement possible. Passé la période de latence qui représente 70 % du temps de l'éclosion, le chorion se fend très rapidement et le nauplius apparaît enveloppé dans la membrane d'éclosion, pendu au chorion plus léger que lui d'où le

nom de ce stade "parapluie". Le nauplius d'*Artemia* finit par rompre la membrane et devient un être libre. Une description précise de ces étapes peut être trouvée dans les publications de WHEELER, YUDIN et CLARK en 1979 ; CLEGG et CONTE en 1980.

Six facteurs interviennent directement dans le processus de l'éclosion : la température, la salinité, le pH, l'oxygène, la lumière et la charge en cystes par litre.

3.2.2.1. La température

La figure 8 dressée par SORGELOOS en 1980 d'après ses propres travaux, ceux de BENIJTS en 1977 et VALLEJO en 1980, fait apparaître que l'optimum se situe à 30°C et qu'il est possible que les cystes, encore en phase de latence, éclosent même après avoir subi des températures comprises entre - 12°C et 40° C si on les replace dans de bonnes conditions.

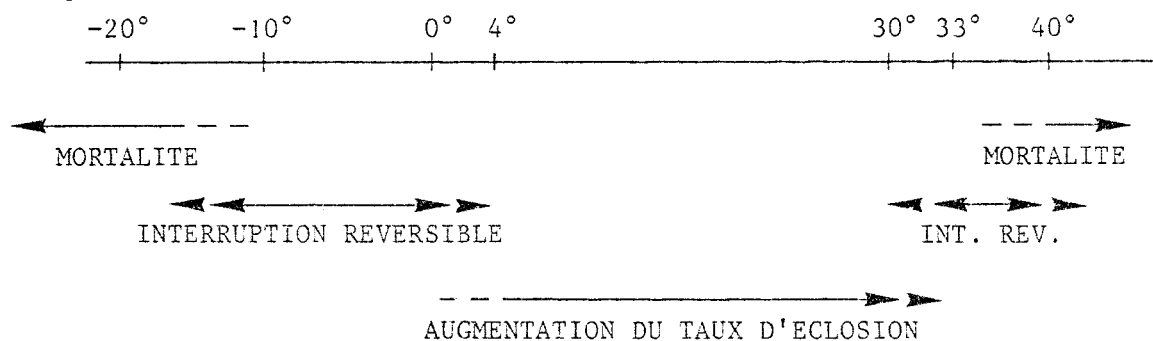


Fig. 8 : Diagramme de l'effet de la température de - 20°C à 40°C sur le métabolisme du cyste (SORGELOOS, 1980)

Nous verrons par la suite, lors de l'étude expérimentale que l'optimum ne doit pas être forcément pris en compte. Le temps nécessaire à l'éclosion sera directement lié à la température (SORGELOOS, 1975).

3.2.2.2. La salinité

Le temps d'hydratation est directement fonction de la salinité. Si, pour des raisons de facilité, on utilise couramment de l'eau de mer, il a été démontré qu'une éclosion en eau de mer diluée jusqu'à 5 % est plus rapide et permet d'obtenir des nauplii à plus haute valeur énergétique (VANHAECKE, 1980). Les nauplii utilisent moins de glycérol pour leur éclosion et sont donc plus riches pour les prédateurs qui les consommeront.

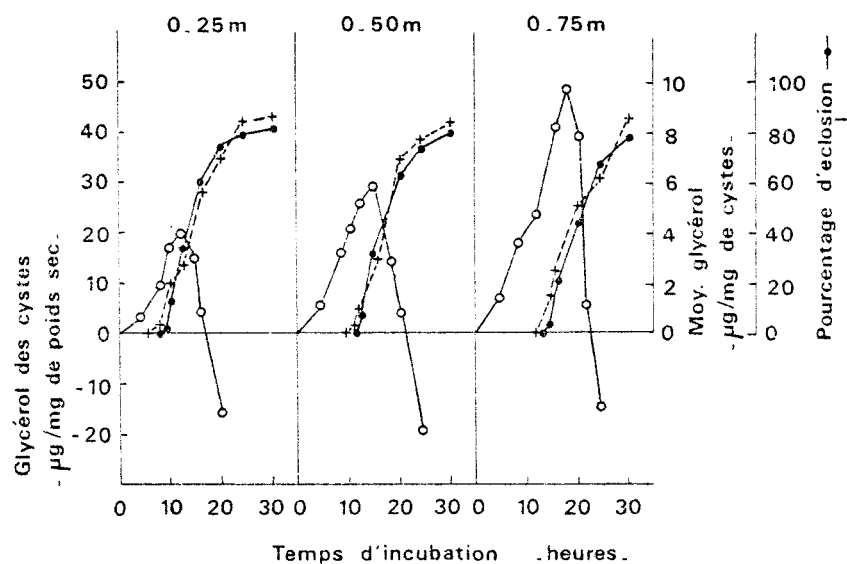


Fig. 9 : Relations entre la concentration en glycérol du cyste (—○—) du taux de glycérol dans le milieu (—+—), le pourcentage de cyste en éclosion (—●—) et le temps d'incubation à 3 concentrations de Na cl (0,25 m Na cl = 14,6 ‰ salinité) (D'après CLEGG, 1964)

3.2.2.3. pH

L'éclosion est optimale à des pH de 8-9, niveau auquel une enzyme active durant l'émergence de l'embryon présente une activité maximale (SATO, 1967)

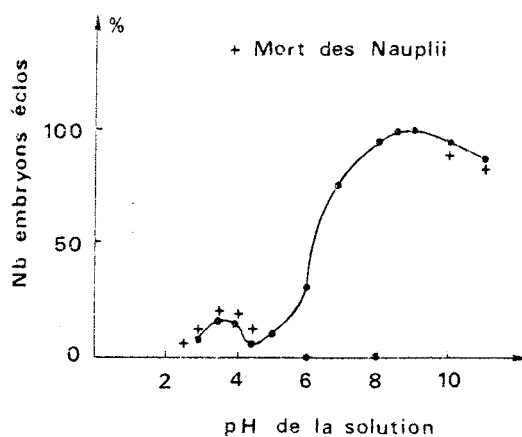


Fig. 10 : Influence du pH du milieu d'incubation sur l'activité enzymatique des embryons d'*Artemia* (SATO, 1967)

En milieu marin et à faible charge en cystes le pouvoir tampon de l'eau de mer suffit à maintenir un pH supérieur à 8. Toutefois pour des éclosions en milieu synthétique ou marin dilué et à forte charge il faut tamponner le milieu avec du Na_2CO_3 comme le préconise JONES en 1972 (1 ml d'une solution à 0,5 M par litre de milieu).

3.2.2.4. Oxygène

Les cystes peuvent éclore jusqu'à des concentrations en oxygène de 1 mg/l (SORGeloos et PERSOONE, 1975). Pratiquement, en écloserie on obtient les nauplii en plaçant les cystes dans un milieu vigoureusement agité par un bullage par le fond. Tout arrêt accidentel durant la phase de différenciation sera fatale pour les embryons qui sédimenteront et périront d'anoxie.

3.2.2.5. Lumière

Constatée par SORGeloos en 1973 et étudiée par VANHAECKE en 1980, l'éclosion est optimale quand elle est effectuée sous une source lumineuse qui assure au minimum 1 000 lux ce qui représente un éclairage bien plus faible que celui qui peut être observé dans les milieux où prolifèrent les *Artemia* les jours de plein soleil (100 000 lux). Techniquement, on obtient cette valeur en plaçant deux tubes fluorescents à 20 cm des récipients transparents contenant les cystes en éclosion.

3.2.2.6. La charge en cystes

Le rendement de l'éclosion n'est pas directement affecté par la charge en cystes comme l'a prouvé KURATA (1967) en obtenant de bons résultats pour des charges maximales de 17 g/l ce qui représente 2,5 à 5 millions de nauplii par litre suivant la souche utilisée.

Toutefois pour de grandes quantités en raison des difficultés pour maintenir un niveau d'oxygène acceptable et pour éviter la prolifération d'écume provoquée par le glycérol et ses dérivés libérés dans le milieu lors de l'éclosion, il est souhaitable de travailler avec des charges de 5 à 7 grammes par litre de milieu.

3.3. DU NAUPLIUS A L'ADULTE

3.3.1. Développement du nauplius

Le nauplius dénommé stade I qui vient d'éclore est fortement coloré en orange par ses réserves vitellines. De forme ovoïde il se caractérise par un œil unique, un tube digestif non fonctionnel, et trois paires d'appendices : les antennes, les antennules et les mandibules.

Les antennules petites ont une fonction sensorielle, la locomotion est assurée par les antennes. Le nauplius incapable d'ingérer de la nourriture possède des mandibules qui ne sont pas fonctionnelles, la larve s'alimente uniquement sur ses réserves pendant les quelques heures nécessaires avant la première mue. Elle intervient plus ou moins rapidement suivant la température du milieu : 36 heures à 20°C et 5 heures à 30°C (SORGELOOS, 1976).

A la face ventrale le nauplius présente un diverticule en forme de langue dénommé labrum dont la fonction n'est toujours pas déterminée du moins à ce stade.

Le nauplius subit une quinzaine de mues avant de devenir adulte (PROVASOLI et D'AGOSTINO, 1969).

Le stade II se distingue par l'ouverture du tube digestif et un développement de soies sur les mandibules. Les dépenses énergétiques nécessaires à ces transformations provoquent une baisse du poids frais des nauplii et de leurs réserves énergétiques de l'ordre de 20 % (SORGELOOS, 1978).

Le stade III se caractérise par l'apparition de deux expansions portant des soies sur les mandibules (MENSCHER, 1968).

Dès le quatrième stade apparaissent les bourgeons des premiers thoracopodes.

3.3.2. Du métanauplius à l'adulte

Peu d'informations concernent le développement de l'*Artemia*. Cependant grâce aux travaux de PROVASOLI et D'AGOSTINO (1969) et de WEISZ (1947), il est possible de résumer la transition entre la larve et l'adulte de la façon suivante.

Au cours des mues successives le métanauplius se transforme. Au stade IV se développent les ébauches des yeux complexes de l'adulte. Le nombre de thoracopodes augmente mue après mue, les antennes perdent petit à petit leurs fonctions locomotrices les yeux complexes deviennent fonctionnels à partir du stade X. Au stade XI les antennes perdent leurs soies et la différenciation sexuelle apparaît au stade suivant. A ce niveau chaque thoracopode est différencié en trois parties distinctes qui auront chacune une fonction propre : (photo 1)

- les télopodites pour la nutrition,
- les endopodites pour la locomotion,
- les exopodites joueront le rôle de branchies.

L'adulte de 8 à 10 mm présente des yeux latéraux complexes pédonculés, des antennes sensorielles, un tube digestif droit et son corps comprend :

- la tête,
- 11 segments thoraciques portant 11 paires de thoracopodes,
- 2 segments génitaux,
- 6 segments abdominaux.

Le mâle voit ses antennes atteindre une taille maximale sur lesquelles du côté interne peuvent s'observer deux protubérances. Sur la partie postérieure après le thorax peut être observée une paire de pénis.

La femelle a des antennes primitives à fonction sensorielle, ses ovaires sont situées de chaque côté du tube digestif en arrière des thoracopodes. Par deux oviductes sont transportés les oocytes vers l'utérus unique.

3.3.3. Précopulation - Copulation

La précopulation commence quand le mâle avec ses antennes enserre la femelle entre l'utérus et les derniers thoracopodes. Le couple nage ainsi durant une longue période.

La copulation est un mouvement très rapide. L'abdomen du mâle se courbe et un pénis est introduit dans l'ouverture de l'utérus.

Suivant les conditions thermiques, après un à plusieurs jours, de l'utérus de la femelle seront émis des larves ou des cystes au nombre de 50 à 200 par semaine (TOBIAS, SORGELOOS, 1979) (Fig. 5).

La maturité sexuelle étant atteinte au bout de deux à trois semaines suivant les conditions, les accouplements et l'émission des cystes se succèdent durant les quatre à cinq mois de la vie de l'*Artemia*.



Photo 1 : femelle adulte - détail des thoracopodes (40 X)

EX - Exopodite

EN - Endopodite

TE - Télpodite

2^e PARTIE

ELEVAGE

1 - ELEVAGE EXTENSIF

Les premiers élevages extensifs furent réalisés dans les marais salants où comme nous l'avons mentionné dans la première partie, l'*Artemia* était considérée comme étant un animal favorisant la production de sel. L'intérêt porté par les aquariophiles et les aquaculteurs a poussé les paludiers à envisager sa récolte et son conditionnement puis sa culture aussi bien pour l'obtention d'adultes mais aussi de cystes dont le marché ne cesse de croître. En insérant les expériences et les observations menées sur les salines portugaises de la société SOLVAY* nous détaillerons au fil de cette partie les divers problèmes rencontrés dans les élevages extensifs :

- assurer une production algale suffisante,
- maintenir un taux d'oxygène supérieur à 4 ppm,
- protéger l'élevage des soudaines variations de température et salinité,
- aménager les bassins pour prévenir l'augmentation du taux de bicarbonate et carbonate,
- récolter les animaux et les cystes.

L'élevage extensif assure non seulement une production de juvéniles et d'adultes qui sont fournis vivants ou morts souvent congelés mais surtout une production de cystes nettement plus rémunératrice. Il est difficile d'évaluer le tonnage annuel de ces divers produits car ils sont souvent utilisés sur des sites proches. On peut toutefois estimer qu'il se vend annuellement 100 tonnes de cystes et 50 tonnes d'animaux vivants et congelés, ces derniers sont destinés à l'aquariophilie en grande partie.

1.1. DESCRIPTION DES MILIEUX

Basées sur le fait que l'*Artemia* prolifère dans des milieux saumâtres ou hypersalés tant que la prédation est faible voire nulle, les productions extensives sont jusqu'à maintenant réalisées dans trois types de biotopes :

- les lacs salés,
- les lagunes côtières,
- les marais salants.

* Contrat de recherches pour l'évaluation des possibilités aquacoles d'anciennes salines.

Si les deux premières présentent l'avantage d'être des zones vierges que l'on peut transformer dans le seul but de produire des *Artemia* et des cystes, l'utilisation des marais salants nécessite l'adaptation des élevages aux activités paludières souvent ancestrales. Précisons les caractéristiques de ces différents biotopes.

1.1.1. Les lacs salés

Les eaux continentales se chargent le plus souvent au contact du sol de substances minérales. L'évaporation intense à la surface de l'eau provoque une concentration de ces substances dissoutes. Certaines sont en voie de dépôt dès leur arrivée, le seuil de cristallisation qui les caractérise étant atteint. C'est ainsi que se dépose du sulfate de soude dans les petits lacs de la zone aride du Canada ou du carbonate de chaux ; ailleurs il s'agit de carbonate de soude ou natron (lacs du Kaneum au Tchad) ou des sels d'origine marine comme le chlorure de sodium (Great Salt Lake - Utah). Ces biotopes se rencontreront principalement en zone aride généralement à l'intérieur des terres. Il est à noter que pour des besoins industriels, ont été créées des réserves de saumure comme l'étang de Lavalduc par les Salins du Midi (photo 2). Les espèces d'*Artemia* qui s'y développent seront souvent caractérisées par une reproduction parthénogénétique.

Ces sites sont malheureusement sujets à diverses attaques physiques ou chimiques qui risquent à plus ou moins long terme de les faire disparaître ou de modifier définitivement leur biocénose. C'est le cas de Mono Lake qui n'est plus suffisamment alimenté suite à des pompages inconsidérés effectués par les industriels et les zones urbaines, telles les villes implantées sur les rives de la rivière qui l'alimente (BOSSUYT, 1981, communication personnelle).

D'autres biotopes sont atteints par des pollutions chimiques comme le DDT, le chlordane et le dieldrin, ou métalliques comme le mercure, plomb, etc... C'est par la présence de pesticides que fut expliquée la mortalité observée dans les éclosiers de crustacés alimentés de nauplii provenant du lac Utah, (LEGER, 1981).

Ce phénomène n'est malheureusement pas l'apanage des lacs intérieurs, les lagunes côtières sont souvent atteintes comme celle de San Pablo Bay (Californie).

1.1.2. Les lagunes

Sous le terme de lagunes nous regrouperons tous les lacs peu profonds en communication plus ou moins importante avec la mer. En général celles où prolifèrent des populations d'*Artemia* évoluent de façon autonome et peuvent être qualifiées de lagunes mortes. Les régimes strictement marins (flux, reflux, parfois houle) y seront faibles sinon nuls. Elles seront sous l'influence des vents locaux, précipitations et apports continentaux. L'évaporation assurera un milieu en voie de sursalure (photo 3).

Les apports seront amplifiés si les vases littorales marines sont peuplées de mangroves (Macau - Brésil ; SORGELOOS, 1976) ou si la lagune est située dans un estuaire (San Pablo Bay). Chaque entrée d'eau, dans ce cas, apporte de nombreux débris végétaux et des sels nutritifs sur lesquels se développent des populations phytoplanctoniques qu'assimilent les *Artemia*. Il ne sera donc pas nécessaire de recourir à la fertilisation. Pour des étendues importantes de ce type, l'activité sera limitée à la récolte des cystes le long des berges (San Francisco Bay).

1.1.3. Les marais salants

Exceptés des marais salants implantés sur le littoral des mers présentant des marées de très faibles amplitudes, la plupart des installations paludières sont situées dans les estuaires ou sur des sites lagunaires. Activité ancestrale, l'extraction de sel à partir de l'eau de mer par évaporation et action du vent nécessite des infrastructures particulières. Basées sur le même principe, suivant les pays le circuit de l'eau, l'aménagement et la qualité du fond des bassins de concentration et de cristallisation varieront (fig. 11 et 12). A la différence du type philippin, les salines portugaises possèdent leurs bassins de cristallisation le long des bassins d'évaporation.

Bien qu'il existe à travers le monde des marais salants que l'on peut qualifier d'industriels comme ceux des Salins du Midi (photo 4), la grande majorité des installations sont petites et les bassins de cristallisation ne dépassent guère une centaine de mètres carrés où l'homme récolte le sel de façon manuelle.

Peu rentable de nos jours dans un marché où la concurrence est vive, de nombreux marais salants ont été abandonnés devenant ainsi des lagunes mortes tant que les berges, digues et portes résistent aux attaques marines. Elles se transforment

Fig. 11 : Type de salines observées par Vos
(1980)

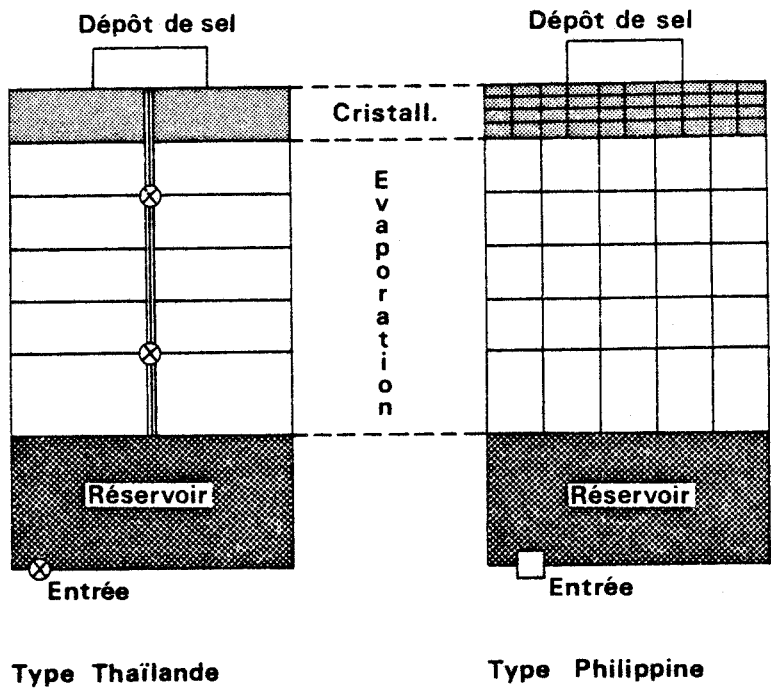


Fig. 12 : Type de salines portugaises

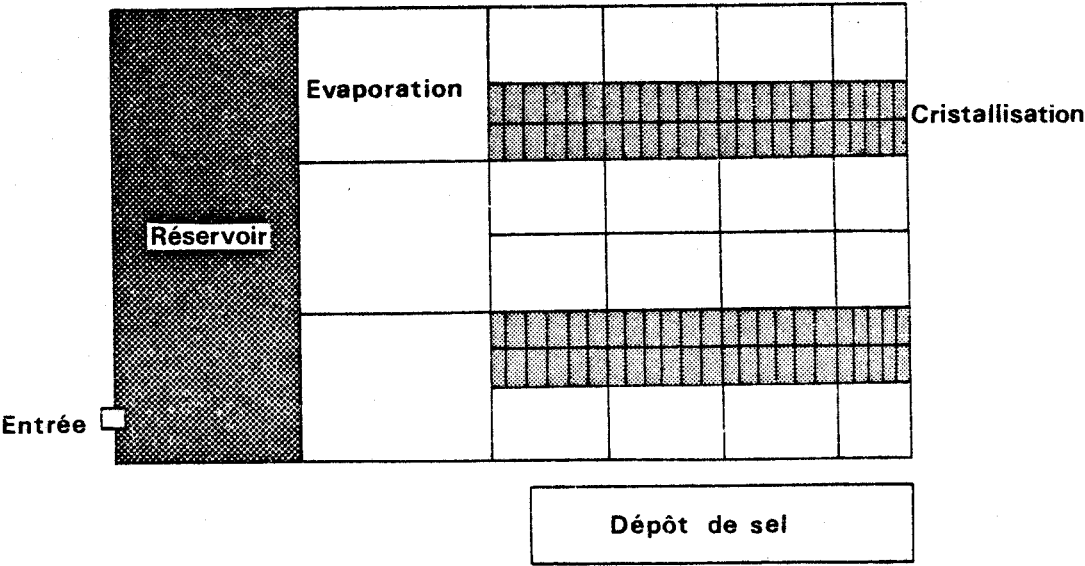




Photo 2 :
Etang de Lavalduc



Photo 3 :
Lagune côtière
(Portugal)



Photo 4 :
Marais salants
Salinsdu Midi

ensuite en vasières qui à plus ou moins long terme disparaissent en terrain viabilisé.

Achetées voici une trentaine d'années par la société SOLVAY au Portugal, les salines sur lesquelles nous avons mené nos observations furent abandonnées mais toujours surveillées, ce qui a permis la conservation de quelques portes. Noyées pour permettre au comité d'entreprise de trouver sur ce territoire de 33 hectares une zone de loisirs, les bassins de concentration et leurs infrastructures sont visibles sous une couche d'eau variant entre 30 cm et 1 m.

1.1.4. Description des salines portugaises

Situées dans l'estuaire du Tage à 25 km de l'embouchure, les salines sont composées de quatre séries de bassins aboutissant à six tables (plan 1) Des infrastructures ayant été détruites, bassins et tables ont perdu leurs fonctions premières. Suivant les équipements et leurs implantations nous pouvons les classer en quatre séries (plan 2)

.Série A

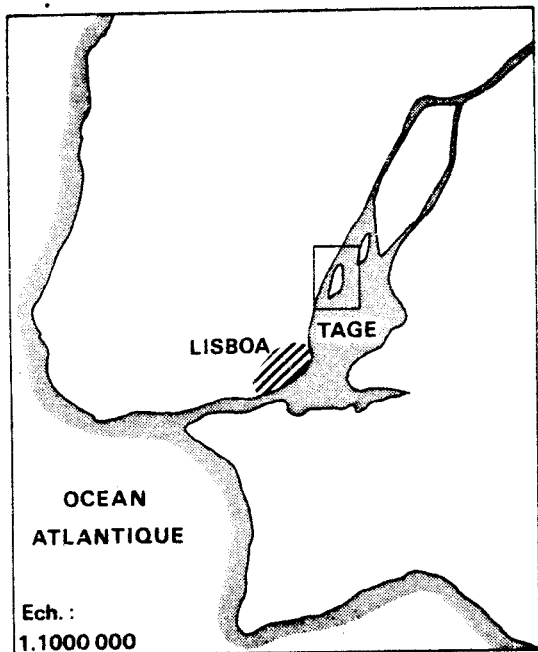
Ce sont les anciens bassins de concentration de la saline. Ils servaient de réservoirs pour les tables d'évaporation. Alimentés une fois par mois ils se sont transformés en vasières plus ou moins comblées (photo 5).

.Série B

Elle est composée de deux tables salantes d'une surface de 2,7 et 1 ha. En communication permanente avec les bassins de la série A, elles présentent les mêmes caractéristiques biocénétiques et hydrologiques. Ces deux bassins sont longés par un chenal de récupération des eaux vannes et de ruissellement. De nombreuses infiltrations ont été observées surtout pour le bassin B2 qui se caractérise par une couleur verte à la différence des autres bassins généralement limpides ou brunâtres.

.Série C

Partie basse de la saline, cette zone a subi de nombreuses détériorations : disparitions des portes, affaissement des digues. Zone d'accumulation, de nombreux bassins sont en partie comblés. Certains comme le C21, C22 et C23 seront asséchés à marée basse. (photo 6). Légèrement plus profondes les anciennes tables C1 et C3



PÓVOA DE SANTA IRIA

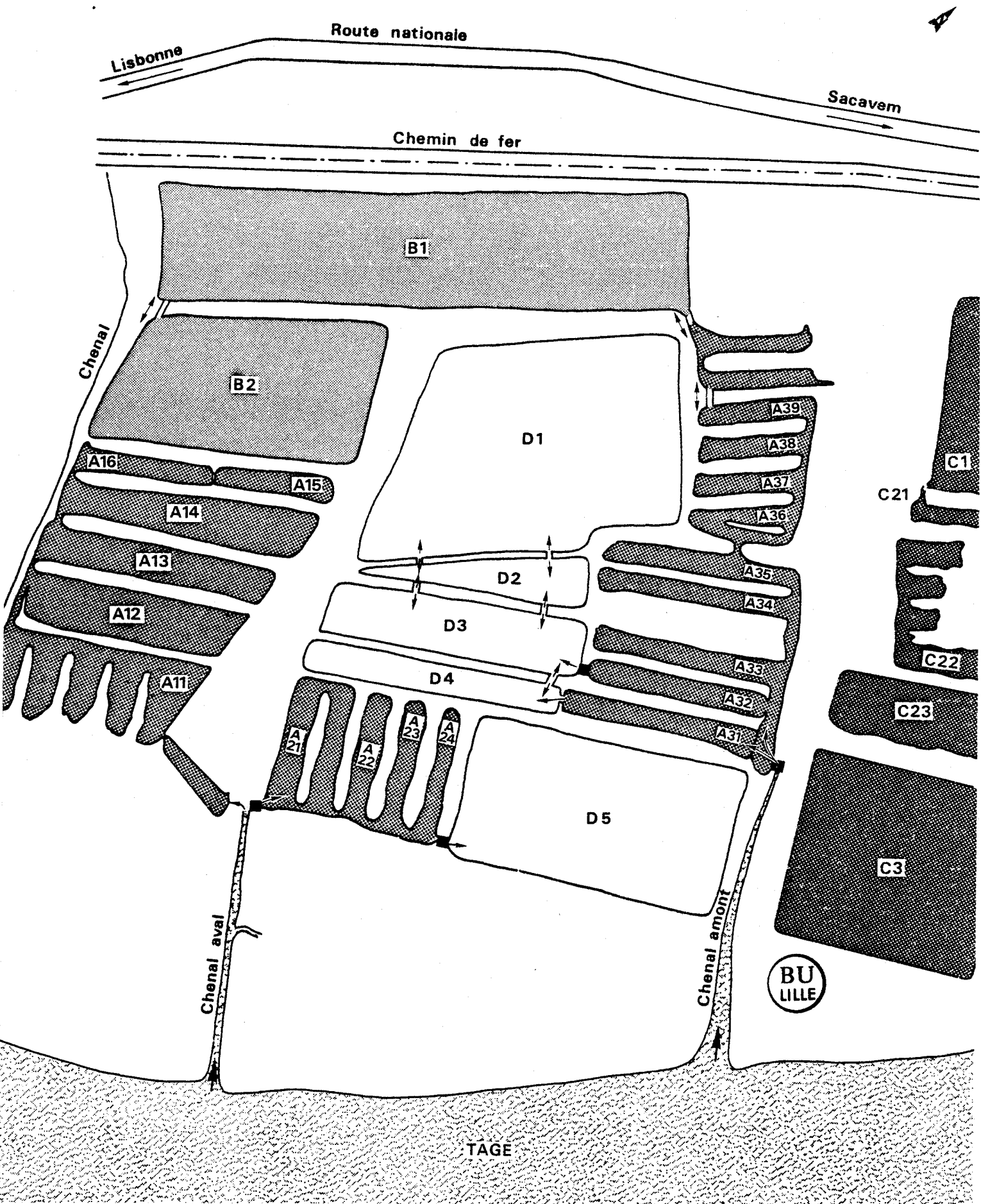
TAGE

----- Chemin de fer

——— Route

Ech. : 1.50 000

PLAN 1



0 ————— 100m

- Chemin de l'eau
- Portes
- = Canal à ciel ouvert

Plan 2 : Salines Solvay

présenteront au maximum une hauteur d'eau de 50 cm.

. Série D

La plus intéressante pour des cultures extensives car autonome, les apports d'eaux peuvent être contrôlés de façon efficace.

Le bassin D5 isolé des autres est alimenté par les bassins A2 par une porte à guillotine (photo 7). Les apports seront donc de deux types : eau des bassins de concentration et précipitations.

Les bassins D2, D3 et D4 (photo 8) en relation avec la table D1 sont alimentés à partir du bassin A32 qui se déverse par une porte dans le bassin D3. Celle-ci comme celle du D5 possède une grille de 2 cm de vide de maille installée dans la buse d'entrée, ce qui limite la pénétration d'espèces prédatrices observées dans les bassins de concentration.

Dernière table à avoir été utilisée, la saline D1 (photo 9) présente un sédiment salé de faible épaisseur (3 à 7 cm). Ce dépôt se dissout lors de fortes précipitations ou lors d'entrées d'eaux massives assurant ainsi le maintien de la salinité, non seulement dans ce bassin mais aussi dans ceux en communication directe avec celui-ci.

. Chemin de l'eau

L'eau du Tage dont la salinité est voisine de celle de l'eau de mer lors des marées hautes de vives eaux, alimente deux chenaux situés aux deux extrémités de la saline (plan 2). L'eau passe ensuite dans les premiers bassins de la série A où elle peut être stockée. Dès que les besoins s'en font sentir, il est possible d'alimenter les salines de la série D en eaux moins salées. Ces apports mensuels d'eaux fortement chargées de limon provenant du Tage transforment petit à petit les bassins en vasières caractérisées par un fond constitué d'une vase réduite et noire.

1.2. FACTEURS CLIMATIQUES

La station météo la plus proche est Lisbonne. Le tableau ci-après donne les normales saisonnières comparées à celles de Nice.

	<u>LISBONNE</u>	<u>NICE</u>
<u>Précipitations</u>		
- annuelle	708 mm	800 mm
- nb de jours >0,1 mm	113	86
<u>Evaporation</u>		
- annuelle	1 484 mm	1 400 mm
<u>Evaporation - Précipitations</u>		
- annuelle	776 mm	600 mm
- maxi mensuelle	207 mm	
- mini mensuelle	- 50 mm	
<u>Vent</u>		
- moy. annuelle - Maxi - origine	N 31 %	
- moy. annuelle - Mini - origine	SE 2 %	
- vitesse annuelle	14,8 km/h	13,32 km/h
- nb de jours à + 36 km/h	16	
<u>Température</u>		
- annuelle	16,6°C	14,8°C
- mensuelle maxi	27,7°C	22,7°C
- mensuelle mini	7,8°C	7,5°C
- maxi absolu	40,3°C	36,8°C
- mini absolu	- 1,2°C	- 4,6°C
<u>Humidité</u>		
- annuelle	70 %	78 %
<u>Insolation</u>		
- nb heures/an .	3 023	2 800
<u>Radiation globale</u>		
- total annuel	1 914 joules/cm ²	1 575 joules/cm ²

Le climat de Lisbonne bien qu'océanique est plus sec et plus chaud que celui de Nice, ce qui rend plus aisé les cultures extensives d'*Artemia* dont le preferendum se situe aux environs de 28°C (BOSSUYT, 1980).

Fait important l'évaporation étant supérieure aux précipitations, il sera possible de prévenir les dessalures provoquées par les pluies d'hiver en maintenant de hautes salinités à l'automne. Comme les bassins sont exempts de prédateurs, la population d'*Artemia* se maintient durant la mauvaise saison et se développe plus ou moins rapidement en fonction de la température extérieure et de l'insolation. On peut si le développement est trop lent pratiquer une inoculation voire un ensemencement en adultes.



Photo 5 : 1er bassin

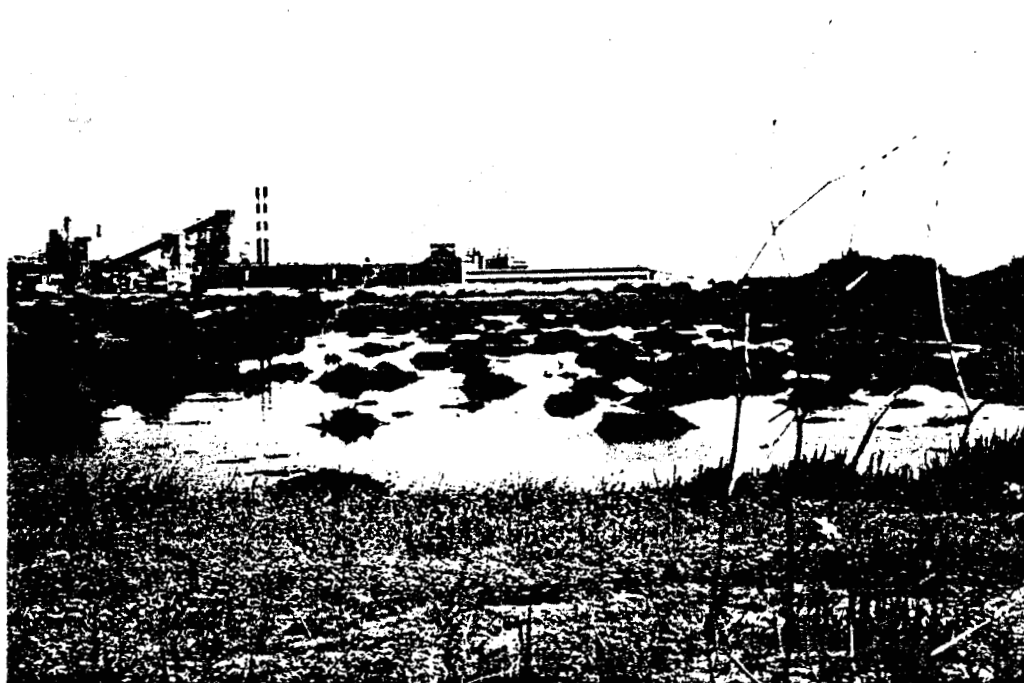


Photo 6 : Bassin comblé

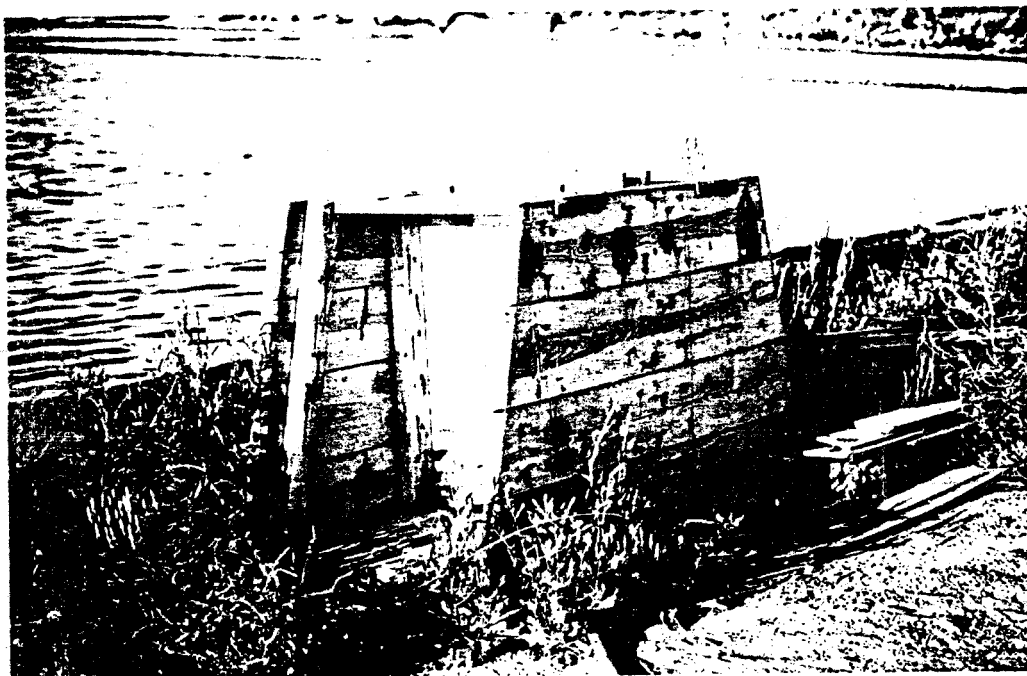


Photo 7 :
Porte à guillotine
avant installation



Photo 8 :
Les bassins de
la série D



Photo 9 :
Saline D1
du 2ème plan

1.3. FACTEURS HYDROBIOLOGIQUES

Etudiés pour optimiser les conditions d'élevage des *Artemia* trois facteurs hydrobiologiques furent étudiés : la salinité, la turbidité, et la température. Afin d'évaluer la prédation, la faune a été observée de façon qualitative à l'aide de deux types de pièges : nasses et carrelets ainsi que par l'assèchement d'un bassin.

1.3.1. Matériel et méthodes

1.3.1.1. La salinité et la température

Dans les salines la température et la salinité sont mesurées simultanément à partir d'un échantillon d'eau prélevée dans la saline chaque mois et juste avant l'entrée d'eau puis deux jours après celle-ci.

Effectuée sur le terrain dès le prélèvement la salinité est évaluée à l'aide d'un densimètre et calculée à partir de tables établies en fonction de la température de l'eau. Cette méthode est très peu précise, l'erreur peut être estimée à 1 % près. Pour des taux trop élevés, l'échantillon est dilué deux ou trois fois avec de l'eau distillée.

La salinité du Tage est mesurée au niveau de la station de pompage de l'usine à partir d'une barge flottante à une profondeur de 2 m par un conductivimètre. Les lectures ont été effectuées toutes les 2 heures durant trois semaines. L'étalonnage en laboratoire de l'appareil a permis de tracer la courbe étalon du conductivimètre et de calculer la salinité.

1.3.1.2. La turbidité

Effectuée avec la même périodicité que celles de température et salinité, la mesure de turbidité est réalisée à l'aide d'un tube en PVC dont les cinq derniers centimètres ont été écrasés et pliés à 90°. Le manche est gradué en centimètres, l'origine étant placée au niveau de la pliure. Sur la partie écrasée sont inscrits des symboles de 3 à 5 mm (fig. 13). Les valeurs obtenues sont indicatives et permettent de visualiser la prolifération ou au contraire la diminution du peuplement phytoplanctonique ainsi que l'importance des matières en suspension.

Cette technique présente l'avantage d'être très facile d'utilisation et

plus sensible que la méthode néphélométrique pour des turbidités comprises entre 5 et 20 NTU (fig. 14).

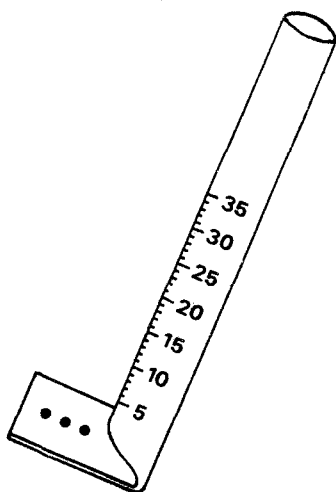


Fig. 13: Tige pour la mesure
de la turbidité

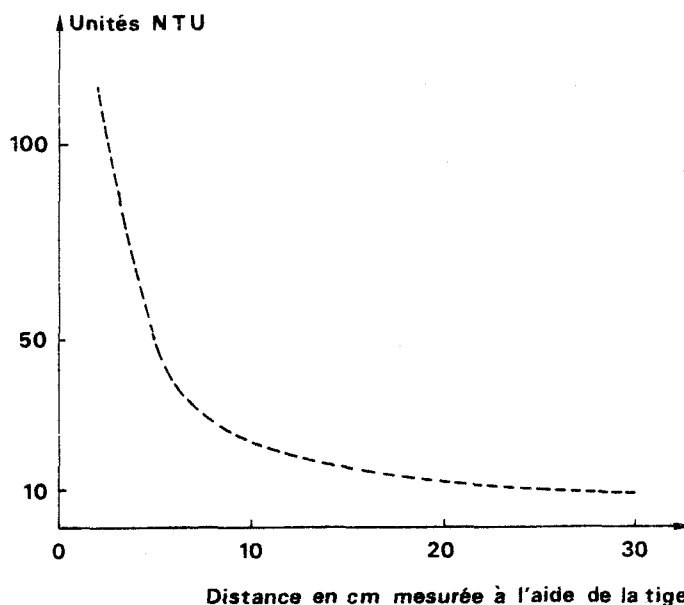


Fig. 14 : Mesure de la turbidité avec la tige comparée
à la méthode néphélométrique

1.3.1.3. Etude faunistique

Afin d'évaluer la prédation potentielle qui peut s'exercer sur les peuplements d'*Artemia*, l'analyse de la faune a porté sur les espèces cohabitant avec les *Artemia* dans les bassins de cristallisation mais aussi sur les espèces habitant les autres bassins et susceptibles de pénétrer malgré les grilles de protection lors des entrées massives d'eaux.

Dans les réservoirs la turbidité étant trop importante, deux méthodes de pêche ont permis de collecter des échantillons de la faune ichthyologique et carcinologique :

.Pêche au carrelet

Un carrelet de 0,8 cm de vide de maille est placé sur le fond à proximité des portes d'entrée desquelles à l'aide d'une perche il est possible de relever le piège. Attirée par les infiltrations, la macrofaune se concentre à ces endroits.

Trop lente lors de la remontée, cette technique fut avantageusement remplacée par des nasses que les Portugais utilisent pour le braconnage.

.Nasse

De construction artisanale, ces nasses de filet de 1 cm à 0,5 cm de vide de maille, de l'ouverture à la poche sont fixées au fond à l'aide de tiges de phragmites. Placées le long des berges ou à contre courant à proximité des portes lors des entrées d'eaux, les pièges capturent la faune qui ne peut en ressortir du fait des deux étranglements (fig. 15).

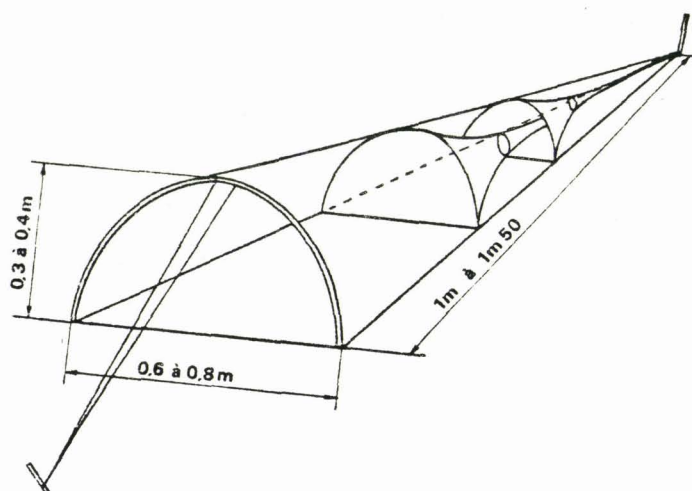


Fig. 15 : Nasse utilisée pour la capture de la faune
ichthyologique et carcinologique

1.3.2. Résultats

1.3.2.1. Salinité

.Tage

Etant donné la position des salines SOLVAY dans l'estuaire du Tage, il était intéressant de connaître les variations de la salinité à proximité des chenaux qui alimentent la saline.

Réalisées durant un cycle de marées de mortes eaux et de vives eaux les

mesures effectuées toutes les deux heures permettent de mettre en évidence l'influence de la hauteur des marées sur la salinité de l'estuaire (fig. 16).

A la différence des estuaires non lagunaires, on constate dans le cas du Tage une tendance à des salinités plus hautes lors des marées de mortes eaux que durant les marées de vives eaux. Toutefois les salinités les plus hautes et les dessalures les plus fortes sont observées durant les marées de vives eaux, pendant lesquelles il est possible d'observer une différence de 27 g/l lors d'un cycle de marées. Le point de mesure éloigné de 25 km de l'embouchure, on observe un retard horaire de 2 h 30 à 3 h par rapport à la courbe théorique des heures de marées de Lisbonne.

L'alimentation des salines s'effectuant par simple gravité, ce n'est qu'à partir d'une hauteur d'eau de 4,1 m qu'il est possible d'alimenter les salines. A ces niveaux, observée 2 à 3 jours par mois, la salinité pourra atteindre dans les meilleurs cas 32 g par litre.

Si pour des activités paludières cette fréquence est satisfaisante, pour une aquaculture extensive elle est insuffisante pour deux raisons. L'évaporation a son maximum durant l'été, les entrées d'eaux sont trop faibles pour maintenir la salinité au niveau désiré. Par ailleurs les apports nutritifs seront assimilés avant l'apport suivant.

Il aurait été souhaitable d'utiliser une pompe durant les marées de mortes eaux où la salinité est supérieure à 25 g par litre.

. Salines

En Août 81 la salinité était trop basse pour assurer une production d'*Artemia* adultes toute l'année en particulier durant l'hiver. Notre effort a donc eu pour but d'augmenter la salinité dans tous les bassins destinés aux productions d'*Artemia* afin de faciliter un accroissement rapide des populations dès que la température le permettait. Les variations de salinité de trois bassins ont été suivies (fig. 17).

Le bassin D1 dont le sédiment est salé présente, malgré les pluies d'hiver, une salinité toujours supérieure à 50 ‰. Les hautes salinités observées durant l'été 1981 ont permis d'éliminer toute forme de prédation aquatique. Les apports d'eaux

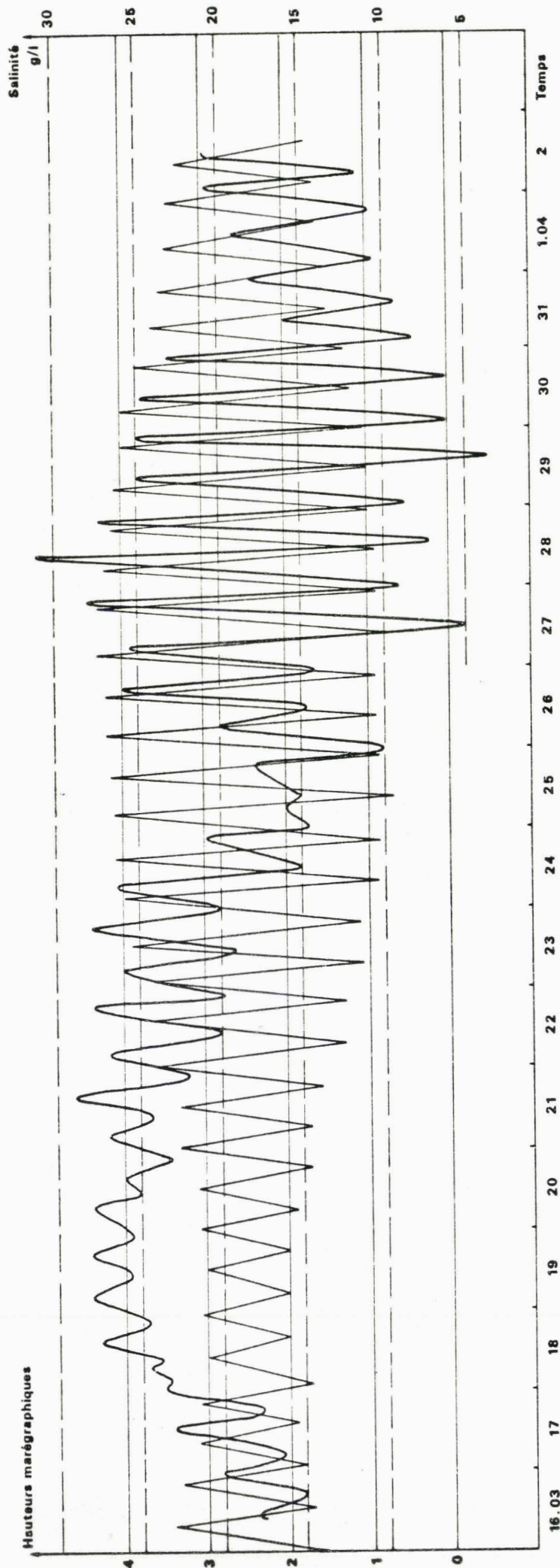


Fig. 16 : Salinité mesurée du 16.03.1982 au 2.04.1982 comparée aux hauteurs marégraphiques

— Niveau de marées d'après les tables, à Lisbonne

— Salinité mesurée

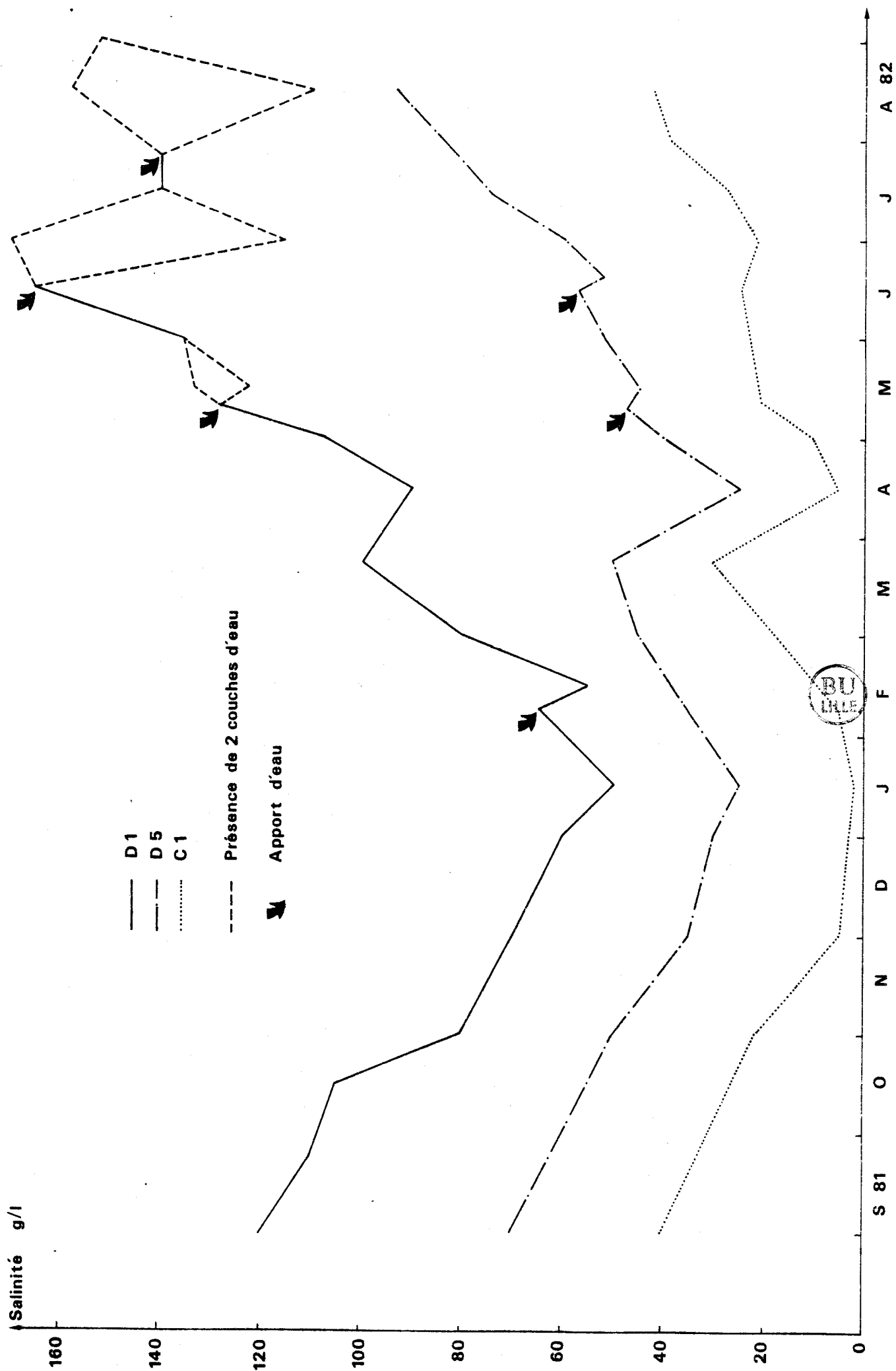


Fig. 17 : Suivi des salinité dans 3 bassins

effectués au printemps et durant l'été ont deux buts :

- l'apport en éléments nutritifs,
- le maintien de la salinité à un niveau où les *Artemia* se reproduisent par oviparité et ovoviviparité, ce qui assure une population abondante.

A de fortes salinités de l'eau des bassins de l'ordre de 120 ‰, l'eau du Tage ne se mélange pas directement malgré l'agitation provoquée par un fort débit pouvant aller jusqu'à $0,4 \text{ m}^3/\text{sec}$. suivant la différence de niveau avec le bassin d'alimentation. La force du vent étant faible, il s'en suit une stratification observable durant plusieurs jours. L'objectif étant d'obtenir des *Artemia* adultes, nous avons maintenu la salinité à des valeurs inférieures à 160 g par litre. Dans le cas d'une production de cystes, il aurait été souhaitable de maintenir un niveau plus haut de l'ordre de 180 à 200 g par litre. A ces niveaux apparaît la précipitation des carbonates de calcium et sulfates de calcium qui provoquent des valeurs de pH proches de 11, létales pour les *Artemia* (DE LOS SANTOS, 1980).

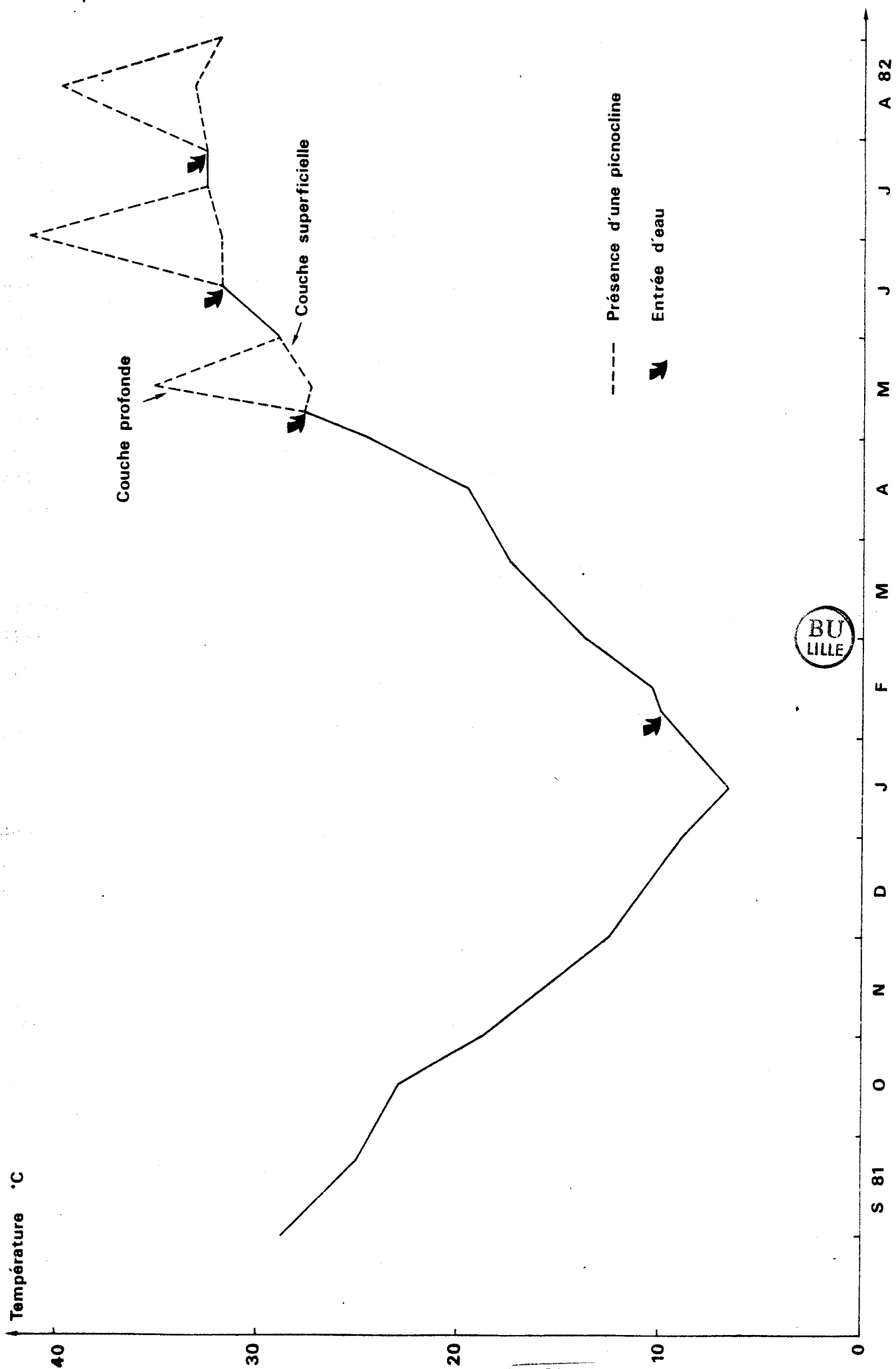
Le bassin D5 se caractérise par son isolement. Les deux types d'apports sont la pluie et les entrées d'eaux du Tage régulées grâce à une porte. La salinité fluctue avec un minimum de 25 g/l en janvier et avril provoqué par des pluies. Elle augmente au printemps et en été sous l'effet de l'évaporation et a atteint 93 g/l en septembre. Les deux apports effectués en mai et juin ont permis l'accroissement d'une population algale avant l'inoculation des *Artemia* adultes.

Le bassin C1 en communication avec le Tage lors des marées de vives eaux ne présente jamais des eaux à forte concentration en sel. L'effet des précipitation est important puisqu'il fut mesuré au mois de janvier des salinités de 2 g par litre.

1.3.2.2. Température

Suivi avec la même périodicité que la salinité, la température moyenne de l'eau varie suivant les saisons entre 7,6 et 41°C. Ces variations annuelles représentent les variations des températures mesurées à 17 h et non les variations des températures journalières (fig. 18).

Bien que les conditions de température ne soient jamais létales elles seront néanmoins défavorables au développement de la population de novembre à avril.



BU
LILLE

Fig. 18 : Température de la saline D₁ mesurée à 17h.

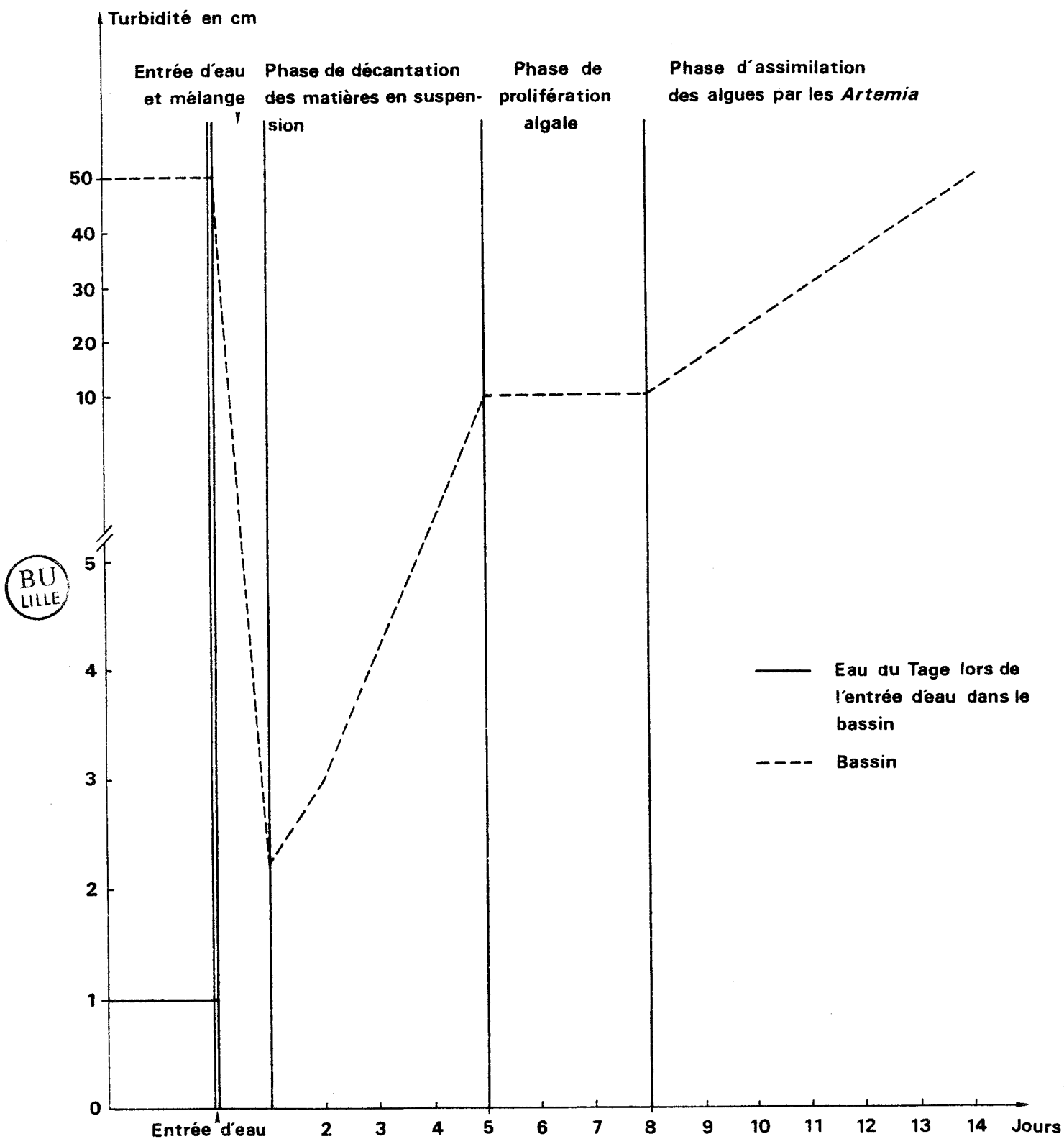


Fig. 19: Evolution de la turbidité après une entrée d'eau dans la saline

Lors des trois entrées d'eaux successives de mai à septembre on observera une picnocline due à la différence de densité entre l'eau de la saline et celle du Tage. Cette stratification provoque un réchauffement du type effet de serre de la couche sous-jacente qui peut atteindre des valeurs supérieures à 40°C létales pour les *Artemia*. Elles s'accumulent alors en surface où il est aisé de les capturer.

1.3.2.3. Turbidité

Difficilement mesurable par la faible profondeur des bassins (40 à 50 cm) et la méthode utilisée, les seules valeurs intéressantes sont celles obtenues lors des entrées d'eaux après lesquelles la turbidité est inférieure à la hauteur de la couche d'eau.

Tracée à partir des trois entrées d'eaux d'été, la figure 19 montre que l'entrée d'eau du Tage très fortement chargée provoque un accroissement de la turbidité observée dans les bassins. Après quelques jours les matières en suspension se décantent et à la couleur brunâtre de l'eau succède une teinte verdâtre provoquée par un peuplement algal très vite assimilé par les *Artemia*. Suivant l'importance de la population, une semaine à deux semaines après l'entrée d'eaux, le bassin retrouve sa limpidité originelle. Si les autres paramètres sont favorables, cette période sera suivie d'une augmentation importante de la population d'*Artemia*.

1.3.2.4. Les autres paramètres

Le pH mesuré quatre fois au cours de nos expériences a toujours été compris entre 7,8 et 8,4. L'adjonction de chaux utilisée en agriculture aurait permis de remonter le pH si celui-ci était inférieur à 7.

Mesuré plusieurs fois le taux d'oxygène a le plus souvent été proche voire supérieur au taux de saturation.

1.3.2.5. Etude faunistique

Le but de cette étude est de déterminer les différentes formes de vie prédatrices d'*Artemia* et d'estimer les réels risques de les voir se développer avant que la salinité soit suffisamment haute pour les éliminer ; condition que l'on rencontre lors de la phase d'accroissement de la population d'*Artemia*, et durant les dessalures d'hiver.

Les formes prédatrices peuvent être classées en deux groupes : les formes aériennes et aquatiques. Les premières sont représentées par des insectes et des oiseaux contre lesquels il est bien difficile de lutter. Le tableau 7 présente la liste spécifique des espèces observées dans le bassin D1, l'ordre de grandeur du nombre d'individus par unité de surface et le niveau de salinité à partir duquel ils ont disparu.

Il n'est pas aisé d'apprécier la quantité d'*Artemia* assimilée par ces prédateurs. Des observations menées lors de la conservation des animaux en aquarium ont permis d'estimer la prédation d'un insecte aquatique imago Dystiscidé à une ou deux *Artemia* adultes par jour. La proie ne sera pas toujours assimilée ; les mutilations provoquant la mort sont nombreuses. Posés sur la lagune, les laridés par des mouvements de pêche incessants capturent les *Artemia*. En admettant que chaque mouvement corresponde à la capture d'une proie, l'observation sur le terrain a permis de quantifier à 50 le nombre d'*Artemia* ingérées par individu et par minute de pêche.

La faune aquatique est essentiellement carcinologique et ichthyologique. Elle peuple les bassins de concentration. Les juvéniles pénètrent à travers les grilles dans les bassins d'élevage d'*Artemia* lors des apports d'eaux et les adultes lors du nettoyage des grilles. La liste spécifique est donnée dans le tableau ci-dessous.

Crustacés	<i>Palaemonetes varians</i>
	<i>Carcinus maenas</i>
Poissons (par ordre d'importance quantitative)	<i>Mugil sp.</i>
	<i>Anguilla anguilla</i>
	<i>Atherina boyeri</i>
	<i>Dicentrarchus labrax</i>
	<i>Diplodus sargus</i>
	<i>Sparus aurata</i>
	<i>Solea vulgaris</i>
	<i>Syngnathus acus</i>

Tableau 8 : Liste spécifique de la macrofaune
peuplant les bassins de concentration.

Deux espèces de poissons dominant : les mullets et les anguilles. La capture des autres espèces est occasionnelle. Ce résultat est confirmé par une récolte

	Famille	Genre	Ordre de grandeur du nb d'individus Insectes par m ² Oiseaux par ha	Salinité limite pour la forme aquatique
<u>Insectes</u>	Diptères	<i>Ephydra riparia</i>	Imagos en surface 10 ⁴ à 10 ⁵	82 g/l
			Larves aquatiques 10 ² à 10 ³	
	Hémiptères	<i>Hydrophorus</i> sp.	1 à 10	60 g/l
			1 à 10	60 g/l
			1 à 10	80 g/l
	Coléoptères	<i>Sigora stagnalis</i>	0,1 à 1	60 g/l
			1 à 10	60 g/l
			0,1 à 1	50 g/l
<u>Oiseaux</u>	Ardeidés	<i>Egretta garzetta</i> (aigrette garzette)	occasionnel	
	Charadriidés	<i>Himantopus himantopus</i> (échasse blanche)	1 à 3	
		<i>Numerius arguata</i> (grand courlis cendré)	1 à 60	
	Laridés	<i>Larus fuscus</i> (goéland brun)	occasionnel	
		<i>Larus argentatus</i> (goéland argenté)	1 à 150	
		<i>Larus marinus</i> (goéland marin)	occasionnel	
		<i>Larus ribibundus</i> (mouette rieuse)	5 à 30	
		<i>Larus minutus</i> (mouette pygmée)	1 à 10	
	Alcedinidés	<i>Alcedo atthis</i> (martin pêcheur)	occasionnel	

Tableau 7 : Espèces aériennes observées dans le bassin D1

° Imago prédateur, + larve prédatrice.



effectuée avant mon arrivée lors de l'assèchement accidentel du bassin C1 dont la surface est de 3,4 ha.

Espèce	Taille	Poids ou nombre
Mulets	5 à 37 cm	≈ 570 kg
Anguilles	16 à 70 cm	≈ 80 kg
Athérines	5 à 8 cm	15 kg
Soles	30 à 45 cm	6 individus
Autres espèces (crabes, crevettes)		≈ 30 kg
Total		≈ 700 kg

Il est probable que la quantité récoltée d'anguilles n'est pas représentative puisqu'elles se vident très rapidement en cas de danger.

La population carcinologique est surtout représentée par *Palaemonetes varians*. De toutes ces espèces, cette dernière et *Mugil sp.* au comportement rhéophile entreront en grande quantité lors des apports d'eaux. Leur résistance à la salinité est différente. Les crustacés ne survivent guère plus de 24 h à des salinités de 60 g/l par contre les mulets supportent des taux supérieurs à 100 g/l pendant plusieurs jours.

Le comportement alimentaire des crevettes est comparable à celui des insectes. Les expériences réalisées en aquarium sur 10 femelles *Palaemonetes* ont permis de déterminer à $10,5 \pm 3$ *Artemia* adultes, la ration alimentaire journalière par individu, soit environ 0,1 g par jour. L'excédent fourni sera le plus souvent retrouvé mort le lendemain matin ; d'où l'intérêt d'empêcher tant que faire se peut l'entrée de ce prédateur dans les bassins d'élevage. Conservés durant quatre mois, trois mulets de 8, 10 et 11 cm au premier jour ont assimilé journalièrement 30 à 40 g d'*Artemia* fraîches. Vouées à la mort à plus ou moins long terme, toutes ces espèces ne peuplent guère plus d'une semaine les bassins d'élevage. De plus il est fort probable que soumis à des problèmes d'osmorégulation, ces prédateurs ne capturent que très peu d'*Artemia* dans ces conditions. Ces observations ont toutefois une importance quand apparaît une stratification de la masse d'eau lors d'un apport massif. En effet ces espèces se retrouvent alors dans leur milieu d'origine qui sera colonisé par les *Artemia* qui fuient la couche sous-jacente surchauffée. La mise en place de portes à plusieurs grilles de vide de maille décroissant devrait juguler ces colonisations néfastes pour la population d'*Artemia*.

1.4. TECHNIQUE D'ELEVAGE

1.4.1. Choix de la souche

Les travaux sur la systématique, les caractéristiques et le biotope des différentes souches permettent de choisir celle qui aura le plus de chance de se développer rapidement en fonction des facteurs climatiques et des qualités hydro-biologiques du milieu. La qualité de la souche inoculée (valeur nutritive des cystes) est le deuxième critère qu'il faut prendre en considération.

Bien qu'il existe de façon naturelle une souche dans les marais salants de l'estuaire du Tage, une inoculation, un an avant mon arrivée, fut réalisée à partir de cystes provenant de Great Salt Lake. Cette dernière bisexuée dont les femelles sont nettement plus prolifiques (tableau 10) a pris rapidement le dessus sur la souche parthénogénétique pourtant de taille plus grande que l'on observe occasionnellement.

	Nombre de cystes 1er cycle de reproduction	Nombre de cystes au 3è mois
Souche portugaise	37	129
Souche inoculée	47	276

Tableau 10: Nombre moyen de cystes contenus dans l'ovisac de 10 femelles lors du 1er cycle de reproduction puis lors du 3è mois.

Cette observation confirme les résultats d'AMAT en 1980. Comme les élevages étaient réalisés pour l'obtention d'adultes et non de cystes, le choix de la souche s'avéra satisfaisant. En effet, cette souche présente la faculté de s'accroître bien plus rapidement dès que les conditions le permettent.

1.4.2. Aménagement des bassins

Adaptés aux activités paludières la plupart des bassins ne nécessitent que très peu de modifications s'ils ont été entretenus. Dans l'impossibilité de transformer les bassins sur lesquels nous avons travaillé, en fonction des problèmes rencontrés, on peut définir la forme et les caractéristiques du bassin idéal :

- Forme rectangulaire dont la largeur n'excède pas 10 m afin de faciliter la pêche et les apports de fertilisants.

- Profondeur supérieure à 50 cm pour prévenir les hautes températures. En fonction de la turbidité, il sera nécessaire d'ajuster la hauteur d'eau pour diminuer au maximum la pénétration de la lumière jusqu'au fond. En effet nous avons constaté dans ces salines où la turbidité n'est jamais suffisante faute de fertilisation, l'existence d'un tapis végétal de faible épaisseur. Par période, il se décolle par plaques, ce qui gêne la capture des *Artemia* et colmate les filets.
- Berges lisses exemptes de relief et de flore. Ce critère n'intervient pas directement si l'on utilise les bassins pour l'obtention d'adultes. Par contre il est primordial, si l'on désire récolter les cystes. L'installation de planches ou d'une feuille plastique au niveau de l'interface Air-eau dans le coin sous le vent dominant permet des récoltes pratiquement exemptes de corps étrangers, ce qui simplifie le traitement.
- Présence d'engins flottants pour provoquer des zones d'ombre où se regroupent les *Artemia*. La pêche étant réalisée à partir d'un radeau (photo 1) nous avons toujours observé des regroupements sous celui-ci lorsqu'il était resté plusieurs heures à la même place.
- Plusieurs entrées d'eau et si possible une alimentation continue pour pallier à l'évaporation, sous l'effet de laquelle nous avons pu noter des augmentations de la salinité de 3 à 4 g/l certains jours d'été.

1.4.3. Inoculation

Nauplii, juvéniles et adultes peuvent être inoculés. Ayant à notre disposition, même durant l'hiver des adultes dans la saline D1 nous avons opté pour cette forme pour la plupart des inoculations. Toutefois il est plus simple de la pratiquer avec des nauplii dont le transport et les manipulations nécessitent des volumes moindres d'eau.

Bien que la prolifération des *Artemia* soit partiellement due aux cystes, les inoculations à partir de ceux-ci ne donnent jamais d'aussi bons résultats que celles effectuées avec des nauplii. Sous l'effet du vent, une grande proportion des cystes, s'accumulent et s'échouent sur les berges. De plus cette technique est peu pratique puisqu'il est nécessaire de travailler à basse salinité ce qui favorise la pénétration des prédateurs.

1.4.3.1. Inoculation à partir de nauplii

Après détermination du nombre de nauplii par gramme de cystes (fig. 20), l'éclosion est réalisée sur une quantité qui permettra d'inoculer 30 à 100 nauplii par litre d'eau du bassin. Aucune accommodation est nécessaire, les nauplii supportent sans problèmes des chocs de salinité.

Si la zone d'éclosion est éloignée des bassins et qu'un transport est nécessaire, les nauplii devront être transportés dans l'eau de la saline d'accueil réfrigérée à 6°C à des densités n'excédant pas 1 million par litre. Afin d'éviter toute accumulation de ceux-ci dans le fond une agitation mécanique ou mieux un bullage est souhaitable. Pour de longs trajets, l'utilisation de sacs plastiques remplis à moitié de liquide et gonflés d'oxygène peut être envisagée.

1.4.3.2. Inoculation d'adultes

Cette méthode présente l'avantage d'assurer un accroissement rapide de la population. Afin d'utiliser au mieux les différents bassins mis à notre disposition, nous devons pratiquer couramment cette méthode.

Pêchées, les *Artemia* ne restaient guère plus de 15 minutes dans les récipients de stockage. Pour des périodes de cette ordre, aucune précaution particulière n'est nécessaire si ce n'est qu'il faut, pour éviter l'écrasement, ne pas dépasser 4 kilogrammes d'*Artemia* fraîches pour des volumes de 10 litres. Toutefois afin d'évaluer la résistance des *Artemia*, nous avons pratiqué des stockages, à diverses charges et températures (fig. 1 et 22). L'utilisation de systèmes d'aération sur piles permet d'assurer une survie totale au bout de 6 heures, même à des charges de 400 g d'*Artemia* fraîches par litre de solution à condition de maintenir la température à des valeurs inférieures à 10°C.

Les divers essais de stockage ont montré qu'il était souhaitable de travailler avec des conditions inférieures aux maxima admissibles car les lots pêchés n'ont pas toujours les mêmes facultés de résistance.

Le poids d'*Artemia* adultes inoculées par hectare de bassin a toujours été de 15 kg, ce qui représente environ 200 *Artemia* adultes par m³. En admettant que toutes les femelles soient ovigères, cela permet d'obtenir de 15 à 90 nauplii par litre la semaine suivante.

**Fig. 20 : Méthode de mesure du pourcentage d'éclosion
et du nombre de nauplii par gramme de cystes
(Méthode simplifiée)**

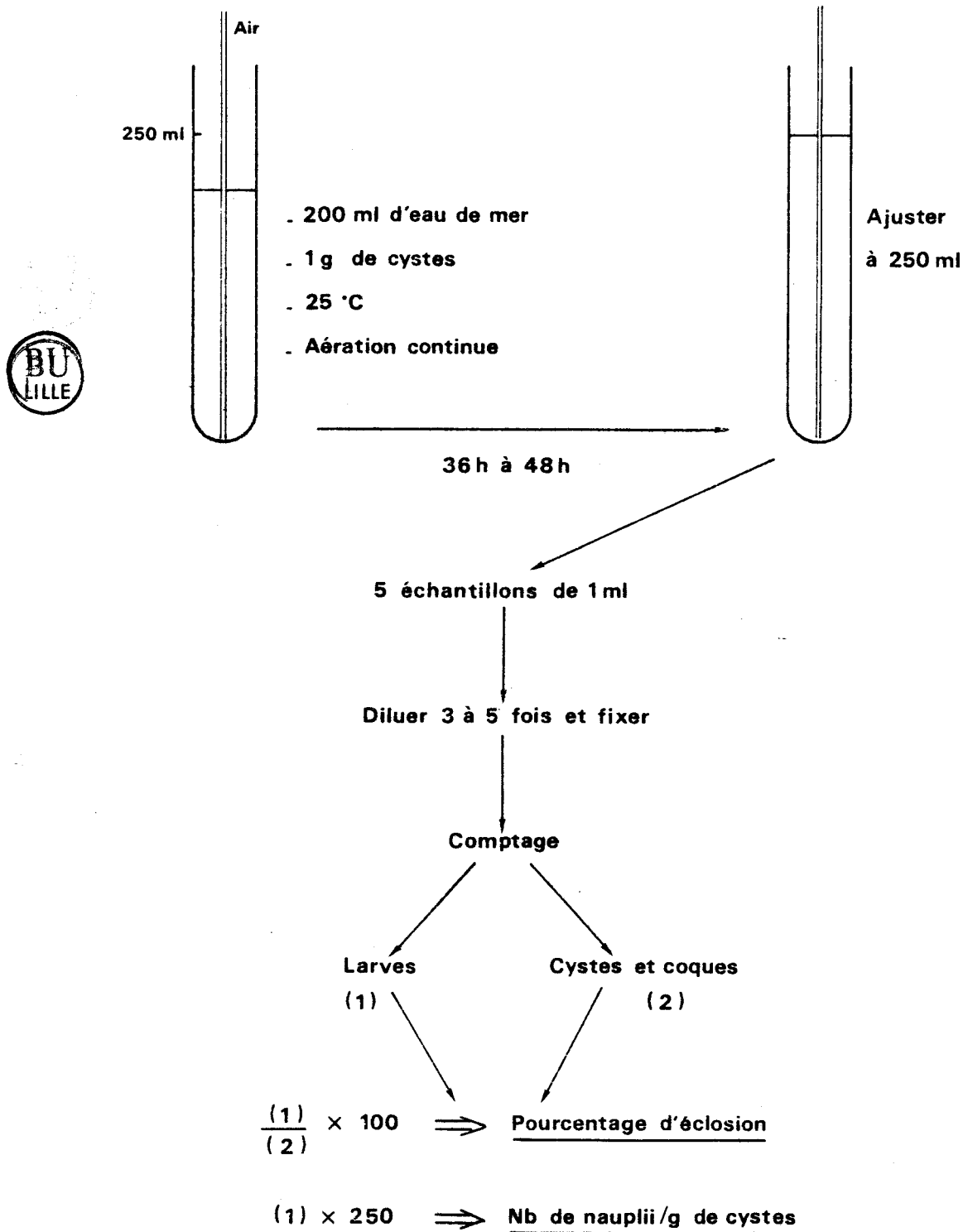


Fig. 21: Pourcentage de survie en fonction du temps de conservation à 20 °C

(Bac de 10 litres)

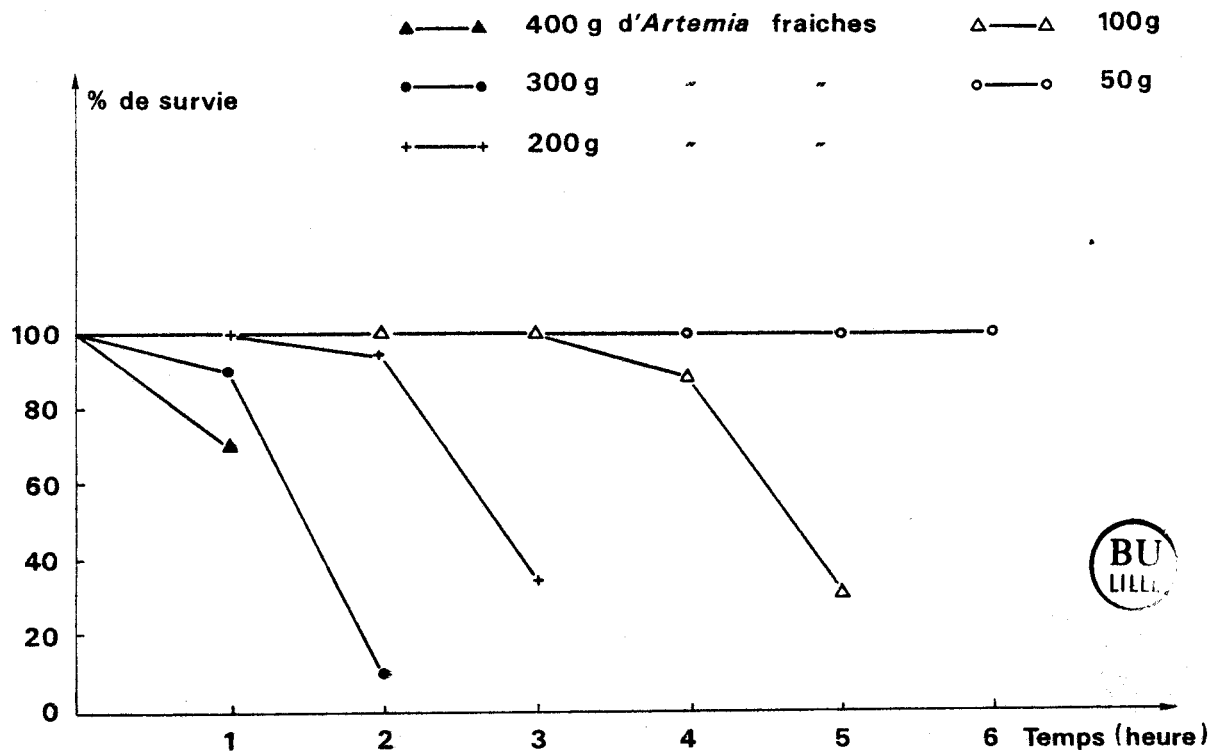
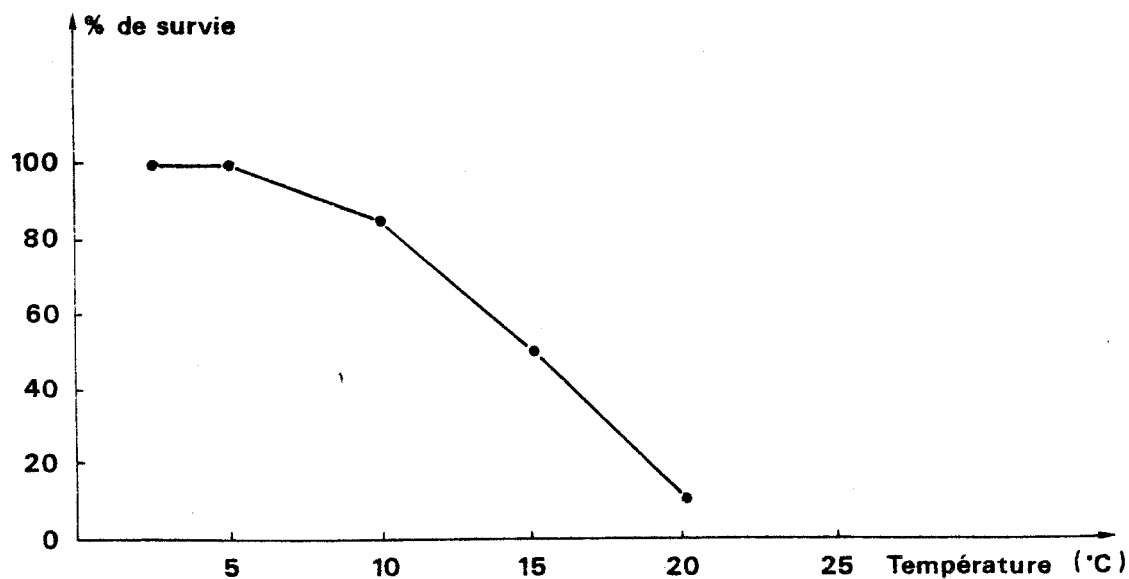


Fig. 22 : Pourcentage de survie à 2 h en fonction de la température

(Bac de 10 l. avec 300 g d'*Artemia* fraîches par l.)



1.4.4. Apports en eau et aliments

Phénomène inévitable dans notre cas où nous n'avons pas utilisé de fertilisation, l'accroissement de la population est suivi d'une mortalité importante, faute d'aliments. D'où l'intérêt de la pêche des adultes et leur inoculation dans un autre bassin, afin d'assurer une production permanente par rotation.

Les entrées d'eaux effectuées une fois par mois, représentent 1/10^e du volume du bassin. Les seuls apports nutritifs sont ceux provenant de ces entrées massives d'eaux. Très insuffisants pour assurer de façon permanente une alimentation des *Artemia*, il aurait été souhaitable de pratiquer une fertilisation inspirée des travaux de VOS (1980) et DE LOS SANTOS (1981) aux Philippines.

Les algues pour se développer nécessitent de l'azote, du phosphore, du potassium, des traces métalliques, du carbone et des vitamines.

Recommandée par le Brackish Aquaculture Center de l'université des Philippines, l'utilisation de divers fertilisants organiques ou chimiques permet d'obtenir des productions phytoplanctoniques en milieu saumâtre.

Certains critères doivent être suivis afin de favoriser le phytoplancton vis à vis du phytobenthos. Un haut niveau de fertilisation azotée est l'une de ces conditions et les rapports N/P et C/N doivent être respectivement compris entre 7 à 10 et 18 à 30. Dans ce but de nombreux fertilisants organiques ou inorganiques peuvent être utilisés.

organique	inorganique	N %	P %	K %
- pulpe de sucrerie	- monoammonium phosphate	16	20	0
- guano de poulet ou canard	- ammonium nitrate	33	0	0
- lisier de porc ou bovin	- urée	46	0	0

Le potassium n'est pas nécessaire, l'eau de mer contenant du chlorure de potassium (0,7 g/l). Les doses préconisées sont bien sûr variables suivant l'état initial de la saline. Il est toutefois possible de donner un ordre de grandeur. La première fertilisation nécessite par hectare 100 kg de 16-20-0. S'il s'agit de fertilisation organique à base de guano de poulet par exemple 0,5 à 1 tonne par hectare est nécessaire.

Pour maintenir une forte concentration algale, il est souhaitable de fournir par semaine un quart de la fertilisation initiale quel que soit le produit utilisé.

Tout produit devra être mélangé voire dissous, afin de diminuer au maximum les proliférations phytobenthiques.

1.4.5. Pêche des *Artemia*

Les bassins d'élevage placés en bout du circuit d'eau, la récolte ne peut pas se faire par simple vidange.



Photo 10 : Pêche des *Artemia* à partir d'un radeau

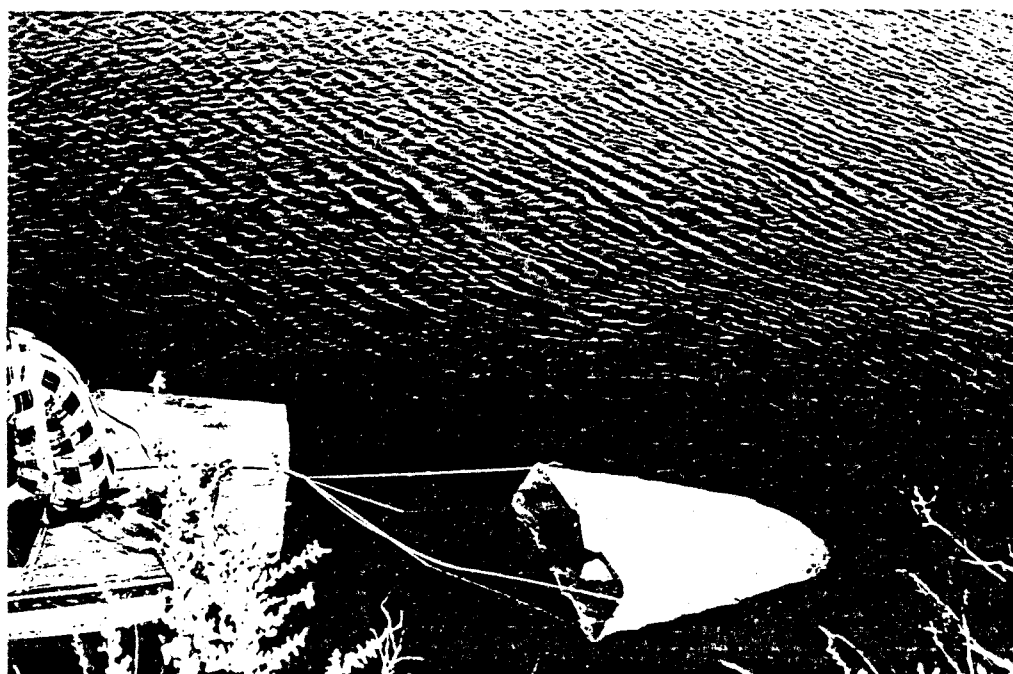


Photo 11 : Pêche des *Artemia* à l'aide d'un filet trainé derrière une barque

La pêche a donc été pratiquée à l'aide d'épuisettes dont le filet est constitué d'une toile en polyamide de 2 mm de vide de maille. Pour des petites quantités de 500 g à 1 kg, la pêche est réalisée à partir des bords à l'aide d'une épuisette de 22 cm de diamètre.

Pour des poids plus importants la récolte s'effectue à bord d'un radeau ou d'un bateau à l'aide d'une épuisette dont l'ouverture est rectangulaire (1 x 0,25 ou d'un filet de même dimension tiré par l'embarcation. La flottaison de ce dernier est assuré par un bloc de polystyrène fixé sur sa partie supérieure (photo 11). La vitesse du trait doit être lente de l'ordre de 0,2 m/sec., afin d'éviter l'écrasement des animaux. Dans le même but le poids de récolte ne doit pas excéder 1 kg. Les systèmes manuels assurant la récolte des 5 à 10 kg hebdomadaires en une demie heure de pêche, plusieurs systèmes motorisés envisagés allant du moteur de bateau fixe derrière lequel est placé un filet au bateau télécommandé du bord (fig. 23) ne furent pas réalisés.

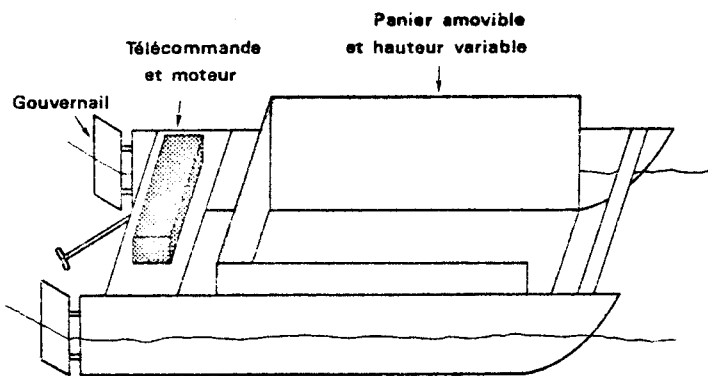


Fig. 23 : Schéma d'un projet de bateau télécommandé
pour la pêche d'*Artemia*

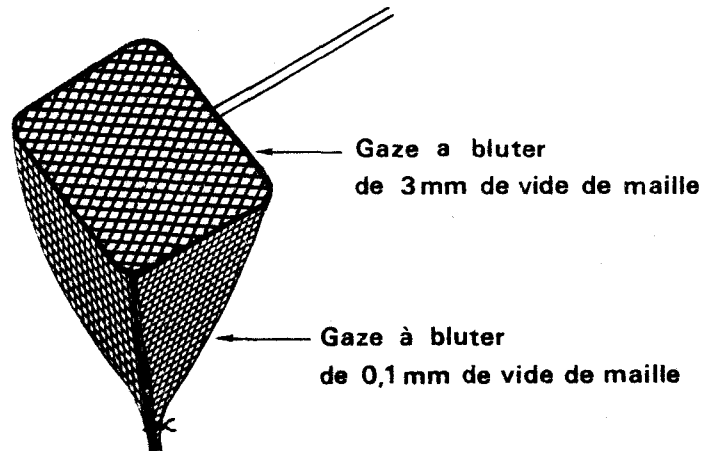
Les *Artemia* ne se distribuent pas de façon homogène dans les salines. A certaines périodes de la journée mais aussi de la nuit, elles se regroupent en boules ou bandes de deux à trois dizaines de centimètres dans lesquelles la charge peut atteindre 1 000 à 1 500 individus par litre, alors que la concentration normale est de quelques individus par litre. Observées de nombreuses fois, en général les jours de soleil près du rivage, ces manifestations irrégulières dans le temps ne paraissent pas être l'effet des variations de température, de luminosité, de salinité ou de la présence de courants, d'où l'intérêt de les localiser avant la pêche.

1.4.6. Récolte des cystes

Déposés sur les berges par le vent, les cystes sont récoltés par raclages des zones d'accumulation. Dans notre cas, la végétation sur les berges et donc les débris étant trop nombreux, l'installation d'une feuille plastique et de barrages perméables aux cystes ne permit pas d'obtenir un produit utilisable sans traitement.

Si de nombreux cystes flottent à la surface, on utilise une épuisette de 0,1 mm de vide de maille dont l'ouverture est obturée par une toile à bluter de 3 mm afin d'empêcher la capture des adultes (fig. 24).

Figure 24 : Epuisette pour la récolte des cystes



1.4.7. Résultats de production

Impossible à déterminer avec exactitude dans de grands bassins de plusieurs hectares dans lesquels il est difficile de favoriser la production sans moyens importants (aménagement, alimentation en eau, fertilisation) nous avons étudié le bassin D4 au mois d'avril pour évaluer la production maximale dans les conditions locales. D'une surface de 2 000 m² et d'une hauteur moyenne d'eau de 20 cm, ce bassin isolé des autres présente l'avantage de pouvoir être exploité sans aménagement.

La veille de l'inoculation, un apport massif à partir du réservoir A31, permit d'obtenir une hauteur d'eau de 30 cm, une turbidité de 7 cm et une salinité de 80 g/l. Inoculé avec 2,5 kg d'*Artemia* adultes provenant du bassin D1, la charge initiale obtenue était de 1 *Artemia* par 4 l d'eau. Trois semaines plus tard, l'eau redevenue limpide et la salinité s'élevant à 102 g/l, de nombreuses bandes et boules d'*Artemia* furent observées.

La présence de cystes sur les berges montrant que la population était devenue partiellement ovipare, la pêche réalisée en 3 h permit de récolter 67 kg

d'*Artemia* adultes d'un rouge vif, ce qui représente des valeurs de 335 kg/ha/3 semaines

Les bassins D1 et D5 d'une surface totale de 4 hectares ont assuré l'approvisionnement hebdomadaire de 5 kg d'*Artemia* même durant la saison hivernale.

La salinité étant maintenue à des valeurs trop faibles pour être optimale, la production de cystes récoltés sur les bords du bassin D1 au mois de juin s'éleva à 2,2 kg. Après traitement, le pourcentage d'éclosion (fig. 20) s'avéra très faible de 2 à 5 % suivant les échantillons. Cette valeur confirme que la salinité était trop basse et que bien des nauplii avaient éclos directement dans le milieu.

1.5. CONCLUSION

L'étude des conditions du milieu des salines portugaises appartenant à la société SOLVAY a mis en évidence la faisabilité des cultures d'*Artemia* sur ce site, non seulement pour la production d'adultes mais aussi de cystes.

Cette activité peut être envisagée durant 8 mois de l'année pendant lesquels la température de l'eau est supérieure à 10°C. Bien gérée, il est aisé de maintenir un niveau de salinité suffisant pour minimiser la prédation même durant l'hiver afin de maintenir une population qui se développera dès le réchauffement du milieu. L'aménagement des bassins et l'installation d'un circuit d'eau adapté permettrait de les utiliser par rotation ce qui limiterait l'utilisation de la fertilisation.

La faible superficie de ces terrains ne permet pas d'espérer une production d'*Artemia* à l'échelle de SOLVAY même si les chiffres de production atteignent les meilleurs résultats obtenus à ce jour : 2 365 kg d'*Artemia*/an/ha (DIVANACH, 1983) et 75 kg de cystes/4 mois/ha (DE LOS SANTOS, 1978).

Situés dans une région à haute productivité naturelle à proximité de la capitale et compte tenu du coût des aménagements, l'utilisation de ces anciens marais salants pourrait être envisagée pour des élevages destinés à la consommation humaine et plus particulièrement de crustacés dont les Portugais sont friands. En fonction des résultats d'une étude écologique plus poussée en particulier sur les sels minéraux, les traces et les risques de pollution, les réservoirs et les bassins d'évaporation pourraient être utilisés comme bassins de grossissement de crustacés. Les élevages seraient alors de type semi-intensif avec des apports de nourriture directement consommée par les animaux.

Bien qu'il soit possible de dessaler le sédiment du bassin D1, sa position dans la saline permet d'envisager une culture d'*Artemia* avec fertilisation dont la production serait intégrée dans l'écloserie. Cette disposition permettrait une autonomie non négligeable dans ce domaine et surtout l'assurance de fournir aux larves de crustacés des nauplii de qualité adaptés aux élevages. Actuellement pour leur valeur marchande qui dépasse de loin celle des poissons, les pénéides dont on maîtrise le cycle paraissent être l'espèce à élever.

A la différence de celle-ci pour laquelle il est souhaitable de travailler en bassin de faible dimension, les élevages extensifs d'*Artemia* ne peuvent être justifiés que pour des surfaces supérieures à une centaine d'hectares ; taille qui assure la rentabilité des installations indispensables au traitement et au conditionnement des cystes et des adultes.

La mise au point des cultures intensives, même pour l'obtention de cystes, permet de prévoir à plus ou moins long terme l'abandon de ce type d'élevage, excepté pour la valorisation de milieux saumâtres ou comme activité secondaire dans les marais salants exploités.

2 - ELEVAGE INTENSIF

Suivant les besoins et les possibilités locales deux méthodes d'élevage peuvent être envisagées :

- le circuit fermé de type "batch",
- le circuit ouvert de type "flow-through".

Quelle que soit la technique retenue, toute culture ne peut être effectuée qu'après une étude préliminaire des produits locaux susceptibles d'être utilisés comme nourriture.

2.1. ALIMENTATION

Le son de riz n'existant pas au Portugal, plutôt que de l'importer, nous avons recherché un aliment de remplacement. Après une analyse granulométrique et de la solubilité les divers produits disponibles, nous avons tenté de définir pour chacun d'eux la dose journalière optimale à fournir et de déterminer les produits susceptibles d'être utilisés en élevage intensif.

2.1.1. Analyse granulométrique et solubilité

2.1.1.1. Matériel et méthode

La granulométrie des aliments est mesurée à partir de 10 g de produit que l'on tamise de façon manuelle sur deux gazes à bluter de 125 et 55 microns de vide de maille. Les refus de tamisage sont ensuite pesés afin de connaître le pourcentage de produit de taille inférieure au vide de maille de chacun des tamis.

Le pourcentage de solubilité est obtenu par pesée après séchage au soleil durant deux jours du résidu obtenu après filtration sur 1 micron d'une suspension nutritionnelle. Celle-ci préparée la veille de l'expérience est dosée à 10 g de produit pour 250 ml d'eau douce.

2.1.1.2. Résultats

22 produits locaux commercialisés ou déchets d'entreprises alimentaires ont été testé (photo 12). Leur granulométrie et solubilité ont été comparées à celle du son de riz habituellement utilisé à l'Artemia Reference Center

Produits	Références	% granulométrie		% solubilité
		< 55 μ	< 125 μ	
- Farine de riz . alimentaire	1-2	28	57	0
. péricarpe	3-4-5-6	37	60	1
de maïs . alimentaire	7-8-9	33	56	1
. panification	10	5	12	1
de manioc	11	27	68	1
d'avoine	12	37	74	1
- Amidon . dextrine	13	12	27	77
. dextrose	14	74	96	94
. maizena	15	42	82	3
- Levure de bière (sèche)	16	32	72	0
de pain (pâte)	17	100	100	0
- Divers . gluten	18		2	10
. liquide de macération	19	100	100	99
. poudre à base de malte	20	53	92	99
. lactosérum	21	96	100	93
. sang de porc	22	100	100	60
- Son de riz référence	R	67	93	1

Tableau 11 : Granulométrie et solubilité
des 22 produits locaux

Cette première investigation permet de définir 4 groupes de produits, suivant leur granulométrie et solubilité, présentés dans le tableau 12 ci-dessous.

Granulométrie	Solubilité	
	supérieure à 5 %	inférieure à 5 %
50 % inférieure à 125 μ	groupe I 14-19-20-21-22	groupe II 1-2-3-4-5-6-7-8-9 11-12-15-16-17-R
50 % supérieure à 125 μ	groupe III 13-18	groupe IV 10



Photo 12 : 11 types de nourriture testée

2.1.2. Tests sur *Artemia*

2.1.2.1. Matériel et méthode

Dans des tubes en verre de 200 ml on verse 150 ml de milieu à 35 ‰ obtenu après filtration d'une eau à 45-50 ‰ provenant des salines puis dilution. Les tubes dont l'aération est assurée par un bullage par le fond réalisé à l'aide d'une pipette Pasteur sont placés dans une salle thermostatée à $25 \pm 2^\circ\text{C}$. Chaque expérience comporte une série de 5 ou 7 tubes. Les nauplii inoculés dès leur éclosion sont alimentés journallement avec une solution dosée à 50 g de produit par litre de saumure.

Au 6^e ou 9^e jour on dénombre la quantité d'*Artemia* vivantes afin de déterminer le pourcentage de survie. La taille de chaque individu est estimée à l'aide d'un compte fil (grossissement 6) après avoir placé les animaux sur une maille de 250 à 500 microns de vide de maille.

Afin de comparer au mieux les divers aliments, nous avons tenté de définir en premier la charge en *Artemia* par litre susceptible de donner des résultats significatifs, puis sur 10 produits dont l'aliment de référence, la dose alimentaire moyenne à fournir journallement.

2.1.2.2. Résultats

a) Influence de la charge

Pour des doses alimentaires journalières de 0,1 à 1 ml de solution mère de levure de pain par tube, les meilleurs résultats de croissance en fonction de la charge en *Artemia* par litre sont donnés dans le tableau 13 ci-après.

Charge en <i>Artemia</i>		Taille à 9 jours
par ml	par tube	en mm
0,06	10	$4,08 \pm 0,78$
0,12	20	$3,08 \pm 0,52$
1	150	$1,90 \pm 0,36$
5	750	$1,48 \pm 0,27$
7,5	1 125	$1,32 \pm 0,34$
10	1 500	$0,96 \pm 0,19$
0,06	10*	$0,93 \pm 0,15$

Tableau 13: Influence de la charge en *Artemia* par litre sur la croissance (nourriture : levure de pain)
*témoin sans nourriture

La figure 25 permet de mettre en évidence que la croissance est influencée par la charge en *Artemia*. C'est ainsi qu'elle diminue de 77,2 % quand la charge s'accroît de 0,06 à 10 *Artemia* par ml. A ce niveau, dans les conditions de l'expérience, les animaux en 9 jours ne se sont pas développés.

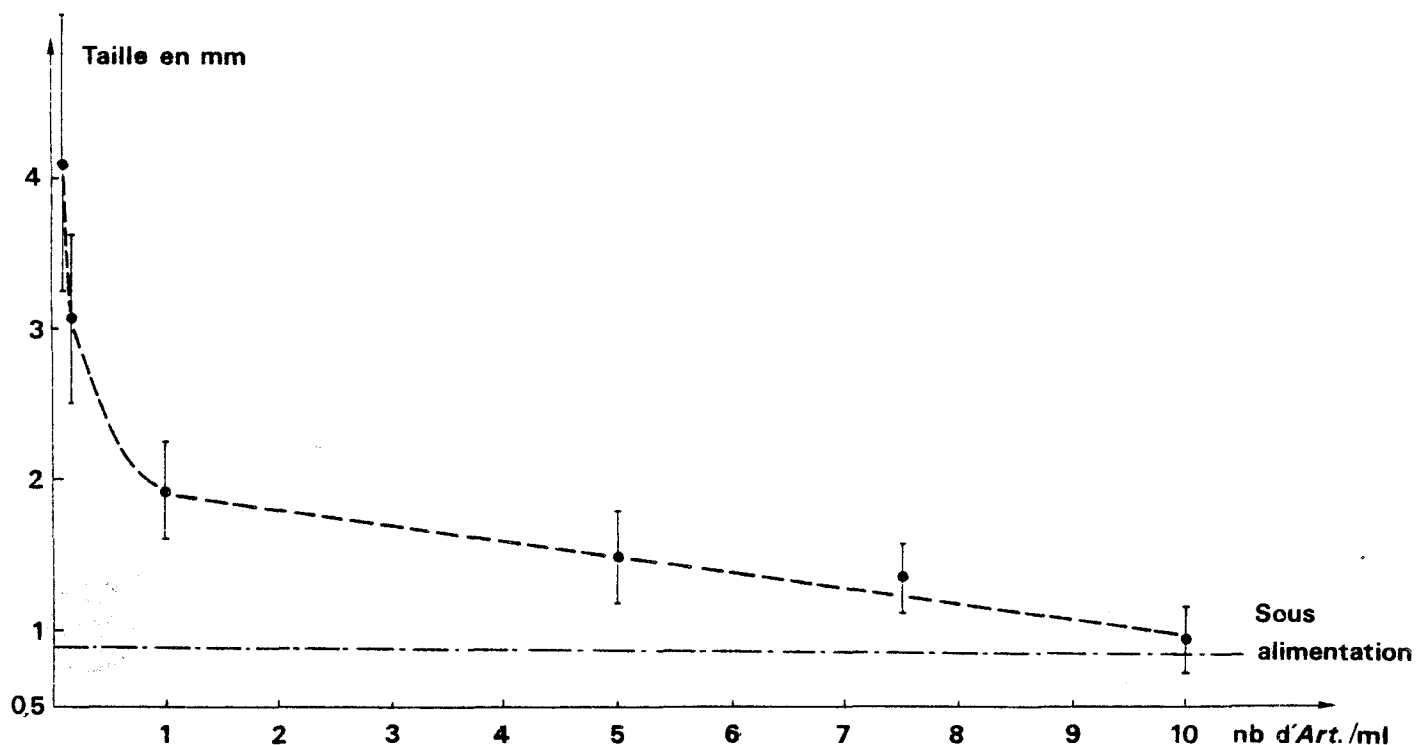


Figure 25 : Influence de la charge en *Artemia* par ml sur la croissance en 9 jours (nourriture : levure de pain)

En fonction de ce résultat, nous avons choisi de travailler par la suite à des charges de 20 *Artemia* par l et des séries de 7 tubes pour chaque expérience afin d'obtenir des chiffres de croissance mais aussi de survie significatifs.

b) Dosage alimentaire

Cette recherche a été réalisée sur les 9 premiers produits à notre disposition.

Pour chaque aliment trois dosages ont été testés 0,1 ; 0,25 et 0,5 ml par jour et par tubes d'une solution composée de 50 g de produit par litre de saumure.

Les résultats sont réunis dans le tableau 14 ci-après.

Produits	Dose en ml/ /tube/jour	% de survie	Taille en mm 9 jours
Son de riz (reçu de Belgique) (R)	0,1	44 %	3,1
	+0,25	75 %	3,85
	0,5	55 %	5
Levure de bière (16)	0,1	43 %	3,70
	+0,25	40 %	4,90
	0,5	2 %	3,25
Farine de maïs (7)	0,1	67 %	2,66
	+0,25	93 %	4,35
	0,5	90 %	3,60
Levure de pain (17)	0,1	38 %	3,15
	0,25	50 %	3,6
	+0,5	90 %	3,8
Farine de manioc (11)	0,1	72 %	3,35
	0,25	70 %	3,6
	+0,5	67 %	4,15
Lactosérum (21)	0,1	72 %	4,40
	+0,25	60 %	6,25
	0,5	0 %	
Farine d'avoine (12)	0,1	72 %	3,50
	+0,25	78 %	5,60
	0,5	0 %	
Farine de riz (1)	0,1	63 %	3,5
	0,25	70 %	3,65
	+0,5	66 %	6,15
Poudre à base de malte (20)	0,1	0 %	
	0,25	0 %	
	0,5	0 %	
Sang (22)	0,1	0 %	
	0,25 non effectué		
	0,5 non effectué		



Tableau 14 : Croissance et mortalité à différents dosages
pour 10 types d'aliments

+optimum de biomasse obtenue

Deux produits n'ont pas permis d'obtenir des *Artemia* au 9^e jour : la poudre à base de malte et le sang de porc. Les protéines solubles de ce dernier même à très faible dose provoquent sous l'effet de l'aération une écume abondante qui piège rapidement les nauplii.

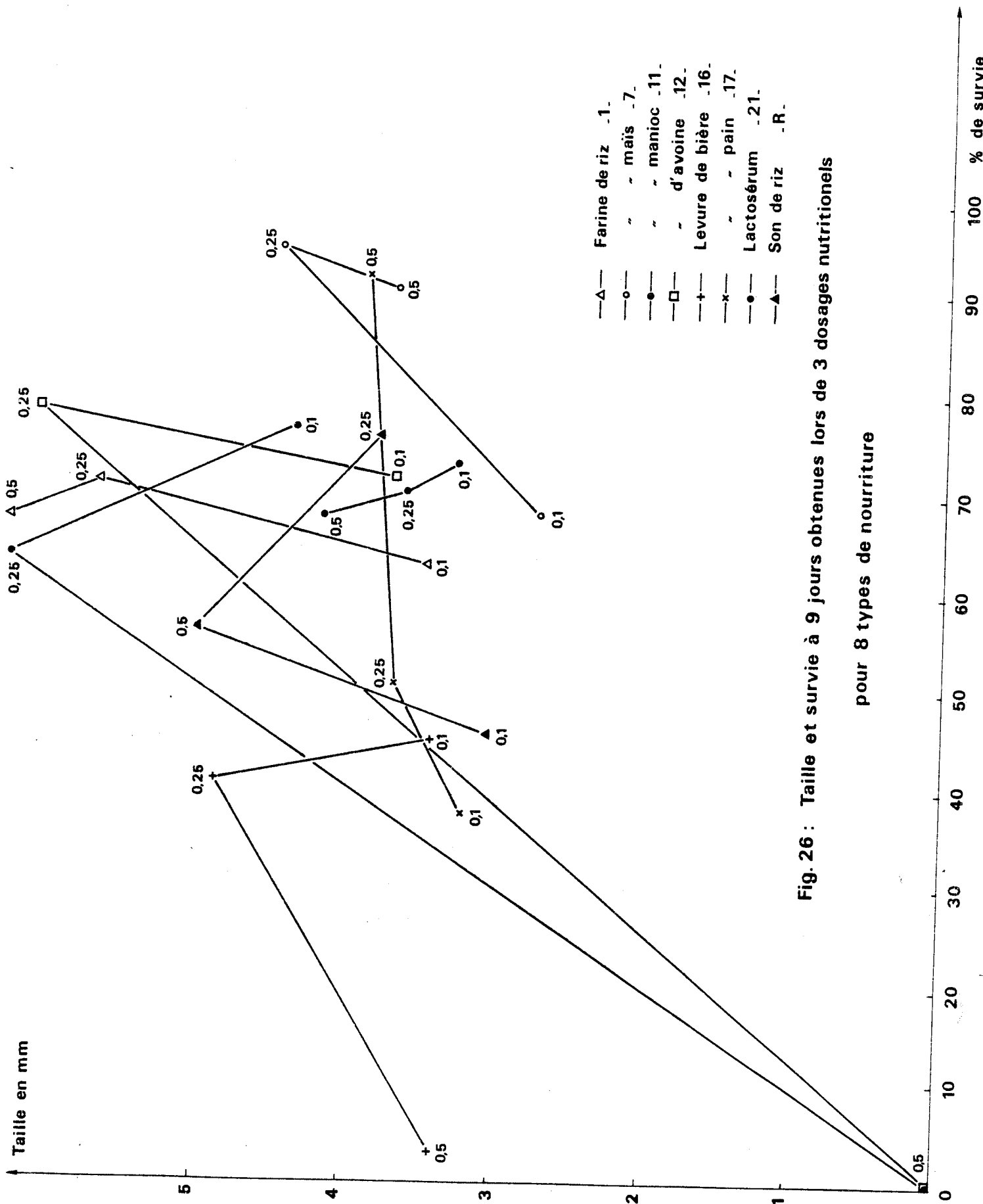


Fig. 26 : Taille et survie à 9 jours obtenues lors de 3 dosages nutritionnels pour 8 types de nourriture

D'après la figure 26, il apparaît que pour chaque produit la qualité de nourriture influence la croissance et la survie et que le dosage optimum varie d'un produit à l'autre ; si pour le lactosérum, il est de 0,25 ml/jour, il faut une dose double de farine de riz pour obtenir des résultats identiques. Plutôt que la valeur nutritive de chaque produit, c'est son pouvoir de sédimenter qui semble être la cause de ses variations. En effet l'agitation n'empêche pas les aliments les plus denses comme les farines de précipiter et d'être ainsi perdues pour les *Artemia*.

c) Comparaison des produits

Pour comparer les diverses substances alimentaires, dans l'optique de les utiliser ensuite en circuit fermé, nous nous devons de travailler avec une dose nutritionnelle journalière identique quel que soit le produit. En fonction des résultats précédents, nous avons opté pour 0,25 ml par tube durant les 9 jours de l'expérience.

Nous avons travaillé à des charges en *Artemia* de 0,12 par ml et chaque test comportait une série de 7 tubes. La figure 27 obtenue d'après les résultats présentés dans le tableau 14, permet de constater que 5 produits se détachent des autres. Ce sont : la farine de riz (1), la farine d'avoine (12), deux farines de péricarpe de riz (4 et 6) ainsi que le lactosérum.

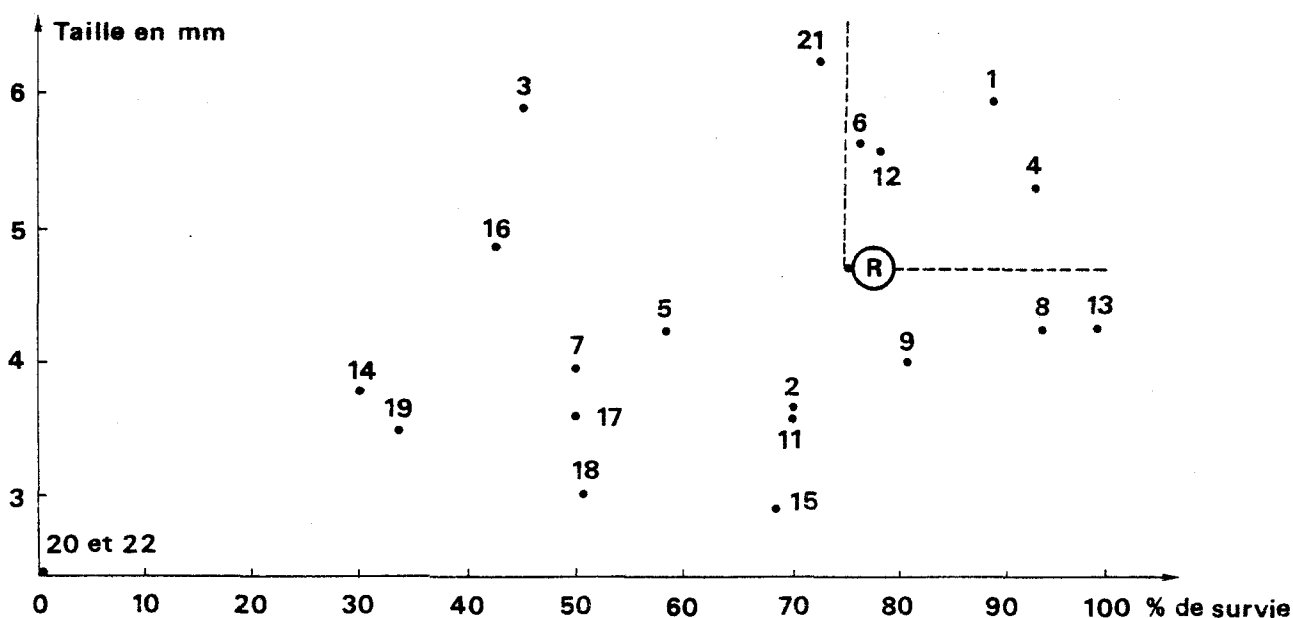


Fig. 27 : Pourcentage de survie et croissance à 9 jours pour 22 aliments

Produits			Taille en mm	% de survie
- Farine de riz	. alimentaire	(1)	5,98 ± 0,77	88
		(2)	3,67 ± 0,64	70
	. péricarpe	(3)	5,95 ± 0,57	45
		(4)	5,35 ± 0,61	93
		(5)	4,25 ± 0,54	58
		(6)	5,63 ± 0,59	76
	de maïs	(7)	3,98 ± 0,37	50
		(8)	4,32 ± 0,39	93
		(9)	4,02 ± 0,35	81
	de manioc	(11)	3,63 ± 0,27	70
	d'avoine	(12)	5,60 ± 0,61	78
- Amidon	. dextrine blanche	(13)	4,28 ± 0,43	99
	. dextrose	(14)	3,80 ± 0,29	30
	. maizena	(15)	2,92 ± 0,43	68
- Levure	. de bière	(16)	4,90 ± 0,25	40
	. de pain	(17)	3,6 ± 0,29	50
- Divers	. gluten	(18)	3,05 ± 0,51	51
	. liquide de macération	(19)	3,50 ± 0,39	33
	. Poudre de malte	(20)		0
	. lactosérum	(21)	6,25 ± 0,72	76
	. sang de porc	(22)		0
- Son de riz référence		(R)	4,76 ± 0,63	75

Tableau 15 : Croissance et survie à 9 jours
pour 22 aliments

Deux faits sont à remarquer :

- des produits de même type et de granulométrie semblable ne donnent pas les mêmes résultats (1 et 2) ;
- les produits solubles excepté le lactosérum ne peuvent pas être utilisés. L'*Artemia* ne peut pas s'alimenter de produits en solution (PROVASOLI et D'AGOSTINO, 1969), seuls les produits particuliers en suspension peuvent être assimilés. L'exception du lactosérum peut s'expliquer par l'apparition rapide d'une floculation de ce produit dans le milieu de culture et le développement important de bactéries et de cili (DOBBELEIR, 1980) que l'*Artemia* peut ingérer..

2.1.3. Conclusion

En fonction de ces résultats mais aussi suivant la rapidité et la facilité d'obtention d'un produit correspondant à l'échantillon analysé, trois produits ont été testés en élevage en circuit fermé : le lactosérum (21), la levure de pain (17) et la farine de maïs (8).

2.2. ELEVAGE

2.2.1. Circuit fermé

2.2.1.1. Matériel et méthode

Nous avions à notre disposition 6 bacs de 800 litres en ciment que nous avons transformé en plaçant une plaque centrale en PVC qui supporte des exhausteurs en s'inspirant des travaux de BOSSUYT (1976) (Photo 13).

Le milieu de culture semblable à celui des tests alimentaires est constitué à partir d'une eau de la saline à 50-70 g/l diluée avec de l'eau douce pour obtenir une salinité de 45 g/l. Préchauffée à 25°C à l'aide d'une résistance de 4 000 W, la température est maintenue à l'aide de deux résistances thermorégulées de 200 W. Un différentiel de 35 milli-ampère ainsi qu'une plaque en inox plongeant dans les cultures et reliée à la terre assurent la sécurité électrique. Le milieu n'est jamais renouvelé durant les 14 à 20 jours nécessaires pour obtenir des animaux adultes.

Nous inoculons les bacs avec 10 000 à 12 000 nauplii par litre ; ce qui nécessite 40 à 50 g de cystes de Great Salt Lake Sanders lot 218-1. L'éclosion est réalisée dans des bacs de plexiglass de 50 litres dans un milieu à 30 ‰ (photo 14).

La nourriture dosée à 50 g de produit par litre de saumure fournie manuellement durant les premières expériences a été ensuite automatisée grâce à l'installation d'un programmeur et de vannes électromagnétiques connectées sur le circuit d'aération. Le programmeur déclenche l'ouverture des vannes qui mettent en fonction un exhausteur qui plonge dans un bac d'alimentation (fig. 28). L'adjonction dans la solution nutritive de 1 ml par litre d'anti-mousse "Dow corning 525 emulsion" empêche la formation d'écume qui emprisonne les animaux.

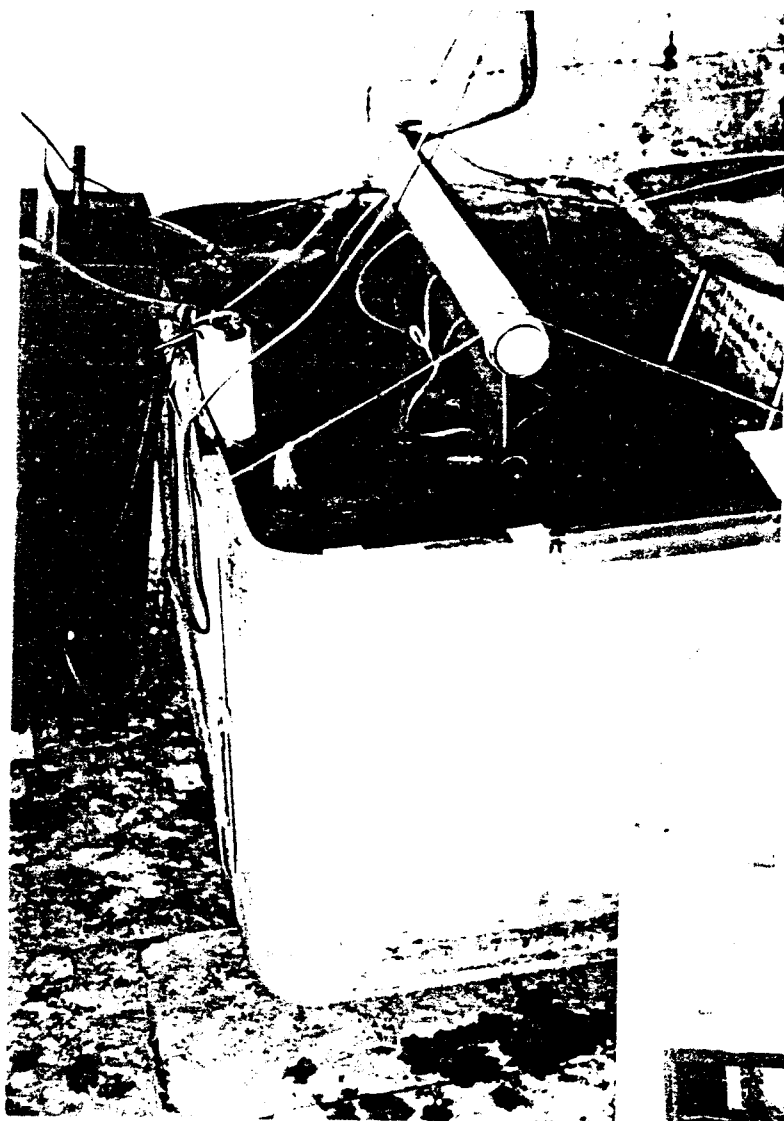
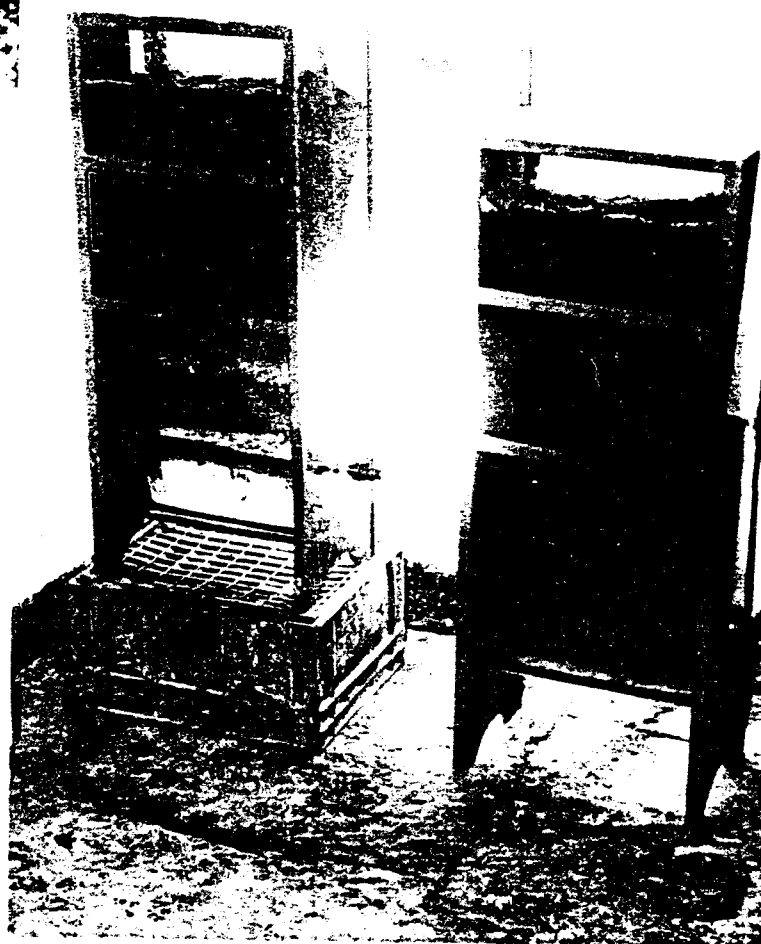


Photo 13 :
Bac d'élevage équipé de son
système de traitement primaire.



Photo 14 :
Bac d'éclosion



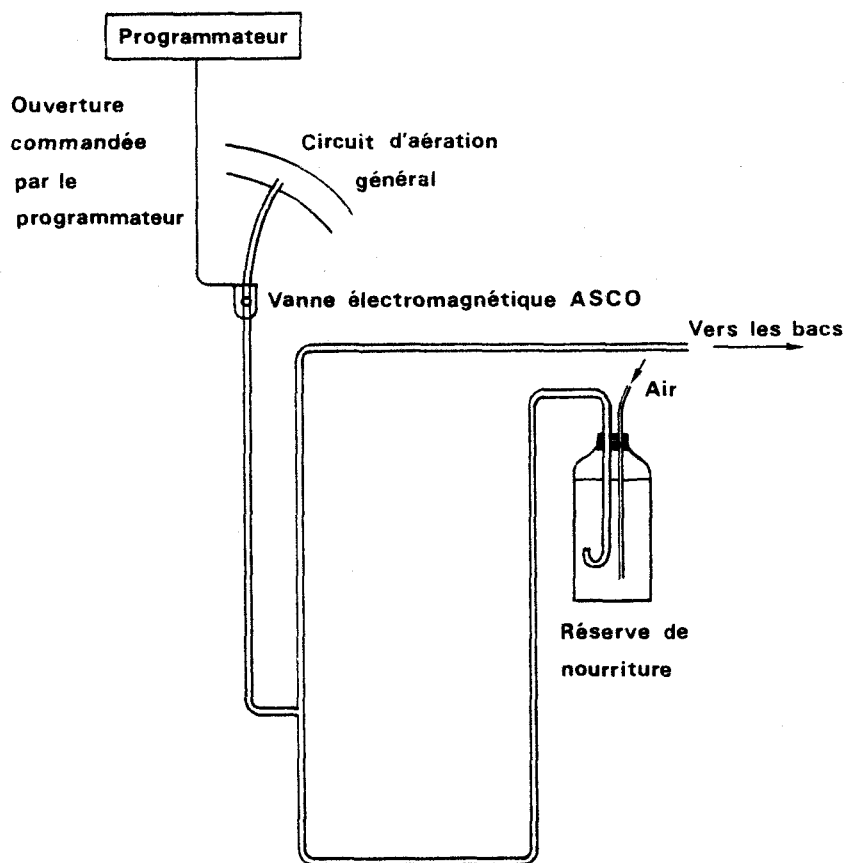


Fig. 28 : Système d'injection automatique de nourriture

Ce système présente l'avantage d'arrêter l'alimentation en cas de panne du surpresseur.

Un système de traitement primaire, qui est une version modifiée de celui utilisé à l'Artemia Reference Center (BOSSUYT, 1980), assure l'élimination des pelottes fécales et des mues (Photo 15). Il comporte un exhausteur qui plonge à l'intérieur d'un filtre tubulaire qui retient les animaux dans le bassin d'élevage. L'exhausteur pompe ainsi le milieu exempt d'*Artemia* et chargé de particules, et le rejette dans un bac de décantation dont le volume est égal ou supérieur au 10^e de celui du bac d'élevage. Le décanteur (fig. 29) présente un fond incliné. Une plaque plongeant le long de la paroi la plus grande jusqu'à 2 cm du fond sépare le bac en deux compartiments. Dans le plus grand, au lieu des plaques inclinées mises au point à Gand, nous avons placé des petits morceaux de tubes de PVC longs de 5 cm et d'un diamètre de 4 cm. Ceux-ci jouent le rôle des "selles de cheval" utilisées dans les décanteurs industriels. L'eau en passant à travers ces obstacles se décharge et l'effluent décanté est rejeté dans le bac d'élevage.

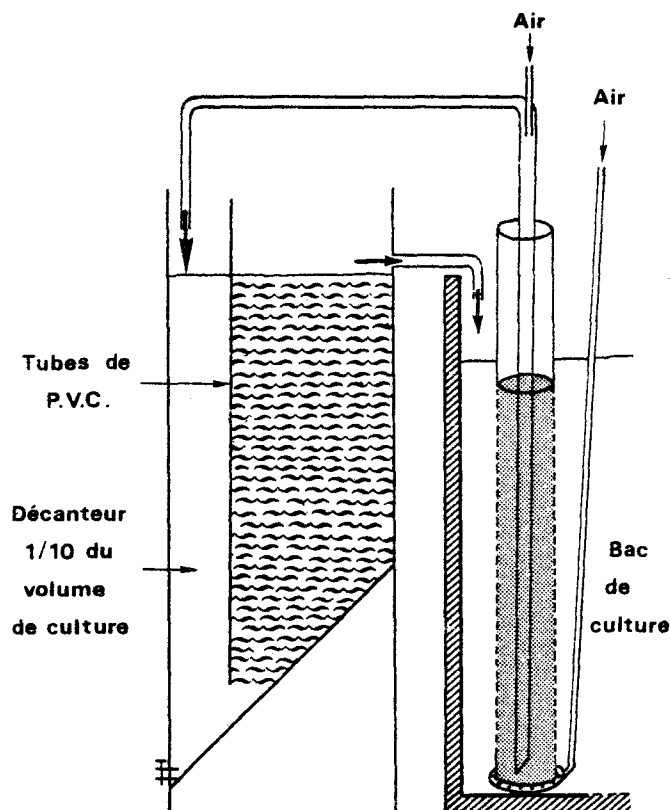


Fig. 29 : Traitement primaire

L'installation d'un écumeur entre le décanteur et le bassin d'élevage durant les derniers jours permet d'éliminer une grande partie des protéines solubles

La mise en place de cadres sur lesquels sont tendus verticalement des fils de pêche de 35 centièmes de mm (photo 16) permet de "sauver" une culture atteinte par une prolifération floculaire provenant d'un déséquilibre alimentaire. Les flocules composés d'amas de bactéries filamenteuses sous l'effet du courant crée par les exhausteurs se collent sur les fils à proximité de l'interface air-eau. Par gravité, ils glissent le long des fils et s'accumulent à leur base. Le cadre relevé plusieurs fois par jour suivant l'état de la culture est rincé puis replacé dans sa position initiale perpendiculaire au courant.

Le développement des cultures est estimé journallement selon les critères suivants :

- le pourcentage de survie obtenu par échantillonnage de 5 fois 30 ml de milieu et comptage des animaux,
- la taille moyenne des animaux calculée sur 30 individus.

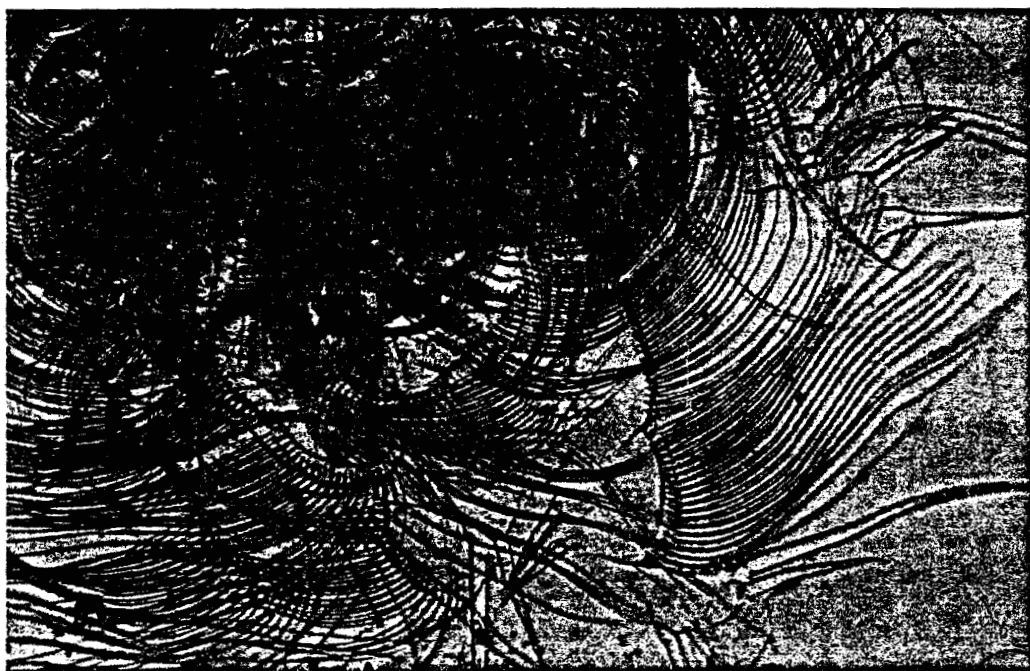


Fig. 15 : Mue (100 X)

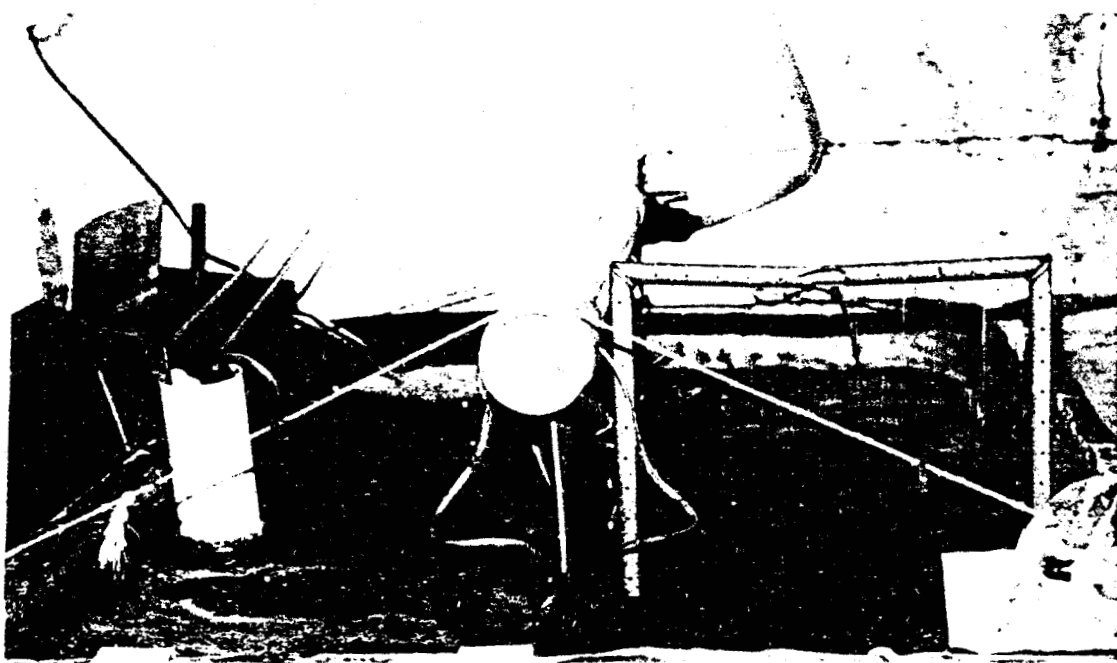


Photo 16 : Vue d'un bac avec son cadre anti-flocules

La récolte s'effectue après l'arrêt de l'oxygénation. Les animaux se regroupent en surface et peuvent être facilement pêchés à l'aide d'une épuisette. Placés sur un tamis de 500 microns par lot de 500 g environ, ils sont rincés à l'eau douce puis égouttés jusqu'à obtention d'une pâte bien compacte, ce qui nécessite 10 minutes. La production est de ce fait estimée en kg de produit frais. Le taux de conversion représente le rapport du poids sec fourni sur le poids d'*Artemia* fraîches récoltées.

2.2.1.2. Résultats

Trois aliments ont été testés en bac de 800 litres en circuit fermé ; la levure de pain, le lactosérum et la farine de maïs. Les deux premiers expérimentés simultanément ont permis de mettre en évidence la nécessité de travailler avec un système de filtration et une alimentation automatique.

a) Levure de pain

Malgré une salinité élevée de 45 à 50 g/l qui limite les proliférations microbiennes, aucune production n'a été obtenue durant les 12 premiers essais, suite à une mortalité abondante dès le 5^e jour. Ce n'est qu'à des valeurs de survie de 5 à 10 % c'est-à-dire à des charges de 500 à 1 200 individus par litre que l'on retrouvait une courbe de croissance normale.

Après l'installation des premiers systèmes de filtration et de nourriture automatique, la mortalité n'apparaît que lors du 8^e jour et les cultures donnent des résultats légèrement supérieurs (fig. 30).

Nous avons déplacé la courbe sans pour autant atteindre des résultats comparables à ceux que nous avons obtenus à Gand sur son de riz. Sur ces 12 derniers essais, à des dosages nutritionnels différents, la meilleure production fut de 0,800 kg d'*Artemia* par m³.

b) Lactosérum

Bien que le lactosérum ait donné de bons résultats lors des tests en tubes, il s'est avéré que son utilisation en élevage n'est pas aisée. Lors des premiers tests sans alimentation automatique, les apports manuels provoquent une désoxygénation brutale néfaste pour les animaux (fig. 31). C'est ainsi qu'aucune production ne fut obtenue lors de 7 premiers essais.

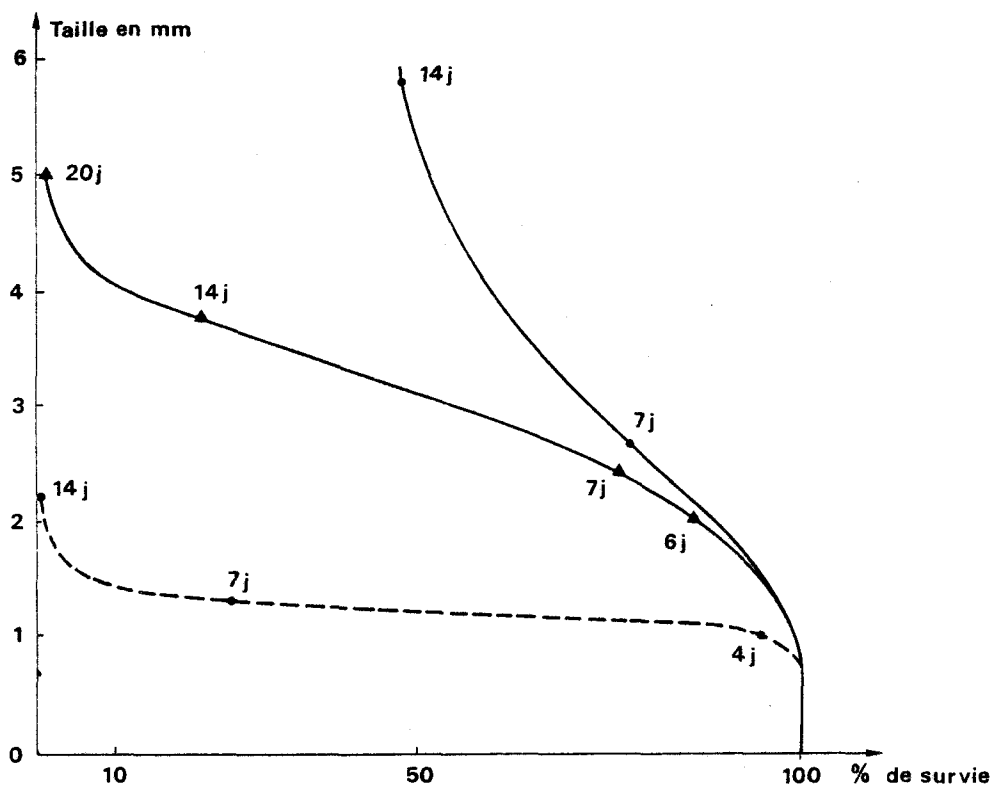


Fig. 30 : Suivi de culture alimenté avec de la levure de pain

- - - - • Sans filtration
- ▲ - - - ▲ Avec filtration
- - - - • Courbe sur son de riz ARC 1981 (Réf.)

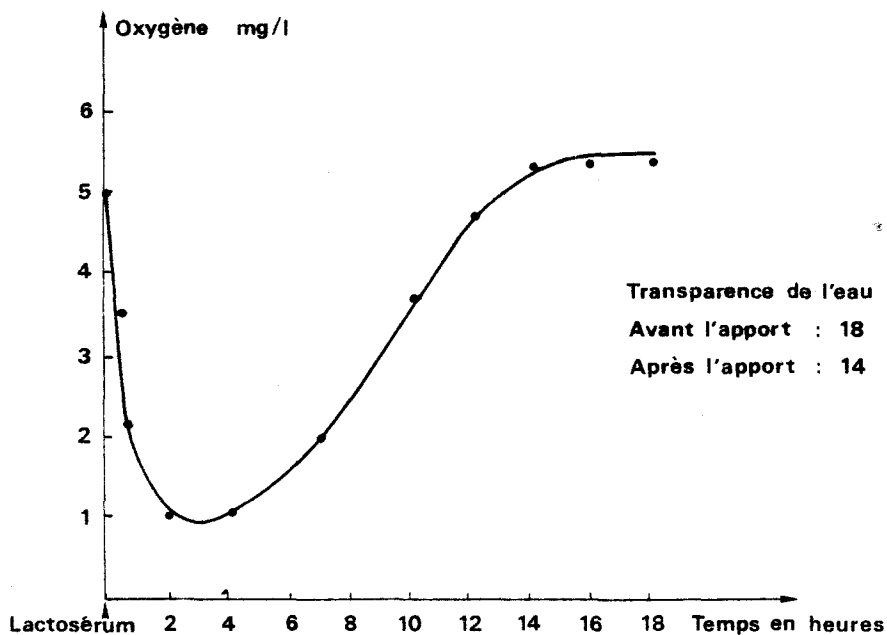


Fig. 31 : Désoxygénation observée lors d'un apport de 15g
de lactosérum dans une culture de 800 litres

L'automatisation de la nourriture a permis d'obtenir lors d'un essai sur six une production de 2,3 kg d'*Artemia* par m³ en 20 jours.

La reproductibilité n'est pas assurée et le dosage alimentaire doit être ajusté en permanence suivant l'état des cultures. En fonction de la forte solubilité du produit, et de sa forte concentration en glucides (65 % du poids sec de lactose) un équilibre fragile doit être trouvé. Il faut provoquer une prolifération bactérienne et de ciliés qui sera en partie assimilée par les *Artemia* sans pour autant que la qualité de l'eau en soit affectée.

c) Farine de maïs

Les premières productions obtenues sur cette nourriture sont supérieures à celles observées antérieurement. C'est ainsi que malgré un dosage imparfait (transparence du milieu maintenue entre 5 et 25 cm) et un produit de granulométrie très supérieure à l'optimum déterminé par DOBBELEIR (1980), nous avons obtenu les résultats présentés dans le tableau ci-dessous.

Production à 20 j par m ³	Transparence dans le milieu en cm	Taille en mm	Survie %	Taux de Conversion
3,2	5-10	4,9	24	1,29
2	15-20	4,5	19	2,2
3,2	10-15	5,8	35	1,46

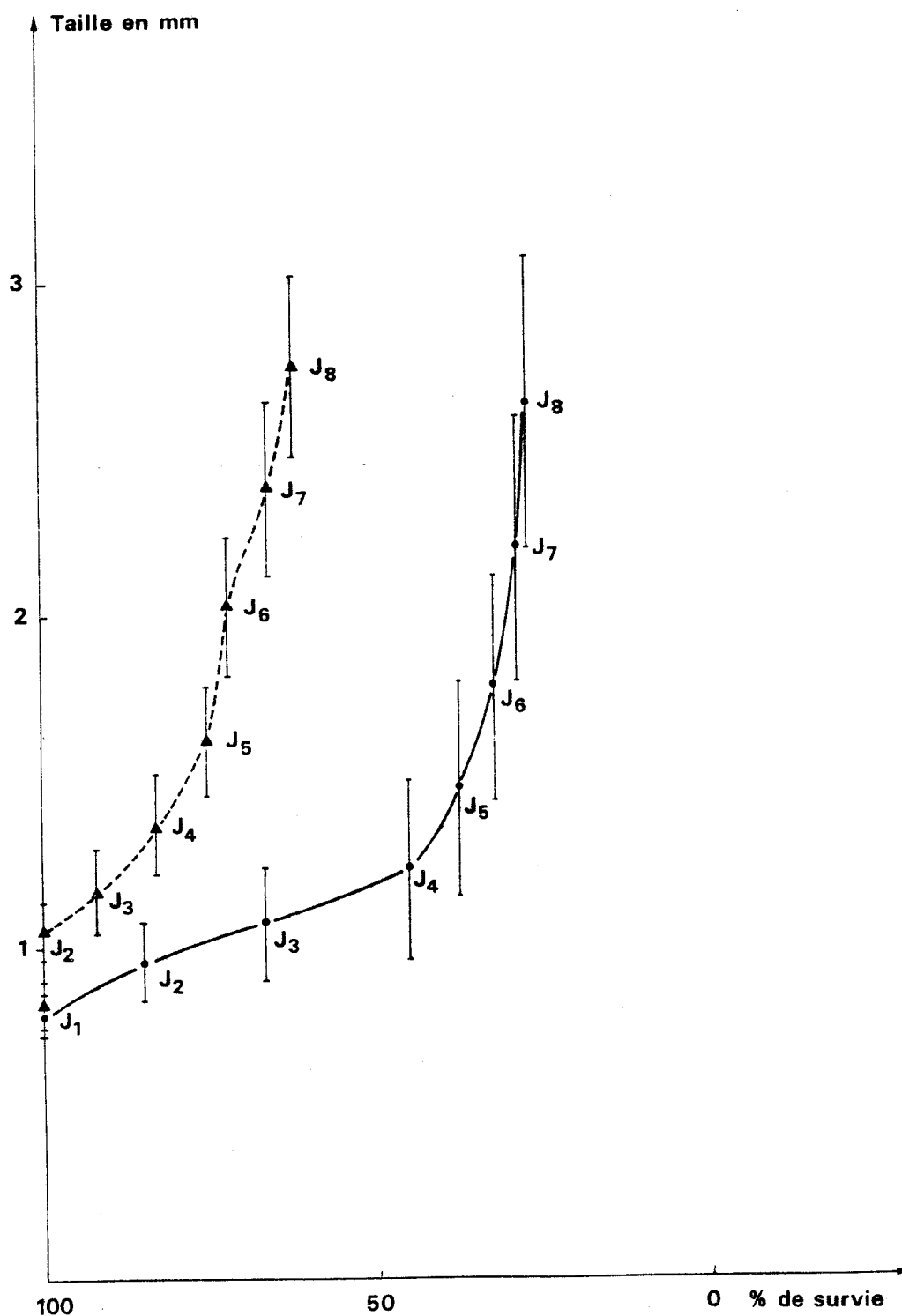
Tableau 16 : Résultats des trois premières productions sur farine de maïs

Comparés aux essais que nous avons réalisés à Gand avec des charges en *Artemia* identiques sur son de riz, en bac de 2 000 litres, la production est inférieure de 50 % en moyenne. Compte tenu de la granulométrie de l'aliment (33 % inférieur à 50 microns) l'emploi de fortes doses alimentaires lors des premiers jours (5 à 10 cm de transparence) nécessaires pour assurer aux jeunes stades un minimum de substance assimilable en est probablement la cause et se concrétise par une forte mortalité (fig. 32). La surcharge alimentaire est concrétisée par un fort taux de conversion.

Fig. 32 : Suivi d'élevage durant les 8 premiers jours

▲-----▲ Sur son de riz . Gand 1981 . Récolte 4 k 5 / 8 jours /m³ . Conversion 0,96

•-----• Sur farine de maïs . Portugal 1982 . Recolte 3 k 2 / 20 jours /m³ . Conversion 1,46



2.2.1.3. Conclusion

Cette étude en circuit fermé a permis de mettre en évidence les difficultés de transposer des résultats de laboratoire à l'échelle de l'élevage. C'est le cas pour le lactosérum dont le dosage s'avère complexe à grande échelle.

Par ailleurs, nous avons pu constater que le son de riz n'est pas l'unique produit inerte susceptible de servir d'aliment pour les élevages d'*Artemia*. Des produits particuliers de faible solubilité comme la farine de maïs pourraient être utilisés à condition de les microniser.

Faible consommatrice d'eau de mer et d'énergie puisque le milieu n'est pas renouvelé durant toute la durée de l'élevage, cette méthode dont les productions ont atteint $7,5 \text{ kg/m}^3/14$ jours dans un bac de 2 000 litres couplé à un décanteur de 300 litres et à un écumeur de 20 litres (BOSSUYT, 1981, communication personnelle) est pratique sur des sites où l'alimentation en eau de mer n'est pas aisée. L'utilisation de milieu synthétique peut être envisagée.

2.2.2. Circuit ouvert

2.2.2.1. Matériel et méthode

De conception différente, cette technique fut mise au point en Belgique sur le site géothermique de Turnhout (BRISSET, 1981). Du puits s'écoule une eau athalassique à 9,27 g de sel par litre à une température de 19°C pour un débit de 2 m^3 heure⁺.

Température insuffisante pour des cultures d'*Artemia*, l'installation d'une pompe en augmentant le débit a permis de diminuer les pertes caloriques et d'obtenir une eau à 28°C . Après passage dans un filtre sable qui retient les limons ferriques l'eau est distribuée dans les 6 bacs de culture en polyéthylène de 550 et 350 litres dont les mesures sont répertoriées dans le tableau 17 ci-après

	Hauteur	Longueur	Largeur	Volume utile	Volume filtre (interne)
550 litres	60 cm	110 cm	83 cm	450 l	80 l
350 litres	65 cm	95 cm	56 cm	280 l	60 l

⁺ Analyse chimique en mg/l : Fe^{++} Fe^{+++} 102 ; Mn^{++} 0 ; Mg^{++} 79,5 ; Cl^- 5 200 ; NO_2^- NO_3^- 0 ; HCO_3^- 524,6.

la fixation sur le fond d'un anneau rectangulaire de PVC de diamètre 10 percé de trous à intervalle d'un centimètre et connecté à un surpresseur simplifie la mécanique du système en jouant 4 rôles :

- aération et donc oxygénation du milieu,
- homogénéisation du milieu,
- anticolmatage du filtre,
- fixation du filtre.

Sur cet anneau s'encastre une construction en PVC de diamètre 16 mm qui soutend une toile à bluter interchangeable en fonction de la taille des *Artemia* (132, 224, 300 et 400 microns). Cette toile est surmontée d'une autre en nylon qui empêche les *Artemia* de se coller au niveau de l'interface air-eau et qui permet de tendre le filtre sur la structure (fig. 33 et photo 17). L'air sortant du collier de PVC remonte les parois inclinées du filtre (9°) et limite ainsi le colmatage provoqué par les mues et les formations floculaires. Cet apport d'air provoque un mouvement de rouleau de la masse d'eau favorisant ainsi l'homogénéisation du milieu. Des pompes péristaltiques assurent un apport continu de la suspension nutritionnelle conservée dans des poches plastiques suspendues le long des bacs (50 g de son de riz par litre de saumure).

Après les premières productions, il s'est avéré que la salinité était trop faible pour ce type d'élevage. L'adjonction de saumure dans les bacs fut donc envisagée. Produite par percolation par simple gravité de l'eau du puits à travers une couche de sel dans un container de 800 litres, la saumure alimente une tour de distribution placée à 50 cm au-dessus du niveau des bacs de culture (fig. 34). Le débit au niveau de chaque bac est ajusté à l'aide de robinets dont l'extrémité plonge dans le milieu de culture afin d'éviter toute cristallisation.

Conçue comme un pilote industriel, l'installation occupe un minimum de place (7 m x 4 m). L'aération et les circuits électriques sont assurés à partir de rampes fixées au plafond. La pompe d'eau et le surpresseur sont installés à l'extérieur afin de limiter le bruit dans la pièce d'élevage. Les bacs et leur système de nourriture entourent les 2 colonnes de distribution d'eau et de saumure afin de faciliter l'accès aux cultures (fig. 35).

Le suivi des cultures et la méthode de pêche sont identiques à ceux pratiqués en circuit fermé. On obtient ainsi une production en kg de poids frais/m³. Le taux de conversion est calculé suivant le même principe : poids sec d'aliment fourni sur le poids frais de la récolte.

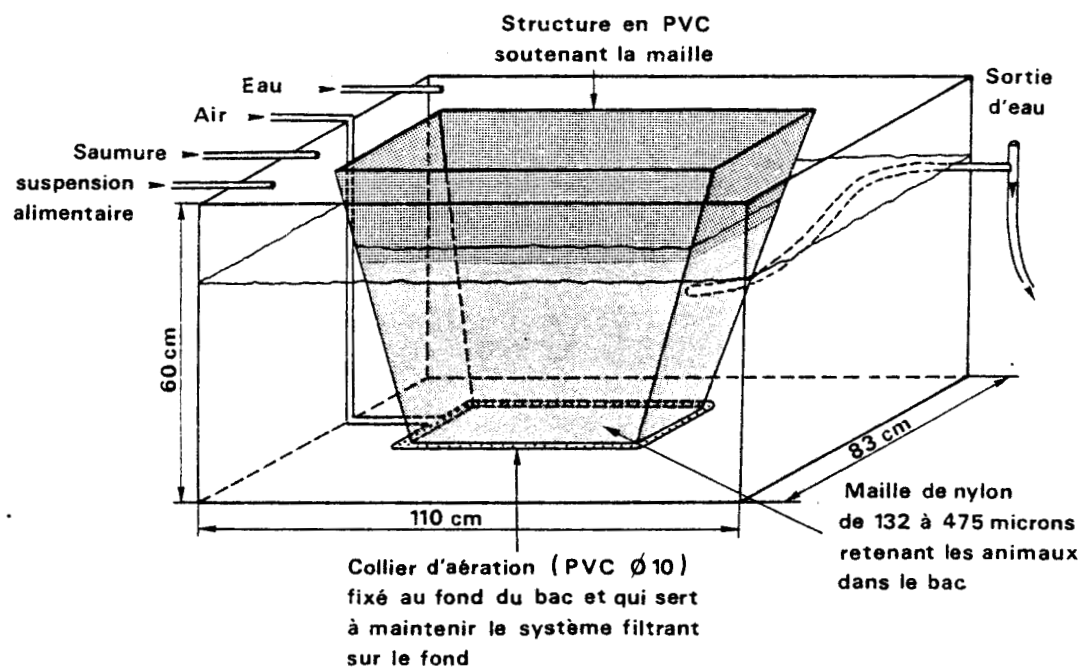


Fig. 33 : Bac de culture avec son système de filtre

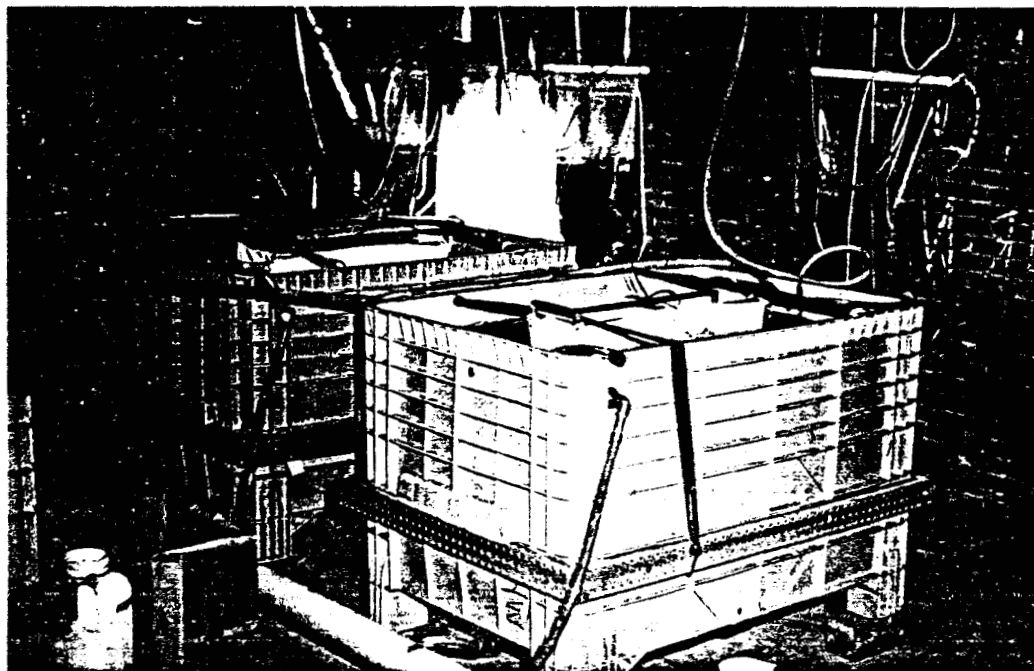


Photo 17 : Bac d'élevage en fonctionnement

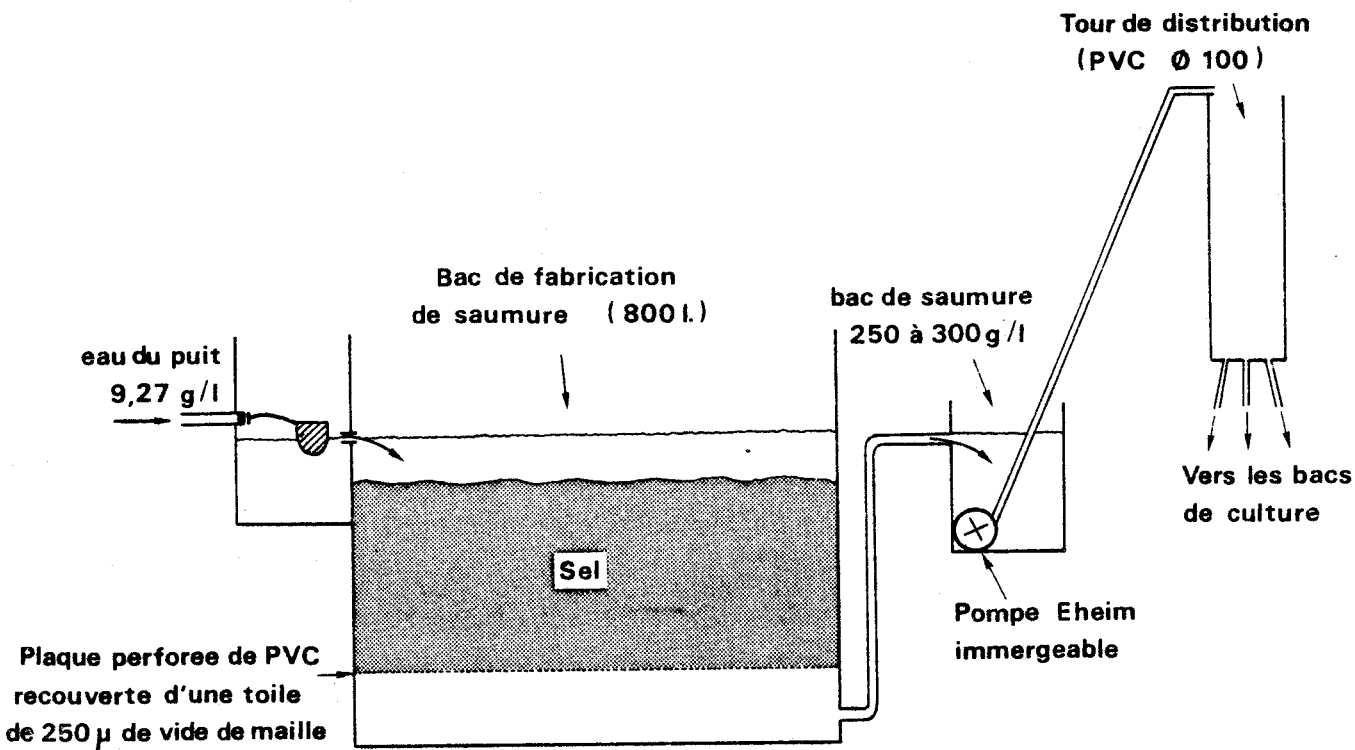


Fig. 34 : Installation de production de saumure

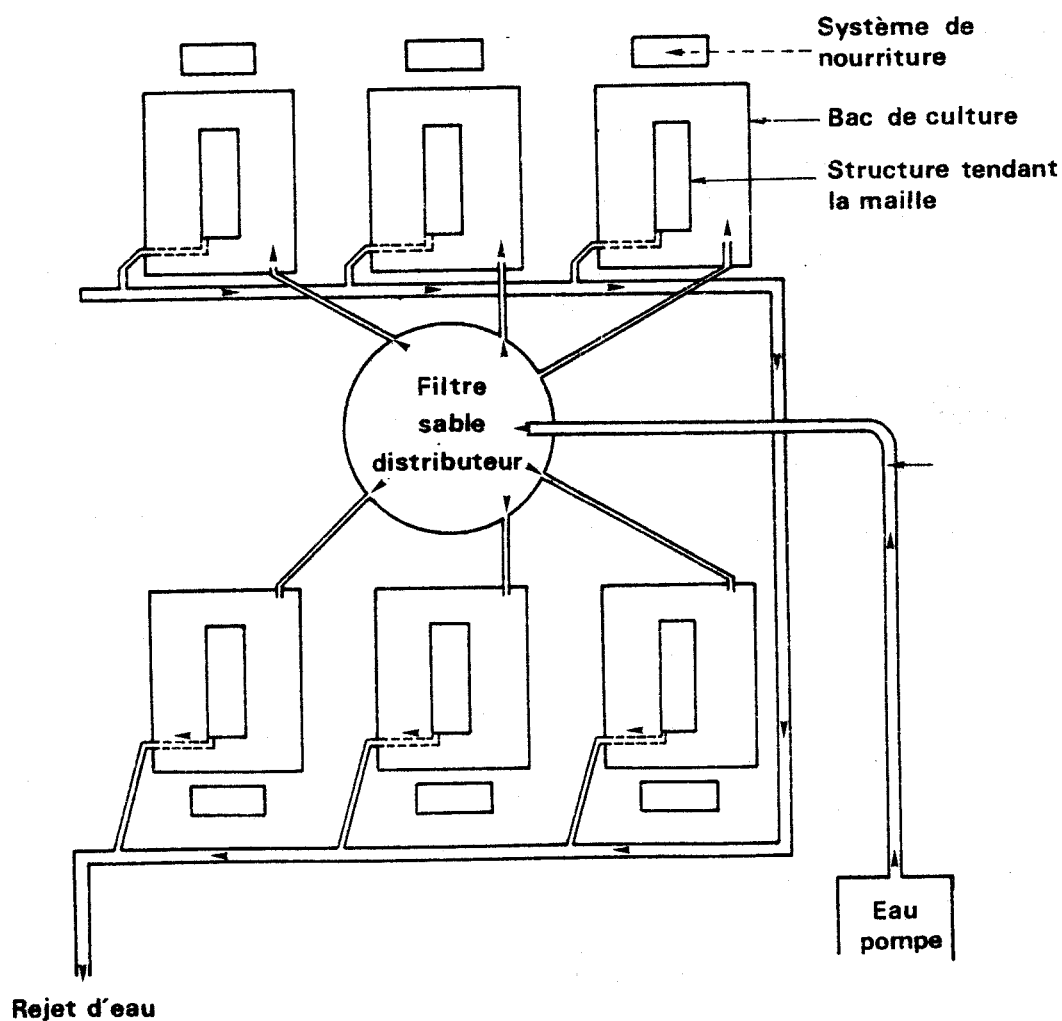


Fig. 35 : Plan d'ensemble de l'installation

2.2.2.2. Résultats

a) sur la source géothermique

Après les expériences effectuées en 1981, il s'est avéré que nous n'atteignons pas des productions optimales, faute d'une salinité assez élevée du milieu (BRISSET, 1981). L'installation d'un système de production de saumure a permis d'élever la charge en sel dans le milieu de culture de 9,27 g/l à des valeurs comprises entre 25 et 40 g/l durant les 13 jours de l'expérience. Les débits d'eau et de saumure variant sous l'effet de colmatage ou de cristallisation, il ne fut pas possible de maintenir une salinité constante dans les bassins de cultures (fig. 36). Ces variations parfois brutales et d'amplitude importante comme au 9^e jour n'entravent pas le bon déroulement de l'expérience. Au contraire, elles semblent avoir limité la colonisation bactérienne.

Cette sursalure a nécessité 6 tonnes de sel cristallisé. En raison du coût de l'expérience et surtout de la pollution provoquée par le rejet salé des cultures, cet essai ne fut réalisé qu'une seule fois sur 2 bacs de 550 litres⁺. À partir des expériences précédentes sur ce site et sur un micropilote à Gand, tous les paramètres furent optimisés afin d'atteindre la meilleure production. C'est ainsi que l'éclosion fut effectuée à partir de 300 g de cystes de Great Salt Lake Sanders 218-1 afin d'assurer une charge en *Artemia* lors de l'inoculation de 20 000 animaux par litre au lieu des 10 000 habituels. Malgré des débits variables, la température a été maintenue entre 25,5 et 27,5 °C excepté le 1^{er} jour où elle a atteint 23,7 °C pour le bac 3 et 24,7 °C pour le bac 2. Par sa situation dans le local et un temps de renouvellement toujours plus court, la température de ce dernier a toujours été supérieure de 0,5 à 1,3 °C (fig. 37).

Limités par la quantité de sel disponible, le temps de rétention c'est-à-dire le temps nécessaire au renouvellement des 550 litres de cultures fut maintenu à 3 heures durant les 7 premiers jours de l'expérience puis ajusté en deux étapes à 1 h 10 pour le bac 2 et 1 h 35 pour le bac 3 (fig. 38). C'est l'observation sous binoculaire de l'effluent qui a permis de connaître le réglage optimal. En effet la culture en circuit ouvert, pour être efficace, doit permettre le rejet des mues et des pelottes fécales sans pour autant éliminer avant qu'elle soit assimilée, une partie de la solution nutritionnelle (50 g de son de riz par l de saumure) qui est fournie de façon continue. Son dosage fut d'abord ajusté par observation du milieu et des *Artemia* à la loupe binoculaire, puis simplifié par

⁺ Prévues sur 3 bacs, seuls 2 essais furent menés à bien, l'un des bacs s'étant rompu dès le 1^{er} jour.

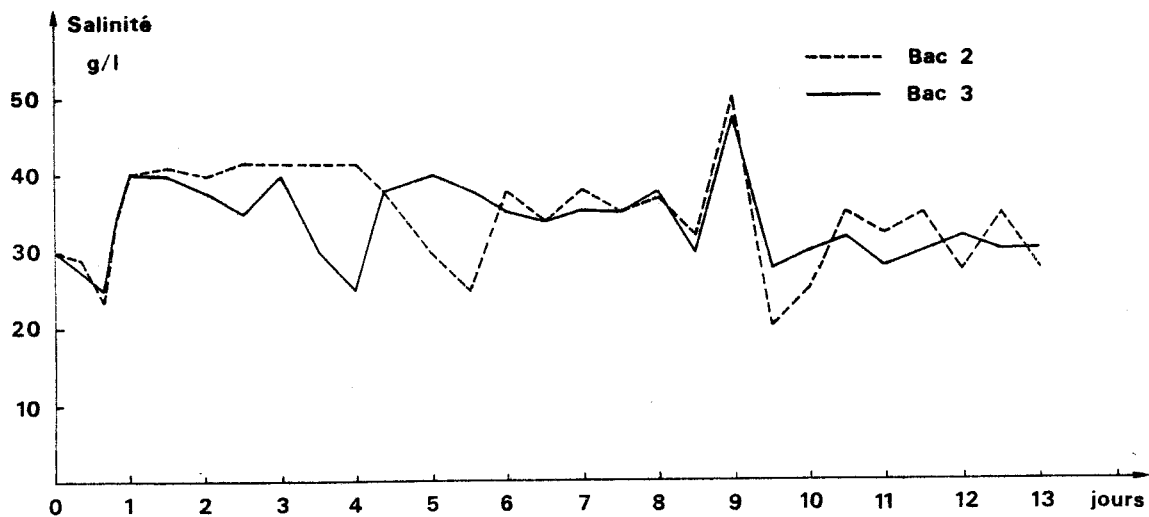


Fig. 36 : Suivi de la salinité

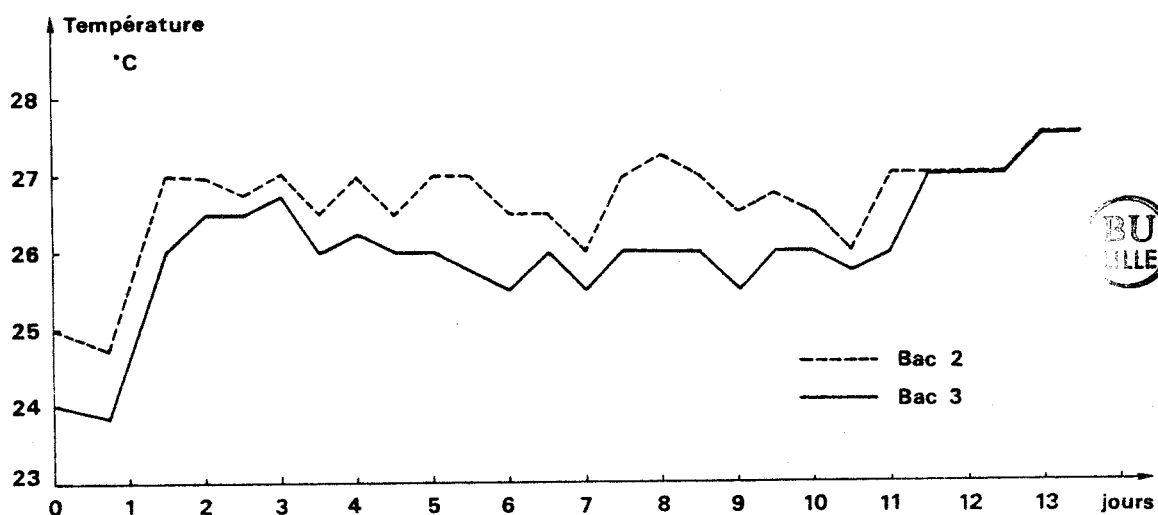


Fig. 37 : Suivi de la température

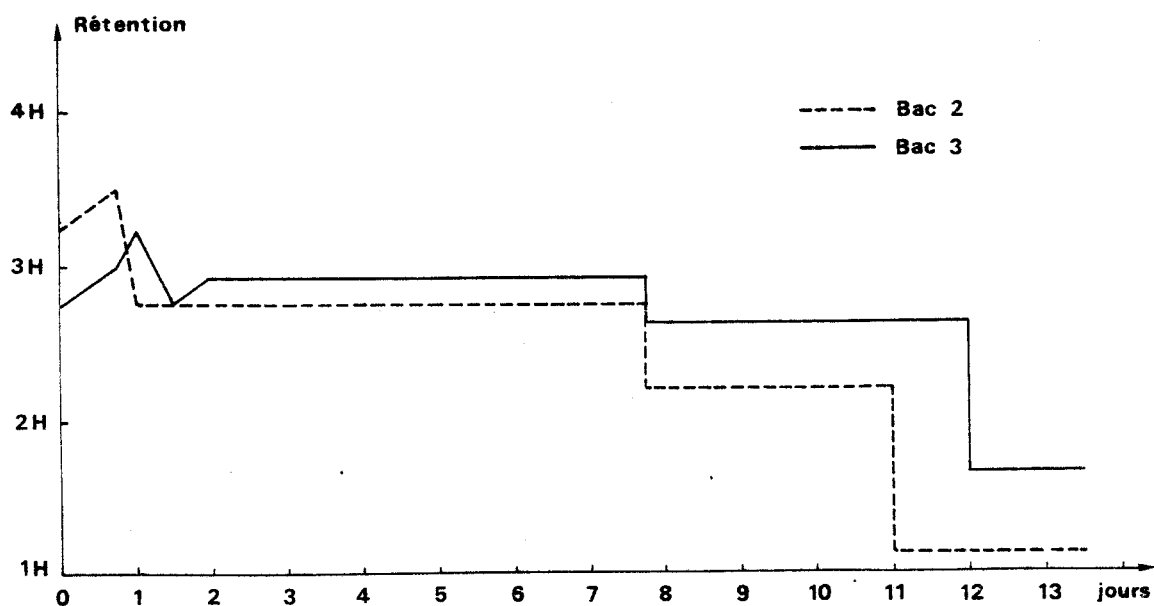


Fig. 38 : Suivi de la rétention

l'application de la mesure de la transparence de l'eau avec la tige graduée.

Il s'est avéré que celle-ci est optimale entre 25 et 30 cm, ce qui correspond à des valeurs inférieures de 50 % à celles pratiquées en circuit fermé. Cette observation n'indique pas pour autant que l'on fournit moins de nourriture, les doses journalières sont proches voire supérieures à celles observées dans l'autre système.

Alimentées de façon identique durant les 4 premiers jours (fig.39) dès le 5^e la culture 2 présente une meilleure croissance alors que le bac 3 voit sa survie (fig. 40) chuter au 7^e. Un débit et une température légèrement supérieurs dans le bac 2 en sont certainement la cause. L'assimilation étant plus faible dans le bac 3, la transparence s'est maintenue à des valeurs plus élevées de 3 à 7 cm. Le suivi des biomasses obtenues par échantillonnage de 2 l de culture et pesée des animaux permet de visualiser plus nettement ces phénomènes (fig. 41). Malgré un incident de pompage au 9^e jour qui nécessita un arrêt momentané d'alimentation, les récoltes obtenues furent de 8,5 kg dans le bac 2 et 5,6 dans le bac 3. Ramenées au m³ ces valeurs représentent 22,9 kg et 15,1 kg pour des taux de conversion de 1,015 et 1,24.

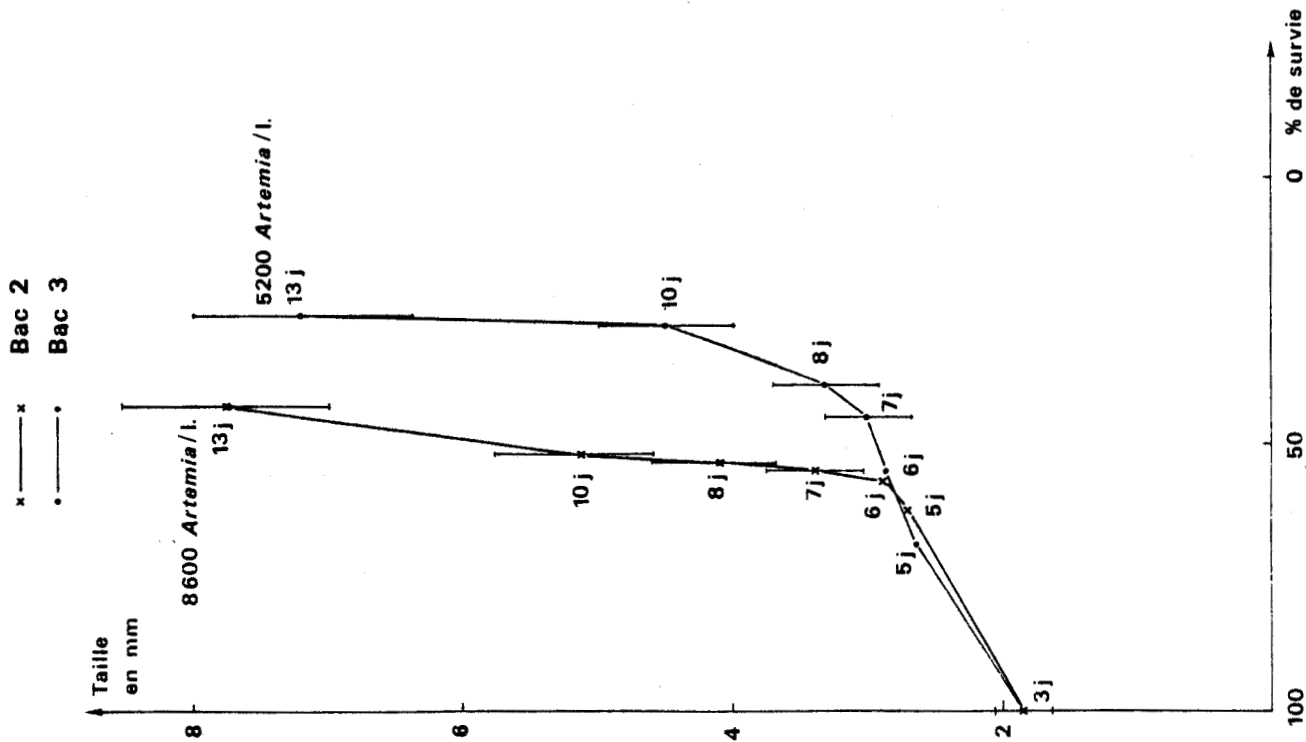
b) au Portugal

Suite à ces résultats cette technique fut envisagée sur le site Solvay au Portugal. Malheureusement étant donné l'éloignement des salines par rapport à l'usine, il n'a pas été possible de réaliser un système de chauffage économique pour maintenir la température optimale dans les cultures. Des tests ont alors été entrepris pour évaluer les effluents susceptibles de convenir à un tel projet. Le milieu idéal n'existant pas, cinq rejets chauds et salés regroupés en 3 séries ont toutefois été testés suivant le même principe que pour les dosages nutritionnels avec 10 *Artemia* par tube.

. Liquide A

Ce liquide présente la caractéristique d'être très riche en Ca cl₂ (140g/ et en insolubles dont une partie décante naturellement. Dans une éprouvette de 250 ml, le liquide après 10 mn de décantation présente un dépôt blanc d'un volume de 110 ml. Le pH varie suivant l'activité de l'usine entre 10,3 et 10,6. Pour des raisons énergétiques, il serait intéressant d'utiliser tout ou partie de ce liquide

Fig. 40 : Suivi des cultures



BU
LILLE

Fig. 39 : Quantité de son de riz fourni journellement

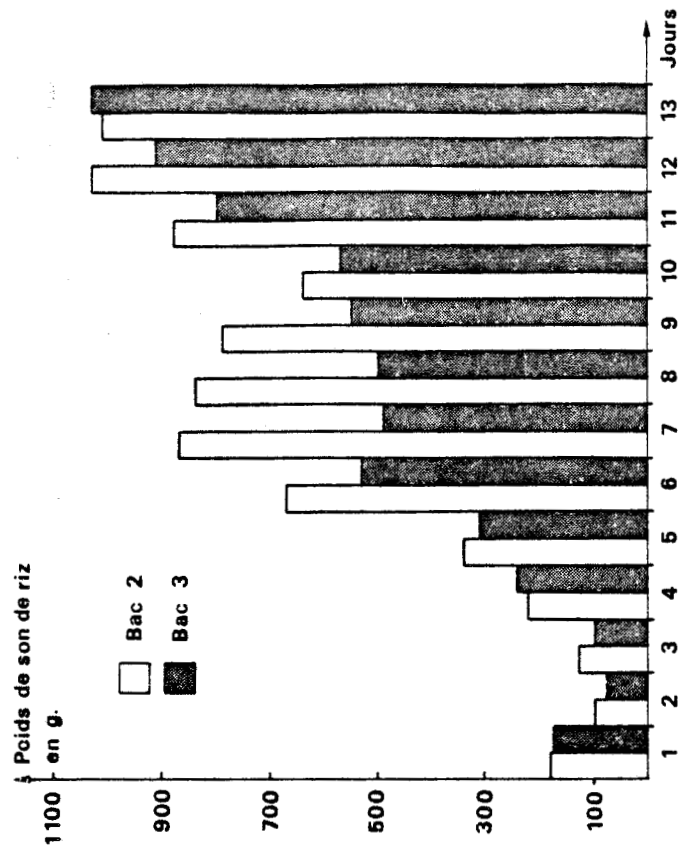
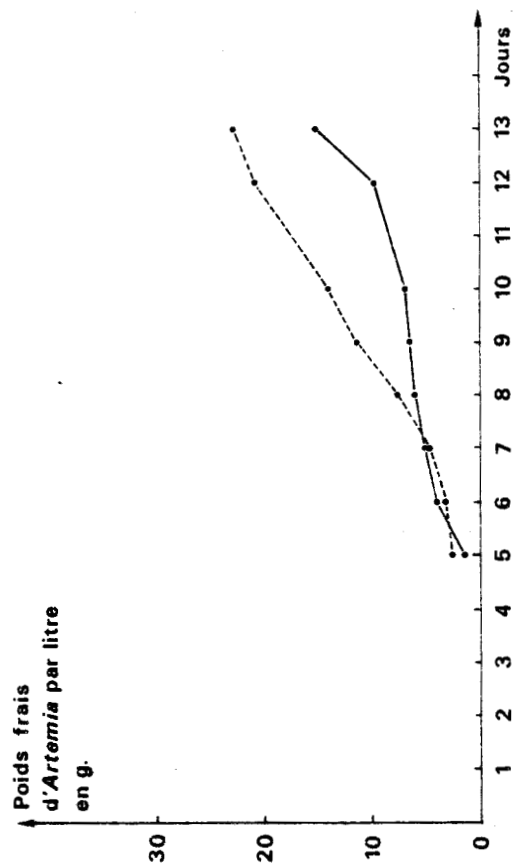


Fig. 41 : Suivi de biomasse



de ce liquide pour une culture en circuit ouvert. Les premiers tests effectués avec ou sans décantation mettent en évidence que les *Artemia* ne peuvent vivre dans un tel milieu plus de 24 heures. Diverses dilutions avec de l'eau douce ou d'autres effluents n'ont pas permis d'obtenir des résultats satisfaisants. (tableau 18).

Milieu	Caractéristique	Résultat des tests
. 1 volume de liquide A + 5 volumes d'eau douce	Salinité 28 g/l pH 7,4	Mortalité totale en 48 h
. 1 volume de liquide A + 4 volumes de liquide B	Salinité 70 g/l pH 8,4	Mortalité totale en 96 h
. 1 volume de liquide A + 7 volumes de liquide B	Salinité 28 g/l pH 8,3	Survie de 37 % avec une taille de 2,4 mm à 6 j

Tableau 18 : Influence de la dilution
sur la survie des *Artemia*

. Liquide B

Cet effluent est de l'eau du Tage qui après réchauffement y est rejeté. Sa salinité varie suivant les marées de 31 g à 0,3 g/l. Aucun résultat significatif ne fut obtenu dans cet effluent, les chiffres de survie étant très variables d'un échantillon à l'autre.

. Liquide C

C'est une eau du Tage réchauffée dans l'unité de production de peroxydes de l'usine. Elle présente les mêmes variations de salinité que le liquide B. Les tests de survie effectués à différentes salinités durant 6 jours dans cet effluent permettent de mettre en évidence que les *Artemia* peuvent être élevées dans un tel milieu si la salinité est supérieure à 5 g/l (fig. 42)

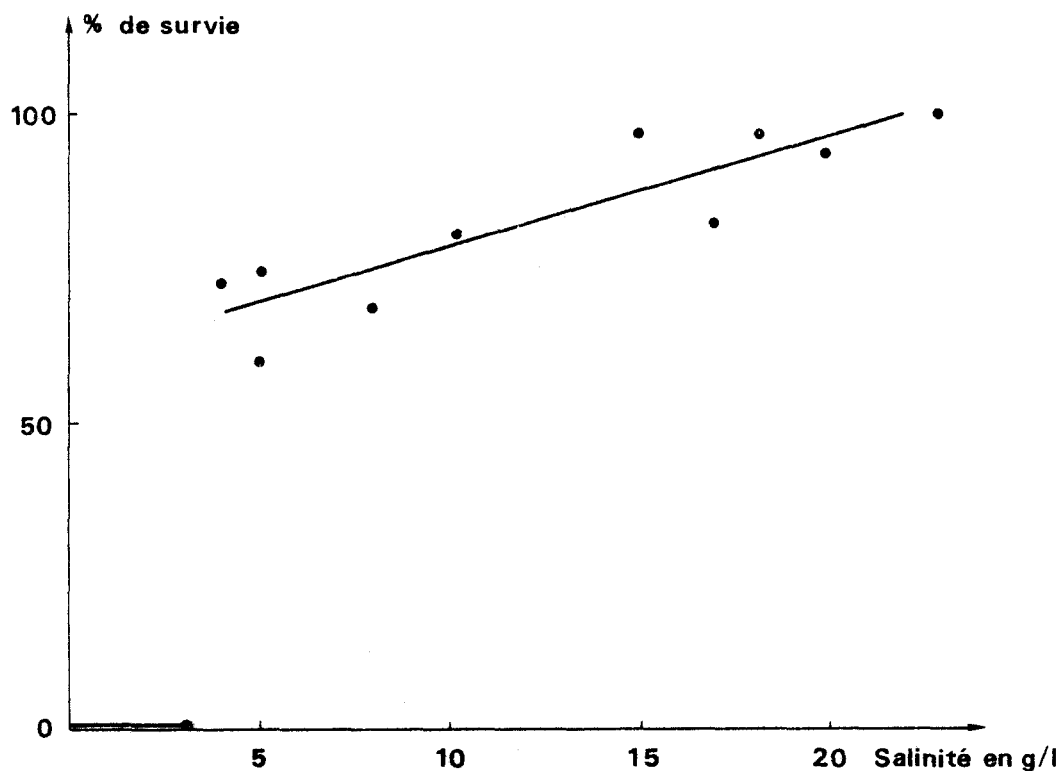


Fig. 42 : Survie des *Artemia* à 6 jours
en fonction de la salinité

A la suite de cette expérience et étant donné le faible temps durant lequel la salinité chute au-dessous de 5 g/l, un bac de 1 m³ a été installé afin de déterminer si les *Artemia* peuvent se développer dans un milieu dont la charge en sel varie entre 3 g et 31 g en fonction des marées. Un filtre sable sous pression en amont du bac a permis d'éliminer la majorité des particules limoneuses (fig.43). Quatre expériences furent menées, la seule culture maintenue jusqu'au 20^e jour a produit 2,7 kg d'*Artemia* suite à une survie et une croissance faible.

2.2.2.3. Conclusion

Cette technique est un pas important dans les cultures d'*Artemia*. Avec un entretien et un contrôle simplifié par rapport au circuit fermé, le circuit ouvert permet de doubler les productions, et ce par l'obtention d'une charge en animaux adultes de l'ordre de 10 000 par litre. Bien que cette technique permette de faire baisser le prix de revient des *Artemia* adultes, c'est encore insuffisant pour le marché de l'Aquaculture.

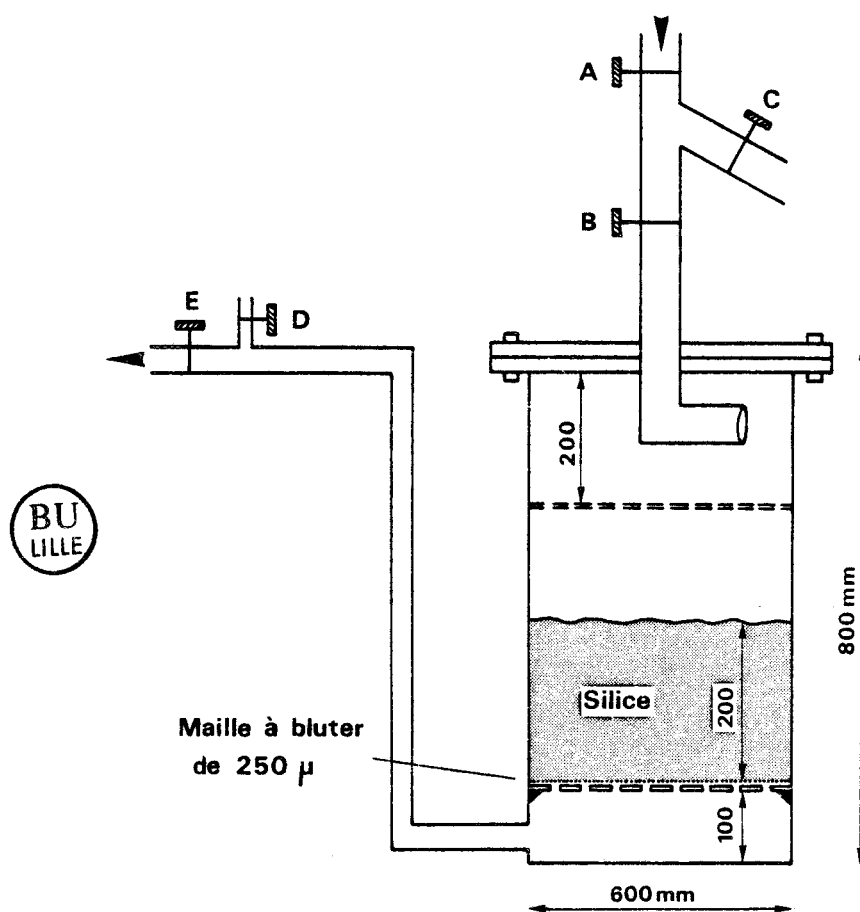


Fig. 43 : Filtre sable sous pression

Elle ouvre par contre de nouvelles possibilités de production. En effet, dans ce système, étant donné la forte charge en animaux, il est possible de produire des cystes. Les premiers essais sont prometteurs mais le taux d'éclosion est très faible (LAVENS - Communication personnelle).

Compte-tenu des volumes d'eau nécessaires, sous nos climats, les cultures en circuit ouvert ne peuvent être réalisées que sur des installations particulières qui possèdent des effluents chauds et salés. Il est donc possible de retenir à cet effet deux types de sites privilégiés :

- les sites industriels qui utilisent l'eau de mer comme liquide réfrigérant (centrale nucléaire et industrie sidérurgique comme exemples) ;
- les sites géothermiques si l'on résoud le problème de précipitation lors de la remise sous pression des effluents pour leur réinjection dans la nappe.

3^e PARTIE

UTILISATION D'*ARTEMIA* EN AQUACULTURE

1 - INTRODUCTION

Deux types de production caractérisent le marché de l'*Artemia* : les cystes et les adultes vivants.

Si les premiers intéressent principalement les aquaculteurs, à quelques exceptions près le prix de revient actuel des seconds limite leur utilisation à l'aquariophilie du moins en Europe.

Deux points nous ont paru intéressants à étudier : d'une part le transport des animaux vivants, d'autre part l'étude des diverses méthodes susceptibles de valoriser au mieux les cystes que l'utilisateur achète à grands frais.

Ces méthodes ont été testées sur des larves de *Crangon crangon*. Par ailleurs, ayant à notre disposition une unité de production d'*Artemia*, nous avons évalué la croissance et la mortalité durant quatre mois des post-larves de *Crangon* alimentées uniquement d'*Artemia*.



2 - TRANSPORT DES ARTEMIA VIVANTES

Basées sur les travaux de LE BAUT et ALZIEU (1980), les premières expéditions par avion Lisbonne-Bruxelles donnèrent des résultats positifs.

Malheureusement il s'avéra que ceux-ci n'étaient pas reproductibles. Par ailleurs, afin de faciliter la distribution et diminuer le coût du transport, la durée devait être portée à 48 heures et la charge en animaux à 10 % du poids total du colis.

2.1. METHODOLOGIE

2.1.1. Description du matériel (photo 18)

Le dispositif de transport comprend :

- une caisse en polystyrène de 2 cm d'épaisseur aux dimensions suivantes
L = 60 cm, l = 39 cm, h = 19 cm correspondant à un volume interne de 30 litres ;
- trois sacs de polyéthylène de 0,05 mm d'épaisseur et d'un volume total de 10 litres. Afin d'augmenter la résistance, chaque sac est introduit dans un autre ;
- des blocs de glace, de 1 litre de volume, obtenus par congélation d'eau douce dans des sachets de polyéthylène.

2.1.2. Mise en œuvre des essais

Le milieu saturé en oxygène par barbotage d'air surpressé durant 24 heures est refroidi à la température désirée à l'aide de blocs réfrigérants. Les *Artemia* pêchées sont mesurées en volume dans un béccher étalonné par l'utilisateur ; généralement 1 kg d'*Artemia* correspond à 1,1 litre. Les animaux sont ensuite introduits dans le sachet contenant 3 litres de milieu. L'air est expulsé et remplacé par 6 litres d'oxygène insufflée à l'aide d'un tuyau souple. L'extrémité du sac est ensuite torsadée puis repliée pour être hermétiquement fermée avec un élastique. Le deuxième sac est à son tour fermé. Les sacs ainsi préparés sont placés par 3 dans une boîte

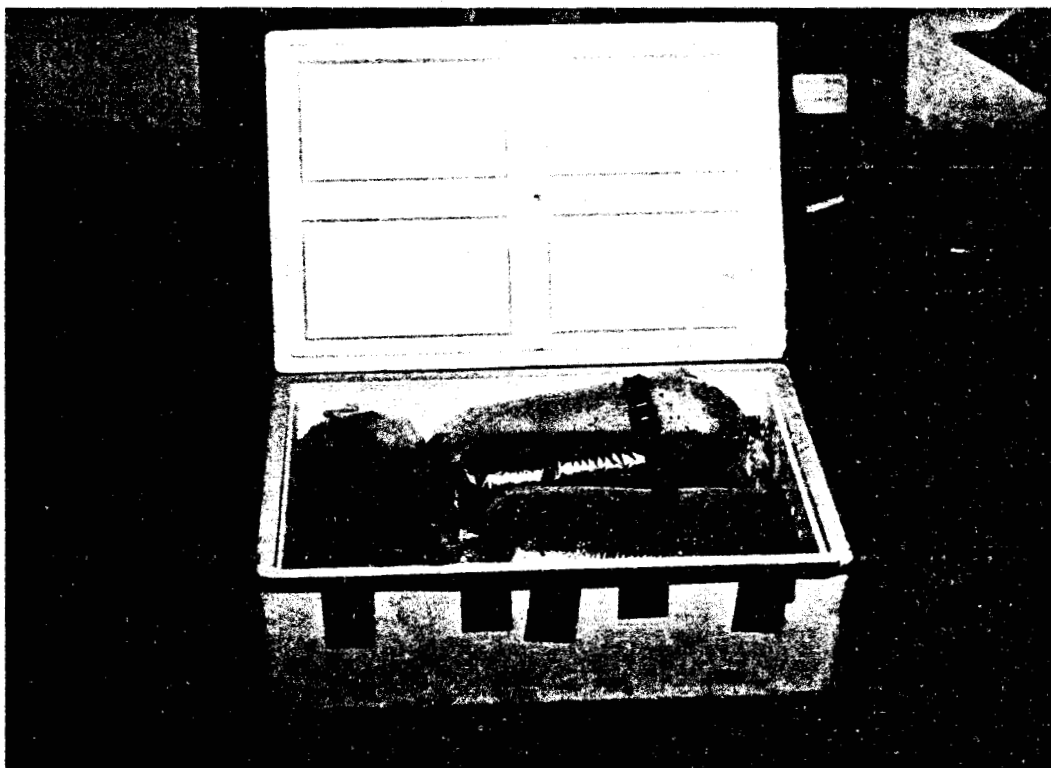


Photo 18 : Boîte d'expédition avec ses 3 sacs.

dont l'étanchéité est assurée par un ruban adhésif et deux films plastique qui recouvrent l'ensemble.

Le pH, l'oxygène et la température sont mesurés dès l'ouverture après 48 heures de transport. Les animaux récupérés sur un tamis de 300 microns sont ensuite plongés dans des bassins où le milieu est oxygéné. Une heure après, l'aération est coupée et les animaux vivants sont pêchés afin de déterminer le pourcentage de survie. Replacés dans un nouveau bac, la mesure est renouvelée 24 et 48 h après l'ouverture du sachet. Les *Artemia* n'étant pas alimentées pendant 5 jours et plus si elles ont été conservées avant l'expédition, une perte de poids de 10 à 25 % est normale. La mesure volumétrique permet de diminuer cette erreur.

Pour cette étude 62 expéditions ont été réalisées : 46 fictives et 16 réelles dont les analyses furent effectuées par le laboratoire Solvay à Bruxelles.

2.2. RESULTATS

2.2.1. pH

Dès les premières analyses après 48 heures il s'est avéré que pour des charges de 100 g d'*Artemia* par litre, le pH du milieu chutait à des valeurs proches de 5 normalement létales pour les *Artemia*. Bien que JOHNSON (1979) signale que le tris (2 amino - 2 hydroxyméthyl 1 - 3 propandiol) est le meilleur tampon en eau de mer, son coût élevé nous a fait opter pour l'utilisation de bicarbonate de soude. Trois concentrations furent testées : 1 ; 3,3 et 5 g par litre sur trois expéditions dans les conditions suivantes :

Milieu	- salinité	g/l	50
	- volume	l	3
	- température	°C	5
	- pH		8,65
Oxygène		l	6
Charge en <i>Artemia</i>		g/l	100

Dans chacune des boîtes, un des sacs est retiré au bout de 24 heures, les deux autres sont analysés au bout de 48 heures. Lors de ce test la température à l'ouverture était de 15°C et le taux d'oxygène égal ou supérieur à 2 ppm.

dose de bicarbonate g par litre	pH		% survie		
	à 24 h	à 48 h	à l'ouverture	après 24 h	après 48 h
0	6,72	6,54 ± 0,11	65	60	60
1	6,91	6,77 ± 0,23	68	65	65
3,3	8	7,8 ± 0,22	100	100	100
5	8,1	8 ± 0,21	100	100	100

Tableau 19 : Influence du pH sur la survie

L'examen des résultats du tableau 19 montre que la chute de pH est brutale lors des premières 24 heures. Ce phénomène est probablement dû aux perturbations métaboliques entraînées par le stress subi durant la pêche et l'ensachage. Il apparaît qu'une dose de 3,3 g de bicarbonate permet de limiter suffisamment la chute du pH pour assurer une survie totale à l'ouverture.

Deux tests réels ont donc été réalisés à une semaine de décalage dans les mêmes conditions. Lors du premier, aucune mortalité n'a été constatée, par contre lors du deuxième dans un des sacs, 20 % des animaux sont morts 24 heures après l'ouverture. L'analyse du milieu de transport a permis de déceler pour ce sac, une teneur en oxygène de 1,2 ppm au lieu des 2,5 habituels et pour les trois sacs de ce dernier colis, une température de 17°C au lieu des 10°C mesurés lors du premier transport.

2.2.2. Température

Le refroidissement du milieu de transport ralentit le métabolisme des *Artemia* et de ce fait, la consommation d'oxygène. Cinq niveaux de température ont été testés 2, 5, 7, 10 et 15°C sur cinq expéditions fictives.

D'après le tableau 20 et la figure 44, il semble important de ne pas descendre au dessous de 5°C et de ne pas dépasser 10°C à l'ensachage, d'assurer un réchauffement lent durant le transport pour que la température du milieu n'excède pas 17°C.

Température à l'ensachage	Température à l'ouverture (48 h)	Δt	% Survie		
			à l'ouverture	24 h	48 h
2°C (3 sacs)	17°C	15	56,6 $\pm$ 9	0	0
5°C (3 sacs)	17°C	12	88 $\pm$ 7,4	88 $\pm$ 7,4	88 $\pm$ 7,4
(3 sacs)	22°C	15	62 $\pm$ 8,2	53 $\pm$ 4,5	22 $\pm$ 3,2
7°C (3 sacs)	17°C	8	100	100	100
10°C (3 sacs)	17°C	7	81 $\pm$ 8,5	81 $\pm$ 8,5	81 $\pm$ 8,5
15°C (3 sacs)	20°C	5	76 $\pm$ 8,4	55 $\pm$ 7,2	0

Tableau 20 : Influence de la température

Ces expériences permettent de mettre en évidence que la température de départ n'est pas la seule à intervenir. Le pourcentage de survie est aussi influencé par la température du milieu à l'ouverture.

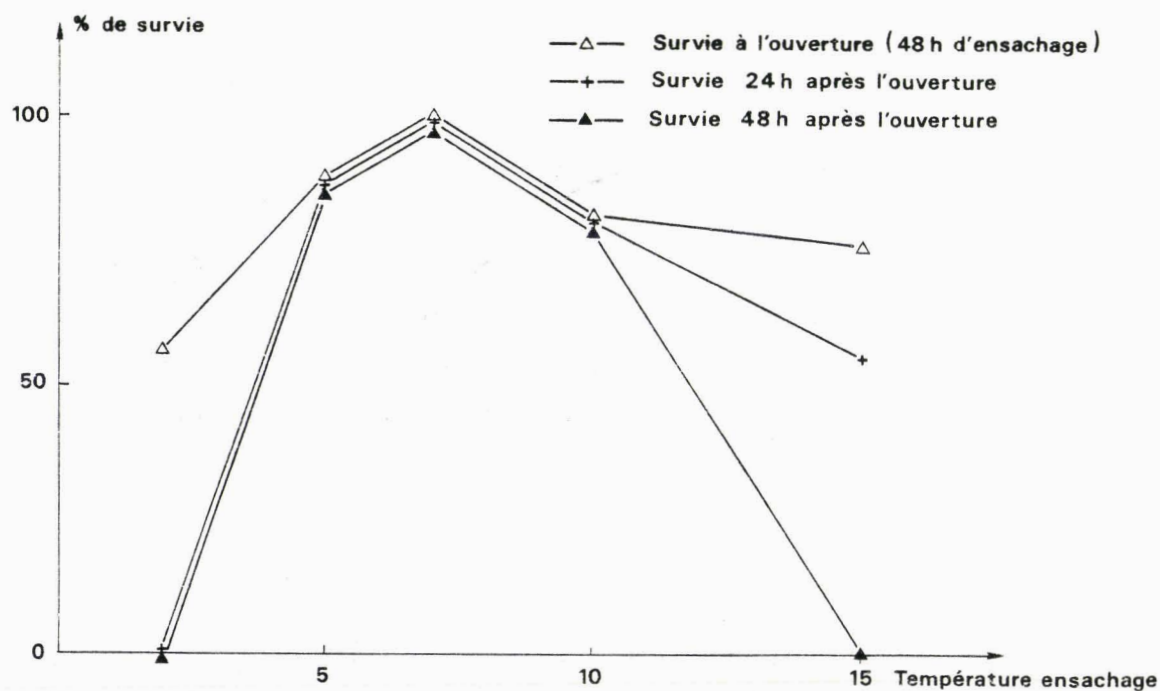


Fig. 44 : Pourcentage de survie en fonction de la température d'ensachage.

2.2.3. Salinité

Dans les limites normales de salinité (20 à 40 g/l) aucune mortalité n'est décelable, toutefois, plus la salinité augmente, moins la diffusion de l'oxygène dans le milieu est possible (tableau 21). Pour des valeurs de 60 g/l à 70 g/l, les *Artemia* ensachées se placent en surface de l'eau et forment un matelas compact.

Salinité g/l	O ₂ dissous après 24 h (3 litres de milieu - 300 g d' <i>Artemia</i>)
20	2,7
30	1,5
40	0,8
50	0,5
60	0,5
70	0,1

Tableau 21 : Taux d'oxygène mesuré sur des tests
ayant donné des résultats positifs

Bien qu'il apparaisse que les basses salinités facilitent la diffusion de l'oxygène, le choix a porté pour des valeurs de 40 à 50 g/l afin de limiter le métabolisme des *Artemia* et diminuer la dégradation du milieu par voie bactérienne.

2.2.4. Rapport oxygène-eau

Les sacs utilisés, d'un volume total de 9 litres étaient remplis au tiers d'eau, les deux tiers restant étant occupés par de l'oxygène. Au bout de 12 heures, pour une température d'ensachage de 7°C, des analyses de la fraction gazeuse sur 3 sacs ont révélé une consommation moyenne de 35 % de l'oxygène par les 300 g d'*Artemia* (tableau 22).

	Sac 1	Sac 2	Sac 3
O ₂	67,5	57,7	71,5
N ₂	28,4	28,4	20,5
CO ₂	3,6	13,9	8,5

Tableau 22 : Composition de la fraction gazeuse
après 12 h d'ensachage

Une expérience réalisée dans des sacs de 9 litres contenant divers volumes d'eau avec des charges de 10 % d'*Artemia* et conservés à $20 \pm 3^\circ\text{C}$ a permis de définir la proportion d' O_2 à insuffler dans le sac en fonction de la durée du transport (tableau 23).

Sac	Vol. eau 1	Vol. O_2 1	$\frac{\text{Vol } \text{O}_2}{\text{Vol eau}}$	Poids d'Art.	% Survie						
					24 h	32	48	60	72	84	96 h
1	0,5	8,5	17	50	100	100	100	100	95	75	50
2	1	8	8	100	100	100	95	95	75	50	0
3	1,5	7,5	5	150	100	100	50	0			
4	2	7	3,5	200	100	100	20	0			
7 ⁺	2	7	3,5	200	100	100	95	95	50	30	0
5	2,5	6,5	2,6	250	100	90	0				
8 ⁺	2,5	6,5	2,6	250	100	100	95	95	30	0	
6	3	6	2	300	100	90	0	0			

Tableau 23 : Pourcentage de survie pour différents rapports oxygène/eau

⁺ La phase gazeuse est renouvelée toutes les 24 h.

La figure 45 permet de mettre en évidence que la survie est fonction de la quantité d'oxygène emprisonnée dans le sac. Le renouvellement de la phase gazeuse toutes les 24 heures permet de prolonger le transport.

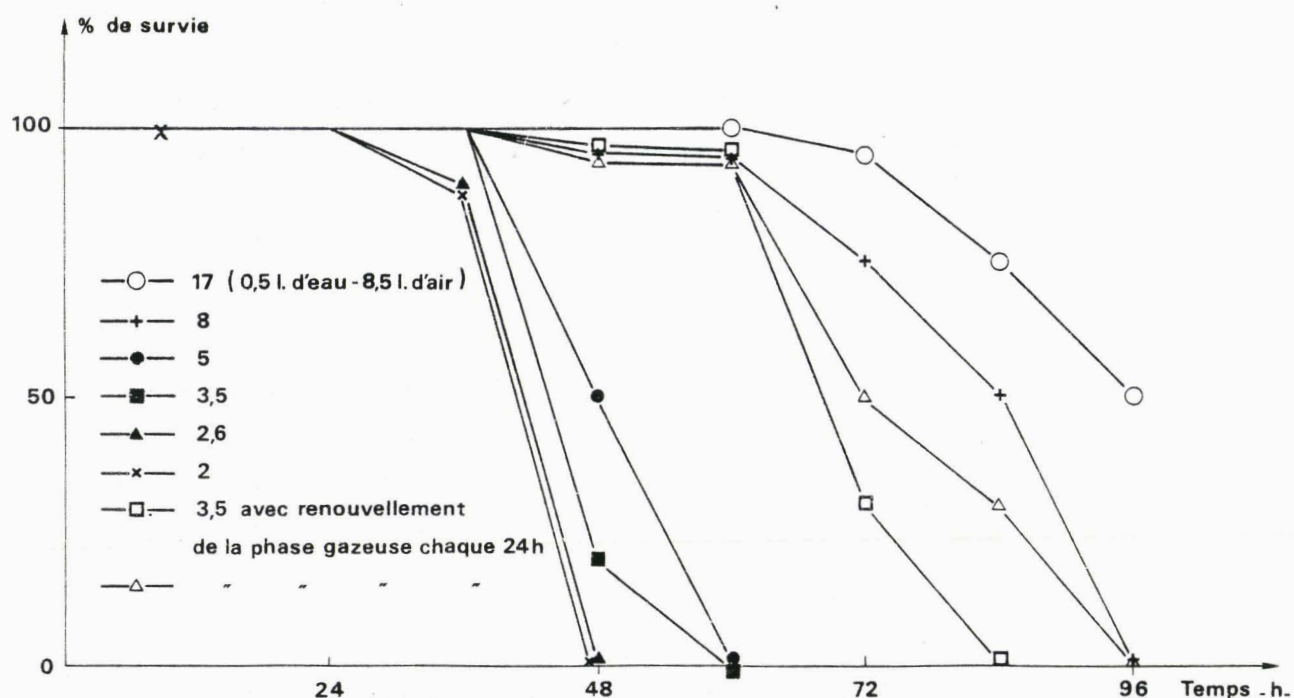


Fig. 45 : Taux de survie en fonction de la durée du transport et du rapport oxygène sur eau

Ces résultats montrent que nos essais effectués dans trois litres d'eau pour six litres d'oxygène avec des charges en *Artemia* de 100 g par litre sont à la limite des possibilités. Les résultats positifs obtenus après 48 h sont dus au ralentissement du métabolisme des animaux provoqué par le refroidissement du milieu.

2.2.5. La charge en animaux

Liée directement à l'oxygène disponible dans le sac, la charge en *Artemia* doit être modulée en fonction de la durée du transport souhaité. Passé le seuil limite, pour des conditions identiques l'augmentation de la charge se concrétise toujours par une augmentation de la mortalité.

2.2.6. La provenance des animaux

Après les tests sur les animaux pêchés dans les salines, nous avons tenté des expéditions avec des animaux d'élevage adultes et juvéniles. Dans des conditions identiques, il s'est avéré que ces derniers ne supportaient pas les basses températures et qu'il était souhaitable de les expédier à des températures ambiantes de l'ordre de 20°C. Afin de pallier à la forte consommation d'oxygène le rapport oxygène/eau fut porté à 8.

Les dix expéditions dont cinq réelles effectuées avec des animaux d'élevage d'une taille comprise entre 6 et 9 mm donnèrent 100 % de survie à l'ouverture. Par contre, après 24 heures de stockage, 25 à 50 % de mortalité fut décelée.

Cette expérience montre que les animaux élevés sont plus sensibles aux chocs thermiques mais supportent mieux de faibles taux d'oxygène. Ces constatations correspondent aux conditions d'élevage puisque dans les cultures, la température est maintenue à 25°C et le taux d'oxygène dépasse rarement 2 ppm durant les derniers jours.

En pleine croissance et habitués à s'alimenter en permanence, il est probable que c'est le manque d'alimentation pendant les 72 heures qui est à l'origine de la mortalité. Pour cette raison, quelle que soit l'origine des animaux, un stockage préalable n'est pas souhaitable, seul un transit rapide de 1 à 2 heures peut être envisagé pour l'obtention d'un produit de qualité.

2.2.7. L'âge des animaux

Quatre expéditions fictives réalisées avec des *Artemia* d'élevage de différentes tailles ont montré que plus l'animal est âgé, mieux il supporte le transport (tableau 24).

Age	Taille	% Survie à l'ouverture
6 jours	1,8 ± 0,3 mm	20 ± 9,2
13 jours	3,1 ± 0,41 mm	53 ± 13,5
20 jours	4,5 ± 0,62 mm	70 ± 17,8
26 jours	6 ± 0,82 mm	87 ± 9,3
<i>Artemia</i> des salines	8 ± 0,25	100

Tableau 24 : Influence de l'âge des animaux sur la survie

Ce résultat est opposé à celui auquel on pouvait s'attendre puisque le nauplius est connu pour être plus résistant que l'adulte aux chocs thermiques et de salinités (SORGeloos et LEGER, communication personnelle).

2.3. CONCLUSION

D'après ces différentes observations, il est possible de définir les critères à suivre pour assurer une survie de 100 % suivant le temps d'ensachage et l'origine des *Artemia*.

Le milieu de transport à une salinité de 40 g/l doit être préoxygéné durant 24 heures et tamponné avec du bicarbonate (3,3 g/l). Pour des animaux prélevés dans la nature, il est possible de refroidir le milieu. Il semble important de ne pas descendre au dessous de 5° C.

Pour des charges de 100 g d'*Artemia*, le rapport oxygène/eau sera variable en fonction de la durée du transport. De 2 pour des expéditions de 24 heures, il sera de 8 pour 48 h et de l'ordre de 20 pour 72 heures. Pour diminuer les volumes transportés, le renouvellement de la phase gazeuse chaque jour peut être envisagé.

Dès la réception, les *Artemia* récoltés sur un tamis doivent être placés dans un milieu bien oxygéné à des densités de 5 kg par m³.

Une distribution d'air surpressé est nécessaire. Les diffuseurs en porcelaine ou en bois sont à proscrire car ils émettent de petites bulles. Celles-ci piégées par les thoracopodes des *Artemia* jouent le rôle de bouée et gênent les animaux dans leurs déplacements.

Pour des stockages de plus de 24 h une alimentation et un système d'épuration doivent être prévus. Le milieu pourra être naturel ou synthétique. Dans ce dernier cas, deux compositions peuvent être utilisées : celle de l'Artemia Reference Center et celle du Croisic (tableau 25).

	Croisic	Artemia Reference Center
NaCl	26 kg/m ³	31,08 kg/m ³
Mg SO ₄	12 kg/m ³	7,74 kg/m ³
Mg Cl ₂		6,9 kg/m ³
Ca Cl ₂	1,5 kg/m ³	1,53 kg/m ³
KCl	0,7 kg/m ³	0,97 kg/m ³
Na HCO ₃	0,45 kg/m ³	1,8 kg/m ³

Tableau 25 : Milieu synthétique pour l'élevage des *Artemia*

Le transport de plus grandes quantités d'*Artemia* peut être réalisé dans une citerne en résine armée. Pendant le parcours, une aération par le fond dans la citerne est indispensable, il est souhaitable de maintenir un volume d'air renouvelé au dessus du milieu de transport. Suivant les charges qui ne doivent pas dépasser 20 kg par m³, une réfrigération peut être envisagée ainsi qu'une filtration primaire du milieu pour des transports excédant 4 jours.

3 - UTILISATION D'ARTEMIA EN ECLOSERIE

Maillon important de la chaîne trophique dans les écloseries de poissons et crustacés marins, l'*Artemia* n'est le plus souvent utilisé que du stade nauplius au stade métanauplius. Le prix de revient reste le facteur limitant pour l'utilisation de juvéniles et d'adultes (DIVANACH, 1983).

L'installation à la Station marine de Wimereux d'une unité de production d'*Artemia* a permis de tester les diverses possibilités d'utilisation du stade nauplius à l'adulte sur un prédateur localement abondant dont il est possible de pêcher des femelles œuvées toute l'année : *Crangon crangon*.

3.1. METHODE

3.1.1. Obtention des *Artemia*

L'installation est composée de trois bacs de 70 litres alimentés en permanence à partir d'un bac de chauffage de 120 litres à niveau constant. Afin d'éviter tout colmatage, les débits dans les bacs d'élevage sont ajustés à l'aide de différentes capsules en plastique percées d'un trou de diamètre différent. L'eau est ensuite décantée dans deux décanteurs de 80 litres puis traitée dans un filtre biologique. Clarifiée dans deux bacs de 400 litres, elle est ensuite réinjectée dans le bac de chauffage (fig.46).

La nourriture composée de son de maïs ou de son de riz micronisé est dosée à 50 g de produit sec par litre de saumure. Elle est fournie de façon semi-continue par des pompes péristaltiques à débit variable conçues et réalisées à la Station marine à partir de moteurs Crouzet. Un programmeur permet une automatisation du système (fig.47). Les bacs inoculés à une semaine de décalage permettent d'obtenir en permanence des *Artemia* de 2 à 8 mm.

3.1.2. Obtention des zoés de *Crangon crangon*

Des femelles œuvées dont les œufs sont proches de l'éclosion sont capturées à marée basse à l'aide d'un rai. Elles sont stockées dans un bac avec une

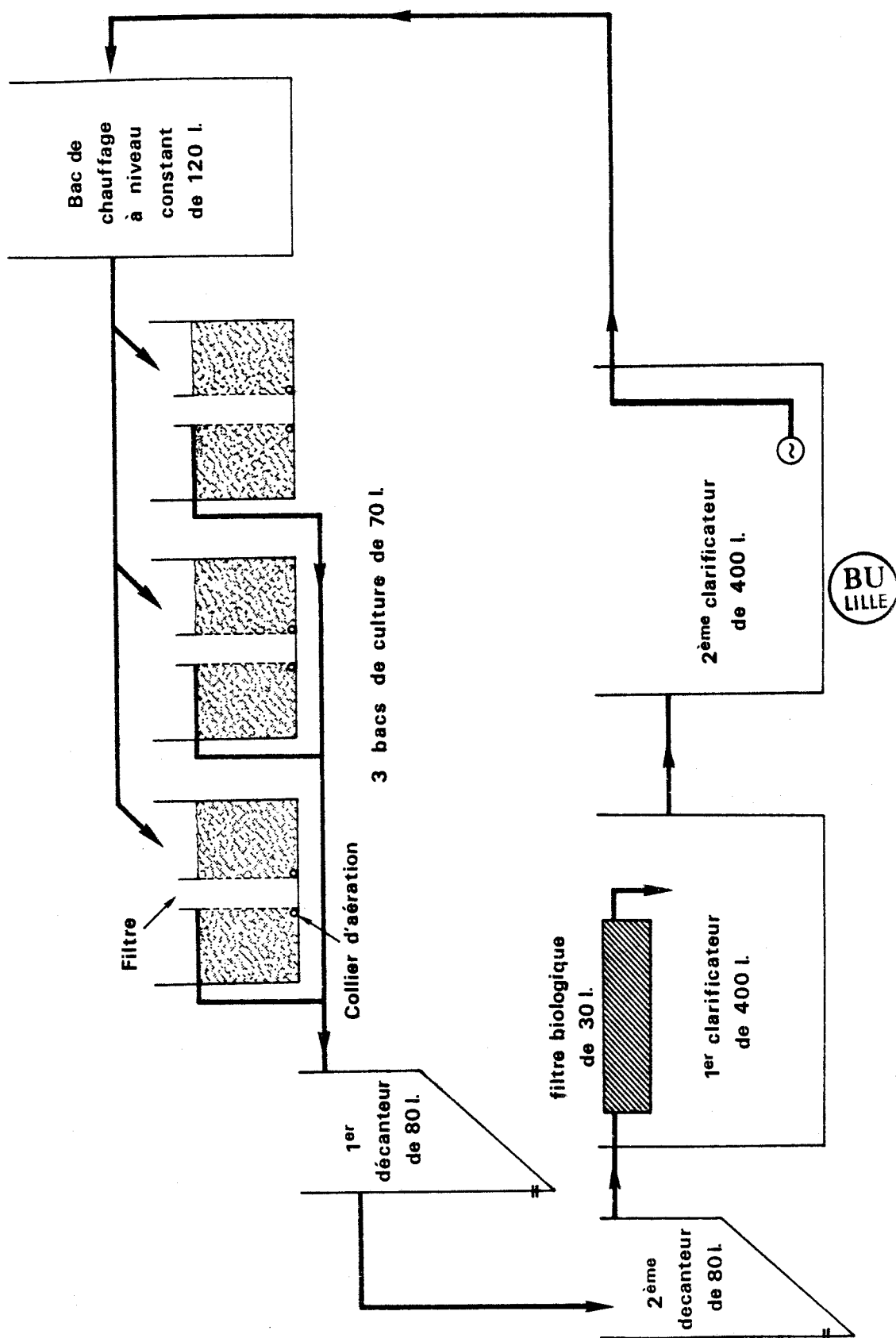
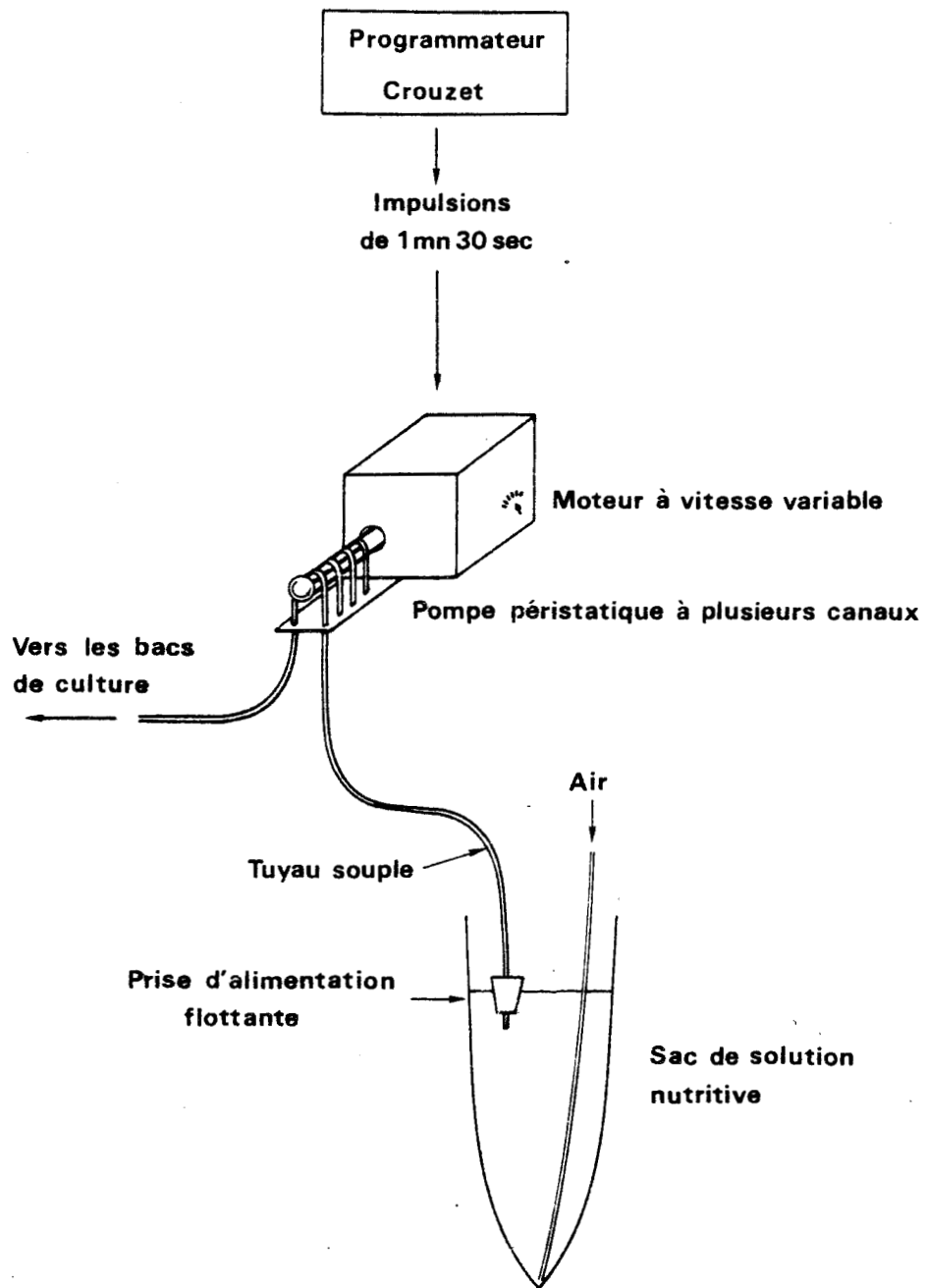


Fig. 46 : Unité de production d'*Artemia* en circuit fermé installée

à la Station Marine



**Fig. 47 : Système de distribution automatique
d'alimentation**

alimentation continue en eau de mer chauffée à 17°C. Entraînées par le courant, les zoés passent à travers une grille de 5 mm de vide de maille puis par une chute se concentrent dans le troisième compartiment du bassin dont la vidange est obturée à l'aide d'une toile de 200 microns (fig.48). Récoltées dès leur éclosion, elles sont ensuite placées dans les récipients pour les expériences.

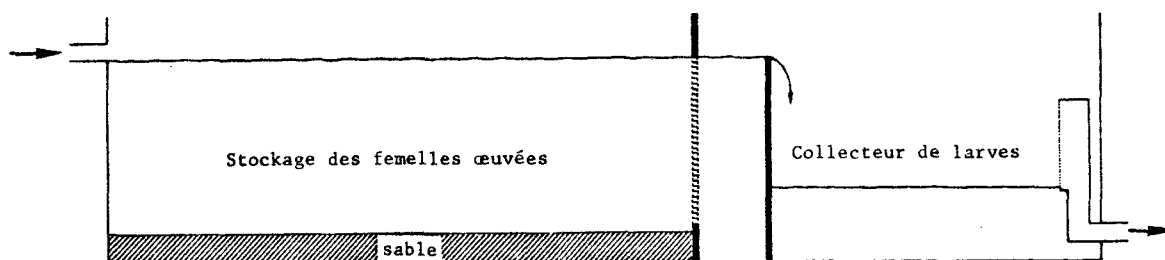


Fig.48 : Bac d'éclosion

3.1.3. Test sur les zoés

Les larves élevées suivant une technique proche de celle de COSTLOW et BOOKHOUT (1968) sont placées dans des pots de 8 cm de diamètre contenant 200 ml de milieu, les larves subissent une photopériode naturelle. Lors des premières expériences pour la détermination des optima, les larves sont alimentées avec cinq nauplii d'*Artemia* de GSL Sanders lot 218-1 par ml. Le milieu est renouvelé tous les deux jours.

Le développement larvaire observé dans chaque expérience est estimé selon les critères suivants :

- pourcentage de survie à 6, 10, 20, 24 jours puis tous les 10 jours si nécessaire,
- pourcentage de postlarves,
- longueur de la vie larvaire, c'est-à-dire le temps nécessaire pour que 50 % des animaux vivants se métamorphosent,
- étalement de la métamorphose (nombre de jours entre la première et la dernière métamorphose dans un même lot).

3.2. RECHERCHE DES OPTIMA POUR L'ELEVAGE LARVAIRE DE *CRANGON crangon*

Mis à part les travaux de EHRENBAUM (1890) sur les différents stades larvaires et quelques observations sur la nutrition comme celles de MEIXNER (1966), peu de littérature existe sur la phase larvaire de *Crangon crangon*. Nous avons donc

tenté de définir les conditions optimales pour l'élevage des larves, de l'éclosion à la métamorphose.

3.2.1. Influence de la charge en larves par litre

Nous avons étudié l'effet de ce facteur à $19 \pm 2^{\circ}\text{C}$. A chaque charge correspond une série de cinq pots. L'eau est renouvelée tous les deux jours. Les conditions et les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Nb de <i>Crangon</i>		Survie en %				% de PL à 24 j	L	E
par pot	par litre	6 j	10 j	20 j	24 j			
10	50	54 ± 15,2	42 ± 10,9	26 ± 8,9	20 ± 10	10	23	4
20	100	53 ± 27,9	31 ± 19,8	18 ± 14,8	12 ± 8,3	5	23	5
30	150	41,3 ± 9,5	23,9 ± 9,3	13,9 ± 4,9	10,6 ± 4,9	3,3	23	4
40	200	40 ± 14,9	24,5 ± 8,9	13,5 ± 5,2	10,5 ± 4,8	3	24	4
50	250	38,4 ± 23,7	19,6 ± 13,8	10 ± 6,8	6,8 ± 4,9	2,4	23	4

Tableau 26 : Influence de la charge sur la survie, le % de post-larves (Ph) la longueur de la vie larvaire (L), et l'étalement de la métamorphose (E)

La figure 49 permet de mettre en évidence que plus la charge est important plus la mortalité est forte. Toutefois, quelle que soit la charge initiale, elle se stabilise dès la métamorphose.

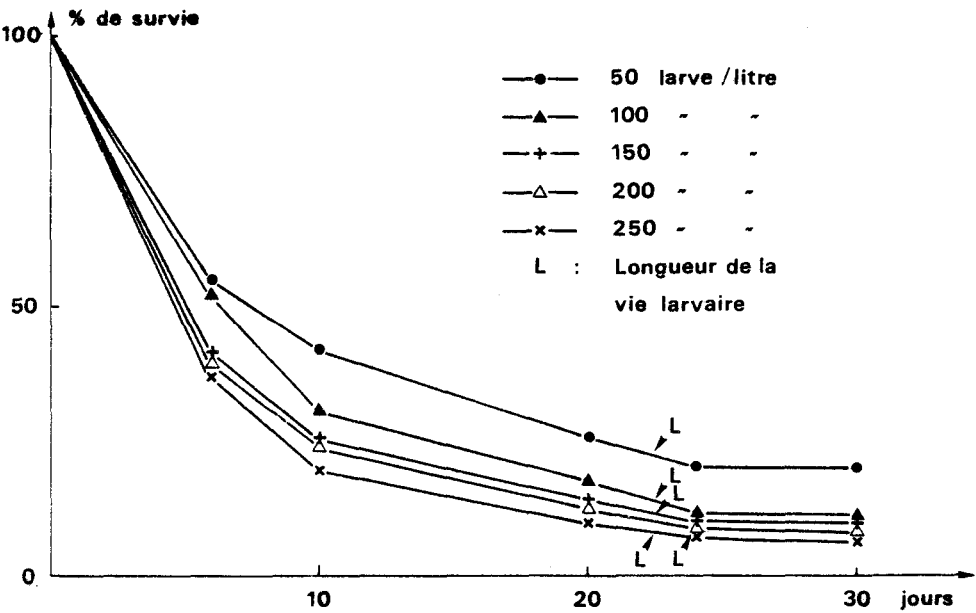


Fig. 49: Développement larvaire de *Crangon crangon* en fonction de la charge en larves par litre

Le taux d'oxygène ne semble pas être la cause de cette mortalité puisqu'il a toujours été supérieur à 4 ppm. La longueur de la période larvaire et son étalement n'est pas influencée par la charge. La métamorphose intervient le 23^e ou 24^e jour.

En fonction de ce résultat, nous avons choisi de travailler par la suite avec 10 crevettes par pot soit 50 par litre.

3.2.2. Influence de l'oxygénation du milieu

Le milieu est oxygéné par un bullage par le fond (3 bulles par seconde). Cette aération ne provoque pas de turbulences importantes. La température durant l'expérience est de 19°C.

L'oxygénation même faible est néfaste pour les jeunes larves (tableau).

	Nb de <i>Crangon</i> par l	% de survie				% de PL à 24 j	L	E
		6 j	10 j	20 j	24 j			
pas d'oxygnéation	50	80 ± 12,2	74 ± 8,9	44 ± 8,9	38 ± 8,3	32 ± 8,4	21	7
oxygénation	50	76 ± 18,2	68 ± 16,4	46 ± 16,7	26 ± 15,2	16 ± 15,2	22	7

Tableau 27 : Influence de l'oxygénation

L = Longueur de la vie larvaire

E = Etalement de la métamorphose.

Ce résultat peut s'expliquer par le fait que les jeunes *Crangon* ne chassent pas leur proie mais les capturent au hasard de leurs déplacements sur le fond du récipient. Elles saisissent les nauplii par l'abdomen et les "rongent" de la partie postérieure à la partie antérieure. L'agitation même faible provoque des turbulences qui entraînent les *Artemia* ou les libèrent de l'emprise des larves. Toute aération du milieu fut donc abandonnée.

3.2.3. Influence du substrat

Sur deux séries de cinq pots, l'existence d'un substrat meuble (sable de 500 microns) n'a pas permis de mettre en évidence un effet bénéfique sur la survie et la longueur de la période de métamorphose par rapport à une série sans substrat (tableau 28).

	Nb de <i>Crangon</i> par l	% de survie				% de PL à 24 j	L	
		6 j	10 j	20 j	24 j			
substrat meuble	50	68 ± 5,8	62 ± 9,8	53 ± 16,2	41 ± 17,2	21,2 ± 8,2	24	0
aucun substrat	50	74,3 ± 12,4	56,6 ± 5,7	43,3 ± 15,2	40 ± 10	23,3 ± 5,8	24	0

Tableau 28 : Influence du substrat

Les expériences suivantes ont donc été réalisées sans aucun substrat.

3.2.4. Influence de la salinité

Cinq niveaux de salinité ont été testés : 13, 23, 28, 33, 38 g/l. L'une des séries de cinq pots effectuées à 33 g/l le fut avec une eau préalablement filtrée sur 0,45 micron. La température de l'expérience était de $19 \pm 2^\circ\text{C}$. Les pots sont couverts afin de limiter l'évaporation. Le tableau 29 donne les résultats obtenus.

	Nb de <i>Crangon</i> par l	% de survie				% de PL à 24 j	L	F
		6 j	10 j	20 j	24 j			
13 g/l	50	+ (J2)						
23 g/l	50	13,3 ± 5,8	+ (J8)					
28 g/l	50	40 ± 20	36,7 ± 20,8	30 ± 26,5	16,6 ± 5,8			
33 g/l	50	73,3 ± 9,8	47 ± 5,7	34 ± 12,2	27 ± 16,8	14 ± 5,7	24	0
33 g/l ⁺	50	80 ± 5,7	60 ± 0	38 ± 6,8	30 ± 10	16 ± 5,8	24	0
38 g/l	50	+ (J5)						

Tableau 29 : Influence de la salinité

⁺eau filtrée sur 0,45 microns

A des basses salinités de 13 et 23 g/l, les larves ne survivent pas plus de 8 jours. A 38 ‰ la totalité des larves meurt en 6 jours. Seules les larves élevées à 33 g/l ont atteint le stade de postlarve. A 28 ‰ aucune métamorphose n'est constatée malgré un pourcentage de survie au 20^e jour proche de celui observé à 33 ‰. La filtration de l'eau semble avoir un effet légèrement positif (fig 50).

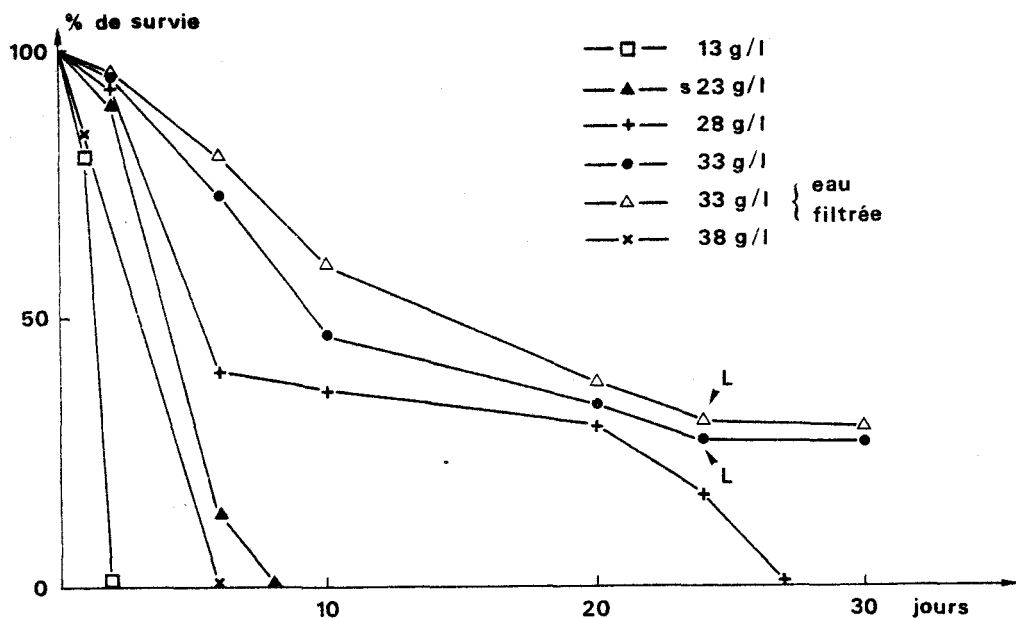


Fig. 50: Développement larvaire
en fonction de la salinité

3.2.5. Influence de la température

Afin d'éliminer le stress dû au changement de température, les larves récoltées dans le bac d'éclosion à 8°C sont acclimatées progressivement durant 4 à 6 heures avant d'être installées par 10 dans les pots. Ceux-ci sont placés par série de 5 dans les 5 bacs thermostatés à 8, 16, 19, 22, 26 et 30° C. Les résultats sont réunis dans le tableau 30 ci-dessous.

Temps	Nb de Crangon par l	% de survie							L	E
		6 j	10 j	20 j	30 j	40 j	50 j	60 j		
8	50	86,3 ± 24,2	78 ± 21,4	54 ± 15,7	26,9 ± 16,6	16 ± 12,8	4,2 ± 3,1	4,2 ± 3,1	58 j	16
16	50	82 ± 12,3	66 ± 20,8	39,3 ± 12,4	24,3 ± 13,7	17,4 ± 8,9 ^f			30 j	9
19	50	83,3 ± 7,8	57 ± 8,9	44 ± 12,2	36 ± 5,7 ^f				24 j	5
22	50	90 ± -	83 ± 7,5	73 ± 15,3 ^f					16 j	2
26	50	70 ± 17,3	56 ± 11,5	36,2 ± 11,5 ^f					14 j	2
30	50	† (J1)								

Tableau 30 : Influence de la température
+ % de PL

Les figures 51, 52 et 53 montrent que :

- l'élévation de température de 8 à 26°C diminue la durée de la vie larvaire de 75 % en moyenne et que 30°C est la limite létale supérieure,
- de 8 à 22°C le pourcentage de métamorphose s'accroît de 70 % en moyenne. Ce résultat s'explique par le fait que la mortalité augmente en fonction de la durée de la vie larvaire. A 26°C, le phénomène est inverse ; malgré des durées larvaires inférieures, la mortalité est supérieure à celle observée à 22°C,
- l'étalement de la métamorphose s'accroît en fonction de la durée de la phase larvaire,
- l'optimum semble donc se situer à 22°C.

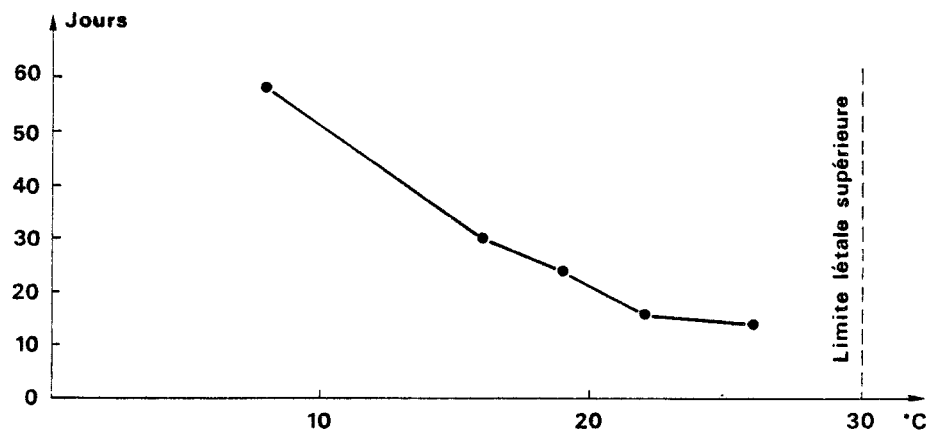


Fig. 51 : Longueur de la vie larvaire en fonction de la température

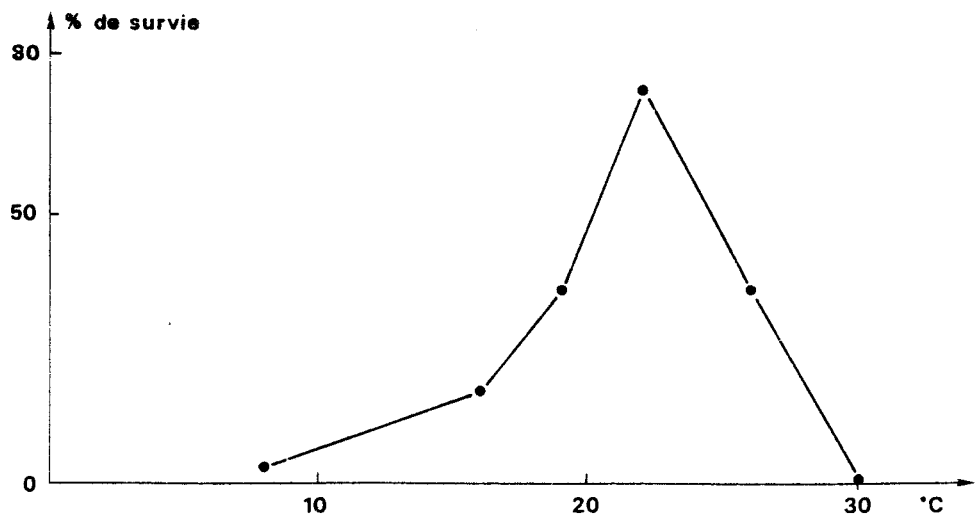


Fig. 52 : % de survie lors de la métamorphose

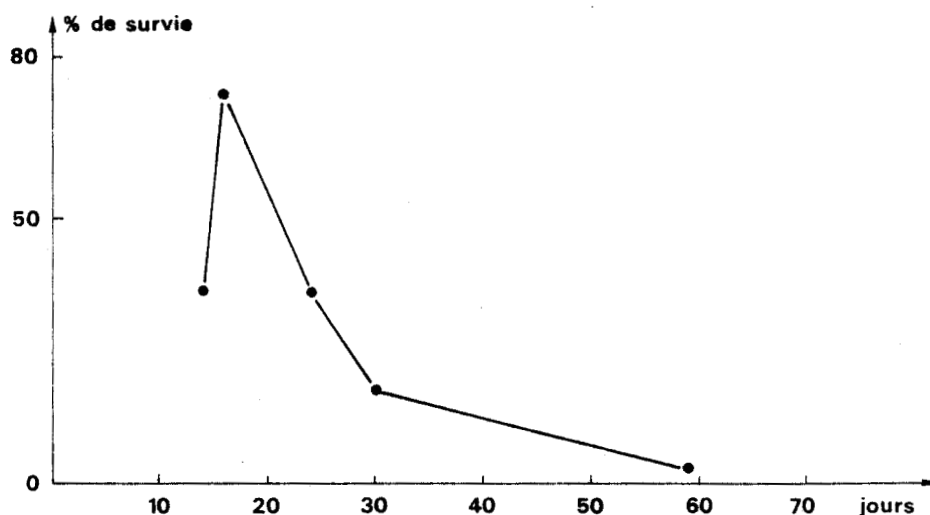


Fig. 53 : % de survie en fonction du temps nécessaire à la métamorphose

3.2.6. Alimentation

Bien qu'il apparait dans les expériences précédentes que les larves s'alimentent aisément de nauplii d'*Artemia*, nous avons tenté d'améliorer cette alimentation par un apport phytoplanctonique de *Dunaliella viridis* et d'affiner la concentration en nauplii par ml de milieu. Les algues sont obtenues dans le milieu de culture de WALNE (1966) à des concentrations de 5×10^4 cellules par ml. Pour une température de 22°C et une salinité de 33 g/l, les doses nutritionnelles et les résultats sont réunis dans le tableau 31 ci-dessous.

	Nb de <i>Crangon</i> par l	% de survie				L	E
		6 j	10 j	20 j	30 j		
Aucune alimentation	50	+ (J4)					
10 ml d'algues par pot par j	50	92 ± 5,7	+ (J8)				
3 ml d'algues + 3 nauplii par ml	50	63 ± 7,8	40 ± 8,7	38 ± 11,5		18	3
Nauplii							
1 par ml	50	90 ± 8,2	40 ± 17,2	21 ± 11,5	9 ± 5,7	24	8
2 par ml	50	86 ± 11,5	67 ± 11,6	57 ± 13,8	41 ± 11,9	20	5
3 par ml	50	91 ± 6,2	86 ± 11,3	81 ± 12,8		16	2
5 par ml	50	89 ± 5,2	84 ± 10,8	72 ± 13,6		16	2

Tableau 31 : % de survie à 6, 10, 20 et 30 j
Longueur et étalement de la métamorphose en fonction des régimes alimentaires

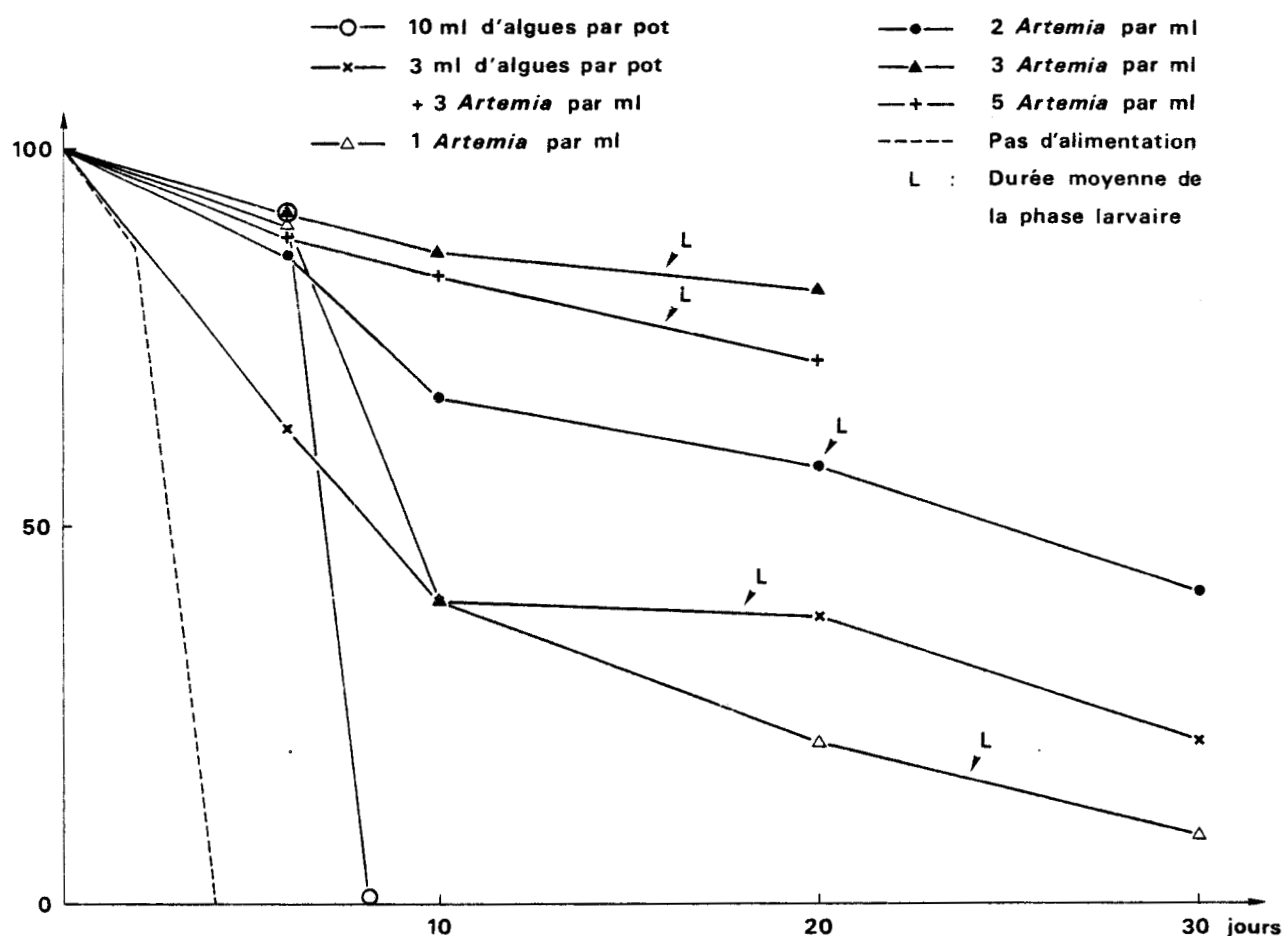


Fig. 54 : % de survie suivant différents régimes alimentaires

La figure 54 permet de constater qu'une alimentation algale ne permet pas un développement correct des larvès et qu'elles meurent dès le 6^e jour.

L'élévation de la concentration de nauplii par ml de milieu de 1 à 3 accroît le pourcentage de survie de 50 % en moyenne et diminue la longueur de la vie larvaire de 8 jours soit 33 %. Par ailleurs, l'adjonction d'algues provoque une mortalité supérieure et allonge légèrement la durée de la phase larvaire. Dans les conditions expérimentales, la marge de concentration favorable à un développement larvaire complet pour une survie supérieure à 50 % est réduite entre 2 et 5 *Artemia* par ml. Les conditions optimales sont réalisées à 3 nauplii par ml.

3.2.7. Conclusion

D'après ces expériences il est possible de définir les conditions optimales de l'élevage larvaire de *Crangon crangon* que nous appliquerons lors des tests sur l'utilisation d'*Artemia* (Tableau 32).

. Milieu d'élevage	- filtration sur 0,45 microns - salinité 33 g/l - température 22°C - pas d'oxygénation (renouvellement du milieu tous les deux jours) - pas de substrat sableux
. Charge en zoés	- 50 par litre soit 10 par pot
. Concentration en nauplii	- 3 à 5 par ml de milieu

Tableau 32 : Conditions optimales de l'élevage larvaire de *Crangon crangon*

3.3. TECHNIQUE D'UTILISATION DES NAUPLII EN ECLOSERIE

Réaliser des éclosions dans les meilleures conditions (Chapitre I) ne suffit pas pour obtenir une nourriture de qualité. Incapable de s'alimenter les nauplii consomment rapidement leurs réserves pour se transformer en stade II puis III. Ce développement provoque une diminution du poids frais de 24 % ainsi qu'une perte de 27 % du taux de lipides et des réserves caloriques (BENIJTS et al, 1976). Il sera donc capital de récolter les *Artemia* dès leur éclosion et d'alimenter les larves de prédateurs exclusivement avec des nauplii. Les basses températures ralentissant le métabolisme, certains utilisateurs les conservent dans le réfrigérateur (MOCK, 1980 ; LEGER, 1982). Dans un même but de rendement optimum, la décapsulation des cystes qui, par ailleurs présente de nombreux avantages : désinfection des cystes, accroissement du taux d'éclosion, absence de débris coquilliers, permet d'obtenir des nauplii de plus grande valeur nutritive (BRUGGEMAN et coll, 1980). Nous avons tenté d'étudier l'influence de la conservation des nauplii et de la décapsulation des cystes sur le développement larvaire de *Crangon crangon* dans les conditions déterminées dans le paragraphe précédent.

Ces tests ont été effectués avec deux souches d'*Artemia* : Great Salt Lake lot 218.1 et San Francisco Bay*.

* Souche obtenue auprès de Artemia Reference Center.

3.3.1. Influence de la conservation

Les nauplii dès l'éclosion sont rincés avec de l'eau filtrée sur 0,45 μ . Ils sont conservés à des concentrations de 10 000 par ml à $6 \pm 1^\circ$ C dans un verre à pied de 750 ml durant 6 jours. Un bullage par le fond assure le mélange et l'oxygénation du milieu.

Considérant chaque souche d'*Artemia* et la durée de conservation des nauplii, la survie de ceux-ci d'une part et des larves de *Crangon* d'autre part ainsi que la longueur et l'étalement de la métamorphose sont rapportés dans le tableau 33. Chaque essai comporte une série de 5 pots.

Souche	Temps de conservation en jours	% de survie après conservation	Taille des nauplii en microns	% de survie des larves de <i>Crangon</i>			L	E
				63	105	205		
GSL	0	100	484	92 $\pm$ 7,2	85 $\pm$ 10,4	75,2 $\pm$ 10,9	16	2
	2	96	529	93,5 $\pm$ 8,4	82,5 $\pm$ 14,3	74,8 $\pm$ 13,4	16	2
	4	91	635	91,7 $\pm$ 9,8	82,8 $\pm$ 13,2	73,5 $\pm$ 12,4	16	3
	6	85	738	73 $\pm$ 10,5	65,8 $\pm$ 12,6	45,2 $\pm$ 11,3	18	4
SFB	0	100	418	78,6 $\pm$ 12,3	71,4 $\pm$ 9,3	58 $\pm$ 9,8	16	2
	2	100	435	72 $\pm$ 9,8	65 $\pm$ 13,1	53 $\pm$ 7,8	16	3
	4	92	511	65 $\pm$ 12,1	62,2 $\pm$ 14,1	53,2 $\pm$ 8,7	17	3
	6	82	662	47 $\pm$ 17,1	37 $\pm$ 14,2	36,3 $\pm$ 12	17	4

Tableau 33 : Influence de la conservation des nauplii à $6 \pm 1^\circ$ C sur la phase larvaire de *Crangon*.

A l'examen du tableau 33 nous pouvons constater que, suivant la souche, l'accroissement de la durée de conservation de 0 à 6 jours fait chuter la survie de 15 à 18 %, et que les nauplii de Great Salt Lake et San Francisco Bay grandissent respectivement de 35 % et 37 % malgré une température de 6° C.

De la figure 55 il ressort que les larves de *Crangon* se développent mieux si elles sont alimentées de nauplii de GSL. Ce résultat est en opposition avec les résultats obtenus sur d'autres crustacés décapodes (REEVE, 1969 ; WICHING, 1972 ; BOOKHOUT et COSTLOW, 1970).

La survie est influencée par la durée de conservation des nauplii si elle excède 4 jours. Pour 6 jours en fonction de la souche : GSL et SFB, le taux de survie chute respectivement de 30 % et 22,3 %.

A la concentration en *Artemia* fournie (5 par ml), la mortalité observée dans les stocks de nauplii ne peut pas expliquer celle constatée chez les larves de *Crangon*. L'accroissement de la taille ne semble pas non plus avoir d'effet puisque nous avons pu observer des zoés de 1 jour attaquer et maintenir dans leurs appendices des *Artemia* de 1 mm et plus.

Seule la consommation des réserves de nauplii d'où une diminution de leur qualité nutritionnelle peut en être la cause.

En fonction de ces résultats, il semble important de ne pas dépasser 4 jours de conservation pour une température de 6° C du moins pour des élevages dont les larves présentent les mêmes caractéristiques que *Crangon crangon*.

3.3.2. Influence de la décapsulation

La décapsulation consiste à détruire le chorion du cyste afin de diminuer les dépenses énergétiques utilisées pendant l'éclosion par le nauplius. Cette technique présente l'avantage d'accroître le pourcentage d'éclosion d'environ 5 % (BRUGGEMAN, 1980). Basée sur les travaux de BRUGGEMAN, la décapsulation pour 5 grammes de cyste est réalisée comme suit :

- Hydratation des cystes dans 100 ml de milieu agité par un bullage par le fond durant 1 h 30.
- Décapsulation
 - . Récupération des cystes sur un tamis de 100 µ
 - . Bain durant 10 minutes dans un milieu composé de NaOCl (2,5 g de produit actif) et de 3,5 ml de NaOH à 40 %.
 - . Rinçage
 - . Passage dans un bain de HCl à 0,1 N
- . Rinçage abondant
- . Conservation des cystes en saumure.

Fig. 55 : Influence de la conservation des *nauplii* sur la survie et la longueur de la phase larvaire de *Crangon crangon*

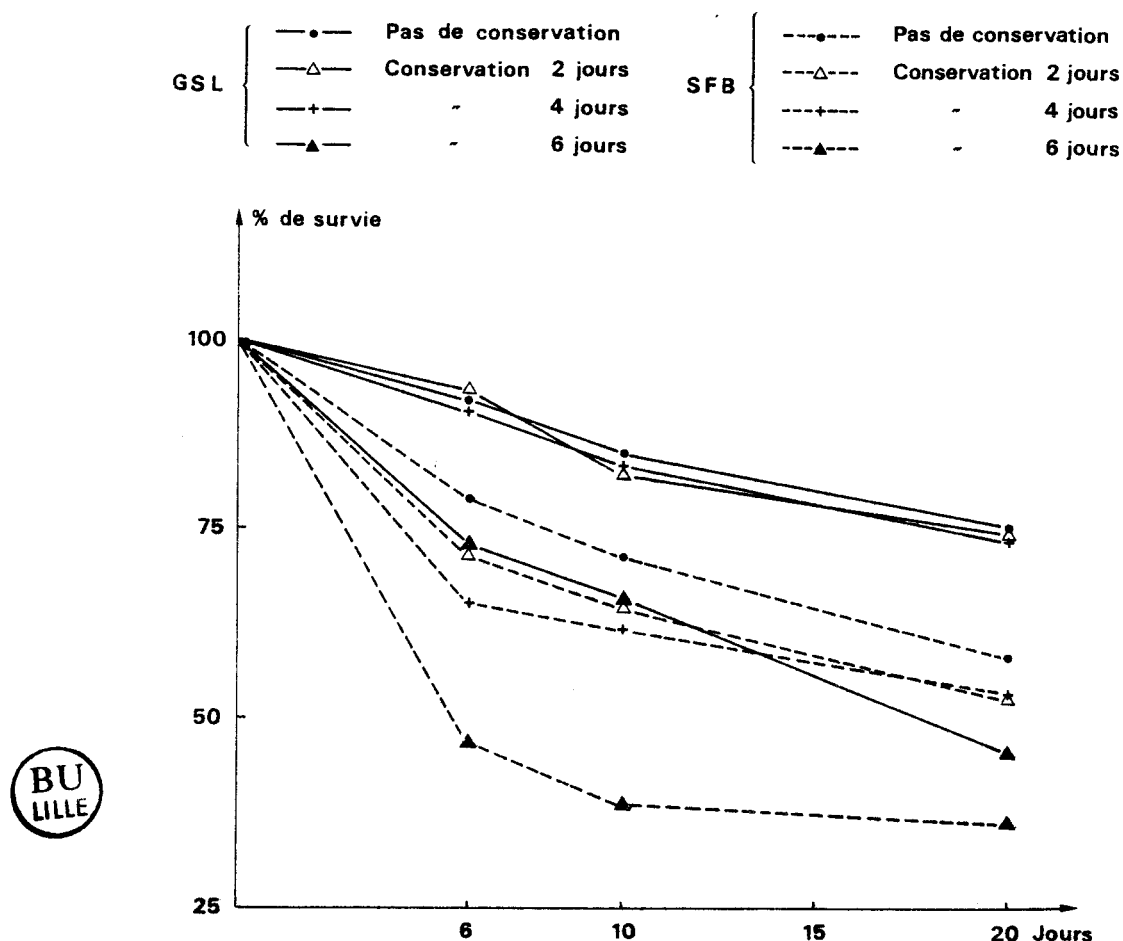
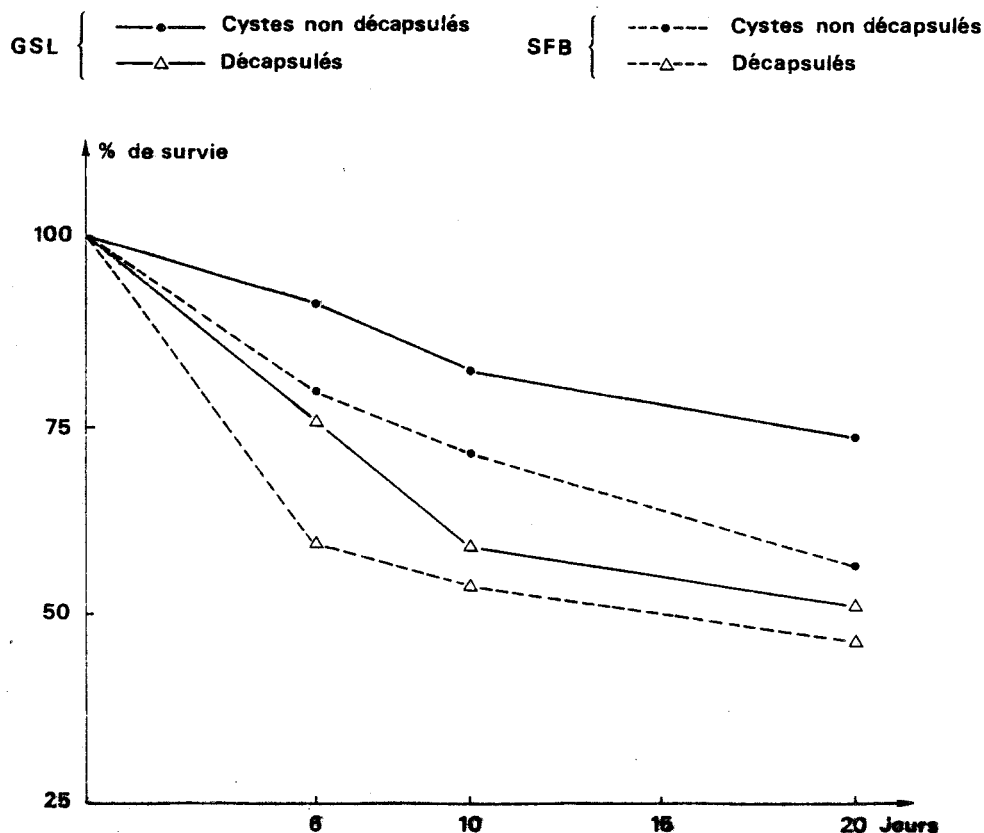


Fig. 56 : Influence de la décapsulation des cystes sur le développement de *Crangon crangon*



Nous avons tenté de définir l'influence de la décapsulation. Pour ce faire nous avons fourni aux larves de *Crangon* des cystes décapsulés de GSL et SFB à la même concentration que celle des nauplii éclos.

Les cystes se déposent sur le fond des pots puis éclosent après 15 à 20 heures.

L'observation a permis de constater que les larves, bien qu'intéressées, ingèrent très peu de cystes décapsulés et s'alimentent de nauplii dès leur éclosion. Les résultats sont réunis dans le tableau 34 et présentés graphiquement dans la figure 56.

Alimentation	65	Survie 105	205	L	E
GSL - Non décapsulé	91 ± 8,3	82,4 ± 9,8	73,5 ± 11,4	16	2
décapsulé	76 ± 11,4	5,9 ± 15,3	51 ± 17,3	15	2
SFB - Non décapsulé	79,4 ± 12,5	71,6 ± 9,7	56,4 ± 10,3	16	2
décapsulé	59,6 ± 11,6	54 ± 13,4	46,5 ± 16,2	16	2

La décapsulation n'est pas bénéfique puisqu'elle fait chuter la survie de 22,5 % et 9,9 % suivant la souche. Il en ressort toutefois, que les larves alimentées de nauplii nés de cystes décapsulés de GSL ont une vie larvaire légèrement plus courte.

Compte-tenu de la préparation nécessaire et de ces résultats, la décapsulation ne semble pas être une technique utilisable en écloserie du moins à grande échelle. Elle peut être envisagée pour des expériences de laboratoire ou en aquariophilie où les débris coquilliers peuvent être gênants.

3.3.3. Conclusion

Si la décapsulation ne semble pas être une technique intéressante, la conservation des nauplii facilite leur utilisation en limitant le nombre d'éclosion, puisqu'il n'est pas nécessaire de faire éclore des cystes chaque jour.

Par ailleurs, ces études ont permis de mettre en évidence la nécessité de tester les différentes souches d'*Artemia*. Dans notre cas les nauplii du lac UTAH donnent de meilleurs résultats que ceux de la Baie de San Francisco.

3.4. UTILISATION DES JUVENILES ET ADULTES D'ARTEMIA

Séparée dès la métamorphose pour éviter le cannibalisme, chaque post-larve est placée dans un pot contenant 200 ml d'eau de mer naturelle à 33 g/l à température constante $21 \pm 1^\circ \text{C}$.

Soumises à une photopériode naturelle, les nauplii étant trop petits (MEIXNER, 1966), les post-larves sont alimentées exclusivement de juvéniles d'*Artemia* de 2 à 6 mm pendant 2 à 3 semaines, puis d'adultes de 7 à 9 mm.

Le but de cette expérience est d'évaluer la ration alimentaire journalière en fonction de la taille et de tracer la courbe de croissance durant 4 mois, dans les conditions mentionnées ci-dessus.

3.4.1. Ration alimentaire

3.4.1.1. En fonction de la taille

Dès la métamorphose 12 *Crangon* (5 femelles et 7 mâles) ont été alimentées ad libitum. La ration journalière est obtenue par comptage des *Artemia* tous les jours (tableau 35).

Taille des <i>Crangon</i> en mm	Taille des <i>Artemia</i> en mm	Nb. d' <i>Artemia</i> ingérées par jour		Poids sec d' <i>Artemia</i> ingérées par jour	
		Fem.	Mâle	Fem.	Mâle
5 à 10	2 à 6	2,1	2,1	0,42	0,42
10 à 15	7	4	4,2	1,80	1,89
15 à 20	8	8,1	8,3	4,86	4,98
20 à 25	8	9,8	10,6	5,88	6,36
25 à 30	8 à 9	11,6	12,7	7,66	8,38
30 à 35	8 à 9	14,7	15,9	9,70	10,49

Tableau 35 : Consommation de 12 larves *Crangon* (5 femelles et 7 mâles) de la métamorphose à une taille de 35 mm.

Il ressort de cette étude que les mâles ingéreront plus d'*Artemia* par jour et qu'un accroissement de la taille de 5 à 35 mm nécessite une augmentation de la ration journalière de 96 % pour les mâles et de 95,7 % pour les femelles.

3.4.1.2. Au cours du cycle de mue

Lors de ces tests, il s'est avéré que le nombre d'*Artemia* ingéré par jour varie au cours du cycle de mue. Le tableau 36 donne les variations de la ration moyenne journalière obtenue sur 5 *Crangon* de 25 à 30 mm durant 2 mues successives.

	Mue	J+1	J+2	J+3	J+4	J+5	J+6	J+7	J+8	J+9	Mue
Nombre d' <i>Artemia</i> ingérées		6	7	10	10	13	13	11	5	4	
Poids sec d' <i>Artemia</i> ingéré en mg		3,6	4,2	6	6	7,8	7,8	6,6	3	2,4	

Tableau 36 : Variation de la consommation lors d'un cycle de mue (5 *Crangon* de 25 mm).

Il apparaît d'après ces résultats que la quantité d'aliments ingérée varie de 69 % dans un même cycle de mue. L'ingestion faible juste après et avant la mue atteint son maximum au 2/3 de la durée d'inter-mue.

3.4.2. Croissance

Effectuée sur 12 *Crangon* (6 femelles et 6 mâles) maintenues durant 120 jours dans les conditions précitées, la croissance moyenne obtenue s'est élevée pour les mâles à 32 mm et pour les femelles à 37 mm (Fig. 57). Les crevettes pesées à la fin de l'expérience, le taux de conversion poids sec d'*Artemia*/poids sec de *Crangon* s'élève à 3,41 pour les femelles et 4,09 pour les mâles (tableau 37).

	Fem.	Mâles
Accroissement pondéral en mg	193	173
Nourriture assimilée en mg	657,80	708,30
	3,41	4,09

Tableau 37. : Accroissement pondéral moyen et consommation moyenne de 12 crangons durant 120 jours (alimentation *Artemia* à différents stades.)

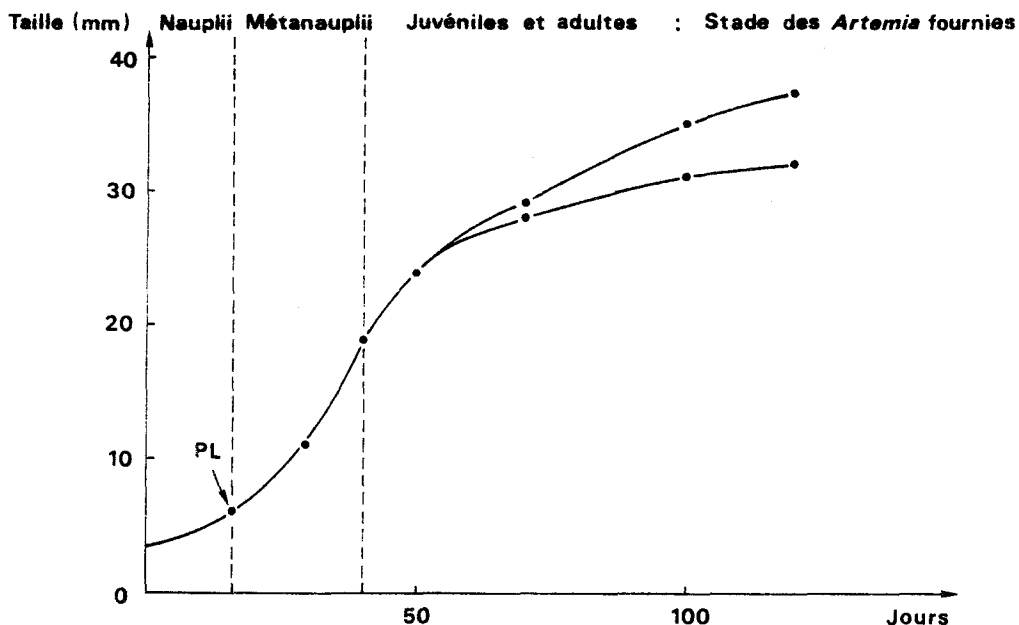


Fig. 57 : Suivi de la croissance (12 *Crangon*)
Alimentation : *Artemia* vivantes à
différents stades.

3.4.3. Conclusion

Cette étude a permis de confirmer le fait qu'il est possible d'élever des *Crangon crangon* dès l'éclosion avec une alimentation composée exclusivement d'*Artemia* vivantes à des tailles différentes suivant l'âge du prédateur.

Dans les conditions optimales, alimentées de nauplii d'*Artemia* éclos de cystes de GSL, les zoés se transforment en 16 jours en post-larves avec des survies supérieures à 75 %. Cette valeur est comparable à celles obtenues pour d'autres crustacés ; Reeve (1969) sur *Palaemon serratus* mentionne des valeurs de 67 % pour des charges de 100 par litre, pour la crevette japonaise, le C.N.E.X.O. donne des chiffres de l'ordre de 70 %. La conversion des nauplii peut être envisagée durant 4 jours à 6°C pour des concentrations de stockage de 10 000 par ml.

Dès la métamorphose, aux post-larves peuvent être fournies des métanauplii puis des adultes d'*Artemia*. A 21°C la taille des *Crangon* après 4 mois est de 32 mm pour les mâles et 37 mm pour les femelles, soit une croissance journalière de 0,26 et 0,31 mm pour des taux de conversion respectifs de 3,41 et 4,09. Ces chiffres sont supérieurs de 30 % à ceux que Meixner a obtenus en 1966 à 14°C. Cette température en est certainement la cause.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Connue depuis plus de deux siècles, c'est par sa caractéristique d'émettre des cystes desquels naissent de petites larves, que l'*Artemia* est devenue un des maillons essentiels de l'alimentation en écloserie et nurserie de poissons et crustacés.

Par sa facilité et sa rapidité d'emploi, les productions naturelles mondiales se sont vite avérées insuffisantes face à une demande qui n'a cessé de croître depuis une vingtaine d'années provoquant une augmentation des prix.

Comme pour tous les animaux, trois types d'élevages peuvent être envisagés. Chacun d'eux se caractérise par des sites d'exploitation différents et des marchés destinés à des secteurs tout aussi différents qui s'intéressent soit aux *Artemia* adultes vivantes, soit aux cystes et parfois aux deux.

L'élevage le plus ancestral est extensif, il se caractérise par des sites d'une superficie de plusieurs centaines d'hectares comme l'étang de Lavalduc, à plusieurs milliers dans la Baie de San Francisco et les lagunes brésiliennes de Macau.

Souvent aléatoires, les productions varient en qualité et quantité d'une année sur l'autre. Il est toutefois possible de retenir des chiffres de production de l'ordre de 1 à 5 kg de cystes par hectare et par an.

L'activité humaine sur ces sites, se limite à la récolte de cystes le long des berges. La production mondiale peut être estimée à 100 tonnes par an.

Hautement rémunératrices, de telles cultures peuvent être envisagées dans bien d'autres pays et en particulier en Afrique.

D'inoculation aisée, les *Artemia* seraient un moyen de valorisation des lacs salés, non seulement par les cystes que les aquaculteurs achètent à grand frais mais aussi plus directement par la pêche d'adultes dont les protéines pourraient être utilisées localement dans l'alimentation du bétail par exemple. On peut estimer la production en adultes entre 50 à 200 kg par an.

Autre type de production, très pratiqué en Asie, l'élevage semi-intensif s'effectue dans des bassins aménagés de quelques centaines de mètres carrés et en particulier dans les marais-salants.

L'accroissement des populations d'*Artemia* est permis par l'apport de fertilisants organiques composés de déchets agro-alimentaires ou inorganiques. La petitesse des bassins facilite le contrôle des paramètres hydrologiques et la récolte des adultes et des cystes.

Dans de tels systèmes la charge en *Artemia* par litre peut atteindre 15 *Artemia* par litre, ce qui assure des productions de 2 à 3 tonnes d'adultes par hectare et par an ainsi que 100 kg de cystes, parfois plus. En général, le rapport poids de fertilisants organiques sur poids d'adultes récoltés est souvent égal à 1.

Cette technique, comme la précédente est toujours sujette aux aléas du climat et en particulier des pluies qui provoquent l'éclosion des cystes d'où l'obtention de produits de qualité variable.

Les productions sont surtout destinées aux aquaculteurs locaux et s'insèrent directement dans des fermes aquacoles proches. Les adultes récoltés lors de l'assèchement des bassins sont le plus souvent congelés pour le marché de l'Aquariophilie.

Né des besoins de l'Aquaculture, les élevages intensifs dont les productions peuvent atteindre 20 kg d'adultes par m³ par 14 jours, dans des bassins de quelques dizaines de litres à plusieurs m³, s'avèrent encore trop coûteuses pour intéresser les aquaculteurs. De ce fait, ils limitent l'utilisation des *Artemia* à des animaux de 2 mm qu'ils peuvent aisément élever.

Les adultes sont donc destinés aux aquariophiles qui connaissent l'*Artemia* comme un aliment attrayant et complet. Nos tests sur *Crangon crangon* en sont un exemple de plus.

Cette technique d'élevage intensif est un pas important en aquaculture puisqu'elle permet d'envisager de produire des cystes en intensif si les recherches sont poursuivies pour améliorer le taux d'éclosion qui s'avère très faible.

Les élevages seraient alors rentabilisés de deux façons : par les adultes pour l'aquariophilie et par les cystes pour l'aquaculture.

En définitive, toutes ces recherches et applications pour produire des *Artemia* en extensif et intensif ont permis de mieux connaître les possibilités de ce crustacé.

Deux voies s'ouvrent pour l'*Artemia* :

- les élevages extensifs pour la valorisation des lacs hypersalés par l'obtention d'adultes,
- les élevages intensifs pour subvenir en quantité et qualité aux besoins aquacoles par la production de cystes.

BIBLIOGRAPHIE

- ABONYI A., 1915 - Experimentelle Daten zum Erkennen der *Artemia*-Gattung. Z. Wiss. Zool., 114 : 95-168.
- ABREU-GROBOIS F.A., J.A. BEARDMORE, 1980 - International Study on *Artemia*. II. Genetic characterization of *Artemia* populations-an electrophoretic approach. In : The brine shrimp *Artemia*. Vol. 1. Morphology, Genetics, Radiobiology, Toxicology. Eds Persoone, G. ; P. Sorgeloos, O.A. Roels ; E. Jaspers ; Universa Press, Wetteren (Belgium), 133-148.
- AMAT DOMENECH F., 1979 - Diferenciacion y distribucion de las poblaciones de *Artemia* (Crustaceo Branquiopodo) de Espana. Thesis, University of Barcelona (Spain), 251 p.
- AMAT DOMENECH F., 1980 - Differentiation in *Artemia* strains from Spain. In : The brine shrimp *Artemia*. Vol. 1. Morphology, Genetics, Radiobiology, Toxicology. Eds Persoone, G. ; P. Sorgeloos ; O.A. Roels ; E. Jaspers ; Universa Press, Wetteren (Belgium), 19-40.
- ANDERSON E., J.H. LOCHHEAD, M.S. LOCHHEAD, E. HUEBNER, 1970 - The origin and structure of the tertiary envelope in thickshelled eggs of the brine shrimp, *Artemia*. J. Ultrastruct. Res., 32 : 497-525.
- ARTOM C., 1922 - Nuovi datti sulla distribuzione geografica e sulla biologia delle due specie (microperenica e macroperenica) del genere *Artemia*. Atti Accad. naz. Lincei Rc., 31 : 529-532.
- BARIGOZZI C., 1980 - Genus *Artemia* : problems of systematics. In : The brine shrimp *Artemia*. Vol. 1. Morphology, Genetics, Radiobiology, Toxicology. Eds Persoone G. ; P. Sorgeloos ; O.A. Roels ; E. Jaspers ; Universa Press, Wetteren (Belgium), 147-154.
- BARIGOZZI C., P. METTALI, 1980 - Report Workshop III. Species-characterization in *Artemia*. In : The brine shrimp *Artemia*. Vol. 1. Morphology, Genetics, Radiobiology, Toxicology. Eds Persoone G. ; P. Sorgeloos ; O.A. Roels ; E. Jaspers. Universa Press, Wetteren (Belgium), 301-302.
- BENIJTS F., G. VANDEPUTTE, P. SORGELOOS, 1977 - Energetic aspectsof the métabolism of hydrated *Artemia* cysts : 79-87. In : Fundamental and applied research on the brine shrimp, *Artemia salina* (L.) in Belgium. EMS Special Publication N° 2. Eds Jaspers E. ; G. Persoone. Institute for Marine Scientific Research, Bredene (Belgium), 110 pp.
- BOSSUYT E., 1976 - Technologische aspekten van de massakweek van het pekel-kreeftje *Artemia salina* L. Thesis, State University of Ghent (Belgium), 86 pp.
- BOSSUYT E., P. SORGELOOS, 1980 - Technological aspects of the batch culturing of *Artemia* in high densities. 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), 133-152.
- BOWEN S.T., H.W. MOISE, G. Waring, M.C. POON, 1976 - The hemoglobins of *Artemia salina*. III. Characterization. Comp. Biochem. Physiol., 55B : 99-103.

- BOWEN S.T., 1963 - The genetics of *Artemia salina*. II. White eye, a sex-linked mutation. Biol. Bull., 124 (1) : 17-23.
- BOWEN S.T., 1963 - Genetics of *Artemia salina*. III. Effects of X-irradiation and of freezing upon cysts. Biol. Bull., 125 (3) : 431-440.
- BOWEN S.T., J.P. DURKIN, G. STERLING, L. S. Clark, 1978 - *Artemia* hemoglobins : genetic variation in parthenogenetic and zygogenetic populations. Biol. Bull., 155, 273-287.
- BRISSET P., 1981 - Technique d'élevage en masse d'un crustacé branchiopode (*Artemia*) sur nourriture inerte dans un système à renouvellement continu en eau. D.E.A. de Biologie appliquée. Univ. de Lille I., 78 p.
- BRUGGEMAN E., P. SORGeloos, P. VANHAECKE, 1980 - Improvements in the decapsulation technique of *Artemia* cysts. 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), 261-270.
- CLEGG J.S., F.P. CONTE, 1980 - A review of the cellular and developmental biology of *Artemia*. In : the brine shrimp *Artemia*. Vol. 2, Physiology, Biochemistry, Molecular Biology, Eds Persoone G. ; P. Sorgeloos ; O.A. Roels ; E. Jaspers ; Universa Press, Wetteren (Belgium), 11-54.
- C.N.E.X.O., 1983 - Fiches biotechniques d'Aquaculture - La crevette - 31 p.
- COLE G.A., R.J. BROWN, 1967 - The chemistry of *Artemia* habitats. Ecology, 48 (5) : 858-861.
- COSTLOW J.D., C.G. BOOKHOUT, 1968 - Larval development of the crabs *Leptodius agossizii*. Milne-Edwards in the laboratory (Brachyura Xoutbidae) Crustaceana, suppl. 2 : 203-213.
- DAVIS J.S., 1978 - Biological communities of a nutrient enriched salina. Aquatic Botany, 4 : 23-42.
- DE LOS SANTOS C. Jr, 1978 - Modern aquaculture for the Philippines. Yuhum La Defensa Press, Iloilo City (Philippines), 224 pp.
- DE LOS SANTOS C. Jr, P. SORGeloos, E. LAVINA, A. BERNARDINO - 1980, Successful inoculation of *Artemia* and production of cysts in man-made salterns in the Philippines. 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), 159-164.
- DIVANACH, 1983 - Recherches sur la production exploitable au niveau aquacole dans les lagunes à *Artemia salina*. C.R. Acad. Sc. Paris.
- DOBBELEIR J., N. ADAM, E. BOSSUYT, E. BRUGGEMAN, P. SORGeloos, 1980 - New aspects of the use of inert diets for high density culturing of brine shrimp. 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), 165-174.
- DUTRIEU J., 1960 - Quelques observations biochimiques et physiologiques sur le développement d'*Artemia salina* Leach. Rend. Ist. Sci. Univ. Camerino, 1 : 196-224.

- DUTRIEU J., 1962 - Incidence du type alimentaire sur la mode de reproduction d'un Crustacé (*Artemia salina*). Annls Nutr. Aliment., 16 (6) : 227-234.
- DUTRIEU J., D. CRESTIA-BLANCHINE, 1967 - Résistance des oeufs durables hydratés d'*Artemia* aux basses températures. C.R. Hebd Séanc. Acad. Sc., Paris, 264 : 2941-2944.
- GEDDES M.C., 1980 - The brine shrimps *Artemia* and *Parartemia* in Australia. 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), 57-66.
- HAMMER U.T., R.C. HAYNES, J.M. HESELTINE, S.M. SWANSON, 1975 - The saline lakes of Saskatchewan. Verh. Int. Verein. theor. angew. Limnol., 19, 589-598.
- HEDGPETH J.W., 1959 - Some preliminary considerations of the biology of inland mineral waters. Archivio Oceanogr. Limnol., 11 (suppl.) : 111-141.
- HINTON H.E., 1954 - Resistance of the dry eggs of *Artemia salina* (L.) to high temperatures. Annls Mag. nat. Hist., 7 : 158-160.
- IWASAKI T., 1973 - Tolerance of *Artemia* dry eggs for temperature, vacuum and radiation. Supplément au Bulletin de l'Institut International de Froid, Annexe 5, Paris, 79-88.
- JOHNSON, 1979 - Transport of live fish - F.D.D.L. - F 14 The Texas A et M University System, College Station. TX 77 843.
- JONES A.J., 1972 - An inexpensive apparatus for the large scale hatching of *Artemia salina* L. J. Cons. int. Expl. Mer., 34 (3) : 351-356.
- KIENER A., 1978 - Ecologie, Physiologie et Economie des eaux saumâtres. Masson. 220
- KINNE, 1977 - Cultivation of animals - Research cultivation. Marine Ecology 3, Part. 2, Ed. O. Kinne. Chichester, John Wiley and sons, pp 579-1293.
- KURATA H., 1967 - Note on the brine shrimp eggs (in japanese). Aquiculture, 14 (4) : 205-219.
- LEBAUT C., C. ALZIEU, 1980 - Méthodes de transports d'animaux vivants aux fins d'expérimentations. I.S.T.P.M. - I.P.M. 3 - Pollutions.
- LEGER PH., P. VANHAECHÉ, P. SORGELOOS, 1981a - International study on *Artemia* XXII Storage of *Art. nauplii* from various geographical origin in the refrigerator. Potentiels and limits of its applicability in aquaculture hatcheries.
- LINNAEUS C., 1758 - Systema naturae. Ed. X, Hafniae, 634 pp.
- LOFFLER H., 1961 - Beiträge zur Kenntnis der Iranischen Binnengewässer. II. Regional-Limnologische Studie mit besonderer Berücksichtigung der Crustaceenfauna. Int. Rev. ges. Hydrobiol. Hydrogr., 46 : 309-406.

- LOFFLER H., 1964 - Vogelzug und Crustaceenverbreitung. Zool. Anz., 27 : 311-316.
- MacDONALD G.H., 1980 - The use of *Artemia* cysts as food by the flamingo (*Phoenicopterus ruber roseus*) and the shelduck (*Tadorna tadorna*) 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), 97-104.
- MASON D.T., 1967 - Limnology of Mono Lake, California. Univ. Calif. Publ. Zool. 83 : 1-110.
- MEIXNER R., 1966 - The effects of food supply on moulting, growth and spawning of the shrimp *Crangon crangon* (L.). International Council for the exploration of the Sea. C.M. 1966 (M : 5 Shellfish Committee).
- MORRIS J.E., 1971 - Hydration, its reversibility, and the beginning of development in the brine shrimp, *Artemia salina*. Comp. Biochem. Physiol., 39A : 843-857.
- NAKANISHI Y.H., T. OKIGAKI, H. KATO, T. IWASAKI, 1963 - Cytological studies of *Artemia salina*. II; Deoxyribonucleic acid (DNA) content and the chromosomes in encysted dry eggs and nauplii. Proc. Japan Acad., 39 : 306-309
- OLSON C.S., J.S. Clegg, 1976 - Nuclear numbers in encysted dormant embryos of different *Artemia salina* populations. Experientia, 32 (7) : 864-865.
- PERSON-LE RUYET J., 1976 - Elevage larvaire d'*Artemia salina* (Branchiopode) sur nourriture inerte : *Spirulina maxima* (Cyanophyceae). Aquaculture, 8 (2) : 157-167.
- POST F.J., N.N. YOUSSEF, 1977 - A prokaryotic intracellular symbiont of the GSL brine shrimp *Artemia salina* (L). Can. J. Microbiol. 23 (9) : 1232-1236.
- REEVE M.R., 1963 - The filter-feeding of *Artemia*. II. suspension of various particles. J. exp. Biol., 40 (1) : 207-214.
- SATO N.L., 1967 - Enzymatic contribution to the excystment of *Artemia salina* Sci. Rep. Tohoku Univ., 33 (3-4) : 319-327.
- SCHLOSSER D., 1756 - Extrait d'une lettre de Monsieur le Docteur Schlosser concernant un insecte peu connu. Observations périodiques sur la physique, l'histoire naturelle et les beaux arts de Gautier : 58-60.
- SEKI H., 1966 - Studies on microbial participation to food cycle in the sea. III. Trial cultivation of brine shrimp to adult in a chemostat. J. oceanogr. Soc. Japan, 22 (3) : 105-110.
- SKOULTCHI A.I., H.J. MOROWITZ, 1964 - Information storage and survival of biological systems at temperatures near absolute zero. Yale J. Biol. Med., 37 : 158-163.
- SORGeloos P., 1978 - The culture and use of brine shrimp *Artemia salina* as food for hatchery raised larval prawns, shrimp and fish in South East Asia. FAO Report THA/75/008/78/WP3, 50 pp.
- SORGeloos P., 1979 - List of commercial harvesters-distributors of *Artemia* cysts of different geographical origin. Aquaculture, 16 : 87-88.

- SORGELOOS P., 1979 - The brine shrimp, *Artemia salina* : a bottleneck in Mariculture : 321-324. In : FAO Technical Conference on Aquaculture, Kyoto, 1976. Eds Pillay, T.V.R., Wm. A Dill. Fishing News book Ltd., Farnham (England), 653 pp.
- SORGELOOS P., 1980 - The use of the brine shrimp *Artemia* in aquaculture. 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), 25-46.
- SORGELOOS P., M. BAEZA-MESA, E. BOSSUYT, E. BRUGGEMAN, J. DOBBELEIR, D. VERSICHELE E. LAVINA, A. BERNARDINO, 1980 - The culture of *Artemia* on ricebran : the conversion of a waste-product into highly nutritive animal protein. Aquaculture, 21 : in press.
- SORGELOOS P., G. PERSOONE, M. BAEZA-MESA, E. BOSSUYT, E. BRUGGEMAN, 1978 - The use of *Artemia* cyst in aquaculture : the concept of "hatching efficiency" and description of a new method for cyst processing : 715-721. In : Proc. 9th Ann. Meeting WMS Ed. Avault, J.W. jr. Louisiana State University, Baton Rouge (LA-U.S.A.), 807 pp.
- STELLA E., 1933 - Phaenotypical characteristics and geographical distribution of several biotypes of *Artemia salina* L. Z. indukt. Abstramm. u. Vererbungslehre, 65 : 412-446.
- STEFANI R., 1964 - L'origine dei maschi nelle popolazione parthenogenetiche di *Artemia salina*. Riv. Biol., 57 : 147-162.
- TAKANO H., 1967 - Rearing experimens of brine shrimp on diatom diet. Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab., 52 : 1-11.
- TIEWS K., 1970 - Synopsis of biological data on the common shrimp *Crangon crangon* (Linnaeus, 1718). FAO Fisheries Report, n° 57, Vol. 4.
- TOBIAS W.J., P. SORGELOOS E. BOSSUYT, O.A. ROELS, 1979 - The technical feasibility of mass-culturing *Artemia salina* in the St. Croix "Artificial Upwelling" Mariculture System : 203-214. In : Proc. 10th Ann. Meeting WMS. Ed. Avault, J.W. Jr. Louisiana State University, Baton Rouge (LA-USA), 899 pp.
- VANHAECKE P., P. SORGELOOS, 1980 - International Study on *Artemia* .IV. The biometrics of *Artemia* strains from different geographical origin. 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), 393-405.
- VANHAECKE P., P. SORGELOOS, 1980 - International Study on *Artemia*. XIV Growth and survival of *Artemia* larvae of different geographical origin in a standard culture test. Mar. Ecol. Progr. Ser.
- VERSICHELE D., P. SORGELOOS, 1980 - Controlled production of *Artemia* cysts in batch cultures. 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), 231-246.

- VOLMER C., 1952 - Kiemenfüss, Hüpferling und Muschelkrebs. Die Neue Brehm-Bucherei, Band 57.
- VOS, J., A. TANSUTAPANIT, 1979 - Detailed report on *Artemia* cysts inoculation in Bangpakong, Chachoengsao Province. FAO/UNDP Field Document. THA/75/008/54 pp.
- WALNE P.R., 1966 - Experiments in the large scale culture of the larvae of *Ostrea edulis* (L.). Fish investigations, série 2.25 : 1-53.
- WEISZ P.B., 1947 - The histological pattern of metameric development in *Artemia salina*. J. Morph., 81 (1) : 45-95.
- WHEELER R., A. I. YUDIN, W.H. CLARK Jr, 1979 - Hatching events in the cysts of *Artemia salina*. Aquaculture, 18 : 59-67.
- WHITAKER D.M., 1940 - The tolerance of *Artemia* cysts for cold and high vacuum. J. exp. Zool., 83 : 391-399.

