

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHACHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE DE MOSTAGANEM
ABDELHAMID IBN BADIS**



FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

THESE DE DOCTORAT EN SCIENCES

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Aquaculture

Présenté par

M. GHOMARI SIDI MOHAMMED

Sous le thème

**Localisation et caractérisation de la ressource naturelle *Artemia* dans
les milieux salins algériens.
(Zones Humides de l'Ouest, de l'Est et Sahariennes)**

Composition de jury de soutenance

BOUTIBA ZITOUNI	Professeur	Président	Université d'Oran
BOUCHIKHI BENATTOU	Professeur	Examineur	Université de Sidi Belabbés
BENALI MOHAMED	Professeur	Examineur	Université de Sidi Belabbés
BELAHCEN MILOUD	Professeur	Examineur	Université de Mostaganem
BOUDEROUA KADDOUR	Professeur	Examineur	Université de Mostaganem
SELSELET-ATTOU GHALEM	Professeur	Directeur de thèse	Université de Mostaganem

Année universitaire 2012 - 2013

SOMMAIRE

Liste des abréviations	01
Préambule	02
1. RAPPELS BIBLIOGRAPHIQUES SUR LA BIOLOGIE ET ECOLOGIE DE L'ARTEMIA	04
1.1. Classification systématique du genre <i>Artemia</i>	05
1.1.1. Phylogénie et taxonomie de l' <i>Artemia</i>	05
1.1.2. Espèces sexuelles	07
1.1.3. Populations parthénogénétiques	09
1.2. Biologie de l' <i>Artemia</i>	10
1.2.1. Description morphologique	10
1.2.2. Alimentation	14
1.2.3. Reproduction	15
1.2.4. Système respiratoire et mécanisme de régulation osmotique	23
1.3. Ecologie de l' <i>Artemia</i>	24
2. DETERMINATION SYSTEMATIQUE DES POPULATIONS ALGERIENNES D'ARTEMIA PAR L'ANALYSE BIOMETRIQUE	26
2.1. Rappels bibliographiques sur la morphométrie de l' <i>Artemia</i>	27
2.2. Localisation géographique des différents biotopes d'étude	31
2.2.1. Zones humides de l'ouest Algérien	31
2.2.2. Zones humides des hautes plaines de l'Est Algérien	32
2.2.3. Zone humides Sahariennes	33
2.2.3.1. La vallée d'oued Ghir	33
2.2.3.2. Lac salé d'El Goléa	34
2.2.3.3. Sebkha d'Adrar	35
2.3. Objectifs	35
2.4. Matériel et méthodes	35
2.4.1. Populations considérées	35
2.4.2. Collecte, traitement et conservation des échantillons de cystes	36
2.4.3. Obtention de nauplii à partir des cystes	38
2.4.4. Elevage de phytoplancton	40
2.4.5. Elevage expérimental	41
2.4.6. Echantillonnage et biométrie	42

2.4.7. Analyse discriminante	44
2.4. Résultats	45
2.5. Discussion	53
Conclusion	55
3. ETUDE DE LA LONGEVITE ET DES PARAMETRES DE REPRODUCTION DES POPULATIONS D'ARTEMIA ALGERIENNES	56
3.1. Rappels bibliographiques	57
3.2. Objectifs	58
3.3. Matériel et méthodes	58
3.3.1. Echantillonnage et traitement des échantillons	58
3.3.2. Elevage individuel	59
3.3.3. Analyse statistique	61
3.4. Résultats	61
3.5. Discussion	73
Conclusion	77
4. ETUDE DE COMPETITIVITE ENTRE LES DIFFERENTES ESPECES D'ARTEMIA IDENTIFIEES EN ALGERIE	78
4.1. Rappels bibliographiques	79
4.2. Objectifs	81
4.3. Matériel et méthodes	81
4.4. Résultats	83
4.5. Discussions	88
Conclusion	90
5. BIOMETRIE DES CYSTES ET NAUPLII ET PARAMETRES D'ECLOSION	91
5.1. Rappels bibliographiques	92
5.1.1. Biométrie des cystes et nauplii	92
5.1.2. Processus physiques et métaboliques de l'éclosion	92
5.1.3. Facteurs qui influent sur l'éclosion	94
5.2. Objectifs	95
5.3. Matériel et méthodes	95
5.3.1. Diamètre des cystes et nauplii	95
5.3.2. Paramètres d'éclosion	97
5.3.3. Analyse d'HR, d'HE et Ts	97

5.4. Résultats	98
5.5. Discussions	102
Conclusion	106
6. COMPOSITION EN ACIDES GRAS DES POPULATIONS ALGERIENNES	
D'ARTEMIA	107
6.1. Rappels bibliographiques	108
6.1.1. La composition en acides gras des cystes d' <i>Artemia</i>	108
6.1.2. Facteurs qui affectent la composition en acides gras chez <i>Artemia</i>	109
6.2. Objectifs	111
6.3. Matériel et méthodes	111
6.3.1. Extraction des lipides totaux	111
6.3.2. Transméthylation des lipides	112
6.3.3. Purification	113
6.3.4. Conditions chromatographiques	113
6.4. Résultats	113
6.5. Discussion	117
Conclusion	121
CONCLUSION GENERALE	122
BIBLIOGRAPHIE	125

LISTE DES ABREVIATIONS

AFLP	Amplified Fragment Length Polymorphism
RFLP	Restriction Fragment Length Polymorphism
Nie's	Distance génétique
FAME	Fatty Acid Methyl ester (s)
HE	Hatching Efficiency (Efficacité d'éclosion)
HR	Hatching Rate (Taux d'éclosion)
HUFA	Highly Unsaturarated fatty Acid (Acide gras hautement insaturé)
MUFA	Mono Unsaturated Fatty Acid (s) (acide gras mono-insaturé)
ASA	<i>Artemia salina</i>
PD	Parthénogénétique Diploïde
PT	Parthénogénétique Tétraploïde
µm	micromètre

PREAMBULE

Actuellement d'intenses efforts sont consacrés à la recherche fondamentale et appliquée avec pour objectif de développer les techniques nécessaires pour atteindre de grands profits en ressources aquacoles. Parmi ces études multidisciplinaires, plusieurs laboratoires dans le monde s'intéressent à l'utilisation de l'aliment vivant en aquaculture marine.

L'utilisation des proies vivantes, signifie l'utilisation d'espèces auxiliaires qui sont élevées en masse pour nourrir les animaux destinés à l'aquaculture. De nos jours c'est une pratique inévitable, vu qu'il n'a pas encore été trouvé d'alternatif qui assure le même rendement. L'unique possibilité d'abstraction de ces dites espèces auxiliaires, serait de fabriquer un produit inerte à partir de matériaux peu coûteux et qui soit convenablement approprié en forme, en taille et en composition pour garantir une satisfaction nutritionnelle.

Certes de nombreux efforts ont été consentis pour mettre au point un régime inerte en tant que solution alternative qui pourrait se rapprocher de la valeur nutritive de l'aliment vivant utilisé. Cependant, l'innovation de ces régimes inertes ne peut imiter la nourriture vivante dans tous ses aspects. Ainsi, les nauplii d'*Artemia* utilisés dans l'alimentation des phases larvaires de la majorité des poissons et crustacés, génèrent des stimuli visuels et chimiques qui incitent les larves prédatrices à augmenter le taux d'ingestion à des niveaux supérieures comparés à celui des régimes inertes.

Par ailleurs, la nourriture vivante peut être améliorée (LAVENS et SORGELOOS, 1996) par l'utilisation des émulsions riches en acide docosahexaénoïque (DHA) et l'acide eicosapentaénoïque (EPA), Vit C etc. De plus, la composition de l'*Artemia* manifeste de hauts niveaux d'acides gras hautement insaturés (HUFA), des caroténoïdes, des protéines, des vitamines et plusieurs enzymes qui augmentent la digestibilité de l'aliment consommé par les diverses espèces de crustacés et poissons ayant un grand intérêt commercial en aquaculture.

D'autre part, les nauplii d'*Artemia* sont considérés comme un aliment convenable qui peut être facilement stocké et aisément manipulé et obtenu seulement après 24h d'incubation à partir des cystes (LAVENS et SORGELOOS, 2000). Ils présentent une petite taille (470-550µm) parfaitement convenable pour la petite bouche des larves fragiles (LAVENS et SORGELOOS, 1996).

Le fait que la phase la plus profitable du cycle vital de ce crustacé est le nauplii. Il n'est pas produit dans les fabriques dédiés à l'aquaculture comme les micro-algues et rotifères, mais il est acquis et conservé en forme de cyste jusqu'au moment de son utilisation.

Les cystes d'*Artemia* sont considérés comme matière de base pour développer un élevage larvaire de poissons et crustacés. Ce fait a soulevé un grand intérêt aussi bien scientifique qu'économique sur cette espèce jusqu'au point de créer un groupe international sur les études de l'*Artemia* (International Study on *Artemia*) composé de scientifiques qui ont pour mission d'unifier les critères et canaliser leurs recherches sur les mêmes thèmes.

Autre aspect important, le fait que les ressources mondiales des cystes d'*Artemia* actuellement en exploitation ne peuvent faire face à la forte demande dans le secteur aquacole, ce qui se traduit par une augmentation du prix sur le marché international. Cette situation justifie la recommandation de la plupart des experts pour étudier les populations naturelles d'*Artemia*, de la manière la plus large possible, afin de comparer leur potentiel d'exploitation comme source de cyste et biomasse utilisable en aquaculture.

L'augmentation de la demande de cyste d'*Artemia* fait que, toutes les populations présentent un intérêt, et peuvent contribuer à l'approvisionnement local ou l'exportation.

Dans ce contexte, considérant le grand nombre de biotopes en Algérie, pouvant abriter la ressource naturelle *Artemia*, spécialement au niveau des zones humides, une étude de prospection des différents biotopes salins a été effectuée en vue d'établir l'identification et la caractérisation de l'*Artemia* existante.

Ce travail a pour objectifs de :

- Caractériser de manière plus large et sous un grand nombre d'aspects possible les populations du crustacé branchiopode *Artemia* des milieux hypersalins Algériens,
- Etudier les paramètres de reproduction de ces populations en condition standard d'élevage,
- Simuler la compétitivité en mésocosme entre les différentes espèces peuplant les biotopes hypersalins d'Algérie,
- Etudier la biométrie des cystes et nauplii comme possible caractère d'identification,
- Déterminer la valeur nutritive des populations d'*Artemia* et leur possible utilisation en aquaculture,
- Actualiser la biogéographie de l'*Artemia* au niveau régional.

CHAPITRE 1

RAPPELS BIBLIOGRAPHIQUES SUR LA BIOLOGIE ET L'ÉCOLOGIE DE L'*ARTEMIA*



1.1. Classification et systématique du genre *Artemia*

1.1.1. Phylogénie et Taxonomie de l'*Artemia*

Les branchiopodes ont existé depuis au moins la période dévonienne (environ 410 millions d'années) et partagent une constellation de caractéristiques primitifs, tandis que l'ordre *Anostraca* retourne aux crustacés inférieurs (FRYER, 1987). Ses ancêtres habitent exclusivement les écosystèmes d'eau douce ou saumâtres et appartiennent au genre *Branchinecta*, *Branchinella*, *Branchiopus*, *Streptocephalus* etc. (MARGALEF, 1953). Du point de vue phylogénétique, on pense que les populations sexuées du vieux continent sont l'ancêtre le plus proche de tous les autres *Artemia*.

Le genre *Artemia* est inclut dans le groupe des crustacés branchiopodes Anostracés. De nos jours, ces crustacés sont considérés comme les plus primitifs. Ils se caractérisent par la possession d'appendices thoraciques en forme de feuilles, exerçant une triple fonction locomotion, respiration et filtration (Classe Branchiopodes). Ils se distinguent aussi par l'absence de carapace (Ordre Anostraca), la présence d'une fourche caudale avec deux rames et par un régime alimentaire filtreur planctonophage. La classification systématique du genre est comme suit :

- Règne : *Animalia*
- Embranchement : *Arthropoda*
- Sous-Embranchement : *Crustacea*
- Classe : *Branchiopoda*
- Sous-Classe : *Sarsostraca*
- Ordre : *Anostraca*
- Sous-Ordre : *Artemiina*
- Famille : *Artemiidae*
- Genre : *Artemia*

Jusqu'à récemment on croyait que ce genre était formé par une seule espèce, décrite par SCHLOSSER (1756), qui a étudié les populations peuplant les salines de Lymington (sud Angleterre). Par la suite, LINNE (1758) lui affecte la dénomination *Cancer salinus*, puis dénommée sous le nom d'*Artemia salina* par LEACH (1819).

Vers la fin des années 1800 les études génétiques révèlent l'existence de deux modes de reproduction différents chez *Artemia* : la parthénogénèse (avec différents niveaux de

pléïdies) et la reproduction sexuée (formes diploïdes) (ARTOM 1906, 1907a, b ; 1922, 1931 ; BRAUER, 1983).

Par la suite, beaucoup de variétés furent décrites. Cette classification en variétés répond en grande partie aux simples changements morphologiques induits par les différentes conditions du milieu particulièrement la salinité et non pas les facteurs héréditaires.

Certains auteurs ARTOM (1905), GILCHRIST (1956, 1960), BARIGOZZI (1974), et AMAT (1979, 1980a, b), étudiant la morphologie des différentes variétés ont montré qu'une même population soumise à divers types de milieux, acquiert une morphologie distincte, ce qui a pu aider à trouver de véritables différences génétiques.

La taxonomie d'*Artemia* est en général complexe, en raison du manque de traits fiables et au processus de spéciation dans le genre qui est très complexe.

Plusieurs biotypes ont été groupés sous le binominal *A. salina* suivant des directives similaires à ceux établis par ARTOM (1931). Cet auteur a nommé les différentes formes selon le nombre de chromosomes et le mode de reproduction.

L'isolement reproductif a été rapporté en premier par KUENEN (1939) entre l'*Artemia* de Californie (Etats Unis) et celle de Sardaigne (Italie). Postérieurement, GILCHRIST (1960) et BOWEN (1965) démontrent la présence d'une évidente barrière géographique entre l'*Artemia* de Californie et celle provenant de la Méditerranée. Quelques années plus tard PICCINELLI et PROSDOCINI (1968) et HALFER-CERVINE et al (1968) déterminent un isolement reproductif entre l'*Artemia* de Sardaigne (Italie) et celle issue de Hidalgo (Mexique). PICCINELLI et PROSDOCINI (1968) ont donné à la nouvelle espèce le nom d'*A. persimilis*. Sa morphologie était semblable à l'espèce sexuée méditerranéenne *A. salina*. HALFER-CERVINE et al (1968) introduisent le terme espèces jumelles au genre *Artemia*.

Plus tard, BARIGOZZI (1974), ABREU-GROBOIS et BEARDMORE (1982) et BROWNE et BOWEN (1991) ont démontré que le genre *Artemia* englobe un complexe d'espèces sexuées, de super espèces et des formes parthénogénétiques avec divers degrés de pléïdies.

Toutefois, la dernière révision taxonomique établie par BROWNE ET BOWEN (1991), affecte à ce genre six espèces jumelles sexuées, isolées par les expériences de reproduction. Quatre d'entre elles se rencontrent dans l'éco-zone Paléarctique et Afrotropicale, *A. salina* (*A. tunisiana*) (LEACH, 1819) se localise dans la région méditerranéenne et d'Afrique du sud, *A. urmiana* (GUNTHER, 1890) considérée exclusive du

lac Urmia (Iran), et récemment décrite à Crimée (ABATZOPOULOS et al., 2009), *A. senica* (CAI, 1989) qui sert de dénomination pour les populations endémiques de Chine et *A. tibetiana* (ABATZOPOULOS, ZHANG et SORGELOOS, 1998) localisée dans les lacs salés du plateau Tibétin. Les deux espèces sexuées restantes se rencontrent dans le continent Américain ou Nouveau Monde, répartis entre l'éco-zone Néarctique et Néotropique *A. persimilis* (PICCINELLI et PROSDICINI, 1968) exclusive à l'Argentine et l'ensemble des populations qui se regroupent sous la population *A. franciscana* (KELLOG, 1906) est distribuée à travers le reste du continent. Il existe un groupe de populations à reproduction parthénogénétique (sans mâles), nommés sous le terme *A. parthenogénétique* (ARTOM, 1931) avec des formes de différentes ploïdies (di-, tétra-ploïdes) endémique d'Europe, Asie et Afrique.

Les populations d'*Artemia* présentes en Australie paraissent être introduites récemment par l'homme (GEDDES, 1980).

1.1.2. Espèces sexuées

La plupart des travaux qui ont permis de différencier entre ces populations, étaient basés sur des expériences de croisement, déterminant les isolements reproductifs et les barrières génétiques entre ces populations.

Récemment, on applique les méthodes de biologie moléculaire (GAJARDO et al, 2004), utilisant des marqueurs moléculaires tels que la RFLPs (Restriction Fragment Length Polymorphisms ou mitochondrial or molecular DNA sequences and microsatellite DNA markers). Les différentes espèces et populations d'*Artemia* sont différenciées par la comparaison de leurs séquences génétiques.

Ces résultats confirment ceux obtenus par les méthodes classiques de comparaison des aspects morphologiques :

- *A. franciscana* (Kellogg 1906) : largement distribuée le long du continent Américain, elle est pratiquement présente d'une extrême à l'autre, du chile (GAJARDO et al, 1995) jusqu'au petit Manitou (51° 48'N) au Canada oriental (VANHAECKE et al., 1987 ; BOWEN et al., 1988 ; TRIANTALPHYLLIDIS et al., 1998). Selon BOWEN et al. (1985) et BROWNE et BOWEN (1991) *A. franciscana* (Kellogg 1906) est une super espèce (groupe d'espèces naissante en statu nascendi).
- *A. monca* (Virrill 1869) étant un cas de population spéciale à ressemblance typique à *A. franciscana*, mais décrite pour un habitat écologiquement unique (Mono Lake,

Californie). Il existe des populations du Nebraska (USA) habitant les lacs pauvres en chlorures et riches en carbonates (BROWNE et BOWEN, 1991).

Les populations d'*A. franciscana* présentent une distance génétique moyenne élevée (Nei's $D=0,126$) par rapport aux autres espèces du vieux continent (Nei's $D=0,014$ à $0,091$), ce qui indique une substantielle divergence des espèces (BEARDMORE et al., 1995).

- *A. persimilis* (Piccinelli et prodocimi 1968) : Elle est présente en Argentine, Chili (GAJARDO et al., 1999) et au Pérou (VERA, 2001 in CAMARGO, 2001). Cependant, elle a été repérée dans le bassin méditerranéen (BARIGOZZI, 1989) en Sardaigne (Italie). Cette espèce a 44 chromosomes contrairement aux autres espèces sexuées avec 42 chromosomes (PICCINELLI et PROSDOCINI, 1968). Le paradigme actuel de distribution d'*A. persimilis* considérée restrictif à certains sites en Argentine (TRANTALPHYLLIDIS et al., 1998), est contesté par la découverte des espèces dans le sud du Chili à la Laguna Amarga, Torres del Paine (85° latitude sud) (GAJARDO et al., 1999).
- *A. salina* (Bowen et sterling 1978) : Ce groupe d'espèces regroupe les populations sexuées du bassin méditerranéen. SCHLOSSER en 1756 était le premier à décrire *Artemia* à partir d'échantillons des salines de Lymington (Angleterre) (KUENEN et BAAS-BECKING 1938). BOWEN et STERLING (1978) suggèrent d'assigner la nomination *A. salina* exclusivement aux espèces disparues de Lymington (Angleterre) et utiliser le terme *A. tunisiana* pour représenter les populations sexuées de la région méditerranéenne. BARIGOZZI et BARATELLI (1993) proposent de maintenir la dénomination *A. salina* pour les populations italiennes, alors que les populations nord africaines pourraient être appelées *A. tunisiana*. Selon TRIANTALPHYLLIDIS et al. (1997), plusieurs auteurs emploient toujours les binominaux *A. salina* ou *A. tunisiana* pour se référer à la même population. Ceci a suscité une grande confusion et une identification erronée, alors le même auteur a déterminé que *A. tunisiana* et *A. salina* étaient la même espèce, en se basant sur les caractères morphologiques et moléculaires (allozymes et AFLP) et le binominal *A. salina* a eu la priorité au dessus de *tunisiana*.
- *A. urmiana* (Gunther 1890) : Espèce endémique au lac Urmia (Iran). En conditions de laboratoire *A. urmiana* est fertile quand elle est croisée avec *A. sinica* et une population du Kazakhstan (PILLA et BEARDMORE, 1994). Selon PILLA et BEARDMORE (1994) *A. urmiana* présente une variation génétique élevée par rapport aux populations

du vieux monde. Elle a un nombre moyen d'allèles par locus (2,3) et un pourcentage polymorphique de locus plus élevé (65%).

- *A. sinica* (Cai 1989) : Elle est distribuée dans les provinces nord de la Chine centrale. Cette espèce montre aussi bien des différences morphologiques que des distances génétiques (PILLA et BEARDMORE, 1994). En outre, ces auteurs ont montré, qu'*A. sinica* présente les plus grandes valeurs d'hétérozygotie (89,7%) par rapport aux autres populations du vieux monde.
- *Artemia sp.* Kazakhstan (Pilla et Beardmore 1994) : Cette population exhibe de grandes différences génétiques et morphologiques comparée aux espèces précédemment mentionnées. *Artemia* du Kazakhstan est fertile une fois croisée avec *A. urmiana* et *A. sinica* (PILLA et BEARDMORE, 1994). Selon TRIANTALPHYLLIDIS (1996) la population de Kazakhstan serait une bonne candidate pour être une nouvelle espèce en aquaculture.
- *A. tibetiana* (Abatzopoulos, Zhang et Sorgeloos, 1998) : Cette espèce sexuée montre de grandes différences morphologiques avec les autres espèces sexuées et l'espèce parthénogénétique. Elle a été caractérisée en utilisant différentes méthodes (ABATZOPOULOS et al., 1998, 2002) : Biométrie des cystes et nauplii, morphométrie des adultes, cytogénétique, analyse d'allozyme, ADN et test de croisement. Cette espèce a été signalée dans le lac Lagkor, qui selon MIANPING (1997) est très riche en carbonates, situé à 4.490 m au dessus du niveau de la mer, dans la zone aride tempérée du plateau du Tibet (32° 03'N et 84° 13' E). Ce lac salé a une salinité de 60 g/l avec une eau alcaline (pH 8,8) et une température qui varie entre un maximum de 24°C et un minimum de -26°C.

1.1.3. Populations parthénogénétiques

En plus des populations sexuées d'*Artemia*, plusieurs populations parthénogénétiques existent et sont endémiques au vieux continent (TRIANTALPHYLLIDIS, 1996). Les formes parthénogénétiques prédominent dans les conditions de perturbation et de stress du point de vue température, salinité et alimentation (BROWNE et BOWEN, 1991 ; LENZ et BROWNE, 1991). Habituellement les formes d'*Artemia* asexuées sont géographiquement isolées des formes sexuées et sont principalement retrouvées au niveau des basses et hautes latitudes (25° N et >40° N), tandis que les sexuées se retrouvent dans les régions tempérées (35-40°N) (AMAT et al., 1996)

Ces populations ont différents niveaux de ploïdies : di- tri, tétra et pentaploïdes (PERSOONE et SORGELOOS, 1980 ; BARIGOZZI et BARATELLI, 1982, 1993 ; ABATZOPOULOS et al., 1986) et sont groupées sous la dénomination *A. parthenogenetica* par convenance taxonomique (BARIGOZZI, 1939, 1974, 1980).

Cependant, le groupe des études internationales sur *Artemia* recommande de ne pas employer le binomiale *A. parthenogenetica* selon les stricts principes taxonomiques, une espèce qui se reproduit par parthénogenèse ne peut être définie comme une espèce. Bien qu'*Artemia parthenogenetica* produit rarement des mâles stériles. Ce phénomène a été rapporté chez les populations parthénogénétiques di- et tétraploïdes méditerranéennes par ARTOM (1931) à Sète (France), VENTURA (1963), STEFANI (1963, 1964) en Italie et AMAT et al., 1991 dans la lagune de la Mata (Espagne).

1.2. Biologie de l'*Artemia*

1.2.1. Description morphologique

Artemia présente un corps étroit et allongé, clairement segmenté. Sa longueur et son aspect peuvent être très variables selon l'espèce sexuée ou la race parthénogénétique (diploïde ou polyploïde) et aussi selon les caractéristiques physico-chimiques de son biotope (principalement la salinité).

La taille habituelle est comprise entre 10 et 12 mm de longueur totale, dépasse rarement les 17-18 mm. Sa coloration est rose, mais présente une variété de couleurs entre bleu, rose et rouge intense quant elle se rencontre en eau très salée.

L'anatomie externe permet de distinguer trois parties bien différenciées la tête, thorax et abdomen (fig. 1) :

- **La tête** : Elle est formée par cinq segments soudés entre eux et indifférenciés, reconnus par le type d'appendices et les organes qu'ils portent. Au sommet de la zone frontale apparaissent les restes de l'œil moyen ou œil nauplien formé de trois ocelles de couleur obscure chez l'adulte et rouge durant le premier stade nauplien. De chaque côté apparaissent deux pédoncules oculaires de longueurs qui diffèrent selon les races, longs chez les mâles par rapport aux femelles des espèces sexuées. Chez les adultes le diamètre des yeux est plus grand chez le mâle que chez la femelle. Du côté de la base des pédoncules oculaires, en position dorsale, apparaissent les antennules et en position ventrale les antennes pourvues de cils caractérisant le dimorphisme sexuel

chez *Artemia*. Les antennes présentent deux proportions plus ou moins différenciés : protopodite et exopodite. Chez les femelles les antennes adoptent une forme foliacée

simple, présentant sur les bords antérieurs du protopodite deux taches sensorielles. Chez les mâles ces antennes sont hypertrophiées principalement au niveau de l'exopodite, prenant la forme de pinces appropriées pour maintenir la femelle par la partie antérieure de l'utérus au moment de la copulation et la fertilisation (Riding position) (Photo 1 et 2).

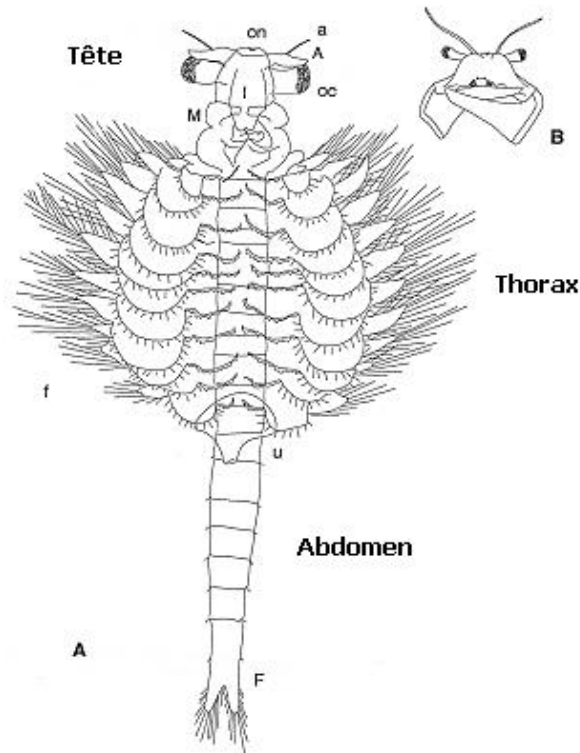


Figure 1. A. femelle adulte, vue ventrale (HONTORIA, 1990). A, antennes ; a, antennules ; on, œil nauplien ; oc, œil composé, F, fourche caudale ; f, phyllopodes ; l, labrum ; M, mandibule ; u, utérus. B. tête de mâle adulte, vue Antérieure (HONTORIA, 1990)

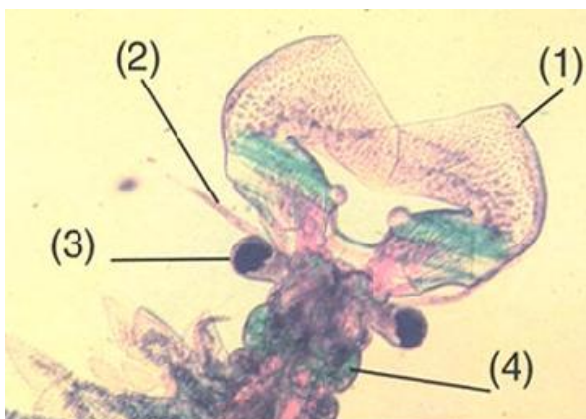


Photo 1. La tête d'un mâle d'*Artemia* adulte. (1) antenne ; (2) antennule ; (3) L'oeil complexe ; (4) mandibule. (LAVENS et al. 1996)

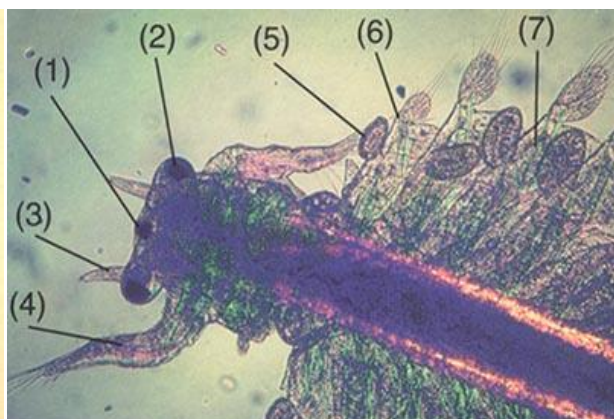


Photo 2. La tête d'une femelle d'*Artemia* adulte. (1) œil nauplien ; (2) œil complexe ; (3) antennule ; (4) antenne ; (5) exopodite ; (6) telopodite ; (7) endopodite. (LAVENS et al. 1996)

Sur les trois segments restants s'insèrent les pièces buccales, une paire de mandibules, couvertes par un labrum ou lèvre supérieure et deux paires de maxilles. Entre le labrum et les pièces buccales se trouve la zone de l'ouverture buccale qui aboutit à l'œsophage recevant les particules alimentaires qui sont expédiées le long du canal ventral.

- **Le thorax** : il est formé de 11 segments bien délimités, dotés chacun d'une paire

d'appendices foliacés, les phyllopoies ou thoracopodes. Ce sont des structures morphologiques identiques mais de dimensions variables grandes au niveau de la partie centrale et réduites au niveau des extrêmes (Fig 2). Ces thoracopodes ont un rôle dans la natation, la respiration et la filtration des particules alimentaires (Fig. 3). Ils sont dotés d'un mouvement constant battant à un rythme régulier métachronique avec une fréquence de 150 à 200 coups par minute (LOCHHEAD, 1914 in HONTORIA 1990), présentant deux types de formation les exopodites et les endopodites. Les éxopodites sont des sacs formés par un tégument fin agissant en mode de branchies, les endopodites en nombre de cinq de forme foliacée pourvus de longues et fines cils ayant un rôle natatoire. L'endopodite le plus proche de l'insertion du thoracopode s'appelle le télopodite chargé de filtrer les particules alimentaires du milieu et les transférer vers le canal ventral qui s'étend le long du corps.

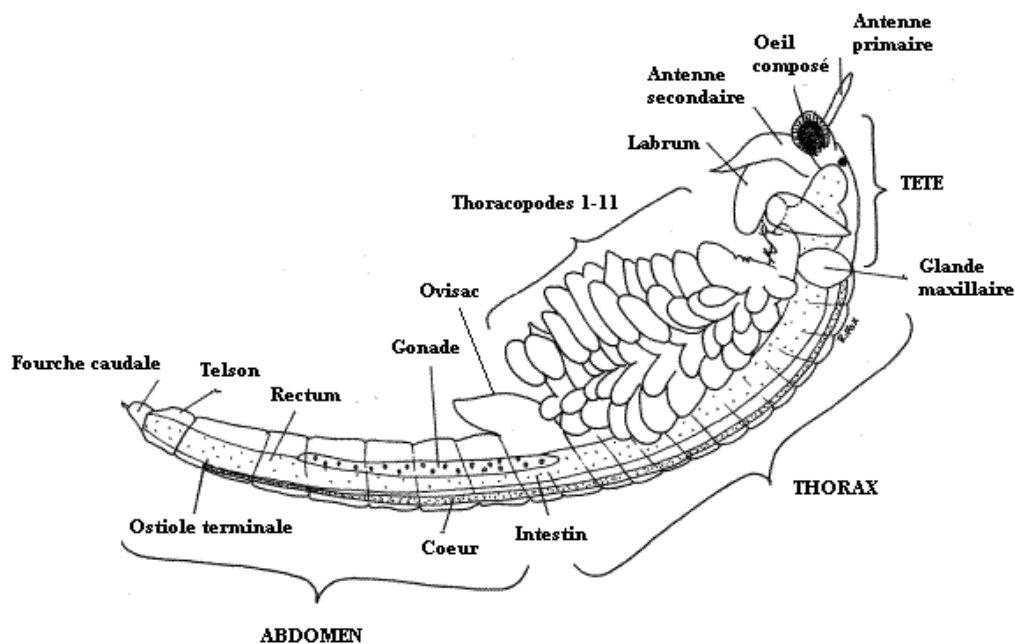


Figure 2. Femelle adulte vue latérale.

- **Abdomen :** Il est forme de 08 segments apodes. Les plus proches du thorax sont les segments génitaux, les autres proprement abdominaux et se terminent par le telson pourvu d'une fourche caudale. L'insertion entre thorax et abdomen est très claire chez l'espèce sexuée de la zone Eurasienne et Méditerranéenne, précisément entre l'insertion du 11^{ème} thoracopode et le bord antérieur de l'utérus se présente une ceinture bien marquée principalement chez les femelles. Les segments génitaux sont plus volumineux que les autres thoraciques et abdominaux, hypertrophiés au niveau ventral donnant lieu à l'appareil génital : sac ovigère ou utérus chez la femelle et la vésicule séminale et pénis chez le mâle. Les

gonades, ovaires et testicules en paires se présentent en forme de cordons fins, atteignant le 5^e et 6^e segment abdominal en sens parallèles (Fig. 4).

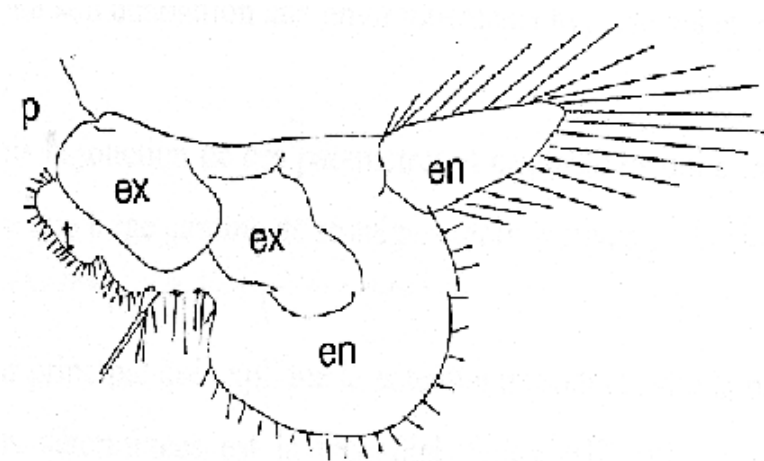


Figure 3. Thoracopode vue dorsale (HONTORIA, 1990) ; ex, exopodite ; en, endopodite ; t, télopodite ; p, protopodite.

Chez les femelles de chaque ovaire sort un oviducte qui conduit les ovocytes à un utérus moyen unique. Dans l'utérus les œufs commencent leur division après la fécondation et terminent leur développement comme embryon jusqu'à la formation du nauplius ovovivipare où au moment de la phase embryonnaire gastrula, se couvre d'une coquille protectrice (chorion) et sera émis au milieu sous forme d'œuf cystique ou de durée. La substance qui forme le chorion provient de la glande coquillière, composée de quatre formations granulaires visibles dans l'utérus. Elle a une couleur marron rougeâtre foncée spécialement lorsque la femelle prévoit de produire l'œuf de durée.

Chez le mâle les produits séminaux provenant des testicules parcourent les vésicules séminales en forme de U de chaque côté et sortent à l'extérieur par les vaisseaux efférents. Le pénis possède une capacité rétractile. En absence d'activité sexuelle se rencontre au repos en forme rétracté, mais peut augmenter doublement sa longueur habituelle pour projeter le liquide séminal dans l'utérus de la femelle au moment de la fécondation.

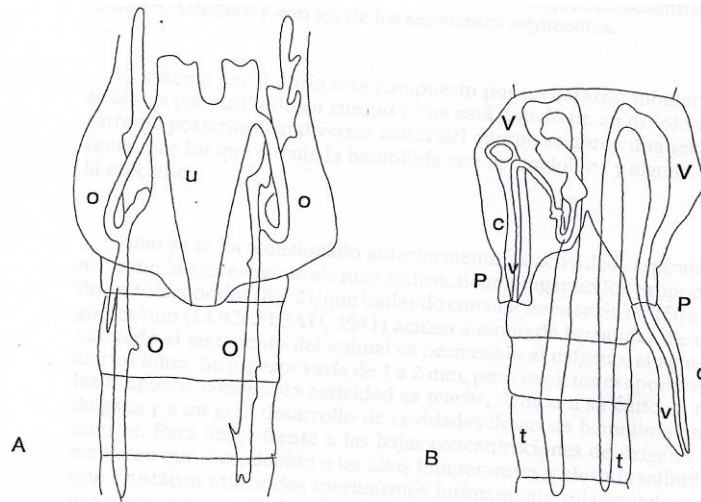


Figure 4. A. Appareil reproducteur de la femelle, vue ventrale (HONTORIA, 1990) : O, ovaires; o, oviductes; u, uterus.
 B. appareil reproducteur du male, vue ventrale ; (HONTORIA, 1990) : c, cirre ; P, pénis ; t, testicules ; V, vésicules séminales ; v, vaisseaux efférents

A partir de l'insertion postérieure de l'utérus et des testicules succèdent les autres segments (06) abdominaux parfaitement délimités et de diamètres décroissants. Le dernier correspond au telson et présente deux structures allongées en forme de lobes en disposition latérale appelé fourche caudale présentant au bord de longs cils, et entre ces lobes s'ouvre l'orifice anal.

La fourche caudale est la structure anatomique la plus variable chez *Artemia*, son aspect peut changer notablement d'une race à l'autre ou parfois pour la même race en fonction des conditions du milieu particulièrement la salinité. A de fortes salinités, la fourche peut disparaître ou ne présente pas de soies, par contre dans des salinités voisines à l'eau de mer, la fourche est bien développée avec jusqu'à plus de 20 soies par lobe.

En conditions normales, on peut observer différentes formes de la fourche pour les différentes espèces ou variétés. Ce caractère morphologique très variable a fait l'objet de beaucoup de divergences entre les premiers auteurs qui ont travaillé sur la morphologie de l'*Artemia*. Cependant il s'avère judicieux de ne pas accorder beaucoup d'importance taxonomique à la morphologie de la fourche caudale, mais dans certains cas il reste comme caractère d'orientation

1.2.2. Alimentation

L'*Artemia* est un crustacé filtreur, son alimentation est basée sur la capture de bactéries, halophiles externes (*Halobacterium* et *Holococcus*), algues unicellulaires

(*Dunalliella* sp et autres *Diatomés* et *Cyanophycés*), de petits protozoaires et autres particules organiques en suspension dans son milieu de vie. Les battements des thoracopodes créent des courants d'eau en sens opposés, certains allant jusqu'à l'extrémité postérieure du corps et d'autres le long du canal ventral de la région thoracique. Les particules captées par les télépodites (Fig. 3) sont transportées par ce deuxième type de courant jusqu'à la cavité buccale où sont entourées par une sécrétion visqueuse avant que les maxillaires et les mandibules ne les expédient dans l'œsophage. L'aliment ainsi ingéré passe par l'œsophage puis au niveau d'une vésicule globulaire assimilée à un estomac rudimentaire, puis vers l'intestin et en fin l'anus.

Les nauplii n'ont pas d'appendices bien développées, alors durant les premières heures ils s'alimentent de leurs réserves vitellines accumulés au niveau de l'organe nucal, jusqu'au stade II (HEATH, 1924). Une fois les réserves achevées, ils capturent l'aliment à l'aide des cils insérés au bord des antennes secondaires à mesure que les télépodites se développent.

La relation qui s'établit entre les populations d'*Artemia*, la prolifération des microalgues et les bactéries a un effet bénéfique pour les salines surtout en matière d'extraction du sel. L'*Artemia* frêne la prolifération excessive de quelques microalgues Cyanophycées comme le *Coccochloris*, qui a tendance à éliminer d'autres organismes associés dans la saumure, et forme par la suite un mucilage qui empêche la bonne cristallisation du chlorure de sodium. D'autre part les métabolites excrétés par l'*Artemia* ainsi que leurs restes en décomposition, représente un substrat riche en aminoacides idéales pour le développement des communautés bactériennes de *Halobacterium* et *Halococcus*. Ces derniers confèrent à la saumure la couleur rougeâtre, qui favorise la capture de l'énergie solaire, entraînant l'élévation de la température qui produit l'évaporation et la cristallisation.

1.2.3. Reproduction

La reproduction de l'*Artemia* fut étudiée par GOLDSHMITT (1952) et par FAUTREZ et FURLEFAN (1971). Les populations d'*Artemia* présentent deux types de reproduction : sexuelle avec la présence de mâles et femelles chez l'espèce sexuée et asexuée ou parthénogénétique avec la présence exclusive de femelles chez la souche asexuée (clones parthénogénétiques). Il n'a jamais été démontré la capacité d'alterner cycliquement les deux formes de reproduction comme le cas des autres crustacés (Daphnies), rotifères ou insectes.

Les deux types de femelles (sexuées ou asexuées) peuvent donner deux classes de descendance: un embryon qui achève son développement embryonnaire à l'intérieur de l'utérus de la femelle et naît comme nauplii parfaitement formé (ovovivipare) ou bien des

embryons qui une fois, atteignent le stade blastula avancé ou début du gastrula, entrent en stade de diapause, se recouvrent de l'enveloppe tertiaire résistante sécrétée par une glande au niveau de l'utérus (glande coquillière). Ils sont ensuite émis dans le milieu comme cystes ou œufs de durée (ovipare) (Fig. 5, photo 3).

Exceptionnellement certains cystes éclosent immédiatement après être émis par la femelle, appelés cystes spontanés (DUTRIEU, 1960), peuvent être le résultat d'un problème dans l'induction de la diapause ou lorsque la femelle change de type de reproduction (LAVENS et SORGELOOS, 1987a).

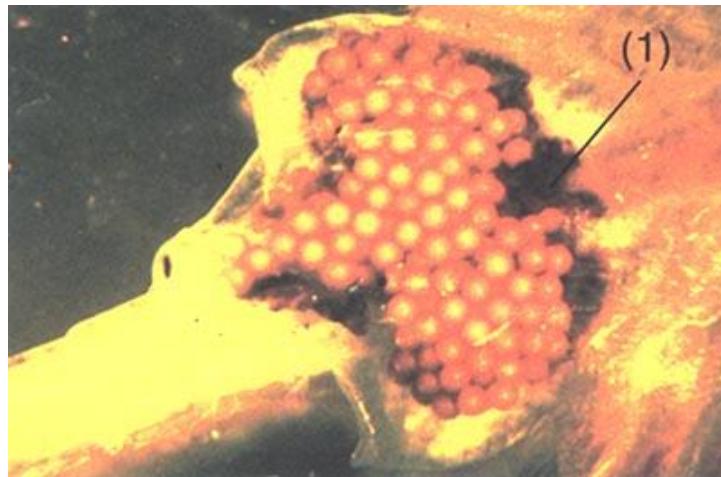


Photo 3. Utérus de la femelle : (1) glande de coque (de couleur marron)
(LAVENS et *al.* 1996)

La majorité des cystes restent dans l'état de cryptobiose ou de diapause avec un métabolisme suspendu jusqu'à ce que les conditions du milieu soient favorables pour amorcer la désactivation de la diapause.

Les facteurs qui déclenchent le processus d'oviparisme restent un sujet de larges discussions. DRINKWATER et CLEGG (1991) concluent que ce sont les facteurs environnementaux qui déterminent le mode de reproduction chez *Artemia* et sont spécifiques et multiples pour chaque population. On suppose qu'en conditions environnementales favorables le processus de développement ovovivipare est habituel.

Suite aux menaces qui entraîne la disparition de population tels que la carence d'aliments, les fortes températures et salinités ou le manque d'oxygène, les cystes sont libérés dans le milieu supportent ainsi les conditions limites et assurent l'apparition d'une nouvelle population en conditions favorables (LENZ, 1987).

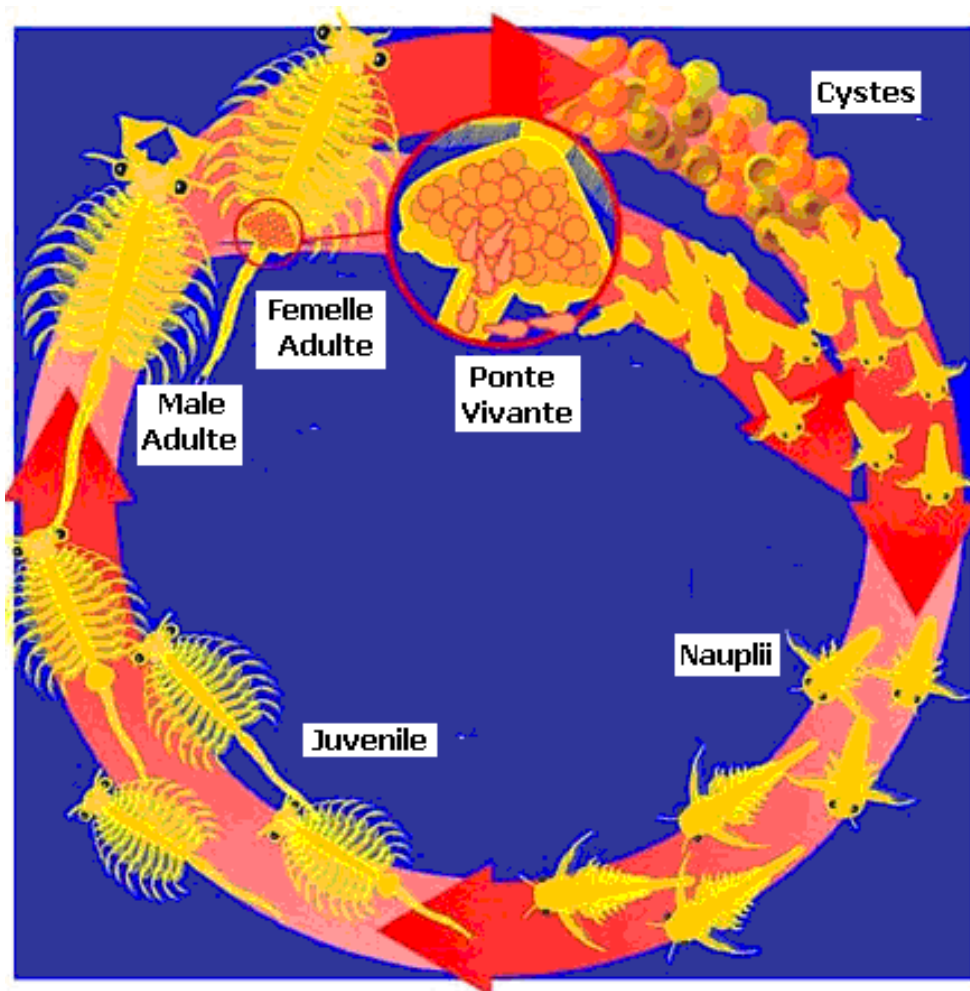


Figure 5. Cycle de vie de l'*Artemia* (LAVENS *et al.* 1996)

Chez les espèces sexuées, lorsque les individus atteignent la maturité sexuelle, chaque mâle par son réflexe d'accouplement s'unit à une femelle par le biais de ses appendices céphaliques (antennes). Il la maintient par dessus l'utérus, tout en fléchissant son abdomen et introduit l'un de ses deux pénis dans l'appareil génital de la femelle et libère ainsi son sperme.

Le couple peut rester dans cette position (riding position) durant un certain temps jusqu'à ce que le processus de la fécondation soit achevé (photo 4). Entre temps, l'ovogenèse a progressé chez la femelle, ce qui est facilement visible à travers le corps transparent de l'animal. Le processus de l'ovogenèse chez la femelle est présenté dans la figure 6 :

- Avant le processus de l'ovogenèse au niveau de l'abdomen des femelles, on observe uniquement l'allure du tube digestif (stade A).
- La formation des oocytes débute dans les ovaires et montre l'apparition de petites tâches opaques de couleur rosâtre le long des ovaires de chaque côté du tube digestif

(stade B), où vont se développer en accumulant le vitellus dans leur cytoplasme. Durant les phases B et C croissent des oocytes, la phase C est très courte.

- Par la suite ils migrent vers les sacs latéraux des oviductes (Stade D), puis vers l'utérus en forme d'ovules.
- Durant cette phase les ovules se rencontrent dans la première métaphase méiotique ou en phase équivalente pour les souches parthénogénétiques. La fécondation des ovules a lieu durant cette phase.

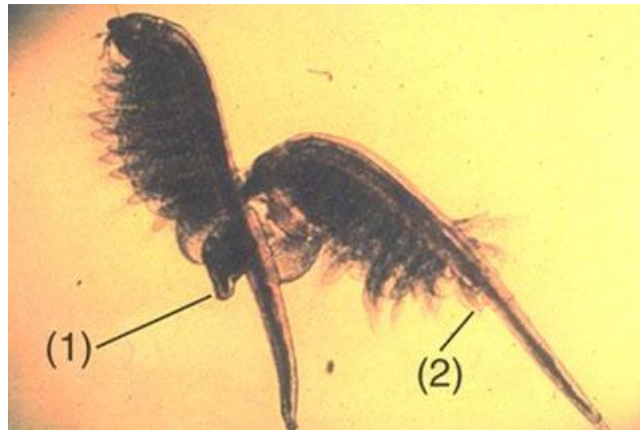


Photo 4. Couple d'*Artemia* en position d'accouplement (Riding position ou position d'équitation) ; (LAVENS *et al*, 1996) : 1, uterus ; 2, penis

Une fois les oocytes fécondés, passent à l'utérus, où s'effectuera le reste du développement embryonnaire (phase E). Quant la ponte atteint le stade D, se déclenche une nouvelle activité des ovaires, on assiste à une superposition des générations mais jamais de mélange entre pontes. Suite à cette fréquence a lieu des pontes de nauplii ou cystes en nombre variable selon la population, l'âge de l'animal et autres conditions écophysiologicals. Dans les conditions les plus favorables une femelle peut dépasser 400 nauplii par ponte.

Tel qu'il est récolté dans la nature, le cyste d'*Artemia* produit par le mode ovipare, a une forme biconcave de couleur brun foncé parfois pâle. Il constitue un embryon en phase de blastula ou gastrula protégé par le chorion, qui est une paroi externe rigide et résistante. Le diamètre des cystes varie entre 200 et 270 micromètres (AMAT, 1982b) selon les espèces et la ploïdie des souches.

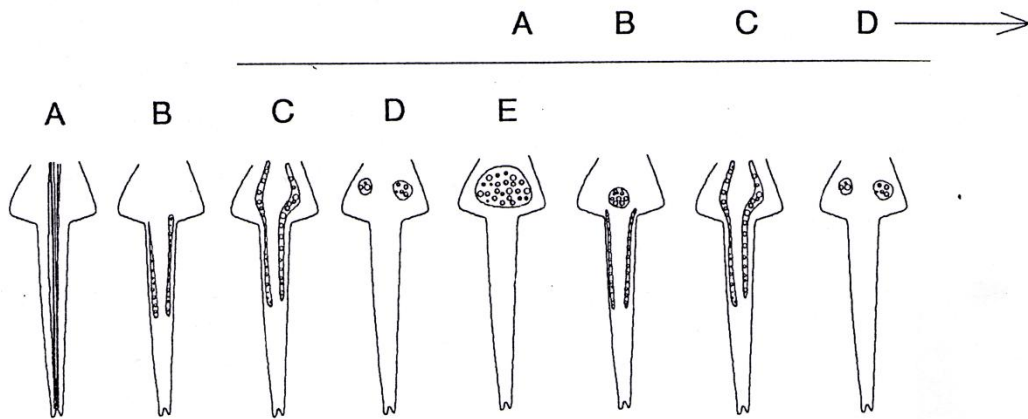


Figure 6. Processus de l'ovogenèse jusqu'à la femelle d'*Artemia*. A, état de repos ; B, activité des ovaires ; C, migration des oocytes ; D, accumulation des oocytes dans les oviductes ; E, accumulation des oocytes dans l'utérus pour leur fécondation. AMAT (1985a)

Après déshydratation, le cyste présente une forme semi-sphérique avec un hémisphère totalement invaginé dans l'autre (Photo 5). Une fois réhydratée, il récupère sa forme totalement sphérique.



Photo 5. Cystes d'*Artemia*

L'embryon en diapause est enfermé dans le cyste. Il est enveloppé (Fig. 7) par l'espace sous cuticulaire et la membrane cuticulaire ou embryonnaire interne (mci), fine membrane perméable uniquement aux molécules ayant une taille réduite tels que l'O₂, CO₂, NH₄. Cette dernière est entourée par le chorion composé :

- la cuticule embryonnaire ou couche fibreuse (cf) et une fine membrane cuticulaire extérieure (mce).
- L'enveloppe tertiaire composée de la couche alvéolaire (ca) et la couche corticale (cc), les deux couches sont composées de canaux qui piègent l'air et permet la flottabilité du cyste.

Les cystes sont émis par la femelle en périodes critiques lors d'une déficience en nourriture, fortes salinités, ou une baisse des niveaux d'oxygène dans les milieux afin d'assurer la survie de la population.

Le chorion présente la caractéristique protectrice des cystes d'*Artemia*, grande tolérance aux basses et hautes températures, résistance à l'action des solvants organiques, protection contre les radiations, résistance aux ruptures mécaniques etc. De plus le chorion présente un degré hygroscopique de tel sorte qu'il est capable de capter l'eau de l'environnement jusqu'à 200% du poids du cyste, processus d'hydratation qui fait perdre sa flottabilité et initie le métabolisme des carbohydrates en anaérobiose où le tréhalose se convertit en glycogène et en glycérine (CLEGG & CONTE,1980)

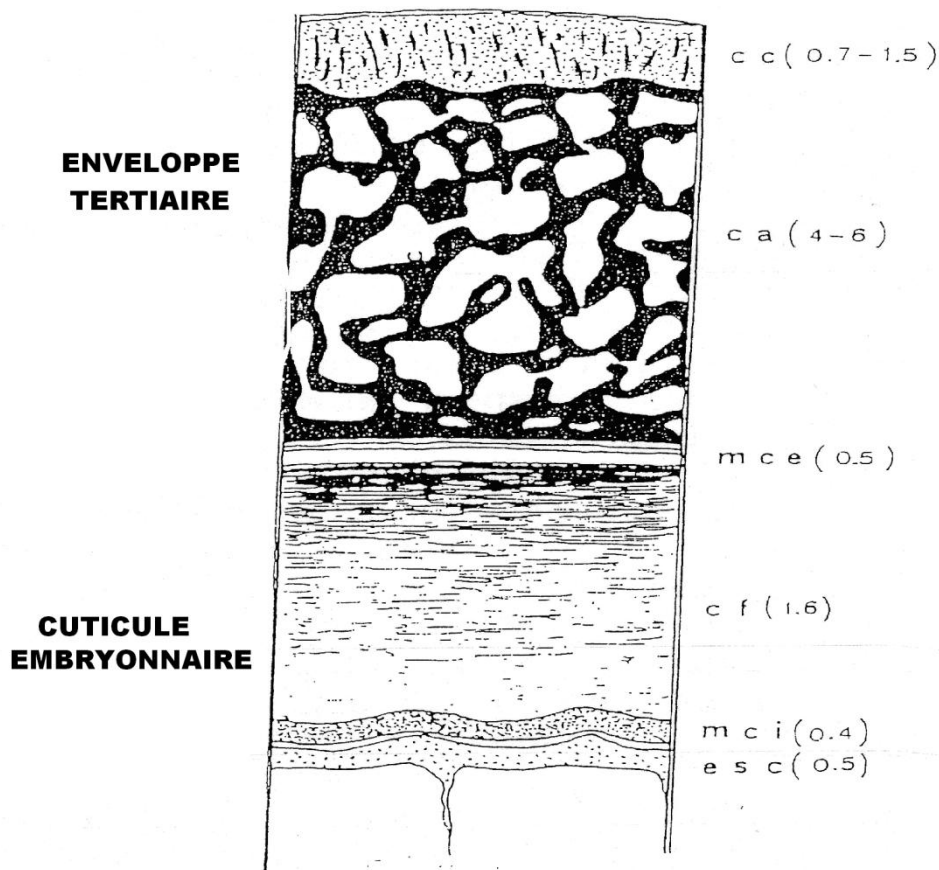


Figure 7. Coupe transversale chorion d'un cyste d'*Artemia* (KHALAF et al., 1978).

esc, espace sub-cuticulaire ; mci, membrane cuticulaire interne ; cf, couche fibreuse ; mce, membrane cuticulaire externe ;ca, couche alvéolaire ; cc, couche corticale ; entre parenthèses est exprimé l'épaisseur approximative en micron.

L'accumulation de la glycérine à l'intérieur du cyste provoque l'augmentation de la pression osmotique interne, ce qui produit par la suite la déchirure du chorion et la sortie de l'embryon à l'extérieur protégé par la membrane embryonnaire.

Quelques heures après, le nauplii rompe cette cuticule (phase éclosion) et sort libre dans le milieu (premier stade larvaire) (Photo 6, Fig. 8)

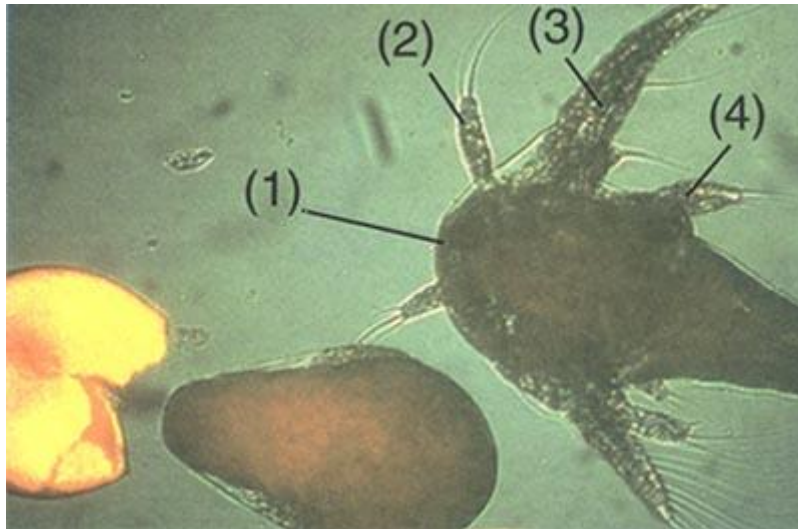


Photo 6. Nauplius d'*Artemia* après éclosion ;(LAVENS et al.1996) : (1) œil nauplien ; (2) antennule ; (3) antenne ; (4) mandibule.

Le nauplii d'*Artemia* (stade larvaire I) mesure environ 400 microns. Les nauplii d'origine ovovivipare sont plus grands que ceux d'origine ovipares, et ils sont de couleur orange due à la présence de caroténoïdes et du vitellus. Le nauplii est formé de trois paires d'appendices qui comprennent : les antennes (photo 6, Fig. 8) relativement larges qui servent à la locomotion, les antennules et les mandibules qui elles, joueront un rôle alimentaire dès le deuxième stade larvaire (méta-nauplius).

Durant le premier stade larvaire, le tube digestif n'est pas complètement développé et le nauplii se nourrit uniquement de ses réserves vitellines. Entre les antennules on distingue une paire d'ocelles, et du côté ventral un large labrum.

Quelques heures après cette étape, le nauplii s'allonge en subissant une première mue pour se transformer en larve méta-nauplius. Durant cette seconde phase de développement larvaire, la larve est parfaitement apte à ingérer de petites particules telle que les cellules de microalgues, de bactéries. La collecte de ces particules se fait à l'aide des antennes et sont acheminés en direction de la cavité buccale. Pendant ce deuxième stade larvaire le tube digestif devient fonctionnel, la bouche et l'anus sont également ouverts. Par la suite les autres stades de développement se succèdent. Au cours des six premiers stades larvaire se produit un élancement et une segmentation prononcée du corps de la larve méta-nauplius. Des transformations morphologiques et physiologiques accompagnées de mues successives surviennent, permettant ainsi le développement et la croissance de la larve. Les huit premières

paires de pattes thoraciques (thoracopodes) se forment et entraînent une progression plus soutenue de la larve. A partir de ce moment, les yeux complexes se pigmentent et la larve atteint environ une taille de 1,4 millimètre. Jusqu'aux stades 10 et 11, le développement des thoracopodes se poursuit et d'autres paires de thoracopodes continuent à se développer. A partir de la quinzième mue la segmentation abdominale s'achève, les 11 paires de thoracopodes sont complètement formées. A cette étape de la vie, la larve devient adulte et la maturité sexuelle est atteinte. Celle-ci se caractérise par la présence d'une sorte d'excroissance (une paire de protubérance) qui apparaît à la base des antennes chez le mâle, de même qu'une paire de pénis à la partie inférieure du corps. Chez la femelle l'utérus se différencie en une poche utérine, pendant que le premier cycle ovarien se déclenche. A ce stade de développement, les positions de pré-accouplement des couples commencent déjà à apparaître (photo 5). Les deux partenaires peuvent se déplacer dans cette position pendant plusieurs heures avant de s'accoupler.

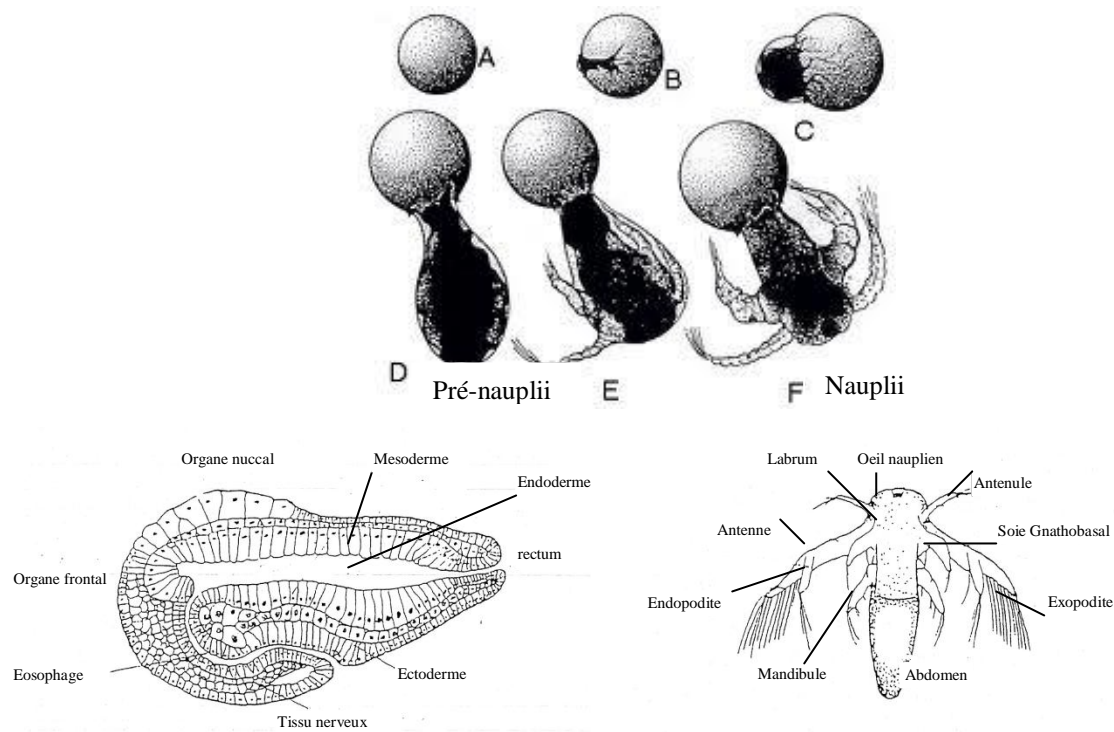


Figure 8. Phases de développement du nauplii d'*Artemia* :A, cyste ; B et C, phases d'éclosion ; D, pré-nauplii ; E et F, nauplii. Schéma de la morphologie du pré-nauplii et du nauplii

Le cycle biologique de l'*Artemia* dure environ de 14 à 17 jours, bien qu'il a été décrit des cycles plus courts jusqu'à 9 jours. Chez *Artemia*, la taille de l'individu, le développement rapide et la fréquence des mues etc., varient selon l'espèce et l'influence des facteurs physico-

chimiques tels que la salinité, la température, la concentration d'oxygène, le pH, le type et la disponibilité d'aliment, ou la densité de la population.

1.2.4. Système respiratoire et mécanisme de régulation osmotique

Le système respiratoire se trouve dépendant directement de l'activité locomotrice et indirectement de l'activité excrétoire du chlorure de sodium qui forme une partie du mécanisme de régulation osmotique.

Ces deux activités, respiratoire et excrétoire des ions, se localisent au niveau des exopodites des phyllopoies ou thoracopodes qui agissent comme les branchies. En général, on croit que le tégument du corps est plus ou moins perméable à l'oxygène, à l'eau et autres ions, son épaisseur varie entre 1 à 2 microns selon la zone et est composé principalement de chitine. Les mouvements continus des thoracopodes, permettent un renouvellement continu de l'eau, de plus leur cuticule très fine, présente des cavités internes très développées et riches en hémolymphe, ce qui facilite l'échange entre le milieu extérieur et l'hémoglobine.

Les individus qui se trouvent en conditions de fortes salinités, présentent des exopodites avec une intense coloration rouge, par rapport au reste du corps. *Artemia* peut s'adapter à différentes concentrations d'oxygène, cette adaptation consiste en la formation de diverses hémoglobines spécialement celle appelée Hb3 (DECLAIR et al, 1980 in AMAT 1985b) qui présente des affinités élevées pour l'oxygène. Il paraît que cette hémoglobine confère une certaine adaptation physiologique qui lui permet de faire face aux situations de fortes températures, aux faibles concentrations d'oxygènes ou les hauts débits de CO₂ dissous.

Le phénomène marquant dans la physiologie de la respiration de l'*Artemia* est la formation ou la disparition des pigments respiratoires comme mécanisme d'adaptation aux conditions du milieu.

Une des caractéristiques très importantes chez *Artemia* est la possibilité de vivre aussi dans des salinités extrêmes. Cette adaptation qui permet de vivre aussi bien en eau douce qu'en eau très riche en chlorure de sodium jusqu'à saturation, implique une particularité physiologique très intéressante liée au contrôle de la pression osmotique.

La pression osmotique de l'hémolymphe reste en dessous de celle du milieu extérieur. Si la salinité augmente, la concentration de l'hémolymphe a tendance à augmenter aussi mais pas de la même magnitude. Parallèlement il se produit une perte d'eau, qui se répercute sur la physiologie de l'animal. Ainsi les animaux en conditions de fortes salinités n'atteignent pas leur taille normale que s'ils étaient en conditions normales de salinité.

Dans le cas du nauplius, qui ne présente pas d'appendices lui permettant de réaliser ces mécanismes, l'excrétion est localisée au niveau de l'organe nucal (neck organe) ou la glande de sel décrite par DEDJAR (1930 in AMAT 1985b), qui est considérée comme une partie du système fonctionnel des branchies. Au fur et à mesure que l'animal se développe, le nombre de thoracopodes et d'exopodites augmente, l'organe nucal a tendance à dégénérer.

1.3. Ecologie de l'*Artemia*

L'*Artemia* se retrouve exclusivement au niveau des écosystèmes hypersalins, caractérisés par une faible diversité biologique et par l'absence de prédateurs. Les habitats naturels comprennent les salines et les lacs salés, temporaires ou permanents situés en zones côtières appelés aussi thalassohalins et caractérisés par leur richesse en chlorure de sodium, ou continentales athalassohalins riches en sulfate, carbonates ou encore en potassium. La majorité des biotopes colonisés par l'*Artemia* sont constitués de saumures peu profonds (salines), mais parfois présentant une certaine profondeur avec une stratification physico-chimique et biologique importante (lacs salés comme de Grand Lac salé Utah U.S.A).

Face aux paramètres écologiques biotiques et abiotiques, l'*Artemia* est capable de développer de larges tolérances. Pour certains facteurs comme la température, la salinité, la concentration d'oxygène ou la disponibilité de l'aliment, les intervalles de tolérance sont très larges même au sein de la population.

L'*Artemia* supporte de grands intervalles de salinité, on a rencontré des populations dans des salines inférieures à l'eau de mer et dans des saumures très saturées (BOWEN et al, 1988 ; McDONALD et BROWNE 1989). AMAT (1979) signale l'existence de populations d'*Artemia* vivantes à une salinité de 330 gl^{-1} , avec de faibles activités. Ainsi en milieu naturel où les saumures sont très saturées et les températures sont fortes, ces facteurs ont une influence directe sur le comportement physiologique de l'animal.

Cette caractéristique d'être euryhaline leur permettant de vivre dans des intervalles de salinité compris entre 10-20 gl^{-1} et plus de 300 gl^{-1} , est due à sa grande capacité d'osmorégulation. Son hémolymphe est maintenue hypotonique par rapport au milieu environnant (CROGHAN, 1985a) grâce à l'excrétion active des sels par le biais des exopodites des thoracopodes ou périopodes. On peut rencontrer les populations de ce crustacé dans des eaux riches en chlorures, sulfates, carbonates, potasses etc., dont la composition ionique est totalement différente à ceux de l'eau de mer (COLE et BROWNE 1967 ; BOWEN et al 1985).

La température vitale optimale de l'*Artemia* est au tour de 25-27°C, en général l'intervalle minimal et maximal de survie est entre 5 et 35°C. Ces limites ne sont pas fixes et restent liés aux caractéristiques de chaque population et espèce (AMAT 1985a).

Parmi toutes les populations d'*Artemia* retrouvés actuellement et celles qui possèdent une meilleure adaptation à vivre à des températures plus basses proviennent du Tibet (Chine). Il a été décrit au moins 16 localités de cette espèce (*A. tibetiana*) dans la Meseta Quinghai-Tibet (XIN et *al.*, 1994 ; ZHENG 1997) et celles de la Patagonie Argentine où on a décrit plusieurs populations de *A. persimilis* (MEDINA et al 2007).

CHAPITRE 2

DETERMINATION SYSTEMATIQUE DES POPULATIONS ALGÉRIENNES D'ARTEMIA PAR L'ANALYSE BIOMÉTRIQUE

2.1. Rappels bibliographiques sur la morphométrie de l'*Artemia*

Les premières études de classification systématique des espèces du genre *Artemia* furent basées sur la morphologie des individus des différentes populations. Ces études furent réalisées sur des individus de populations naturelles sujettes directement aux grandes fluctuations environnementales. Les observations ainsi obtenues, ont conduit à de grandes erreurs taxonomiques et systématiques. Cependant plusieurs formes et espèces ont été décrites, il s'est avéré par la suite, qu'ils étaient dues à l'influence de la salinité (GILCHRIST, 1960; BARIGOZZI, 1974; AMAT, 1979, 1980c).

Postérieurement, il a été démontré la possibilité d'identifier une population à travers une série de mesures du corps et d'appendices des individus issus de cette population et élevée en conditions standards de laboratoire. Les paramètres morphométriques considérés dans ces méthodes sont la longueur de l'abdomen, la longueur de la fourche caudale ainsi que le nombre et l'insertion des soies par rapport à la taille et le sexe.

AMAT (1979, 1980b) réalise une étude morphométrique de 22 populations méditerranéennes comparées à la population de San Francisco (Californie, USA), tout en utilisant 9 paramètres biométriques. Il déduit que les caractères qui permettent de mieux différencier les populations sont la longueur et la largeur de l'abdomen, la morphologie et la longueur de la fourche caudale, l'insertion des soies et enfin la structure des appendices de la tête et l'œil composé ou pédonculé.

La condition qui permet de différencier à simple vue d'œil, une population sexuée d'une autre parthénogénétique est la présence de mâles dans la première. Les femelles des formes sexuées et parthénogénétiques diploïdes dépassent rarement la taille de 13 mm alors que les femelles des souches parthénogénétiques tétraploïdes atteignent de grandes tailles et peuvent dépasser les 18 mm de longueur.

Les individus de la souche sexuée diploïde américaine originaire de San Francisco Bay (Californie) dépassent en taille ceux de la souche sexuée diploïde autochtone et présentent un aspect plus robuste.

Parmi les caractères étudiés pour la différenciation morphologique de ces diverses espèces d'*Artemia* on définit : la morphologie de l'utérus chez la femelle, la morphologie de la fourche caudale le nombre et la forme d'insertion des soies et la morphologie de la tête ainsi que les organes implantés dessus. La variabilité de ces caractères est présente dans les figures 12, 13 et 14.

La forme de l'utérus fût le caractère de différenciation le plus stable chez les différentes espèces. Elle est bien visible chez les femelles adultes sexuellement actives ou au

moment où les oocytes sont en plein développement avant la première ponte, ou bien quand l'utérus est plein de cystes ou de nauplii au moment de la naissance.

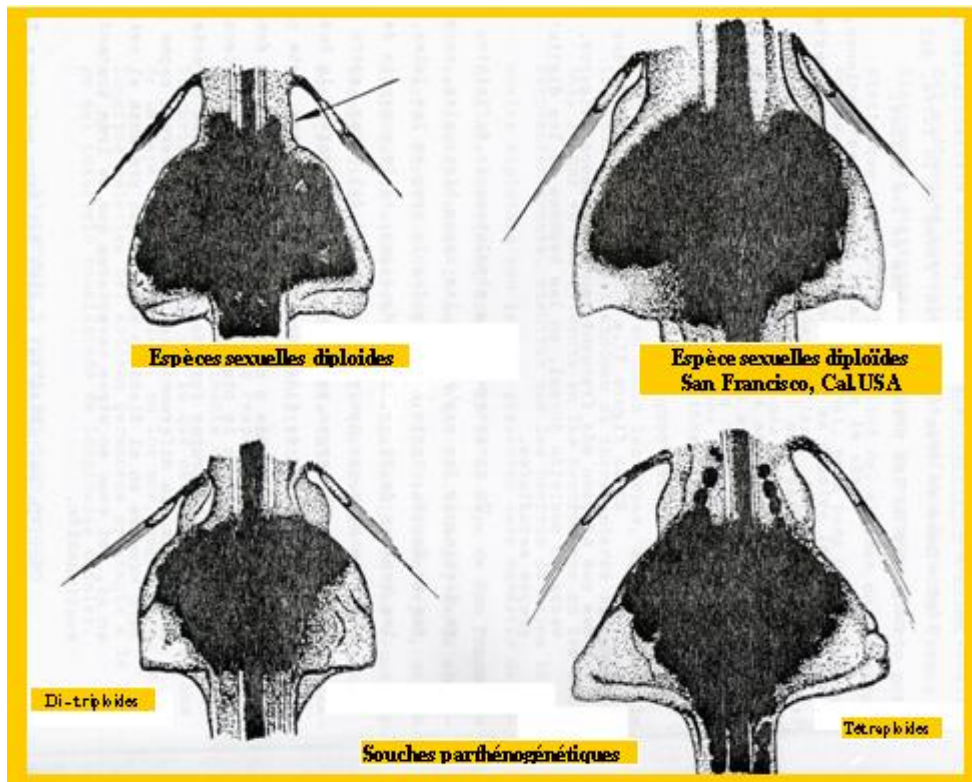


Figure 12. Morphologie de l'utérus (AMAT, 1985a)

Les caractères définitifs pour distinguer les femelles de l'espèce sexuelle des souches parthénogénétiques autochtones est la présence d'une ceinture ou l'absence de protubérances au niveau des deux côtés du thorax, juste entre l'insertion de la marge antérieure du sac ovigère et la base de la 11ème paire de phyllopodes. Ces protubérances apparaissent plus ou moins accentuées chez les souches parthénogénétiques et chez l'espèce sexuée diploïde américaine.

Les différences morphologiques de la fourche caudale ont suscité l'identification de nombreuses espèces, sous espèces et variétés d'*Artemia*, dus aux résultats de l'action des salinités extrêmes sur son aspect général. Cependant, lorsqu'il s'agit d'espèces réellement distincts (sexuées/parthénogénétiques, diploïdes/tétraploïdes) maintenus en conditions standards d'élevages, ces différences sont beaucoup plus pour l'orientation (Fig. 13).

Chez l'espèce sexuée autochtone (*A. salina*), l'aspect de la fourche présente une différence entre les deux sexes. Les mâles apparaissent avec une fourche plus longue, plus

fourchue et avec un nombre élevé de soies. La forme de la fourche est totalement différente entre l'espèce américaine (*A. franciscana*) et l'espèce sexuée autochtone.

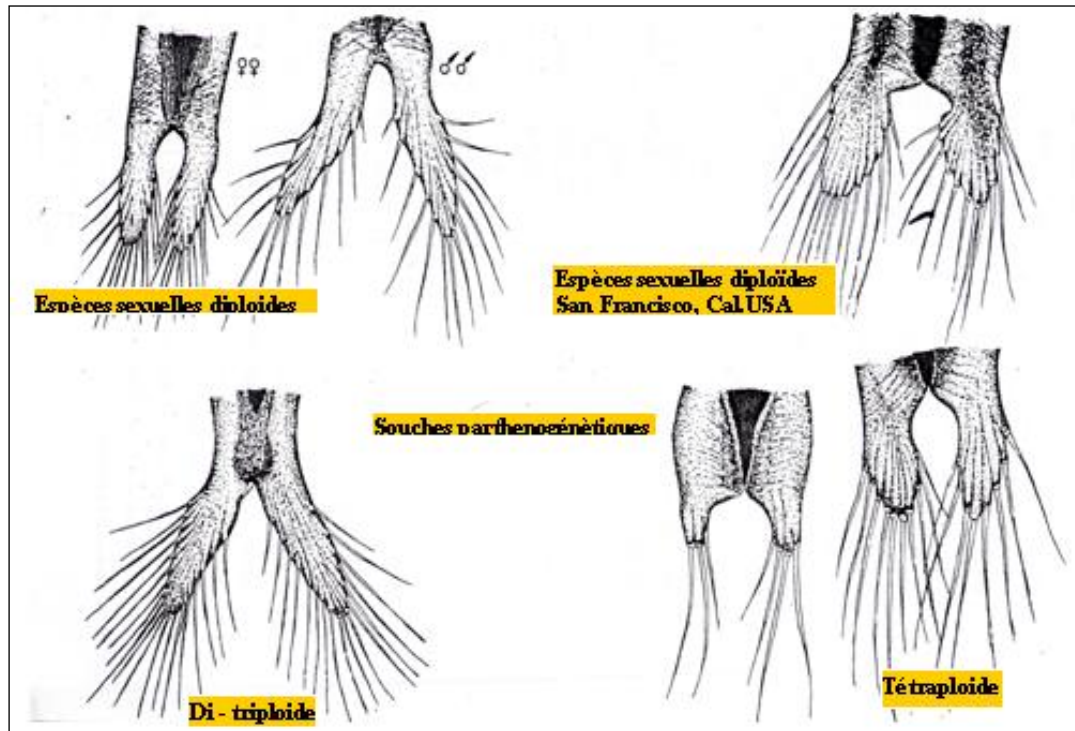


Figure 13. Morphologie de la fourche caudale (AMAT, 1985a)

Chez les souches parthénogénétiques diploïdes l'aspect de la fourche est fuselé. La forme des rames est plus régulière. L'implantation des soies est uniforme et ordonnée. Pour ce qui est de la souche tétraploïde, la fourche présente une taille réduite.

L'aspect général le plus robuste qui distingue l'espèce native des salines de San Francisco Bay est la largeur de la tête aussi bien chez le mâle que chez la femelle. Chez les individus de l'espèce sexuée autochtone de la même taille, la largeur céphalique est plus réduite. L'espèce américaine montre un contour céphalique arrondi adoptant presque une forme parfaitement elliptique. Par contre chez l'espèce autochtone du vieux continent, le profil céphalique montre des irrégularités qui sont plus apparentes chez les souches parthénogénétiques. Le contour de la tête adopte des fois une forme presque rectangulaire (Fig. 14)

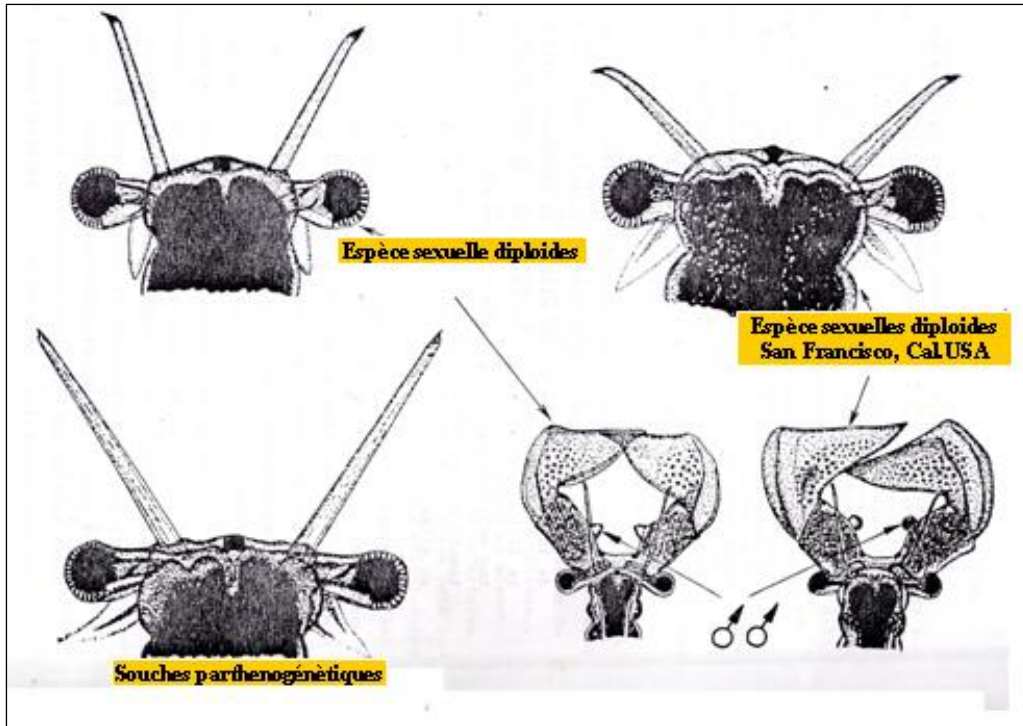


Figure 14. Morphologie de la tête (AMAT, 1985a)

En définitif, l'utilisation des paramètres morphologiques ne permet pas de caractériser un échantillon d'*Artemia* à niveau de population, mais plutôt à niveau d'espèces. De plus ces caractères dérivent de l'information génétique contenu dans les embryons produits par des cystes de la population originale et n'ayant pas subi de pressions dus aux changements des conditions du milieu (AMAT 1985a).

L'inconvénient qu'entrave l'utilisation de ce type de caractérisation est le fait d'avoir besoin d'une population d'adultes, élevée en conditions standards. C'est une méthodologie qui n'est pas facile et rapide. D'autre part l'avantage consiste à effectuer une série de mesures simples face aux techniques de caractérisations sophistiquées.

Cette méthode particulière emploie la caractérisation morpho-biométrique. Elle considère les différentes mesures et aspects physiques externes des individus des différentes populations d'*Artemia*, indépendamment des caractéristiques physico-chimiques de leurs habitats naturels.

Par ailleurs le traitement des données morphologiques se fait par une analyse discriminante ou analyse multi-variée qui tant à maximiser les différences entre les groupes d'observations. De cette manière on acquiert une certaine rigueur dans la sensibilité des études morphologiques (HONTORIA et AMAT 1992).

2.2. Localisation géographique des différents biotopes d'étude

La position géographique de l'Algérie et sa configuration physique permet de distinguer deux zones climatiques, le nord (Tell) avec un climat méditerranéen typique et le sud (hautes plaines et Sahara) avec un climat semi-aride à aride. (GAGNEUR et al. 2001).

Cette climatologie hétérogène confère à l'Algérie une importante richesse en zones humides qui abritent une grande diversité d'écosystèmes. Parmi ces zones humides il y a les milieux hypersalins. Ce sont des dépressions continentales, fréquentes dans les zones arides et semi-arides, peu profondes remplies d'eau salées et étalées sur de grandes surfaces, représentées généralement par les Chotts et Sebkhass. Ils constituent le refuge des oiseaux migrateurs et l'unique lieu de la faune et flore adaptée aux conditions extrêmes et dures. Les plus importants sont situés au niveau des hautes plaines entre l'atlas tellien et l'atlas saharien.

La différence entre ces deux types de zones humides réside dans le mode d'alimentation. Les sebkhass sont sous la dépendance de l'apport des eaux de crue, alors que les chotts sont alimentés respectivement par les apports de ruissellement et aussi par les nappes artésiennes profondes (POUGET, 1971).

2.2.1. Zones humides de l'ouest d'Algérie

Le complexe des zones humides de l'ouest Algérien, englobe principalement la Sebkhass d'Oran, les Marais de la Macta, le Lac Télamine (Saline de Bethioua), Dayet Morsli, Sebkhass de Ben Freha et la Sebkhass de Sidi Bouziane (Fig. 9).

Le site fait partie du plan administratif de la Wilaya d'Oran, Daïra de Bethioua et communes de Bethioua, Boufatis, Aïn Biya et Benfreha et de la wilaya de Mascara et s'étendant jusqu'à la wilaya de Rélizane.

Il est caractérisé par l'étage bioclimatique semi-aride à aride, à variante chaude, avec une pluviométrie annuelle comprise entre 300 et 400 mm et des températures avec 9°C pour janvier, le mois le plus froid, et 32°C en Août, le mois le plus chaud.

Les lacs du complexe sont alimentés par les eaux de pluies et les eaux de ruissellement. Les sels tirent leur origine des eaux de pluie ou lors des ruissèlements et directement par évaporation de l'eau de mer principalement pour les Sebkhass proches de la mer (BENZIANE 1982).

Seulement trois sites ont révélé la présence du crustacé *Artemia* et qui ont fait l'objet d'échantillonnage :

- La Grande Sebkhass d'Oran (35° 33'N 00° 49'W)
- La Sebkhass de Telamine (Saline de Bethioua 35° 42'N 00° 17'W)

- La Sebkhia de Sidi Bouziane (35° 50N 00° 39'E)



Figure 9. Répartition géographique des zones humides de l'ouest d'Algérie

2.2.2. Zones humides des hautes plaines de l'Est Algérien

Le complexe des zones humides des hautes plaines de l'est algérien, est composé d'une bande discontinue de plans d'eau s'étendant sur 175 km du sud de la Wilaya de Sétif passant par la Wilaya d'Oum Bouagui jusqu'à la Wilaya de Khenchela. Il est composé respectivement de l'ouest vers l'est : Sebkhia Guergour El Amri, Chott el Fran, Sebkhia El Hamiet, Sebkhia Bazer, Chott Skhoua (Bekla), Chott Tinsilt, Sebkhia Ezzemoul, Sebkhia Djendli, Garaet et Mahrsel, Garaet Ank Djemel, Garaet Guellif, et Garaet El Tarf (Fig 10).

Le climat de cette zone est semi-aride à aride à hiver froid, avec un à deux mois de gelée par an. Le vent dominant est du secteur Nord-Ouest. Les précipitations moyennes comptent 430 mm par an. Les lacs s'assèchent généralement en été, l'évaporation est très intense et l'eau est salée.

Trois sites révélant la présence de l'*Artémia* ont été considérés dans la présente étude :

- Sebkhia Ezzamoule (35° 53N 06° 30'E)
- Garaet El Taref (35° 40' 07° 00'E)
- Guergour El Amri (36° 00'N 05° 19'E).

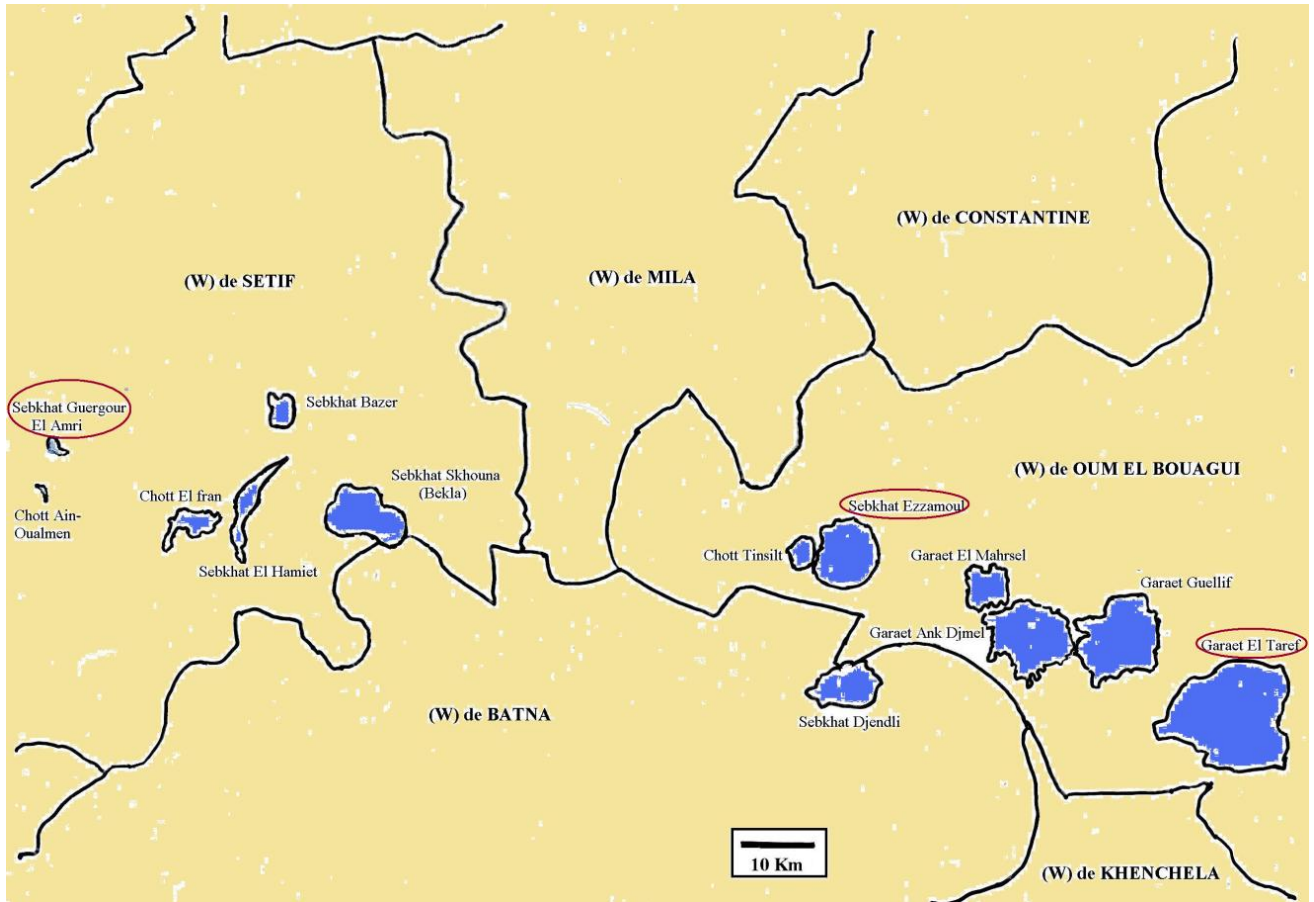


Figure 10. Répartition géographique des zones humides des hautes plaines de l’Est d’Algérie

2.2.3. Zones humides sahariennes

2.2.3.1. La vallée d’Oued Ghir

Elle est située dans le nord-est du Sahara Algérien, s’étale des communes de Still et Oum Tiour au nord jusqu’à la ville de Touggourt au sud. Cette région constitue une vaste cuvette allongée et représente un type assez rare de zones humides semi-permanentes dans une région steppique. Elle se trouve à des altitudes pouvant descendre jusqu’à 30 m au dessous du niveau de la mer et constitue par conséquent le point le plus bas du Sahara.

Le complexe est composé d’une chaîne continue de Chotts : Chott Mélghir (34°10 N, 06°17 E) couvre une surface de 532.426 Ha suivi de Chott Hamraia (34°05 N, 06° 13 E) d’une surface de 30 Ha, Chott Merouane (34°02 N, 5°58 E) avec une superficie de 337.700 Ha, Chott Tindla (33°39 N, 06° 02 E) étalé sur 600 Ha et en fin Chott Tighdidine (33°31 N, 06° 02 E) qui s’étend sur une surface de 200Ha. Du point de vue climatologie, ces Chotts se situent dans l’étage bioclimatique semi-aride à aride. La pluviométrie annuelle moyenne est faible, environ 140 mm par an. Ils sont alimentés par les apports de ruissèlement à partir des

principaux Oueds environnants, et par les nappes artésiennes profondes arrivant en surface par des sources.

Chott Mélghir de la Wilaya d'El Oued (Fig 11), a été retenu comme zone d'étude en raison de la disponibilité de la ressource naturelle *Artemia*.

2.2.3.2. Lac salé d'El Goléa

Le lac salé d'El Goléa (02°55'19N 30°29'04'W), se situe à une altitude de 368 m de la mer. Il se trouve à environ 12 Km d'El Goléa et à 280 km au sud ouest de la ville de Ghardaia, chef lieu de wilaya (Fig. 11).

C'est une dépression endoréique constituée de sols salés qui se compose de deux plans d'eau : un bassin supérieur à salinité modérée variant entre 0 et 4‰ avec une profondeur de 2 m, très riche du point de vue diversité biologique et se présente en étang. Le bassin inférieur considéré comme Sebkhah ou lac salé dénudé a une salinité de 35‰ en amont et 250‰ en aval avec une profondeur moyenne entre 30 et 50 cm et dont les berges sont couvertes de sel.

Les fluctuations du niveau d'eau dépendent de la pluviométrie et de la température, mais le site reste permanent. Les entrées d'eaux proviennent de la pluviométrie, de la remontée de la nappe phréatique, des excès d'eau d'irrigation, d'émergence de sources et des rejets d'eaux usées des agglomérations riveraines.

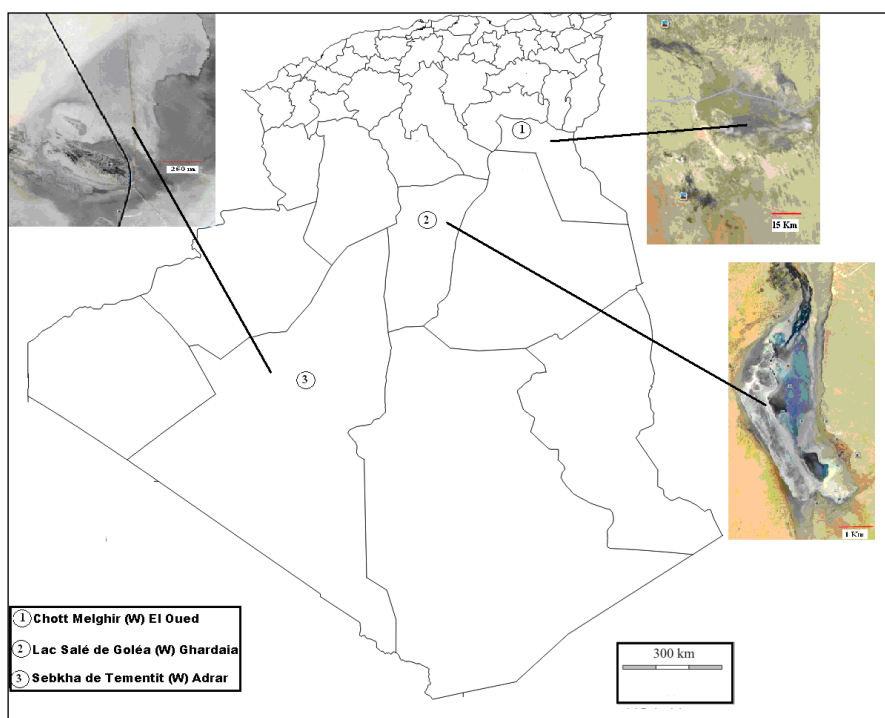


Figure 11. Répartition géographique des zones humides Sahariennes abritant le crustacé *Artemia*

Le climat de la région de Ghardaïa est typiquement Saharien du type aride, il se caractérise par deux saisons : une saison chaude et sèche (d'Avril à Septembre) et une autre tempérée (d'Octobre à Mars) et une grande différence de températures entre l'été et l'hiver. La température moyenne annuelle est de l'ordre de 25°C. Les précipitations moyennes sont très faibles varient entre 20 à 60 mm/an, par contre l'évaporation est élevée environ 2000 mm par an.

2.2.3.3. Sebkha d'Adrar

La sebkha d'Adrar est l'une des formes morphologiques qui fait partie de la région de l'Oasis de Tamentit. Elle est située à une dizaine de kilomètres du chef lieu de la wilaya d'Adrar (27° 47'N 00° 16'W) (Fig. 11). Le climat de la région est du type saharien hyperaride, caractérisé par une intense évaporation. Le mois le plus froid est janvier (12°C à 16°C) et le mois le plus chaud est juillet (36°C à 39°C). La pluviométrie est de 10 mm/an.

Les ressources en eau proviennent de l'aquifère.

2.3. Objectif

L'objectif de ce travail est de caractériser les populations d'*Artemia* des biotopes algériens à l'échelle d'espèces, en utilisant des variables morfo-biométriques.

Une analyse discriminante est appliquée sur ces variables en vue de confirmer ou d'améliorer la résolution de l'observation directe des données. La morphologie des mâles et des femelles a été considérée.

Ce type de caractérisation met en œuvre une population adulte élevée en conditions standards.

2.4. Matériel et méthodes

2.4.1. Populations considérées

Dans le présent travail sont considérées en premier toutes les populations d'*Artemia* repérées dans les biotopes hypersalins énumérés précédemment.

Par ailleurs la méthode d'analyse discriminante appliquée pour ces populations algériennes, requiert une série de données sur des populations connues afin de mener une étude comparative. Ces données sont prélevées de la base d'informations de l'Institut d'Aquaculture de Torre de la Sal d'Espagne. Le choix fût porté sur la population d'*A. franciscana* des salines de San Francisco Bay, pour être considérée comme une des

populations les plus étudiées. Néanmoins, pour pouvoir comparer les résultats dans un cadre de référence plus large et complet, d'autres informations de populations d'*Artemia* d'Europe et des pays adjacents issus de la même base de données, sont incluses dans l'analyse.

2.4.2. Collecte, traitement et conservation des échantillons de cystes

Durant certaines époques de l'année, sur les berges des salines s'accumulent des quantités de cystes, souvent transportés à ces endroits par les vents dominants, lorsqu'ils sont libérés par les femelles d'*Artemia* et abandonnés à la surface des saumures.

Ces accumulations peuvent se présenter en couches d'épaisseurs variables ou éparpillées en films alternés. Elles forment ainsi des bandes d'accumulation de couleur sombre composées d'*Artemia* morte ou en décomposition, de cystes et de brindilles et débris traduisant le cycle de disparition de l'*Artemia* et de régénération de la saline.

La collecte des échantillons s'effectue sur la couche superficielle pour éviter de ramasser le moins possible les matériaux associés aux cystes comme le sable, le pollen, les débris, les plumes etc. Les échantillons sont prélevés dans des sacs en plastique et acheminé au laboratoire pour un processus complet de purification (Fig. 15).

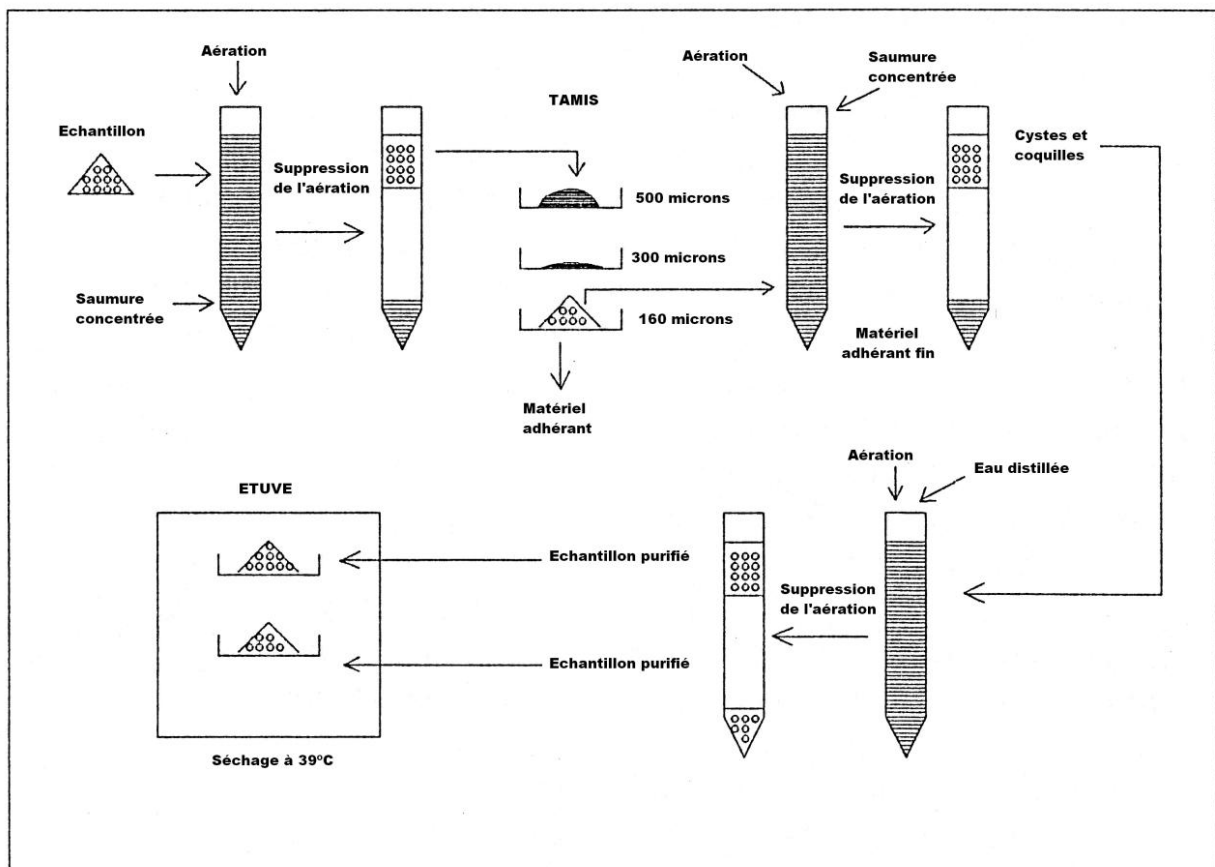


Figure 15. Schéma de la méthodologie adoptée pour le processus de purification des cystes d'*Artemia*. (HONTORIA, 1990)

Le matériel collecté est versé en saumure concentrée à saturation car les fortes salinités inhibent le métabolisme embryonnaire et favorisent la déshydratation. La suspension est soumise à une intense agitation durant plusieurs heures en utilisant une forte aération dans le but de séparer les cystes des autres matériaux adhérents. Par la suite l'aération est interrompue pour laisser le mélange décanter. Les cystes et autres particules légères ont tendance à flotter en saumure formant une couche compacte à la surface (Photo 7), par contre les matériaux adhérents denses se déposent au fond du récipient. Pour séparer les deux fractions, les matériaux décantés sont éliminés par siphonage.

Les cystes une fois séparés des matériaux adhérents denses, se retrouvent toujours mélangés à d'autres particules légères de densité identique ou inférieure.

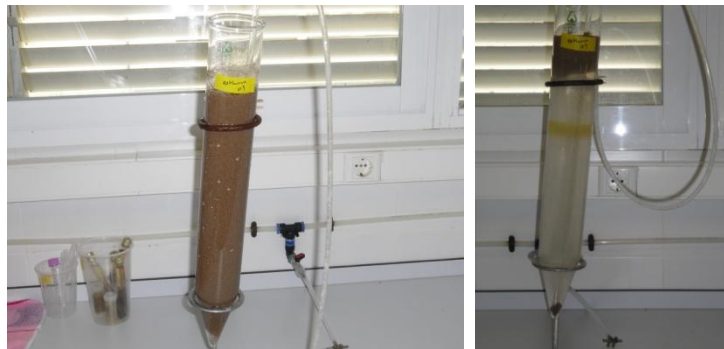


Photo 7. Séparation des matériaux adhérents aux cystes

Ces cystes sont transférés à travers une série de tamis d'un maillage décroissant, les premiers sont de 500 et 300 micromètres respectivement, retiennent tout le matériel d'un diamètre supérieur au cyste (débris de bois, plastic etc.) et enfin à travers un maillage de 160 micromètres de diamètre, qui permet de retenir les cystes et favorise le passage du matériel plus fin (pollen, limons, fragment de mue des arthropodes etc.).

Après ces étapes, les cystes sont pratiquement purifiés. Toujours est-il qu'il reste un certain pourcentage de matériel de taille similaire ou inférieure. Pour séparer cette phase, les cystes sont soumis au processus de flottaison différentielle en eau distillée. Les cystes sont mélangés à l'eau distillée dans un récipient avec une forte agitation par aération. Après un laps de temps, l'air est coupé, pour entamer la décantation. Les cystes entiers hydratés se déposent au fond du récipient et les débris de coquilles de cystes et les matériaux légers flottent en surface de l'eau. Cette étape est généralement réalisée en condition de basse température, en utilisant de la glace qui permet de ralentir le mécanisme métabolique de

l'embryon. Selon SORGELLOOS et al (1978) le temps de séjour des cystes en eau distillée ne doit pas dépasser 5 minutes afin d'éviter les effets de l'hydratation.

Une fois que les matériaux adhérents aux cystes sont éliminés, ces derniers sont immédiatement déshydratés. Cette étape doit se faire le plus rapidement possible, en premier il y a lieu d'éliminer l'eau interstitielle à l'aide du papier aspirant, puis ils sont soumis postérieurement à l'action de la chaleur dans une étuve de séchage à 39°C.

Le niveau de déshydratation de l'échantillon offre plus de garantie de conservation quand son poids se stabilise à des niveaux d'humidité inférieures à 9% (AMAT 1985b, VARO 1988).

Quelque soit le degré de purification des cystes, il reste toujours une certaine quantité d'impuretés composées de matériel détritique et de fibres animales et végétales. Après séchage, les échantillons de cystes sont conservés à une température inférieure à 4 °C pour minimiser la possible activation métabolique.

2.4.3. Obtention de nauplii à partir des cystes

Dans tous les cas expérimentaux où on a besoin d'individus vivants, des échantillons de cystes obtenu par le processus de purification décrit précédemment sont incubés en conditions standard jusqu'à l'éclosion.

Le montage expérimental utilisé pour l'incubation, est composé d'un récipient de cristal d'un volume de 60 litres, de forme parallélépipède, rempli d'eau douce maintenue à une température de 28 °C par une unité calorifique avec thermostat (Fig. 16, Photo 8). Dans ce bain sont introduits jusqu'à 12 récipients de verre de forme cylindrique à extrémité conique rempli d'eau de mer d'une salinité de 38 $g\ l^{-1}$. Dans ces récipients les cystes sont incubés pour obtenir des éclosions en quantité variable selon la nécessité, mais jamais à densité supérieure à 5g de cystes déshydraté par litre, bien qu'il est possible d'utiliser des densités jusqu'à 10 $g\ l^{-1}$ (SORGELLOOS, 1980).

Chaque récipient est doté d'un tube de verre fin atteignant le fond pour insuffler l'air à basse pression dans le but d'administrer l'aération et l'agitation suffisante pour maintenir les cystes en suspension. Au niveau de la partie supérieure du montage, un écran fluorescent qui permet une illumination constante de 1800 lux durant le processus d'éclosion. L'illumination déclenche les processus physiologiques (SORGELLOOS, 1973).

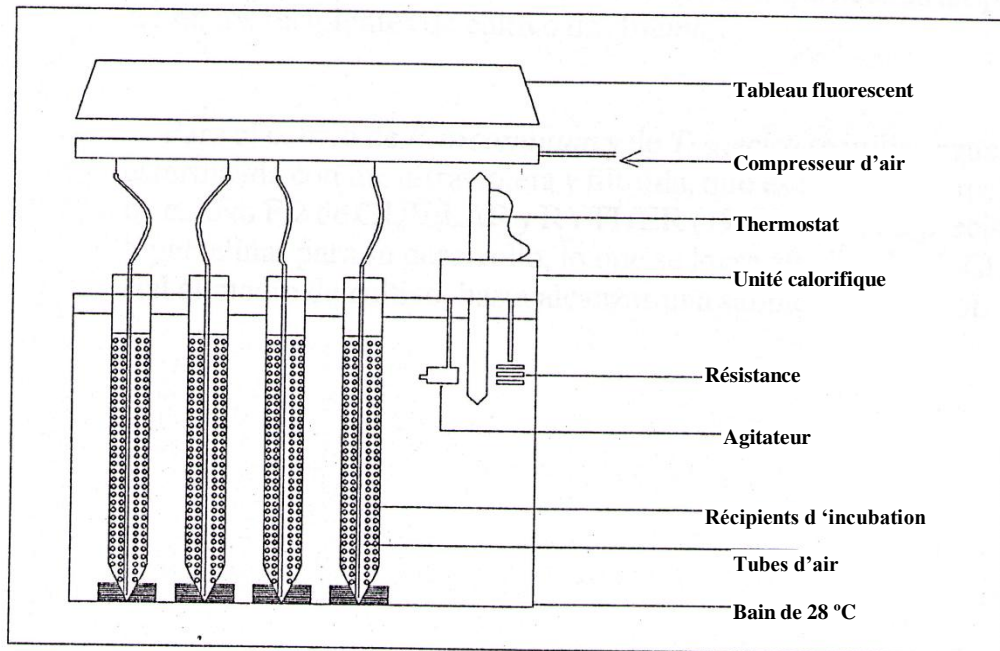


Figure 16. Schéma de l'incubateur expérimental utilisé pour standardiser l'éclosion des cystes d'*Artemia* (HONTORIA, 1990)

Une fois l'éclosion atteinte, le matériel est recueilli sur des mailles à plancton de 60 microns de diamètre et lavé à l'eau courante pour éliminer les métabolites libérés durant le processus d'éclosion (glycérol). Afin de séparer les coquilles vides des nauplii, le matériel est mis dans l'eau douce et est laissé décanter. Au fond se déposent les cystes non éclos, en surface s'accumulent les coquilles vides et le long de la colonne d'eau se répartissent les nauplii nageant librement. Les nauplii sont siphonnés et recueillis sur une maille à plancton et utilisés pour l'expérimentation.



Photo 8. Incubateur utilisé pour standardiser l'éclosion des cystes utilisé au niveau de l'Institut d'Aquaculture de Torre de la Sal.

2.4.4. Elevage de phytoplancton

Pour les expériences qui nécessitent un développement des nauplii, on utilise en parallèle un élevage de micro-algues unicellulaires marines qui servira comme source d'aliment pour les populations d'*Artemia*. Pour cela des batch de microalgues flagellées la *Tetraselmis suecica* (Prasinophyceae) et la *Dunaliella salina* (Chlorophyceae) sont mis en œuvre. Les inocula sont maintenus en ballons de verre de 2L dans la chambre d'élevage thermostatique, en condition de température et d'illumination contrôlées (Technique appliquée par l'Institut d'Aquaculture de Torre de la Sal, Espagne) (Photo 9). Ces inocula sont utilisés pour ensemercer les élevages dans des cylindres de plexiglas de 25 à 50 litres de volume, maintenus à température ambiante et illumination constante (Photo 10). A partir de ces cylindres, sont prélevées les quantités de micro-algues nécessaires pour l'élevage d'*Artemia*.



Photo 9. Mode de conservation des inocula de phytoplancton en chambre thermostatique de l'Institut d'Aquaculture de Torre de la Sal

Pour les processus d'élevage la *Tetraselmis suecica* requiert une eau de mer filtrée et stérilisée à l'aide d'ultra-violet et fertilisée avec un milieu de culture F/2 de GUILLAR et RYTHER (1962). Par contre, la *Dunaliella salina* nécessite une saumure composée d'eau de mer filtrée, à laquelle on ajoute du NaCl commercial jusqu'à atteindre une salinité de 90 gl^{-1} .



Photo 10. Dispositif de culture en masse de phytoplancton en cylindres de plastic à température ambiante à l'Institut d'aquaculture de Torre de la sal

2.4.5. Elevage expérimental

Les nauplius recueillis sont mis en élevage dans des contenants d'une capacité de 2 à 3 litres de saumure à 80 gl^{-1} à une densité de 50 individus par litre et sous aération continue. Les récipients sont placés dans une chambre thermostatique réglée à une température de 24°C et une photopériode de 12h lumière : 12h obscurité.

Ces nauplius sont alimentés avec un mélange de microalgues composé de *Dunaliella salina* et *Tetraselmis suecica* avec une concentration moyenne de 50.000 cel/mL et 90.000

cel/mL respectivement (HONTORIA et AMAT, 1992b). Le milieu d'élevage est renouvelé tous les 2 à 3 jours.

2.4.6. Echantillonnage et biométrie

Lorsque les caractéristiques adultes apparaissent chez les individus de chaque population (les femelles avec un utérus bien plein d'embryons ou de cystes et les mâles avec des antennes bien développés). Une trentaine d'individus est prélevée au hasard, puis anesthésiée pendant quelques minutes dans une boîte de Pétrie, remplie d'eau de mer à laquelle ont été additionnées 5 ml d'eau douce saturée de chloroforme. Par la suite, chaque individu est prélevé à l'aide d'une pipette puis placé sur une lame, sous une loupe binoculaire équipée d'un micromètre optique pour la lecture biométrique.

Les caractères morphologiques utilisés comme variables pour ce type d'analyse sont les suivantes (fig. 17) :

- (A) Longueur totale (LT)
- (B) Longueur de l'abdomen LA)
- (C) Longueur de la fourche caudale LF)
- (D) Largeur de l'utérus chez la femelle ou du segment génital chez le mâle (IO ou ISge)
- (E) Largeur du troisième segment de l'abdomen (IA)
- (F) Largeur de la tête (ITe)
- (G) Longueur de l'antennule LAnt)
- (H) Diamètre de l'œil (DO)
- (I) Distance entre les yeux (DiY)
- (J) Nombre de soies insérés sur la rame gauche de la fourche caudale (NSG)
- (K) Nombre de soies insères sur la rame droite de la fourche caudale (NSD)
- (L) Le pourcentage représentant la longueur de l'abdomen sur la longueur totale (LALT)

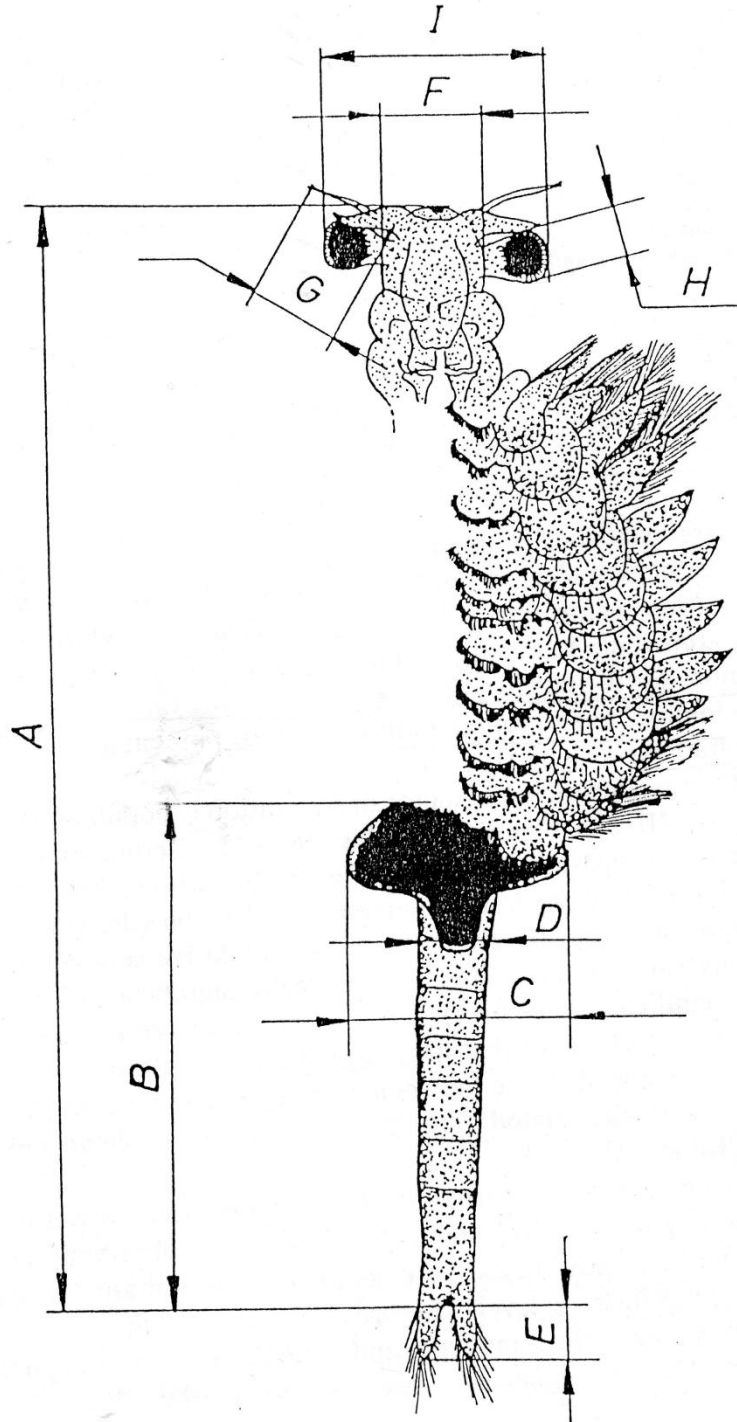


Figure 17. Schéma d'une femelle adulte montrant les différentes mesures utilisés dans l'analyse discriminante. (A) longueur totale (LT) ; (B) longueur abdominal (LA); (C) largeur de l'utérus de la femelle, segment genital du mâle (IO, ISge); (D) largeur du 3^{ème} segment de l'abdomen (IA); (E) longueur de la fourche(LF); (F) largeur de la tête (ITe); (G) longueur de l'antennule (LAnt); (H) diamètre de l'œil (DO); (I) distance entre les yeux (DiY).

2.4.7. Analyse discriminatoire

L'analyse multivariée déduit une série de fonctions à partir des caractères étudiés qui ont tendance à maximiser la séparation entre les différents groupes d'observations définis à priori. Ceci permet de trouver un niveau de représentation dans lequel les individus ayant une morphologie similaire apparaissent très proches.

Cette analyse est effectuée par le logiciel SPSS pour Windows version 15.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) où sont employés les 12 caractères morphologiques. Le facteur de séparation utilisé est l'origine géographique de la population.

La base de l'analyse est le calcul d'une série de fonctions discriminantes qui sont des combinaisons linéaires des variables discriminatoires (celles qui ont été mesurées pour chaque individu soit les variables morphologiques), de telles sortes que les différences entre les populations sont maximisées.

La forme de ces fonctions est : $f_{km} = u_0 + u_1 X_{1km} + u_2 X_{2km} + \dots + u_{i-p} X_{i-pkm}$;
ou:

f_{km} est la valeur de la fonction discriminante de l'individu m appartenant à la population k ;

X_{i-pkm} est la valeur de la variable discriminatoire X_i (p le nombre de variables discriminatoires) de l'individu m appartenant à la population k , en fonction des valeurs utilisées se fera le calcul de f pour chaque individu mesuré, ou chaque population, si on utilise la valeur moyenne des mesures individuelles d'une même population (dans ce cas les f sont nommés centroides);

u_i sont les coefficients que l'analyse détermine pour que la fonction montre les différences maximales entre populations.

Le nombre maximum de fonctions discriminantes doit être égal au moins aux deux nombres suivants : le nombre de variables discriminatoires utilisées, et le nombre de populations moins un. La première fonction discriminante est celle qui a le pouvoir discriminant le plus élevé en terme de variabilité, la seconde présente un pouvoir discriminant élevé complétant le manque de la première fonction et ainsi de suite.

Il est calculé ainsi le pouvoir discriminant des fonctions, la variabilité individuelle et cumulative, leurs degrés de signification et la matrice des coefficients non-standardisés pour chaque caractère analysé. Ces coefficients montrent l'importance relative de chaque variable mesurée dans chacune des fonctions calculées.

Ainsi, la représentation graphique des valeurs discriminantes (f) dans un système de coordonnées définis par la première et la seconde fonction discriminante, permet d'apprécier les distances, les similitudes et les regroupements entre les différentes populations.

2.5. Résultats

Les résultats des variables morphologiques mesurées sur les adultes des populations algériennes étudiées sont représentés dans les tableaux 1 et 2.

Parallèlement, ces résultats sont comparés à d'autres populations de différentes origines, dont les spécimens ont été maintenus dans les mêmes conditions d'élevage et utilisés comme références, issus de la base de données morphologiques et statistiques de l'Institut d'Aquaculture de Torre de la Sal (Espagne) (HONTORIA et AMAT 1992b).

Les tableaux 3 et 4 montrent les résultats de l'analyse discriminante des variables morphométriques étudiées.

La première fonction discriminante est la plus importante pour séparer morphologiquement les différentes populations. Cette première fonction explique 41,7% de la variabilité dans le cas des femelles et 49,9% dans le cas des mâles. La seconde fonction discriminante contribue avec 23,4% pour les femelles et 32,2% pour les mâles.

La séparation totale entre les paramètres est atteinte à la 6^{ème} fonction chez les femelles et à la 4^{ème} fonction chez les mâles avec une forte signification (tableau 3), ce qui signifie un grand pouvoir de discrimination ($p < 0,05$).

Etant donné que la première et la deuxième fonction sont celles qui déterminent la grande variation, dans le cas des deux sexes, les variables morphologiques avec une grande influence sont la longueur de l'abdomen et la longueur totale.

Il apparaît ainsi, que les femelles parthénogénétiques tétraploïdes algériennes montrent des longueurs totales et des longueurs de l'abdomen supérieures aux autres populations.

Par contre chez les mâles la première et la deuxième fonction discriminatoire (Tableau 4) reçoivent les contributions les plus importantes de la largeur du 3^{ème} segment abdominal qui est significativement élevée pour la première, la grandeur de la tête et enfin le pourcentage du rapport de la longueur de l'abdomen sur la longueur totale. De faibles valeurs sont enregistrées pour la longueur de la fourche caudale, le diamètre de l'œil et la distance entre les yeux pour la première fonction.

Les populations sexuées par contre se différencient par de faibles dimensions de la première antenne et l'intervalle entre les yeux, de plus un nombre de soies de la fourche caudale faible et plus ou moins invariable chez les individus.

L'analyse de la largeur de l'utérus révèle des valeurs maximales chez les populations parthénogénétiques tétraploïdes tout à fait similaires à ceux d'*A. fransiscana*, alors que les valeurs minimales se distinguent bien chez les populations d'*A. persimilis*. Néanmoins, Il

convient de souligner que les valeurs moyennes entre ces deux extrêmes correspondent aux populations parthénogénétiques diploïdes.

Les caractères morphologiques des mâles des populations sexuées algériennes et les populations des localités voisines, sont pratiquement similaires (Tableau 2) et se distinguent aux populations du Nouveau Monde par des variabilités dans les dimensions des yeux, et le nombre de soies insérés au niveau de la fourche caudale qui sont représentés par des valeurs maximales chez *A. franciscana* et minimales chez *A. persimilis*.

En général les caractères morphologiques des populations algériennes semblent avoir des similitudes avec ceux des populations méditerranéenne et se différencient totalement des populations américaines (*A. franciscana* et *A. persimilis*).

Tableau 1. : Moyennes (Ecart type) des variables morphologiques mesurées chez les femelles des populations des différents sites de prélèvement.

	Populations	LT	LA	IA	IO	LF	NSG	NSD	ITe	DiY	DO	LAnt	LALT
Algerie	Melghir (S)	9.84 (0.59)	5.73 (0.38)	0.50 (0.03)	1.94 (0.11)	0.23 (0.04)	4.96 (1.86)	5.03 (1.77)	0.80 (0.04)	1.39 (0.07)	0.25 (0.01)	0.74 (0.04)	58.25 (1.57)
	Relizane (S)	10.59 (0.48)	6.41 (0.38)	0.57 (0.04)	1.86 (0.22)	0.24 (0.04)	6.23 (2.16)	5.93 (1.83)	0.79 (0.03)	1.42 (0.06)	0.25 (0.01)	0.65 (0.05)	60.49 (1.33)
	Ezzamoule (S)	9.25 (1.23)	5.36 (0.65)	0.46 (0.04)	2.02 (0.19)	0.24 (0.04)	3.06 (1.22)	2.93 (1.28)	0.84 (0.05)	1.44 (0.10)	0.24 (0.01)	0.87 (0.12)	58.13 (2.72)
	Garaet El Taref (S)	9,90 (0,89)	5,95 (0,64)	1,85 (0,33)	0,55 (0,05)	0,20 (0,04)	4,70 (2,24)	4,80 (2,35)	0,77 (0,05)	1,40 (0,12)	0,25 (0,01)	0,71 (0,06)	60,02 (1,90)
	Ezzamoule (Pd)	10.64 (0.66)	5.71 (0.36)	0.56 (0.02)	1.74 (0.08)	0.15 (0.01)	4.43 (1.16)	4.23 (1.45)	0.80 (0.02)	1.58 (0.07)	0.25 (0.00)	1.26 (0.06)	53.86 (1.83)
	Oran (Pd)	10.26 (0.76)	5.56 (0.46)	0.57 (0.04)	1.74 (0.17)	0.17 (0.03)	4.83 (1.78)	4.83 (1.70)	0.79 (0.04)	1.53 (0.09)	0.25 (0.01)	1.20 (0.08)	54.18 (2.07)
	Melghir (Pd)	9.92 (0.80)	5.48 (0.46)	0.58 (0.05)	1.71 (0.19)	0.21 (0.04)	7.1 (2.02)	7.43 (2.35)	0.79 (0.06)	1.61 (0.12)	0.28 (0.01)	1.13 (0.09)	55.24 (1.25)
	Relizane (Pd)	11.07 (0.94)	6.28 (0.66)	0.65 (0.06)	1.95 (0.20)	0.33 (0.04)	9.23 (2.09)	9.2 (2.38)	0.86 (0.06)	1.56 (0.11)	0.25 (0.01)	1.19 (0.10)	54.58 (0.97)
	Setif (Pd)	11.33 (0.60)	6.17 (0.42)	0.68 (0.04)	2.09 (0.16)	0.38 (0.03)	8.8 (1.77)	9.80 (1.77)	0.95 (0.04)	1.66 (0.08)	0.26 (0.01)	1.20 (0.07)	54.45 (2.29)
	Bethioua (Pd)	11.24 (0.61)	5.93 (0.33)	0.67 (0.03)	1.98 (0.11)	0.36 (0.03)	10.96 (2.47)	11.60 (3.05)	0.93 (0.04)	1.68 (0.05)	0.27 (0.01)	1.18 (0.04)	52.84 (1.84)
	Adrar (Pd)	10,72 (0,45)	6,28 (0,45)	1,99 (0,13)	0,71 (0,04)	0,31 (0,02)	6,20 (0,05)	6,06 (2,39)	0,88 (0,04)	1,56 (0,06)	0,24 (0,01)	1,04 (0,05)	58,50 (1,08)
	Relizane (Pt)	14.90 (1.25)	8.22 (1.87)	0.66 (0.04)	2.73 (0.32)	0.21 (0.04)	9.2 (2.38)	9.23 (2.09)	0.98 (0.05)	1.94 (0.18)	0.29 (0.01)	1.26 (0.09)	55.90 (1.05)
	Setif (Pt)	14.30 (0.68)	8.92 (0.51)	0.63 (0.02)	2.70 (0.11)	0.26 (0.04)	5.2 (1.80)	5.3 (1.66)	0.95 (0.04)	1.88 (0.09)	0.29 (0.01)	1.29 (0.08)	62.34 (1.68)
	El Golea (Pt)	14.35 (0.71)	8.65 (1.34)	0.57 (0.04)	2.41 (2.26)	0.19 (0.02)	2.63 (1.15)	2.83 (1.36)	0.93 (0.04)	1.74 (0.08)	0.28 (0.01)	1.19 (0.05)	60.53 (9.87)
Bethioua (Pt)	15.14 (0.78)	9.77 (0.62)	0.71 (0.04)	3.01 (0.27)	0.29 (0.02)	5.16 (1.26)	5.16 (1.28)	1.03 (0.04)	1.98 (0.09)	0.29 (0.01)	1.25 (0.06)	64.48 (1.10)	
Maroc	Souzama (S)	9,67 (0,64)	5,71 (0,42)	1,70 (0,19)	0,51 (0,04)	0,35 (0,06)	10,03 (3,07)	9,86 (3,27)	0,83 (0,06)	1,41 (0,11)	0,24 (0,01)	0,76 (0,05)	59,03 (1,92)
	Assilah (Pd)	10,88 (0,65)	6,36 (0,47)	2,09 (0,18)	0,73 (0,05)	0,47 (0,04)	9,33 (1,49)	9,8 (1,51)	0,88 (0,04)	1,62 (0,09)	0,27 (0,01)	1,19 (0,07)	58,36 (1,15)
	Larache (Pt)	12,74 (0,52)	7,61 (0,37)	2,36 (0,14)	0,68 (0,02)	0,24 (0,01)	3,36 (1,24)	3,40 (0,93)	0,95 (0,02)	1,82 (0,05)	0,29 (0,01)	1,14 (0,05)	59,5 (0,99)
Espagne	Rocio (S)	9.33 (0.58)	5.37 (0.41)	1.68 (0.18)	0.54 (0.04)	0.27 (0.05)	5.10 (2.00)	4.83 (1.51)	0.79 (0.41)	1.39 (0.07)	0.25 (0.01)	0.78 (0.06)	57.58 (1.59)
	Mata (Pd)	11.63 (0.84)	6.74 (0.64)	0.76 (0.04)	2.14 (0.25)	0.39 (0.03)	8.9 (2.96)	9.1 (2.60)	0.94 (0.04)	1.69 (0.09)	0.27 (0.02)	1.11 (0.06)	57.91 (1.79)
	Odiel (Pt)	13.00 (0.76)	8.05 (0.53)	0.62 (0.03)	2.44 (0.24)	0.23 (0.04)	3.36 (1.42)	3.03 (1.27)	0.92 (0.03)	1.82 (0.08)	0.28 (0.01)	1.1 (0.05)	61.91 (0.95)
Amerique	San francisco Bay (AF)	10.32 (0.82)	5.44 (0.44)	0.72 (0.07)	2.10 (0.21)	0.32 (0.04)	10.33 (1.93)	10.43 (1.88)	0.97 (0.07)	1.63 (0.13)	0.27 (0.02)	0.70 (0.05)	52.74 (1.52)
	Great Salt Lake (AF)	11.28 (0.72)	6.12 (0.53)	0.76 (0.07)	2.00 (0.15)	0.23 (0.05)	10.93 (2.42)	10.73 (2.18)	0.90 (0.05)	1.63 (0.11)	0.29 (0.02)	0.77 (0.06)	54.20 (1.83)

LT (longueur totale) ; LA (longueur abdomen) ; IA (largeur 3^{ème} segment abdominal) ; IO (largeur ovisac) ; LF (longueur de la fourche) ; NSG (nombre de soies fourche gauche) ; NSD (nombre de soies fourche droite) ; ITe (largeur de la tete) ; DiY (Distance entre les yeux), DO (diametre de l'œil) ; LAnt (longueur de la première antenne), sont exprimés en mm. LALT (LA*100/LT) en pourcentage ; S (*A. salina*) ; Pd (*A. parthenogenetica* diploïde) ; Pt (*A. parthenogenetica* tétraploïde) ; AF (*A. franciscana*) ; AP (*A. persimilis*)

Tableau 2. Moyenne (ecart type) des variables morphologiques mesurées chez les mâles de chaque population des différents sites de prélèvement.

		LT	LA	IA	ISGe	LF	NSG	NSD	ITe	DiY	DO	LAnt	LALT
Algérie	Melghir (S)	8.90 (0.59)	4.74 (0.34)	0.44 (0.03)	0.67 (0.06)	0.35 (0.05)	7.03 (1.92)	6.96 (1.95)	0.78 (0.05)	1.72 (0.10)	0.39 (0.02)	1.14 (0.11)	53.27 (1.88)
	Relizane (S)	8.89 (0.43)	4.88 (0.32)	0.42 (0.03)	0.63 (0.05)	0.31 (0.05)	7.36 (2.28)	7.40 (1.84)	0.71 (0.04)	1.65 (0.08)	0.37 (0.02)	1.06 (0.07)	54.85 (1.92)
	Ezzamoule (S)	7.34 (1.56)	3.80 (0.69)	0.42 (0.04)	0.64 (0.05)	0.37 (0.05)	8.96 (2.08)	8.92 (1.93)	0.83 (0.04)	1.74 (0.11)	0.37 (0.01)	1.06 (0.07)	52.17 (4.20)
	Garaet El Taref (S)	8,67 (0,96)	4,64 (0,46)	0,63 (0,06)	0,42 (0,03)	0,28 (0,06)	6,46 (2,90)	6,33 (3,13)	0,72 (0,05)	1,68 (0,13)	0,38 (0,03)	1,13 (0,08)	53,47 (1,98)
Maroc	Souzama (S)	8,32 (0,43)	4,43 (0,28)	0,59 (0,04)	0,40 (0,02)	0,39 (0,06)	10,36 (3,12)	10,43 (2,71)	0,76 (0,04)	1,60 (0,09)	0,35 (0,02)	1,14 (0,06)	53,20 (1,47)
Espagne	Bomati (S)	8,98 (0,87)	4,63 (0,87)	0,43 (0,04)	0,63 (0,08)	0,37 (0,06)	9,3 (1,39)	8,76 (1,43)	0,82 (0,07)	1,71 (0,20)	0,36 (0,04)	1,19 (0,13)	51,16 (1,55)
	Rocio (S)	8,47 (0,42)	4,39 (0,23)	0,61 (0,04)	0,42 (0,02)	0,35 (0,08)	6,33 (3,42)	6,56 (4,09)	0,79 (0,03)	1,65 (0,09)	0,36 (0,01)	1,11 (0,06)	51,91 (1,72)
Amerique	San francisco Bay (AF)	8.70 (0.61)	4.07 (0.40)	0.59 (0.03)	0.83 (0.06)	0.29 (0.04)	10.26 (2.09)	10.40 (2.23)	0.86 (0.04)	1.96 (0.10)	0.41 (0.02)	1.19 (0.09)	46.74 (1.61)
	Great Salt Lake (AF)	9.29 (1.03)	4.38 (0.54)	0.57 (0.08)	0.78 (0.11)	0.32 (0.06)	12.53 (2.72)	12.20 (2.65)	0.84 (0.09)	1.95 (0.25)	0.41 (0.08)	1.21 (0.15)	47.22 (1.99)

LT (longueur totale), LA (longueur abdomen), IA (largeur 3^{ème} segment abdominal), ISGe (largeur du segment génital), LF (longueur de la fourche), NSG (nombre de soies fourche gauche), NSD (nombre de soies fourche droite), ITE (largeur de la tête), DiY (Distance entre les yeux), DO (diamètre de l'œil), LAnt (longueur de la première antenne), sont exprimés en mm. LALT (LA*100/LT) en pourcentage ; S (*A. salina*) ; AF (*A. franciscana*) ; AP (*A. persimilis*).

Afin d'obtenir une meilleure clarté, les fonctions discriminantes sont traduites sous la forme d'une représentation graphique (fig. 18 et 19) illustrant le degré de séparation résultant entre les différentes populations étudiées. L'expression graphique visualise la distance relative entre les centroides (groupes de points) dans un espace multidimensionnel (12 dimensions ou caractères) et donne une idée plus précise des relations morphologiques entre les différentes populations. Cette structure graphique inclut les données des deux premières fonctions de l'analyse discriminatoire. Le critère de séparation pris en compte est la localisation géographique. Les centroides (groupes de points) représentent les valeurs moyennes des observations de chaque population étudiée et traduisent les rapprochements entre les individus qui montrent des similitudes morphologiques.

Les centroides (valeurs des fonctions discriminantes résultant des moyennes des variables discriminatoires de chaque population) pour les deux premières fonctions discriminantes calculées sont exprimés dans les figures 18 et 19.

Les deux premières fonctions discriminantes expliquent bien la grande variabilité (93,3% pour les femelles et 95% pour les mâles).

Dans la figure 18, la contribution des différentes variables ou paramètres morphologiques qui définissent la première et la deuxième fonction de l'analyse discriminatoire des biotypes algériens, aboutit à des résultats qui différencient clairement les populations sexuées des populations parthénogénétiques. Ces résultats permettent aussi de distinguer entre populations parthénogénétiques diploïdes et tétraploïdes comme l'ont rapporté d'autres auteurs (HONTORIA et AMAT 1992a ; AMAT et al., 1995b).

Les souches parthénogénétiques forment deux grands noyaux distincts, représentés par les souches diploïdes et les souches tétraploïdes selon un mode d'assemblage différent. Toutes les souches parthénogénétiques diploïdes se ressemblent, compte tenu de leur répartition qui est beaucoup plus homogène. Les populations parthénogénétiques tétraploïdes tout comme les formes sexuées montrent plus de différences, vu que l'écart entre les différents biotypes des populations est très variable. Ceci a conduit à une répartition graphique plus ou moins aléatoire des populations de ces noyaux, difficile à expliquer par rapport à l'origine et aux conditions de leurs biotopes.

Tableau 3. Résultats de l'analyse discriminante des caractères morphométriques des femelles et des mâles des différentes populations d'*Artemia* algériennes.

Femelles				Mâles			
Fonction	% variance	% variance cummulative	Signification	Fonction	% variance	% variance cummulative	Signification
1	41,7	41,7	,000	1	49,9	49,9	,000
2	23,4	65,1	,000	2	32,2	82,1	,000
3	10,6	75,7	,000	3	7,4	89,5	,000
4	8,5	84,3	,000	4	5,4	95,0	,000
5	5,2	89,5	,000	5	2,0	97,0	,000
6	3,8	93,3	,000	6	1,8	98,8	,000
7	2,4	95,7	,000	7	,8	99,5	,000
8	1,5	97,2	,000	8	,3	99,8	,070
9	1,4	98,5	,000	9	,1	100,0	,344
10	1,0	99,5	,000	10	,0	100,0	,547
11	,5	99,9	,000				
12	,1	100,0	,427				

Tableau. 4. Coefficient standard des deux premières fonctions discriminantes de l'analyse morphométrique des populations algériennes d'*Artemia* (mâles et femelles) groupés par origine géographique.

Caractères morphologiques	Femelles		Males	
	Fonction 1	Fonction 2	Fonction 1	Fonction 2
Longueur totale	3,441	3,446	1,732	1,138
Longueur abdomen	-4,217	-4,590	-1,939	-1,971
Largeur ovise/seg geni	,118	-,317	-,504	-,033
Largeur abdomen	,263	,500	-1,152	,225
Longueur fourche	-,022	,128	,693	-,227
Nbre de soie gauche	-,035	,010	-,015	,336
Nbre de soie droite	,003	,093	-,086	,110
Largeur tete	,226	-,126	,953	,662
Distance entre yeux	-,386	-,216	-,549	,174
Diametre de l'oeil	,414	,024	,639	,062
Longueur de l'antenne	-1,018	,605	,152	-,307
% Long abdo/Long tot	1,281	1,171	,923	,223

Les espèces sexuées par contre sont réparties en trois groupes séparés. Un premier groupe représenté par l'espèce sexuée autochtone *Artemia salina* complètement différencié des deux autres groupes représentés respectivement par *A. francisca* et *A. persimilis*, espèces sexuées du Nouveau Monde.

Concernant la morphologie des mâles, la séparation des centroides des populations sexuées algériennes est plus remarquable par rapport aux centroides des populations du Nouveau Monde. Le rapprochement entre les biotypes de différentes populations de la forme sexuée est bien illustré dans la figure 19.

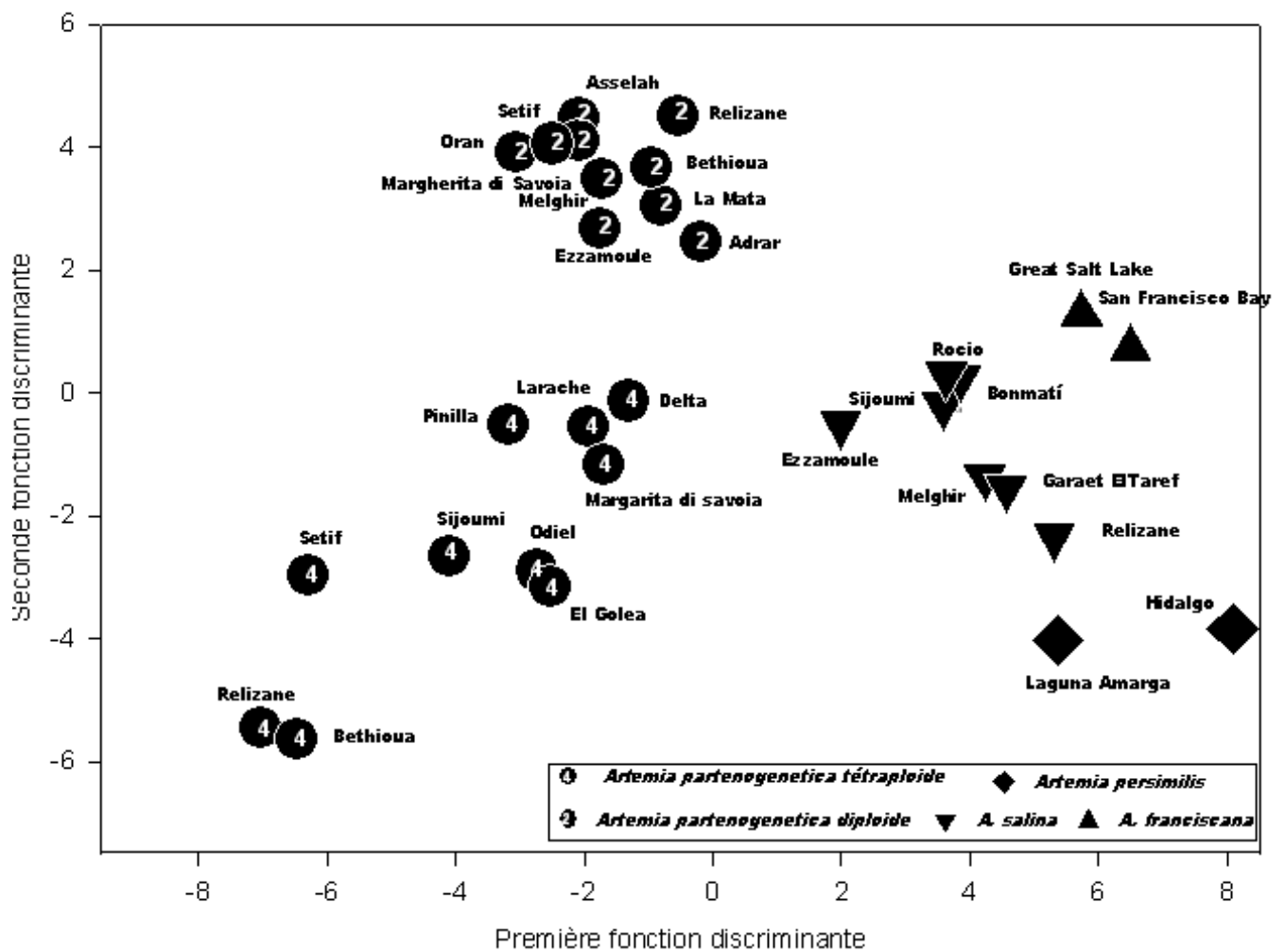


Figure 18. Les centroides des populations pour les deux premières fonctions de l'analyse discriminante de la morphologie des femelles des différentes populations d'*Artemia* provenant d'Algérie comparée avec certaines populations méditerranéennes et du Nouveau Monde

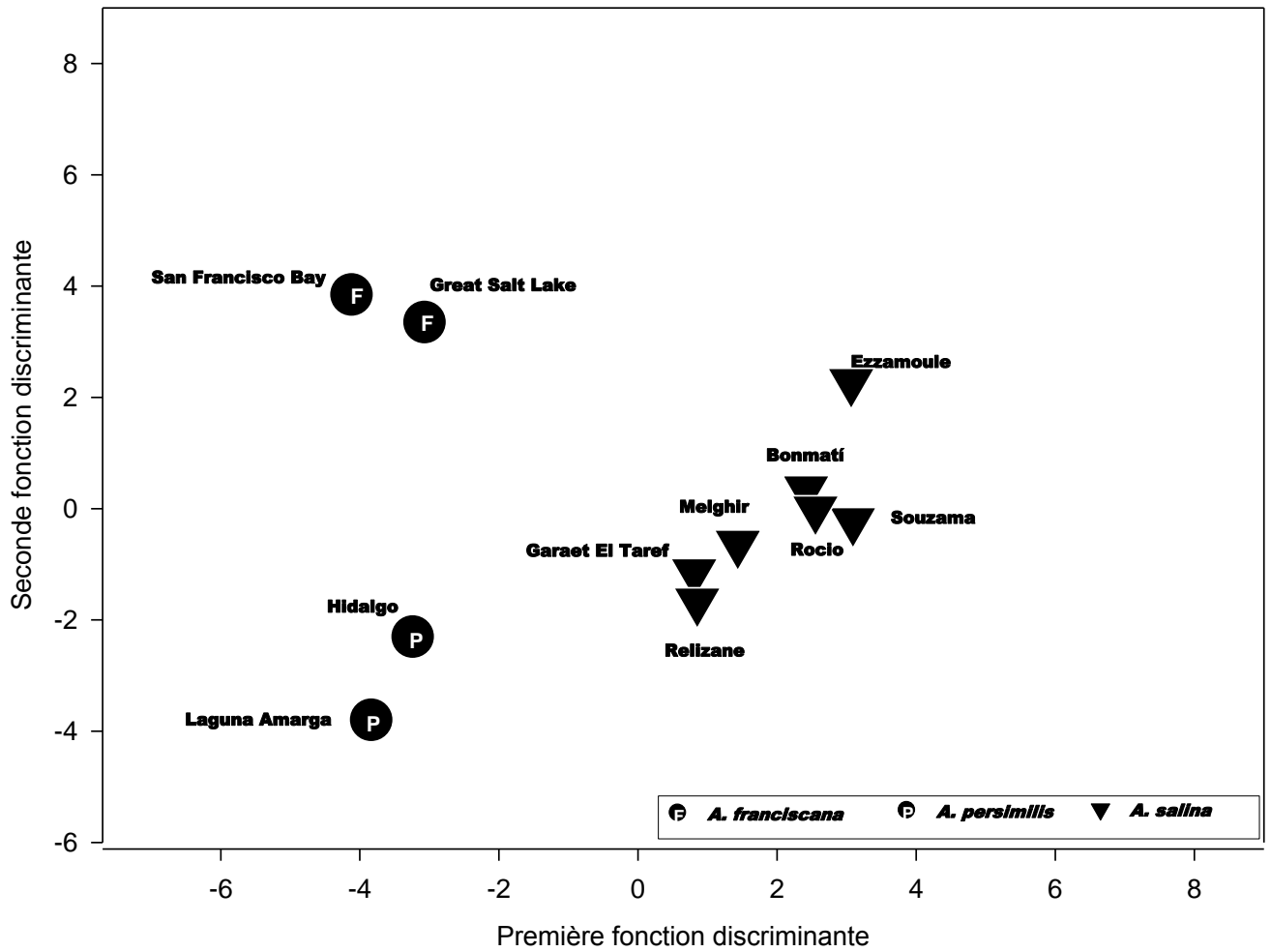


Figure 19. Les centroides des populations pour les deux premières fonctions de l'analyse discriminante de la morphologie des mâles des différentes populations d'*Artemia* provenant d'Algérie comparée avec certaines populations méditerranéennes et du Nouveau Monde

2.6. Discussion

L'analyse discriminatoire place les femelles des populations algériennes étudiées parmi les centroides appartenant à l'espèce sexuée autochtone native *A. salina* et les populations parthénogénétiques du bassin méditerranéen. On peut considérer de ce fait que la biodiversité des populations d'*Artemia* algériennes est identique à celle rencontrée dans le reste des pays méditerranéens de l'ouest (AMAT et al. 1991). En Espagne ou dans la péninsule Ibérique, il existe fréquemment une cohabitation de l'espèce sexuée *A. salina* et les populations parthénogénétiques diploïdes au niveau des salines avec une alternance saisonnière bien marquée. Les espèces sexuées montrent une préférence thermique pour les basses températures et dominant vers la fin de l'hiver et début du printemps, par contre les souches parthénogénétiques diploïdes multiplient leur populations durant la période printemps et été (AMAT 1981). Cette situation s'avère similaire pour les populations algériennes, du moins dans la région du nord du pays où se trouvent les sebkhas et où les intervalles de température moyennes varient entre 10 et 12°C en hiver et entre 21 et 24°C en été.

La répartition des populations parthénogénétiques tétraploïdes, est très particulière. Dans la péninsule Ibérique, elles sont réparties principalement dans les biotopes intérieurs alors qu'ils sont très peu présents dans les marais et salines côtières.

Les écosystèmes hypersalins continentaux sont caractérisés par un régime thermique extrême avec des hivers froids et des étés chauds, montrant de fortes populations en été et ce durant la courte période de production de sel du moins pour le cas des salines intérieures (AMAT, 1985a). Les données obtenues pour les populations algériennes ne coïncident pas avec ce schéma à l'exception de la population du lac salé d'El Goléa (Wilaya de Ghardaia). L'intervalle de température moyenne pour cette région aride du Sahara du nord varie entre 15 et 18°C en Hiver et 40 à 45°C en été.

L'abondance et la cohabitation de la parthénogénétique tétraploïde dans les sebkhas du Tel sont dues à son adaptation lors des fortes salinités et températures dans ces sebkhas notamment pendant la courte période du début de l'été (cas des salines de Bethioua et Rélizane).

La biogéographie et la biodiversité des espèces d'*Artemia* au niveau de l'Afrique du nord, ont toujours été limité à l'identification des populations appartenant à l'espèce sexuée *A. salina* nommé par Leach en 1819, sur du matériel collecté des salines près de Lymington, Angleterre.

Des recherches furent nécessaires afin de résoudre le problème de la taxonomie de ces populations nord africaines, en raison du binomiale *A. tunisiana* suggéré par BOWEN & STERLING (1978), et utilisé comme référence à la population sexuée du bassin méditerranéen, référence affecté à la population de Sfax (Tunisie).

Des expériences de croisement furent réalisées par BARATELLI et al, (1990) pour déterminer la spécificité des populations méditerranéennes de l'Italie et celles de l'Afrique du nord. Les études de MURA (1990) ont renforcé cette spécificité avec la population originale d'*A. salina* de Lymington. Enfin cette divergence fût résolue définitivement par TRIANTALPHYLLIDIS et al (1997) après utilisation de marqueurs moléculaires, ce qui a permis d'assigner définitivement le statut d'*A. salina* aux populations sexuées de la Méditerranée.

Par la suite, il a été vérifié que les populations d'*A. salina* montrent une substantielle diversité génétique, et une forte structure phylogéographique avec un grand endémisme régional au niveau du bassin méditerranéen, la péninsule Ibérique, l'Afrique du nord et les îles Italiennes (MUÑOZ et al., 2008).

Il est signalé dans la bibliographie que les espèces ou souches parthénogénétiques sont utilisées pour montrer des haplo-types généralisés (LAW et CRESPI, 2002), ce qui détermine des taux de dispersion plus rapide que leurs parents ou les sexuées co-habitanes. A titre d'exemple, les lignées clonales parthénogénétiques du crustacé cladocère *Daphnia sp* sont largement répartis (WEIDER et al., 1999). En outre, certaines études suggèrent que les asexuées sont de bons et rapides colonisateurs, et qu'ils sont répartis sur une grande largeur de la niche qu'occupent les sexuées. Dans le cas de l'*Artemia* parthénogénétique, cette capacité de colonisation est prise en charge par leurs tolérances physiologiques ainsi que leurs structures génétiques (degré de ploïdie, automixie ou apomixie, type de reproduction : ovoviviparisme, oviparisme) (ZANG et LEFCORT 1991; BAXEVANIS et al., 2006). Ces arguments sont suffisamment fondés aujourd'hui avec la présence vérifiée et démontrée des populations parthénogénétiques dans l'Ancien Monde depuis son extrémité occidentale aux îles Canaries en Afrique jusqu'à son extrémité orientale en Chine ou Japon (BOWEN et al., 1978 ; HOTORIA et AMAT, 1992b) pour expliquer la présence de ces souches en Afrique du nord.

Conclusion

L'utilisation des caractères morphologiques semble être le critère le plus simple et immédiat pour séparer les espèces du genre *Artemia*.

L'application des méthodes de l'analyse discriminatoire permettent de différencier entre les patrons morphologiques relatifs à l'espèce en question.

Les caractères morphologiques associés à une analyse discriminatoire ou multivariée appliquée sur les populations d'*Artemia* algériennes élevés en conditions standards, ont permis de différencier des espèces et des souches. L'espèce sexuée *A. salina* (L., 1758) a été trouvée dans quatre milieux salés (Rélizane, Mèlghir, Ezzamoule et Garaet el Taref). La souche parthénogénétique apparaît sous les formes diploïdes et tétraploïdes. Les formes parthénogénétiques diploïdes se retrouvent dans sept biotopes (Rélizane, Bethioua, Oran, Sétif, Ezzamoule, Adrar et Mèlghir), par contre les formes tétraploïdes sont identifiés dans seulement quatre biotopes (Rélizane, Bethioua, El Goléa et Sétif).

Il s'avère que les formes sexuées et parthénogénétiques cohabitent fréquemment dans le même biotope, ce qui exclu le concept de continentalité et monospécificité des formes parthénogénétiques tétraploïdes.

En définitif, le modèle de diversité biologique des populations d'*Artemia* d'Algérie est similaire à celui trouvé dans le reste de la Méditerranée occidentale.

CHAPITRE 3

ETUDE DE LA LONGEVITÉ ET DES PARAMETRES DE REPRODUCTION DES POPULATIONS D'ARTEMIA EN ALGÉRIE

3.1. Rappels bibliographiques

La distribution géographique des espèces jumelles du genre *Artemia* de l'Ancien Monde montre la présence des espèces sexuées et des formes parthénogénétiques (AMAT, 1983; YANENG, 1986; RUNSHENG et FENGQI, 1990). Il a été confirmé la coexistence des populations de l'espèce sexuée *A. salina* et ceux de la souche parthénogénétique qui s'alternent temporairement dans plusieurs salines côtières (AMAT, 1981, 1983 ; AMAT et al., 1995b ; HONTORIA et AMAT, 1992a). Des cas de populations de la souche parthénogénétique tétraploïde ont été localisés dans les habitats continentaux. Cette conjoncture explique bien le comportement distinct de ces populations face aux facteurs environnementaux.

L'évidence expérimentale qui justifie la distribution des trois formes d'*Artemia* peuplant la région méditerranéenne et leur préférence thermique, est peu connue. La majorité des études comparatives retrouvées dans la bibliographie, considèrent des populations géographiquement très distinctes. Néanmoins les différences qui existent reflètent un peu l'adaptation de ces souches à leur lieu d'origine. Il existe peu d'études sur la comparaison des populations peuplant des habitats relativement voisins.

BROWNE et al. (1988) observent que l'adaptation à la température est variable d'une espèce à l'autre, la souche sexuée méditerranéenne s'adapte aux basses températures avec une productivité optimale à 15°C, par contre la parthénogénétique et l'*Artemia franciscana* s'adaptent mieux aux températures moyennes modérées, supportent les hautes températures avec une diminution de la fécondité.

Par ailleurs VANHAECKE et al, (1984) démontrent que la température et la salinité sont les facteurs qui provoquent le changement des différentes variables du cycle vital tels que le temps de maturation, la durée de la période reproductive, la grandeur, l'intervalle et le nombre de ponte, la longévité et la survie des femelles chez les souches sexuées et parthénogénétiques. Il existe aussi des différences génétiques au sein de la même espèce (cas de l'*A. franciscana*).

Dans le même contexte, ZANG et LEFCORT (1991) comparent l'effet de la température et salinité sur les paramètres vitaux des populations parthénogénétiques diploïdes et polyplloïdes et montrent que les formes polyplloïdes survivent bien à des températures extrêmes et possèdent une thermo-préférence très large. Les formes diploïdes sont fécondes avec une forte croissance des populations.

BROWNE et al, 1988 ont étudié les réponses de la longévité face aux conditions de température. Ils déduisent que la période de vie est réduite par l'augmentation de la température, alors que la période reproductive constitue un petit pourcentage du temps total de la vie quand la température avoisine l'optimum thermique de la population.

Les données obtenues pour les populations sexuées de l'ancien monde ont une ponte avec un nombre d'œufs faible, la descendance totale par jour et par femelle est faible, un court temps entre ponte, une période reproductive grande et un pourcentage de descendance ovipare élevé. Les populations parthénogénétiques atteignent des âges plus avancés et de grandes périodes entre pontes et un bas pourcentage de cystes.

Par contre les populations sexuées américaines présentent un grand nombre de descendance par ponte, par jour et par femelle et un temps de développement très court jusqu'à la maturité sexuelle (BROWNE et HALANYCH, 1989). Dans le même sens d'autres travaux démontrent la supériorité compétitive des populations américaines qui est due à leur taux de croissance et de développement très rapide (temps de récupération entre pontes très court) (BROWNE, 1980b; AMAT, 1982; BROWNE et al, 1988)

3.2. Objectif

L'objectif du présent travail vise à quantifier l'effet des températures sur les variables du cycle vital des populations algériennes en conditions standards d'élevages. Deux températures différentes sont appliquées (19°C et 24°C). Les paramètres du cycle de vie étudiés sont le potentiel reproductif, la durée de vie totale, la durée de vie pré-reproductive, la durée de vie reproductive et la durée de vie post-reproductive.

3.3. Matériel et méthodes

3.3.1. Echantillonnage et traitement des échantillons

La présente étude prend en considération les populations qui vivent dans le complexe salin de l'ouest particulièrement la Sebkha de Ben Friha (Oran), de Bethioua et celle de Sidi Bouziane (Relizane), les populations du complexe salin de l'Est la saline d'Ezzamoule (Oum El Bouagui), la saline de Guergour el Amri-Ain Arnat (Setif) et puis ceux des latitudes plus élevées au niveau du lac salé d'El Goléa (Ghardaia). Ces populations sont composées principalement de l'espèce sexuée *A. salina* et les souches parthénogénétiques (diploïdes et tétraploïdes),

Les résultats obtenus ont fait l'objet de comparaison avec les données appartenant à certaines populations similaires des pays adjacents et riverains et aussi à ceux de l'espèce référence *Artemia franciscana*.

Les expériences de caractérisation sont généralement effectuées sur les embryons sous la forme de cystes recueillis directement du milieu naturel. La densité des populations d'*Artemia* dans le milieu naturel subit des variations climatiques annuelles dépendant des conditions climatologiques, donnant lieu aux accumulations de cystes d'une manière ponctuelle durant l'année (LAVENS et SORGELOOS 1987a.). Le processus d'échantillonnage des cystes au niveau des sites indiqués précédemment, leurs traitements et purification sont expliqués dans le **Chapitre II, Section 2.2.**

3.3.2. Elevage individuel

Les conditions d'éclosion et d'élevage ont été précédemment décrite dans le Chapitre II, section 2.3. Les élevages sont réalisés en chambres thermostatiques réglées à deux températures différentes de 19°C et 24°C avec une photopériode de 12 h lumière : 12 h obscurité (photo 11).

Dés que les femelles font apparaître les premiers signes d'ovulation et les mâles présentent des antennes bien développés, les individus expérimentaux sont isolés dans des récipients individuels d'un volume de 50 ml de saumure à 80 $g\ l^{-1}$ et sont alimentés de manière ad-libitum avec une suspension de micro-algues (mélange de *Dunalliella* et *Tetraselmis*).



Photo 11. Chambre thermostatique utilisée pour l'élevage individuel au niveau de l'Institut d'Aquaculture de Torre de la Sal

Dans chaque récipient sont isolées un couple sexué et une femelle parthénogénétique.

Durant l'expérimentation, les récipients d'élevage sont contrôlés chaque jour. Il est procédé à la comptabilisation de la descendance. Les mâles faibles ou morts sont remplacés par d'autres et les femelles mortes sont éliminées. Le milieu d'élevage composé de déchets de mues et de microalgues mortes, est remplacé par un autre volume de saumure et de phytoplancton sain.

La salinité d'élevage est maintenue constante. Pour chaque traitement 30 répétitions sont réalisées.

Au terme de l'expérience, un calcul des variables suivantes est évalué pour chaque femelle :

- Le nombre de descendance par ponte (DESC/P)
- Le nombre de ponte (NP)
- Le nombre total de descendants par femelle (DESC/T)
- Le nombre de descendants produits par jour durant la période reproductive ou taux journalier de reproduction. (DESC/J)
- Le temps moyen ou intervalle de temps entre pontes. (TP)
- Le pourcentage de descendants en cystes. (OVO %)
- Le pourcentage de descendance en nauplii (OVI %)
- La longévité des femelles ou la durée de vie moyenne (VM) est considérée comme étant le temps (jours) passé entre la naissance jusqu'à la mort.
- la période pré-reproductive (PPR) ou temps de maturations sexuelles depuis l'éclosion jusqu'à la première ponte.
- la période reproductive (PR) des femelles est considérée depuis la première jusqu'à la dernière ponte.
- la période post-reproductive (PPTR) est définie à partir de la dernière ponte jusqu'à la mort.

3.3.3. Analyse statistique

Une analyse statistique interpopulations et pour les deux facteurs considérés est évaluée. Cette analyse est effectuée par le programme SPSS version 15.0 (SPSS Inc., Chicago, Illinois, EE.UU).

Les différences entre les moyennes des variables sont évaluées par l'analyse de variances à deux voies (two way ANOVA) en vu de déterminer le niveau de signification de l'interaction entre les diverses populations pour les deux facteurs. Dans le cas d'une hétérogénéité entre variances, le test de Games-Howell est utilisé pour établir les différences entre groupes. Comme critère général un niveau significatif de 5% ($\alpha=0,05$) est considéré.

3.4. Résultats

Le tableau 5 montre les résultats obtenus pour les 11 paramètres étudiés ainsi que les résultats des analyses des variances des deux facteurs pour chaque variable en termes de signification.

Le tableau 6 montre le taux de survie des différentes populations depuis l'éclosion jusqu'à l'âge adulte des spécimens.

Le tableau 7 résume les résultats des analyses comparatives multiples de moyennes par le test de Game Hawell pour les deux facteurs considérés et les variables où a été détecté une différence significative inférieure.

L'analyse inter-populations montre l'existence d'une différence significative entre les paramètres étudiés. Par rapport au facteur température il n'y a pas de signification pour la période reproductive, la descendance par ponte et la période post-reproductive (Tableau 5).

L'interaction entre les deux facteurs est très significative, mise à part pour les paramètres temps entre ponte et la période post-reproductive où la différence n'est pas significative.

Les paramètres relatifs au nombre de descendance (DESC/P, DESC/J et DESC/T) montrent en général une réponse similaire pour toutes les populations et qui est visiblement apparente à 24°C (Fig 20).

Les populations d'El Goléa et Ezzamoule présentent une faible capacité reproductive. Elles sont les moins prolifiques, leurs taux de descendance sont significativement faibles par rapport aux autres populations (Tableau 5). Quelque soit la température expérimentale, le taux de survie jusqu'à l'âge adulte chez la population d'El Goléa est le plus élevé (Tableau 6).

La population de Béthioua tétraploïde (PT) montre des valeurs de descendance significativement supérieures à ses congénères tétraploïdes (Tableau 5). Son taux de survie à l'âge adulte est beaucoup plus faible à basse température (19°C).

La descendance totale des populations sexuées d'Ezzamoule est proche de celle des populations parthénogénétiques d'El Goléa et Ezzamoule mais significativement faible par rapport aux autres populations (Tableau 7).

Tableau 5. Résultats obtenus pour les paramètres reproductifs et longévité des individus appartenant aux populations d'études, maintenus sous deux températures différentes (19 et 24°C).

	Béthioua (PD)		Relizane (PD)		Oran (PD)		Béthioua (PT)		Ezzamoule (PD)		Relizane (PT)		Goléa (PT)		Ezzamoule (ASA)	Setif (PT)	Niveau de signif pour le facteur population	Niveau de signif pour le facteur température	Niveau de signif pour l'interaction des deux facteurs
	19	24	19	24	19	24	19	24	19	24	19	24	19	24	24				
PPR (jours)	63,8 ±4,7	26,9 ±4,5	34,6 ±3,6	26,8 ±0,5	33,9 ±2,5	23,4 ±4,9	65,7 ±3,3	33,1 ±6,7	44 ±0,9	21,6 ±1,7	29,3 ±5,4	23,4 ±0,5	34,2 ± 1,6	27 ± 4,4	29±3,2	31,6 ±5	0,000	0,000	0,000
PR (jours)	39,7 ±18,7	37,5 ±25,6	16,3 ±1,6	39 ±11,3	48,3 ±15,6	31,7 ±8,4	69,5 ±26,5	42,3 ±21,8	17,5 ±0,9	20 ±7,7	22,3 ±8,6	51,3 ±22,7	17,9 ±3,19	24,5 ±10,2	16,8 ±3,1	43,2±28, 7	0,000	0,325 ns	0,000
NP	5,2 ±1,9	6,1 ±3,8	3 ±0	6,8 ±1,9	7,4 ±2,7	6,7 ±1,6	7,1 ±2,3	6,6 ±3,2	3 ±0	4,2 ±1,3	3,5 ±0,9	8,5 ±3,3	3,0 ±0	4,6 ±1,3	3,1 ±0,3	7,5 ±4,6	0,000	0,000	0,000
TP	9,4 ±1,3	7,5 ±2,9	8,1 ±0,8	6,7 ±0,7	7,3 ±0,9	5,6 ±0,6	11,4 ±1,9	8,2 ±2,4	8,7 ±0,4	6,2 ±0,8	8,9 ±1,2	6,9 ±0,9	8,9 ±1,5	6,6 ±0,9	8,1 ±1,7	6,9 ±0,9	0,000	0,000	0,230 ns
DESC T	936,7 ±518,1	988,2 ±646,8	409,5 ±110,5	1352,2 ±572,2	1117 ±342,8	827,1 ±209,6	1599 ±669,4	1090 ±628,6	326 ±58,1	456,5 ±269	377,1 ±139,3	1412 ±720,1	246,7 ±72,3	552,6 ±254	372,6 ±60,4	1096 ±644,5	0,000	0,000	0,000
DESC /P	173,9 ±53,4	155,1 ±47,1	136,5 ±36,8	191,4 ±43	145,3 ±13,2	124,4 ±18,5	217,1 ±35	160,3 ±38,2	108,6 ±19,3	102 ±22,7	106 ±26,3	159,5 ±27,2	82,2 ±24,1	113,5 ±24,1	120,3 ±19,9	151 ±40,5	0,000	0,226 ns	0,000
DESC /J	23,8 ±7,1	27,2 ±6,6	25,2 ±6,8	33,8 ±7,8	23,4 ±3	26,3 ±3,5	23 ±3,7	26,3 ±11,1	18,7 ±3,7	22 ±4,8	17,3 ±5,1	26,8 ±3,7	13,9 ±4,1	22,2 ±3,2	22,6 ±5,1	27,1 ±7,2	0,000	0,000	0,045
OVO VI (%)	13,1 ±28,7	44,2 ±34,2	73,6 ±42,9	35,1 ±34,7	100 ±0	99,7 ±1,4	16,9 ±15,4	7,6 ±14,5	93 ±19,6	100 ±0	29 ±17,6	2,3 ±5,4	58,3 ±32,5	17,9 ±14,9	21 ±21,4	4,4 ±6,8	0,000	0,000	0,000
OVI (%)	86,8 ±28,7	55,7 ±34,2	26,4 ±42,9	64,2 ±34,3	00	0,3 ±1,4	83 ±15,8	92,1 ±14,5	6,9 ±19,6	00	79,8 ±20	97,6 ±5,4	41,6 ±32,5	82 ±14,9	78,9 ±21,4	95,5 ±6,9	0,000	0,000	0,000
PPTR (jours)	4,5 ±8	1,3 ±2,2	0,6 ±0,5	0,2 ±0,5	1,1 ±1,5	1,2 ±1,6	3,3 ±3,8	2,7 ±4,3	0,2 ±0,7	0,7 ±1,2	1,2 ±1,6	1,2 ±3	0,2 ±0,4	0,7 ±1,1	1,2 ±2,3	0,2 ±0,6	0,000	0,294 ns	0,064 ns
VM (jours)	108,2 ±21,2	65,8 ±27	51,6 ±3,3	66,1 ±11,3	83,4 ±16,5	56,4 ±8,2	138,6 ±26,2	78,2 ±24,5	61,7 ±0,8	42,4 ±8	52,9 ±9,4	75,7 ±21,8	52,4 ±2,1	52,3 ±9,4	47,1 ±3,7	75,1 ±28,1	0,000	0,000	0,000

Résultats exprimés en moyennes ± l'erreur standard (n=30)

Résultats des analyses de variances appliqués aux paramètres reproductifs et de longévité obtenus en élevage individuels à 19 et 24 °C.

(ns) non significatif

Les populations sexuées affichent un taux de survie à l'âge adulte très faible à haute température, par contre les populations parthénogénétiques diploïdes ne montrent pas de grandes variations du taux de survie face aux températures expérimentales considérées (tableau 6).

Par rapport à la descendance par jour les populations parthénogénétiques tétraploïdes (PT) paraissent moins productives par rapport aux populations parthénogénétiques diploïdes, mis à part le cas de Sétif qui montre une valeur plus ou moins élevée, du au nombre faible de spécimen (09 spécimens) qui sont impliqués dans le calcul des variables.

Les populations parthénogénétiques diploïdes d'Oran (PD) et tétraploïdes de Bethioua (PT) diminuent leur descendance avec le changement de la température. A 19°C atteignent respectivement 1117 ±342,8, et 1599 ±669,4 descendants par femelle et à 24 °C seulement 827 ±209,6 et 1090 ±628,6, contrairement aux autres populations qui augmentent leur potentiel reproductif particulièrement quand les températures sont élevées (tableau 5. et Fig. 20 B et C).

Tableau 6. Résultats des taux de survie depuis l'éclosion jusqu'à l'âge adulte.

<i>Populations</i>	<i>Localité</i>	<i>% à 19°C</i>	<i>% à 24°C</i>
<i>A. salina</i>	<i>Relizane</i>	20,8 (±8,2)	3,33 (-)
<i>A. parthogenetica (Diploïde)</i>	<i>Ezzamoule</i>	9,3 (±4,6)	8,9 (±6,29)
	<i>Bethioua</i>	36,3 (±8,9)	35,6 (±9,1)
	<i>Relizane</i>	47,7 (±10,7)	12,5 (±10,2)
	<i>Ezzamoule</i>	27,5 (±20,0)	30 (±12,2)
	<i>Oran</i>	26,5 (±15,8)	31, (±22,3)
	<i>Setif</i>	37,6 (±16,2)	11,6 (±9,96)
<i>A. parthenogenetica (Tétraploïde)</i>	<i>Bethioua</i>	5,6 (-)	29,9 (±7,11)
	<i>Setif</i>	42,9 (±11,8)	11,4 (5±,72)
	<i>Relizane</i>	11,3 (±11,5)	10,7 (±8,3)
	<i>Goléa</i>	84,1 (±4,7)	66,8 (±9,43)

Chaque valeur est la moyenne de n=30 suivie de l'écart type

Si on considère la descendance journalière il apparaît très claire que la température influe sur ce paramètre. La température 24°C a tendance à favoriser le taux de descendance journalier (Fig 20. B).

Par rapport au nombre de pontes par femelle (NP), l'interaction des deux facteurs est significative. Le temps entre ponte (TP), par contre, montre une certaine différence aussi bien entre les différentes populations qu'entre les températures.

Par ailleurs, la parthénogénétique tétraploïde d'El Goléa et la sexuée d'Ezzamoule sont significativement les moins prolifiques que les autres (Tableau 5), avec un nombre de pontes très faibles.

Le temps entre ponte s'avère être lié aux conditions de température du milieu où les faibles températures ont tendance à augmenter la durée entre pontes. Le temps moyen entre pontes est plus long à 19°C qu'à 24°C, il varie entre 6 et 11 jours à 19°C et 5 et 8 jours à 24°C selon les populations. La parthénogénétique tétraploïde de Bethioua montre un temps entre pontes le plus élevé de toutes les populations (figs 21. A et B)

Les paramètres ovoviviparité et oviparité montrent une différence significative entre les différentes populations considérées (Tableaux 5 et 7).

Quelque soit la température, les parthénogénétiques tétraploïdes présentent une dominance de descendance ovipares. Les diploïdes montrent plutôt un comportement plus ou moins complexe face à la température.

Les populations parthénogénétiques diploïdes de Bethioua et la tétraploïde d'El Goléa montrent un comportement reproductif différent de leurs congénères. La première présente un taux d'oviparisme élevé à 19 °C et un équilibre oviparisme/ovoviviparisme à 24 °C, contrairement à l'autre où l'équilibre est atteint à 19°C.

Tableau 7. Résultats des analyses de variances par le procédé de Game-Hawell, appliqué aux variables montrant des différences significatives ($\alpha = 0,05$) pour les facteurs analysés.

Paramètres	Bethioua (PD)	Relizane (PD)	Oran (PD)	Ezzamoule (PD)	Relizane (PT)	Goléa (PT)	Bethioua (PT)	Setif (PT)	Ezzamoule ASA
PPR(jours)	44,3 ±19,1 ^a	29,1 ±4,0 ^b	28,8 ±6,5 ^b	29,4 ±10,8 ^b	26,1 ±4,7 ^b	29,8 ±5,0 ^b	49,7 ±17,2 ^a	31,6 ±5,0 ^b	29 ±3,2 ^b
PR(jours)	38,6 ±22,4 ^a	32,5 ±14,1 ^{ab}	40,2 ±15,0 ^a	19,9 ±6,3 ^b	37,7 ±22,6 ^{ac}	21,9 ±8,8 ^b	56,2 ±27,7 ^c	43,2 ±28,7 ^{ab}	16 ±3,1 ^b
NP	5,7 ±3,1 ^a	5,7 ±2,4 ^a	7,2 ±2,1 ^a	3,8 ±1,2 ^b	6,2 ±3,5 ^a	4 ±1,3 ^b	6,8 ±2,8 ^a	7,5 ±4,6 ^{ab}	3,1 ±0,3 ^b
TP (jours)	8,4 ±2,4 ^{ac}	7,3 ±0,9 ^b	6,5 ±1,2 ^b	7,1 ±1,4 ^{bd}	7,8 ±1,4 ^{ad}	7,5 ±1,6 ^a	9,8 ±2,7 ^{cd}	6,9 ±0,9 ^{ab}	8,1 ±1,7 ^{abc}
DESCT	963 ±584 ^{ac}	1082 ±650 ^{ac}	975 ±318 ^a	410 ±227 ^b	931 ±744 ^{ac}	433 ±252 ^b	1350 ±692 ^c	1096 ±644 ^{ac}	372 ±60 ^b
DESC/P	164 ±50 ^{ad}	175 ±47 ^{ad}	135 ±19 ^b	104 ±21 ^c	134 ±37 ^{ab}	101 ±28 ^c	189 ±46 ^d	151 ±40 ^{abcd}	120 ±19 ^{bc}
DESC/J	25 ±7 ^{ab}	31 ±8 ^a	24 ±3 ^b	20 ±4 ^{ce}	22 ±6 ^{ac}	19 ±5 ^c	24 ±8 ^{abe}	27 ±7 ^{ab}	22 ±5 ^{bc}
OVOVI (%)	70,4 ±35,1 ^a	46,1 ±40,2 ^{ad}	99,8 ±0,9 ^c	97,5 ±11,8 ^c	10,5 ±16,5 ^b	33,6 ±30,4 ^d	12,3 ±15,7 ^b	4,4 ±6,9 ^b	21,1 ±21 ^{bd}
OVI (%)	29,5 ±35,1 ^a	59 ±37,6 ^{ade}	0,1 ±0,9 ^c	3,4 ±14,1 ^c	89,4 ±16,6 ^{df}	66,3±30,4 ^e	87,5 ±15,7 ^{df}	95,5 ±6,9 ^f	78,9 ±21,4 ^{def}
PPTR(jours)	2,8 ±5,9 ^{ac}	0,3 ±0,5 ^{ab}	1,1 ±1,5 ^{abc}	0,5 ±1,1 ^{ad}	1,2 ±2,1 ^{abc}	0,5 ±0,9 ^{ad}	3 ±4 ^c	0,2 ±0,6 ^{bd}	1,2 ±2,3 ^{acd}
VM(jours)	85,8 ±32,3 ^a	62 ±11,7 ^b	70,1 ±18,8 ^{ab}	49,1 ±11,3 ^e	65,1 ±20,5 ^{bc}	52,3 ±7,3 ^{ce}	109 ±39,5 ^d	75,1 ±28,7 ^{abcef}	47,1 ±3,7 ^{ef}

Les moyennes indexées avec la même lettre ne sont pas statistiquement différentes.

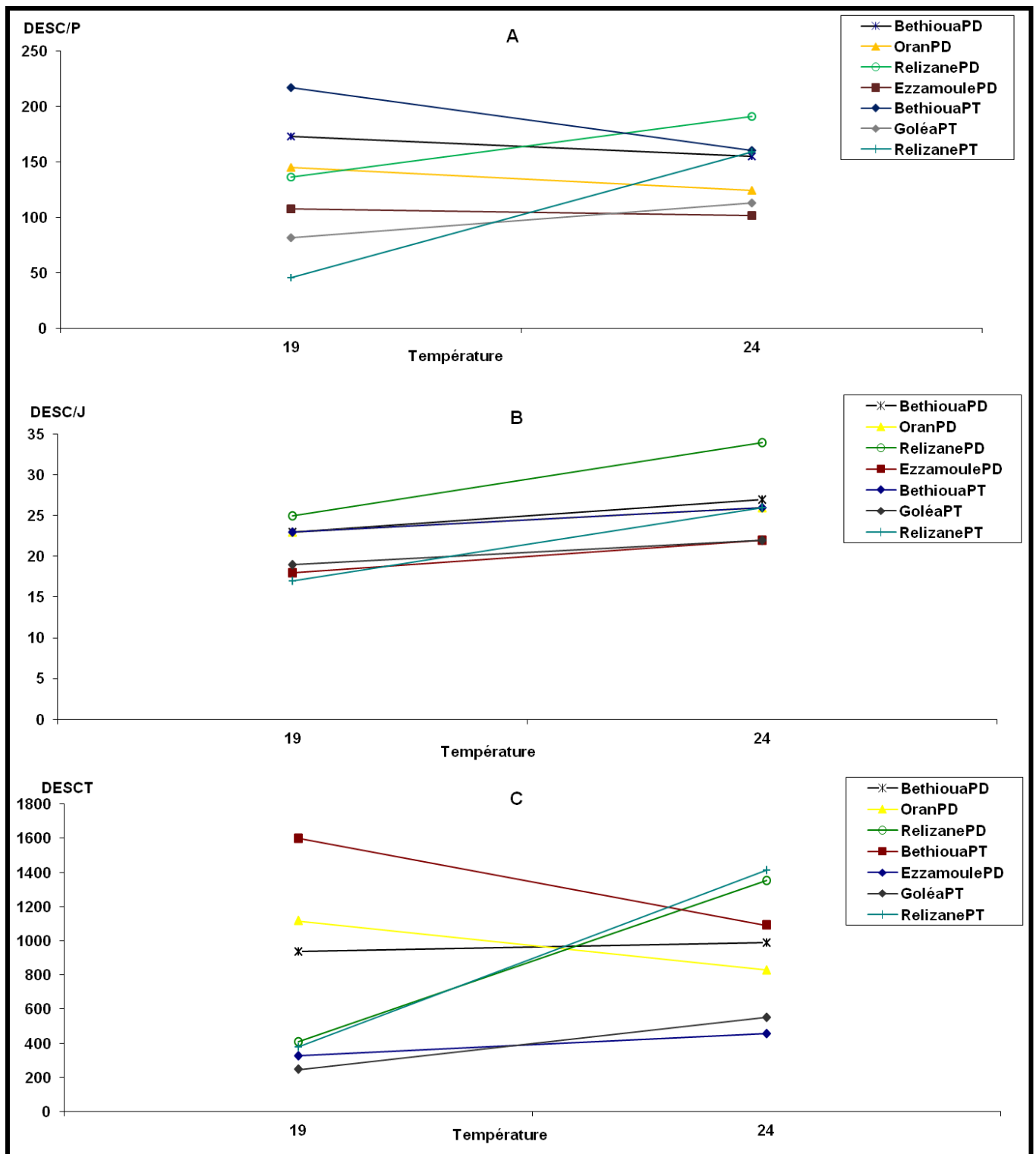


Figure 20. Résultats des paramètres reproductifs pour les sept populations et les deux températures étudiées. A : nombre de descendance par ponte (DESC/P). B : nombre de descendance par jour (DESC/J). C : nombre de descendance totale (DESCT)

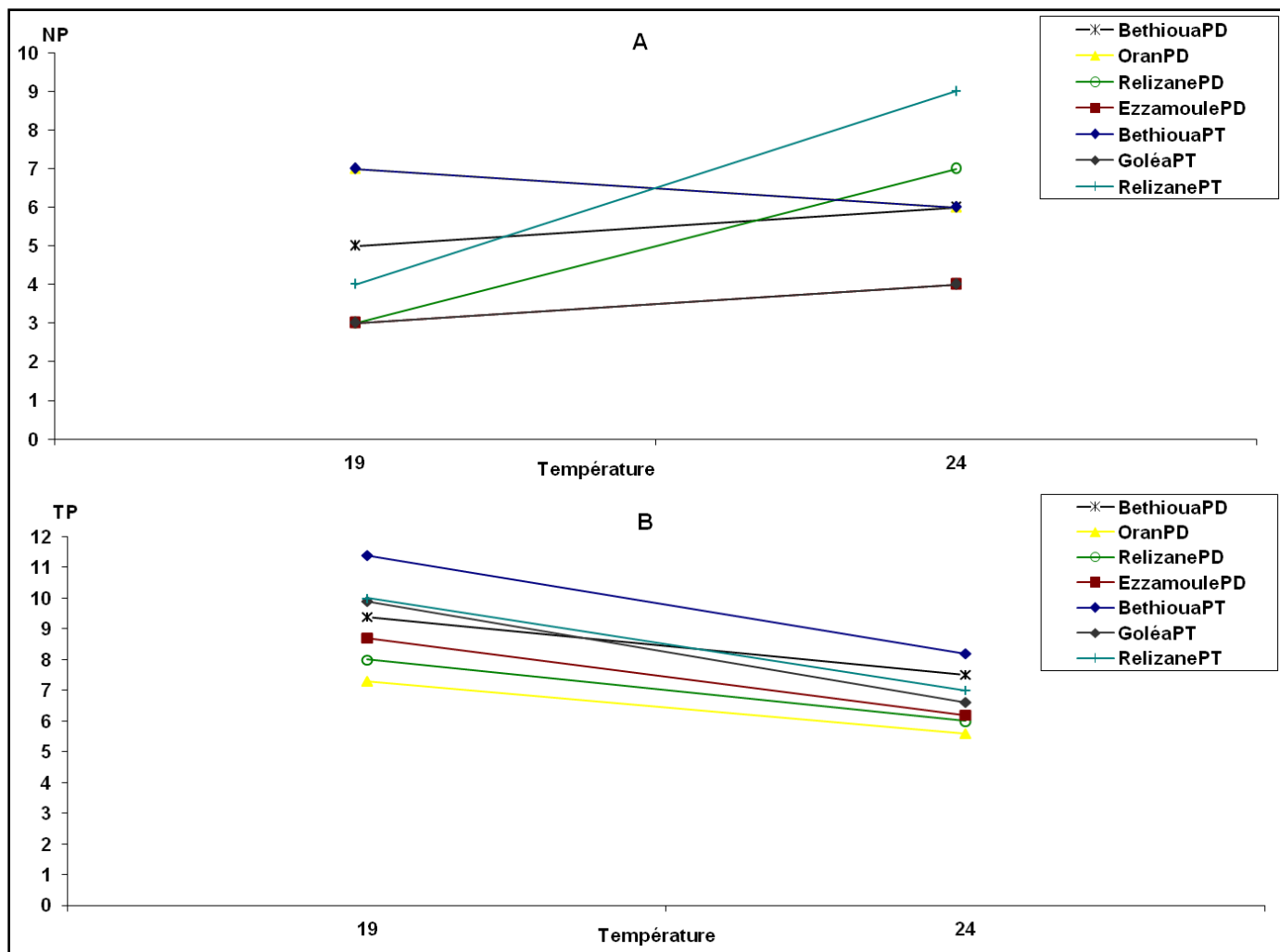


Figure 21. Résultats des paramètres reproductifs pour les sept populations et les deux températures étudiées. A : nombre de pontes (NP). B : Temps moyen entre pontes (TP).

L'aspect ovovivipare chez les populations parthénogénétiques diploïdes d'Oran (PD) et celle d'Ezzamoule (PD), apparaît montrer une adaptation particulière indépendante de la température (fig. 22).

Les périodes pré-reproductives et reproductives montrent une différence entre populations et entre températures. En général pour la majorité des populations considérées le développement est beaucoup plus rapide à 24°C qu'à 19°C (fig. 23 B et C), excepté pour les populations parthénogénétiques diploïde d'Oran et la parthénogénétique tétraploïde de Bethioua où la période reproductive est très élevée à 19°C.

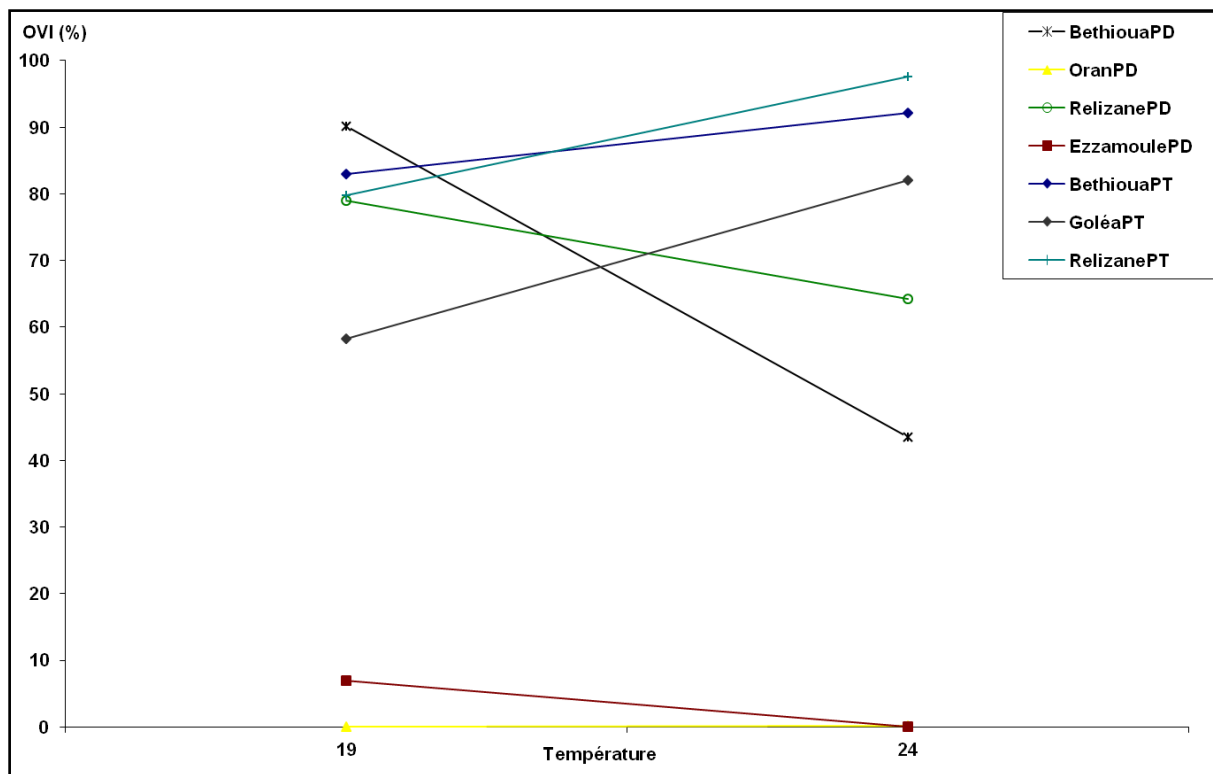


Figure 22. Résultats des paramètres reproductifs pour les sept populations et les deux températures étudiées. (OVI% : pourcentage de production de cystes).

Quelque soit la population la période pré-reproductive est courte à la température de 24°C, et plus longue pour certaines populations à 19°C (fig 23 A)

Par ailleurs, la période reproductive s'avère être influencée beaucoup plus par un comportement particulier des populations. La situation de la période reproductive est tout à fait singulière indépendante du facteur température. Les cas de la parthénogénétique tétraploïde de Bethioua et la parthénogénétique diploïde d'Oran qui montrent des périodes élevées de 69,5 et 48,3 jours respectivement à 19°C par rapport aux autres qui montrent plutôt des valeurs faibles à cette température (fig. 23 B).

Dans la majorité des cas La période reproductive est plus courte à 24°C qu'à 19°C.

La période post reproductive est variable d'une population à l'autre mais par rapport à la température la différence n'est pas aussi remarquable.

La longévité se révèle influencée par le facteur température. La majorité des populations survivent plus à 19°C qu'à 24°C. Il semblerait aussi que les femelles des populations parthénogénétiques tétraploïdes de Bethioua survivent plus de temps que les autres (fig. 24) et montrent une différence significative avec les autres populations.

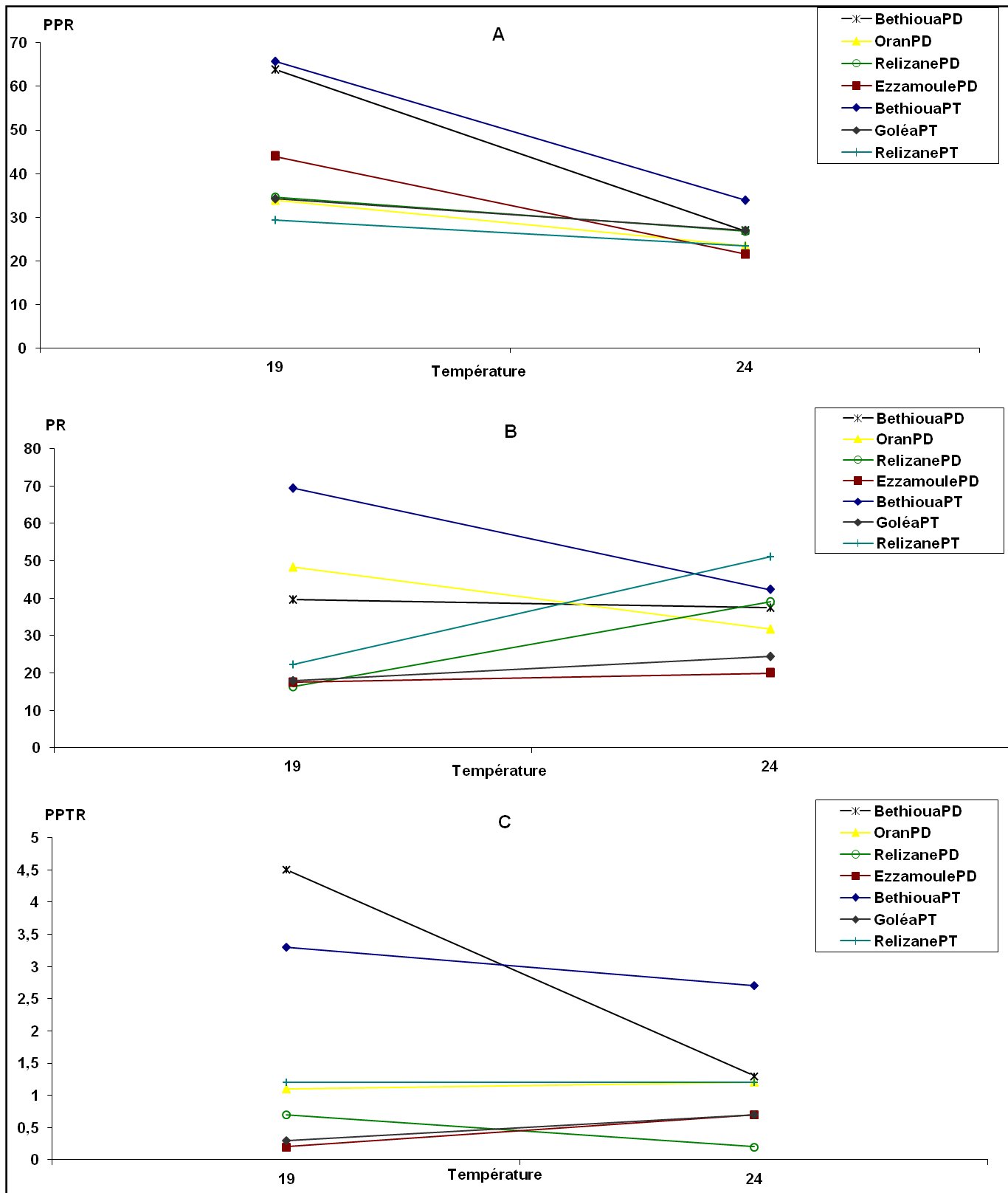


Figure 23. Résultats des paramètres reproductifs pour les sept populations et les deux températures étudiées. A : durée de la période pré-reproductive en jours (PPR). B : durée de la période reproductive en jours (PR). C : durée de la période post-reproductive en jours (PPTR)

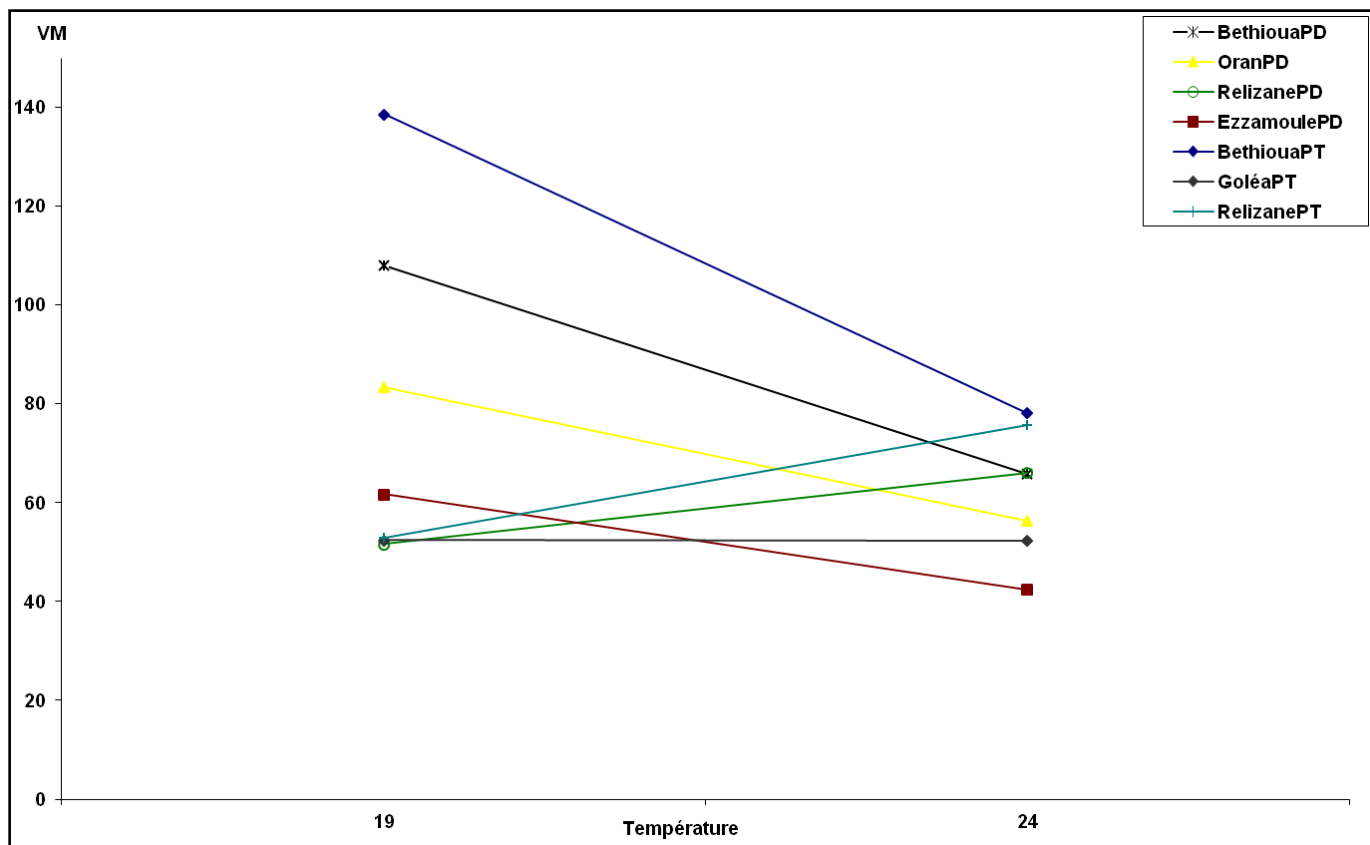


Figure 24. Résultats des paramètres reproductifs pour les sept populations et les deux températures étudiées. (Temps total en jours de la vie moyenne des femelles (VM)).

Dans les figures 25 et 26 représentent la durée des trois périodes de vie (période reproductive, pré-reproductive et post-reproductive) des femelles de chaque population (parthénogénétique diploïde et tétraploïde) en pourcentage à 19°C et 24°C respectivement.

En général, on peut affirmer que la période reproductive à 19 °C occupe en moyenne une durée qui varie entre 30 et 50% du temps de vie de la femelle, par contre la période pré-reproductive est plus longue dépasse les 40% du temps totale et peut s'étaler jusqu'à 70%.

Par ailleurs la situation à 24°C est totalement inverse, la période reproductive parait plus longue par rapport à la période pré-reproductive qui occupe environ une moyenne de 50% de la vie totale de la femelle.

Le nombre de descendants par ponte à 19°C et 24°C sont représentés dans la figure 27. La majorité des populations étudiées montrent un comportement à tendance similaire. Il se caractérise par de faibles pontes en nombre au début la vie reproductive des femelles, augmente de manière appréciable et puis diminue avec l'âge des femelles.

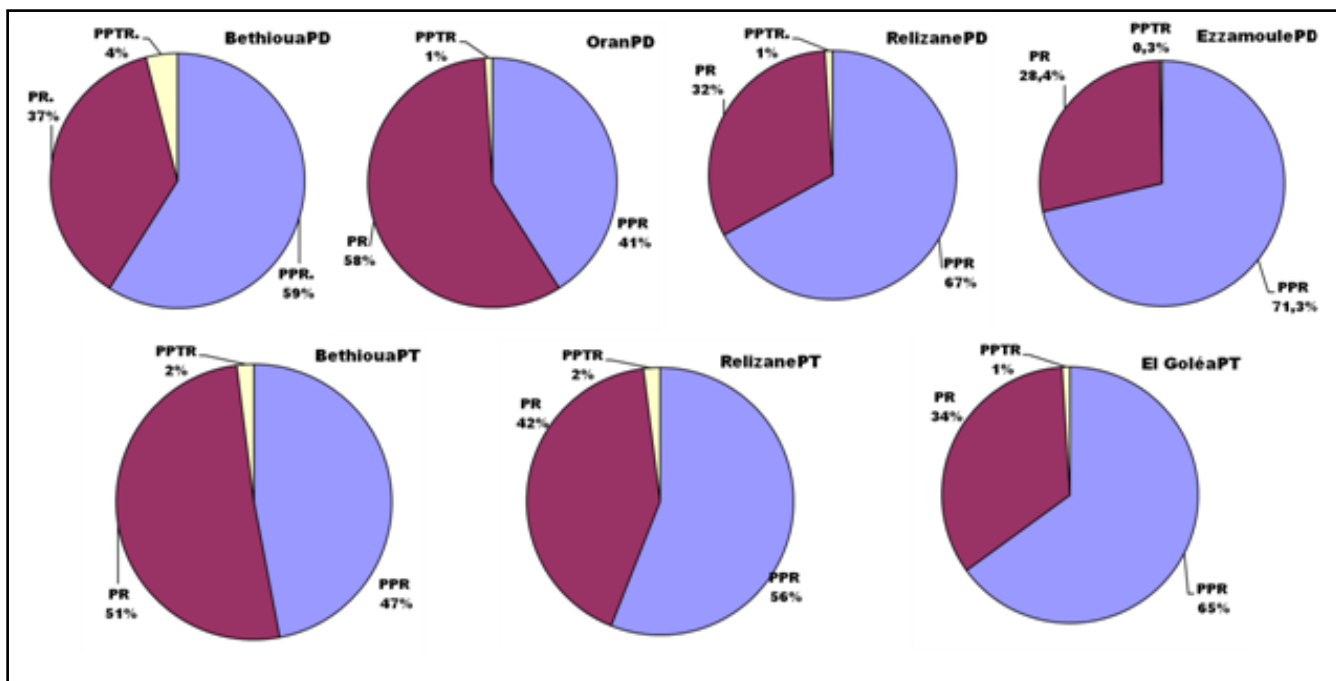


Figure 25. Durée de chaque période de la vie (exprimés en pourcentages) des femelles Parthénogénétiques diploïdes (PD) et tétraploïdes (PT) à 19°C

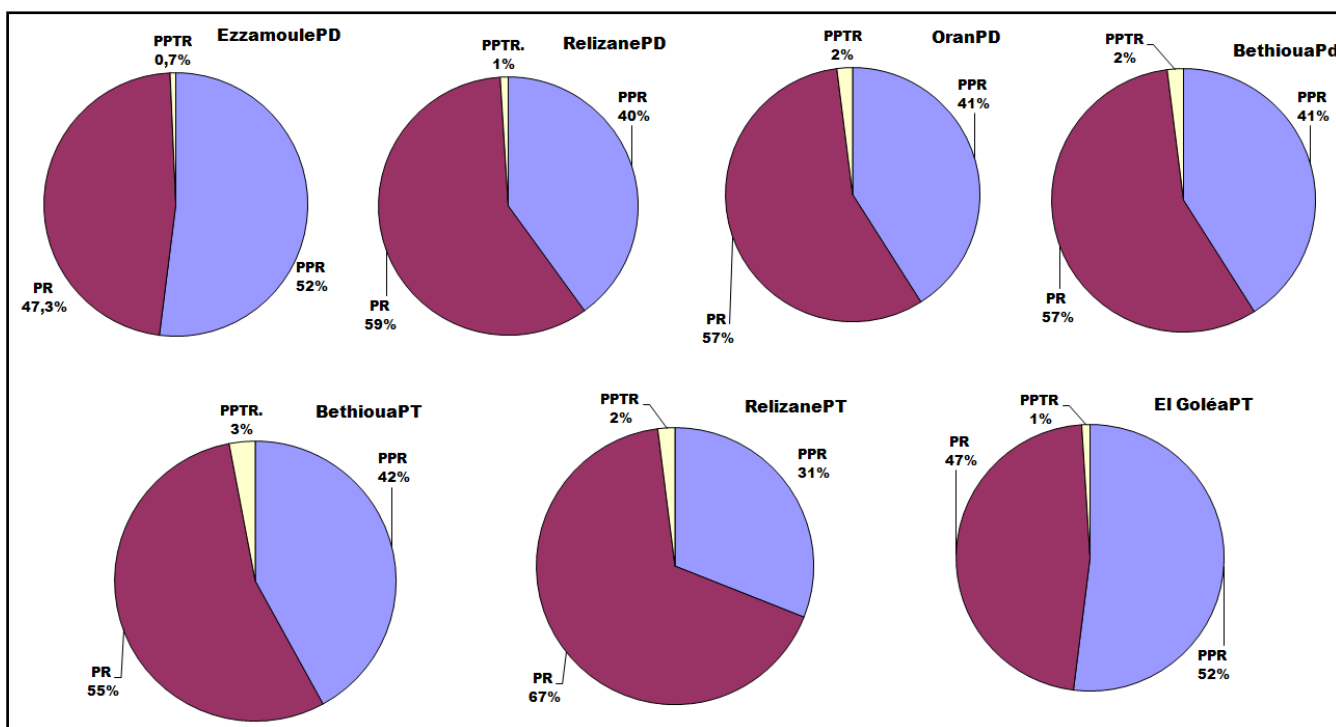


Figure 26. Durée de chaque période de la vie (exprimé en pourcentage) des femelles parthénogénétiques diploïdes (PD) et tétraploïdes (PT) à 24°C

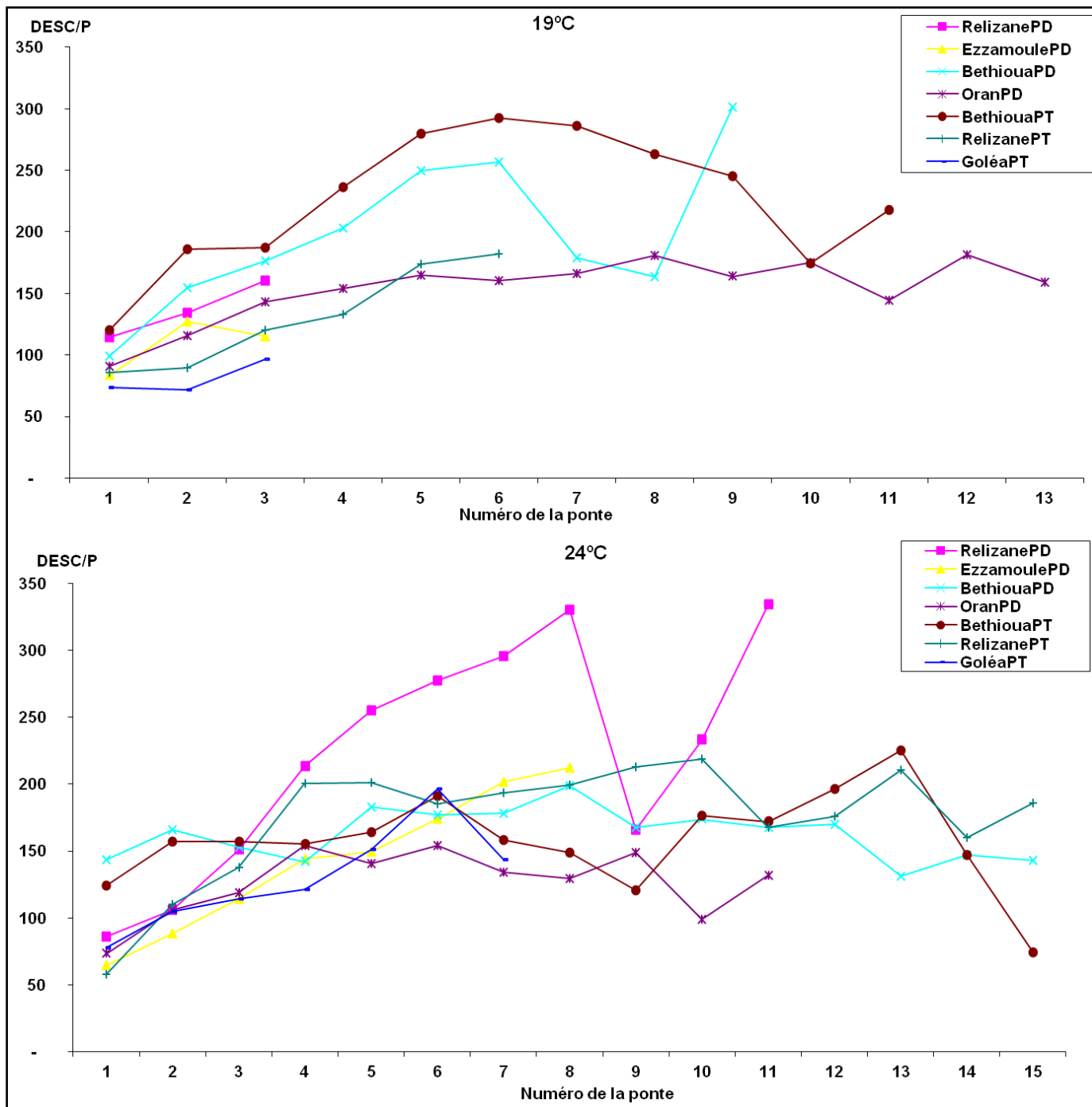


Figure 27. Nombre de descendance par ponte des femelles des populations étudiée à 19 et 24°C

3.5. Discussion

D'un point de vue écologique, le genre adopte un certain nombre de stratégies. Certaines espèces se reproduisent sexuellement alors que d'autres sont obligatoirement asexuées. Chez ce genre l'examen de beaucoup de caractères liés à la durée de vie et à la reproduction ont montré une forte héritabilité. Bien que les différences notées dans les

caractères liés à la durée de vie et celles révélées par les réponses physiologiques entre espèces et/ou populations sont indicatrices d'une grande variabilité génétique.

Les intervalles de certains paramètres environnementaux (température, salinité etc.) qui limitent la survie des populations ne sont pas les mêmes. Ces valeurs définissent un état physiologique optimal spécifique, ce qui ne permet pas de comparer les réponses des spécimens de ces populations sous le concept de conditions similaires standards (expérimentales).

Fécondité

A partir des séries d'expériences de table de vie réalisées, il ressort que la fécondité maximale des femelles d'*Artemia* n'est pas très différente entre les populations, particulièrement en termes de nombre de descendance par ponte sous les mêmes conditions de température.

Les formes parthénogénétiques montrent un nombre de descendance par femelle élevé à 24°C. Les populations de Rélizane et El Goléa se montrent les moins fécondes à basse température (19°C), contrairement aux autres populations de Bethioua et Oran pour qui la température ne semble pas avoir de grands effets sur la fécondité.

Il ressort ainsi, que la température semble avoir un effet uniquement sur certains paramètres de la fécondité.

A 19°C le nombre de ponte est faible chez les populations moins fécondes, par contre chez les autres populations ayant une fécondité élevée, le nombre de pontes ne semble pas être affecté par les variations de température.

Pour ce qui est du nombre de jours entre pontes, il est long à basse température et diminue avec l'augmentation de la température.

A haute température (24°C), l'analyse des résultats de la descendance par ponte entre parthénogénétiques et sexuées montre une prépondérance de la parthénogénétique par rapport aux sexuées.

Oviparisme

Le genre *Artemia* présente certaines caractéristiques reproductives très particulières qui dépendent de son adaptation aux environnements hypersalins qui lui affectent divers degrés de stabilité et d'équilibre de l'espèce.

D'autres parts la nature a fait apparaître chez l'espèce de ce genre une capacité de produire une descendance par ovoviviparisme (nauplius) et oviparisme (embryon en diapause), selon les conditions du milieu de leur habitat. La reproduction ovipare donnant lieu à des nauplii, permet une croissance rapide de la population alors que l'émission des cystes en diapause (l'oviparisme) assure la survie de la population quand les conditions sont défavorables (LENZ et DANA, 1987, LENZ, 1987). Toutefois les facteurs qui activent la diapause et l'oviparisme sont encore inconnus (CROWE et al, 1987 ; LAVEN et SORGELLOS, 1987a). Ce phénomène de diapause qui conduit à l'oviparisme permet à l'*Artemia* de disposer d'un pouvoir de résistance et de persistance dans les milieux instables (BROWNE, 1980a), ainsi qu'un large mécanisme de dispersion par anémochorie et zoochorie.

Il s'avère aussi que la production d'embryons cystiques en phase de diapause chez *Artemia* obéit à des facteurs environnementaux et intrinsèques, mais cette idée reste un peu invraisemblable pour certains auteurs (BROWNE et al., 1984; WEAR et al., 1986; GAJARDO et BEARDMORE, 1989). Toujours est-il qu'on admet aussi que c'est l'influence génétique qui agit sur le taux d'oviparisme pour une espèce déterminée.

Les données obtenues pour le présent travail confirment la première suggestion d'oviparisme. Chez les formes tétraploïdes : l'oviparisme augmente quand les conditions de température tendent vers des situations élevées. Par contre les parthénogénétiques diploïdes présentent un comportement très variable, un changement du mode de reproduction imprévisible. Le facteur température ne semble par avoir une influence sur le mode de ponte de certaines parthénogénétiques diploïdes. Pour le cas des populations d'Oran et Ezzamoule, quelque soit les conditions expérimentales de température, le niveau d'oviparisme est très faible. Les populations de ce genre sembleraient être adaptées à des environnements stables avec des légères perturbations ou occasionnelles.

De même les populations de Bethioua et Rélizane montrent un comportement reproductive indépendante du facteur température, l'oviparisme est élevé à 19°C pour la première pour la seconde il est à 24°C. Il en résulte que le changement dans le mode de descendance des femelles dépend des facteurs intrinsèques.

Le pourcentage de la progéniture en cyste est élevé pour les populations polyploïdes ce qui est en désaccords avec les travaux de BROWNE et al. (1991), tandis que les populations asexuées diploïdes montrent une large variabilité.

Pour les polyploïdes (tétraploïdes) la première ponte est généralement ovovivipare, puis directement s'enchaîne l'oviparisme. Ce qui confirme bien les propos d'AMAT, 1982a et DANA et LENZ, 1986. Les formes sexuées par contre, sont à dominance ovipare et le mode de ponte s'alterne de façon instantanée.

Périodes de vie

La durée de la période pré-reproductive jusqu'à l'âge de la première ponte est un paramètre qui donne une idée sur la précocité et la vitesse de développement de chaque population. Pour toutes les populations, cette période se raccourcit quand la température augmente. Le cas de la sexuée *A. salina* a révélé beaucoup de mortalités prématurées des femelles à forte température avant d'atteindre la période reproductive, et pour celle qui survivent, elles présentent des périodes pré-reproductives et reproductives très courtes. Il s'avère aussi que ces sexuées diploïdes effectuent des pontes très rapidement mais semblent subir le privilège d'une courte période reproductive. Le taux de reproduction ne semble pas être affecté, l'effet est plutôt senti sur la durée de la période reproductive (BROWNE et al., 1991). BROWNE et al., 1984 associe la vie courte aux faibles niveaux des paramètres reproductifs et au pourcentage élevé de l'oviparisme.

Longévité et survie

La longévité des différentes populations d'*Artemia* étudiées, montre une apparence similaire à celle des paramètres reproductifs (fig. 24). La durée de vie est plus courte à forte température. Selon BROWNE (1980b) et BROWNE et al. (1988), la vie de l'*Artemia* est plus courte à mesure que la température augmente, ceci confirme bien les résultats du présent travail, mise à part le cas de la population de Rélizane qui montre une longévité élevée à 24°C par rapport à 19°C.

Globalement la sexuée *A. salina* montre la durée de vie la plus courte observée sur le nombre limité de spécimens qui ont survécu durant l'expérimentation. Les parthénogénétiques tétraploïdes par contre présentent une durée de vie longue variant entre 52 et 138 jours, et enfin pour les asexuées diploïdes elle est très variable.

Le taux de survie jusqu'à la maturité semble être affecté par le changement de la température (tableau 6). Les sexuées paraissent les plus affectés et atteignent des taux de survie très faibles, ce qui explique bien la vulnérabilité de ces populations lors des expérimentations. Par contre les parthénogénétiques survivent mais dépassent rarement des taux supérieures à 40%.

Le nombre de jours entre pontes apparaît se raccourcir dès que la température augmente. Il en résulte ainsi que le temps de récupération entre ponte est affecté par les variations de température. Par ailleurs le nombre de ponte est variable selon la population et la température. Il est fonction de la durée de vie et du temps de récupération, c'est un facteur spécifique à la femelle.

L'étude comparative des paramètres de reproduction des différentes populations d'*Artemia* étudiées avec celles appartenant aux pays riverains et adjacents montre une grande similitude avec de légères variations pour certains paramètres. Ils peuvent être liés à l'espèce et aux conditions du milieu de vie. Par rapport à l'espèce du nouveau monde, cette dernière présente une productivité biologique très importante, caractérisée par une durée pré-reproductive très courte (14 à 18 jours), un nombre de ponte élevé (5 à 10) et un temps entre ponte très court (4 à 5 jours), ce qui favorise une forte descendance dépassant de loin les populations autochtones.

Conclusion

La fécondité des femelles d'*Artemia* n'est pas très différente entre les populations pour le paramètre descendance par ponte.

Le temps de récupération entre pontes paraît long à basse température.

Chez les populations parthénogénétiques tétraploïdes, l'oviparisme augmente avec l'augmentation de la température, par contre chez les formes diploïdes le mode reproductif est imprévisible et semble être indépendant du facteur température mais dépend plus des facteurs intrinsèques de la population.

La durée de vie de l'*Artemia* semble se raccourcir lorsque la température est élevée.

Il s'avère que la température affecte uniquement certains paramètres (la durée entre pontes et les périodes de pontes).

En Général, on associe la vie courte aux faibles niveaux de paramètres reproductifs et au pourcentage élevé d'oviparisme. L'espèce sexuée paraît avoir la vie la plus courte avec des paramètres faibles par rapport aux autres. Ces populations sexuées sont restrictives en matière de conditions environnementales, face aux parthénogénétiques et aux espèces sexuées du nouveau monde, qui présentent une productivité biologique importante favorable à la descendance.

CHAPITRE 4

COMPÉTITIVITÉ ENTRE LES DIFFÉRENTES ESPÈCES D'ARTEMIA IDENTIFIÉES EN ALGÉRIE

4.1. Rappels bibliographiques

La répartition géographique des espèces du genre *Artemia* de l'Ancien Monde a toujours révélé la coexistence des populations de l'espèce sexuée *A. salina* et ceux de la souche parthénogénétique qui se succèdent temporairement dans plusieurs salines côtières (AMAT, 1981, 1983 ; AMAT et al., 1995b ; HONTORIA et AMAT, 1992a). Cette situation confirme bien le comportement distinct de ces populations face aux facteurs environnementaux.

En général chez ces espèces on note deux types d'adaptations. Les formes sexuées s'adaptent aux basses températures et dominant durant les mois d'hiver et début printemps, alors que les populations parthénogénétiques préfèrent des températures modérées et se développent durant les mois d'été lorsque les températures sont plus élevées (AMAT, 1981 ; TAKAMI, 1989 ; BARATA et al., 1996a,b).

Suite à l'alternance des saisons et la répartition géographique de ces espèces, il en résulte que la température est un facteur environnemental principal qui conditionne l'apparition ou la disparition de ces populations.

Les expériences de compétitivité réalisées sur l'*Artemia* montrent d'importantes différences entre les espèces sexuées et les souches parthénogénétiques (BROWNE et HALANYCH, 1989; AMAT, 1985b; BARATA et al., 1996a,b). Les espèces sexuées américaines (*A. franciscana*) présentent une capacité compétitive supérieure par rapport aux espèces de la région paléarctique. Les populations de la souche parthénogénétique diploïde éliminent les populations de l'espèce sexuée de la Méditerranée dans toutes les expériences.

La majorité de ces études ont été réalisées en laboratoire sous conditions de température contrôlées (24°C et plus), où pratiquement les souches parthénogénétiques et les espèces sexuées américaines présentent une meilleure capacité de reproduction et de survie (BROWNE, 1980b; BROWNE et al., 1988) et par conséquent de grandes capacités compétitives.

ZANG & LEFCORT 1991 comparent l'effet de la température et de la salinité sur les paramètres vitaux des populations parthénogénétiques diploïdes et polyploïdes et montrent que les formes polyploïdes survivent bien à des températures extrêmes et possèdent une thermo-préférence très large avec une faible fécondité et un taux de croissance bas. Les formes diploïdes sont plus fécondes avec une forte croissance des populations.

Par ailleurs BROWNE et HALANYCH (1989) affirment que les capacités compétitives de l'*Artemia* dépendent de leurs paramètres reproductifs et leurs périodes de vie ainsi que les changements de ces caractéristiques suite aux températures qui les affectent.

L'analyse des interactions compétitives entre espèces, démontre que l'exclusion d'une espèce peut être due au comportement de certaines classes d'âges critiques. Des études de cas réalisées sur les cladocères et copépodes montrent que généralement les stades larvaires et juvéniles sont plus vulnérables au manque d'aliments que les adultes. De même THRELKELD (1976) conclut qu'en conditions de jeûne, les classes d'âge de petite taille sont plus fragiles que les grands. Sur le plan physiologique SICK (1976) démontre que les méta-nauplii et les juvéniles d'*Artemia* présentent un taux d'assimilation inférieur par rapport aux individus de grande taille.

D'autre part MASON (1963) observe que les stades ayant une taille entre 2 à 7 mm, sont les plus sensibles à la variation de la quantité d'aliment. Ces résultats indiquent que les stades juvéniles peuvent être une classe d'âge critique exclusivement sensible durant la compétition interspécifique pour l'aliment.

Il s'est avéré aussi qu'en période de jeûne ou en régime alimentaire très réduit, *Artemia* se reproduit continuellement au détriment de sa survie, mais sa longévité tend à se raccourcir (BROWNE, 1982).

Selon TILMAN (1982) quand deux ou plusieurs espèces sont en compétition pour une ressource commune, en conditions d'équilibre l'espèce qui présente une faible demande est compétitivement supérieure.

Il apparaît que la reproduction et la fécondité sont étroitement reliées à la disponibilité de l'aliment et la densité de la population. La fécondité par ponte est inversement proportionnelle à la quantité d'aliment ce qui se répercute sur la diminution du nombre d'individus en stades de nauplii et de méta-nauplii. Ce phénomène a été observé spécialement chez les populations d'*Artemia* qui atteignent de grandes densités comme la population de Mono Lake Californie (CA, USA) (LENZ & DANA, 1987 ; LENZ, 1984 ; WIRICK, 1972).

Les femelles d'*Artemia* ont tendance à adopter le mode de reproduction par oviparité en conditions de faibles quantités d'aliments, ou quand la population se retrouve à des densités maximales.

4.2. Objectif

Dans ce travail, on se propose d'étudier les effets de la compétitivité sur la structure des populations en dispositifs de mésocosme. Parallèlement tenter d'élucider comment les variations saisonnières provoquent les changements des capacités compétitives sur les trois formes autochtones peuplant les biotopes algériens.

Tenter d'expliquer la notion de succession des populations sexuées, parthénogénétiques diploïde et tétraploïde dans un même biotope, qui serait due plus aux changements de température qu'à la compétition interspécifique.

La période printemps-été sera particulièrement traitée.

4.3. Matériel et Méthodes

L'expérience de compétitivité a été réalisée en mésocosme. Les espèces utilisées proviennent des milieux du type Sebkhia et Chott Algériens. Les trois formes autochtones identifiées sont prises en considération : l'espèce sexuée *A. saline* et les souches parthénogénétiques (*A. parthenogenetica*) diploïde et tétraploïdes.

L'expérience a été menée durant la période printemps – été des années 2008 et 2009 (07/04/2008 au 30/06/2008 et du 03/04/2009 au 01/07/2009)

Le dispositif expérimental est composé de bassins de 60 litres de capacité, dotés d'un système d'aération par bulles d'air à partir du fond, exposé à l'air libre sous conditions atmosphériques (photo 12).

Le milieu d'élevage est une saumure obtenue avec de l'eau de mer filtrée augmentée à une salinité de 65 g l⁻¹ par addition du sel ordinaire. Une suspension de micro-algues composée d'un mélange de *Dunaliella sp* et *Tetraselmis sp* est ajoutée à cette saumure. La concentration initiale moyenne est de 71×10^3 cellules par millilitre.

Les élevages dans les bassins (trois répétitions), sont initiés avec un nombre de 100 nauplii d'un âge de 48 h provenant de l'éclosion des cystes purs de l'espèce sexuée *A. salina* et la souche parthénogénétiques *A. parthenogenetica* (diploïde et tétraploïde), sous conditions standard de laboratoire (La technique d'obtention des cystes est indiquée dans le **Chapitre II**).



Photo 12. Dispositif expérimental de compétitivité entre souches d'*Artemia*

Des mesures périodiques de température et de salinité sont effectuées au niveau des bassins d'élevage. Une fois par semaine, il est procédé à un contrôle de la quantité de l'aliment disponible dans le milieu d'élevage par la mesure de la densité cellulaire des microalgues. Les mesures sont réalisées à l'aide d'un spectrophotomètre d'absorption atomique qui donne une densité optique et qui sera par la suite convertie en nombre de cellules par millilitre, selon le modèle mathématique élaborée au niveau du laboratoire de l'Institut d'Aquaculture de Torre de la Sal.

La population dans chaque bassin est évaluée sur la base de la moyenne du comptage de trois échantillons. Le prélèvement de ces échantillons s'effectue d'une manière manuelle par le biais d'un récipient d'un volume de 6 L au début de l'expérience, puis réduit à 2 L en fonction de la densité de la population. Au moment de l'échantillonnage, le milieu est soumis à une forte aération afin d'assurer une répartition homogène de la population du bassin.

Ces échantillons sont filtrés à travers une maille de 160 μm . Les individus recueillis sont anesthésiés dans des boîtes de pétrie puis comptés et identifiés par stade de développement et par espèce et souche selon les caractéristiques morphologiques décrites dans **le chapitre II**. Une fois les échantillons contrôlés, les individus sont remis dans les bassins respectifs.

Pour chaque bassin il est procédé à la détermination du :

- nombre de nauplii par litre
- nombre de méta-nauplii par litre
- nombre de juvéniles par litre

- nombre d'individus adultes de l'espèce sexuelle ou de la souche parthénogénétique par litre.

4.4. Résultats

Les températures moyennes du milieu d'élevage dans les bassins du mésocosme durant la période printemps – été (2008 et 2009) se maintiennent autour de 13°C au mois d'Avril et augmente au delà de 20°C durant les mois de mai et juin (Fig. 28).

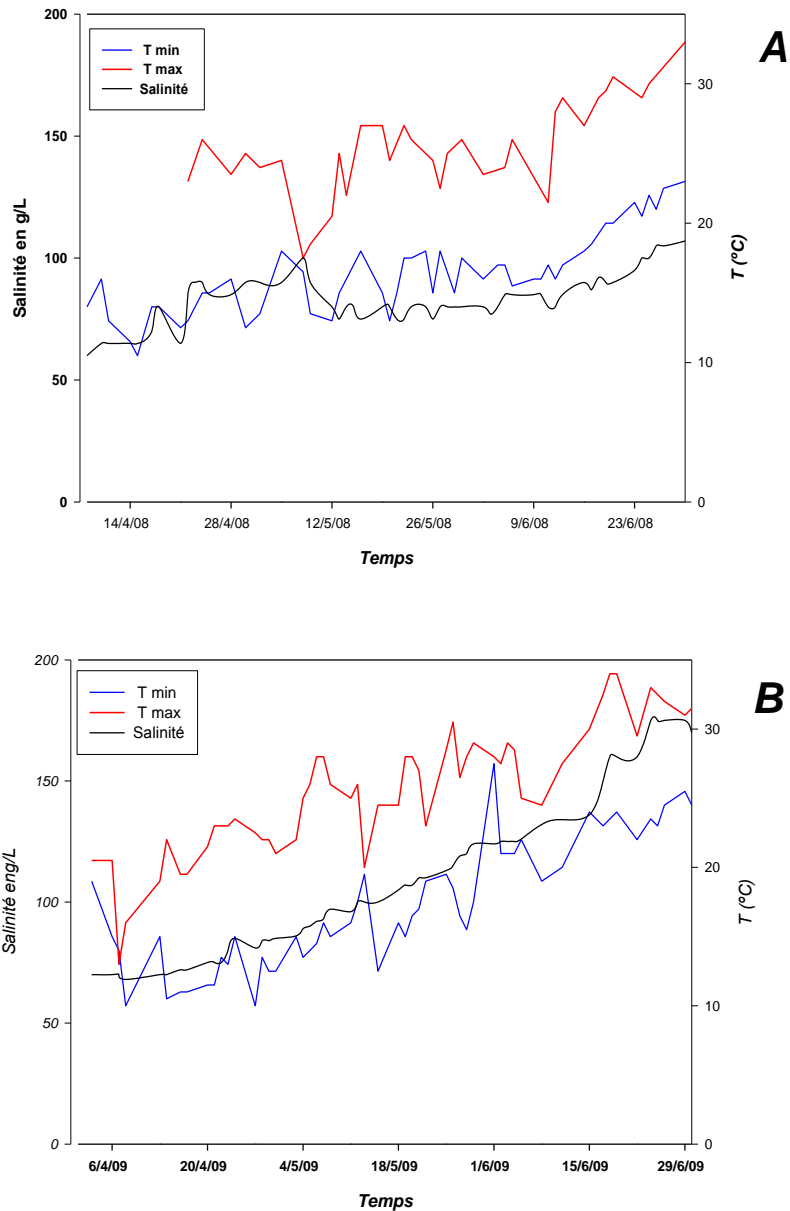


Figure 28. Variation de la salinité en fonction de la température (A) période printemps – été 2008 ; (B) période printemps – été 2009

La salinité durant la période expérimentale de 2008 a atteint une moyenne de 83 gl^{-1} avec un maximum de 107 gl^{-1} et un minimum de 60 gl^{-1} . Pratiquement, on ne distingue pas de grandes variabilités, vu que cette année était humide et pluvieuse avec de faibles variations des températures moyennes. Par contre, pour la période expérimentale de 2009 la salinité a subi de fortes variations avec un minimum au début de l'expérience de 68 gl^{-1} et un maximum qui a atteint 160 gl^{-1} .

L'élevage des populations adultes montre un développement des individus durant les mois d'avril et Mai suite à la disponibilité de l'aliment. A partir de la fin du mois de Mai une carence de l'aliment influe sur l'effectif des populations et qui par la suite reprend pour atteindre un maximum durant le mois de Juin (fig. 29).

Les résultats des expériences de compétitivité sont représentés dans la figure 30 pour les périodes printemps – été (2008 et 2009).

Sous les conditions libres du milieu naturel, et dans tous les cas observés, les populations de l'espèce sexuée *A. salina* sont éliminées par les souches parthénogénétiques.

Les populations de l'espèce sexuées semblent apparaître en premier, compte tenu de leur préférence thermique, leur permettant de s'adapter aux basses températures. Par la suite succède immédiatement le développement des populations de la souche parthénogénétique diploïde qui domine par rapport à la souche parthénogénétique tétraploïde vu que cette dernière ne se manifeste qu'à des températures supérieures à 12°C (BROWNE, 1988).

Le temps d'extinction de l'espèce sexuée ne dépasse pas les 5 mois si on considère son apparition à partir du mois de janvier. Les rares individus qui résistent au delà du mois de Mai sont représentés par des mâles qui ont survécu à l'élévation des températures et salinités.

La population parthénogénétique diploïde persiste dans l'élevage jusqu'à la fin de l'expérience. Son comportement apparaît similaire durant les deux périodes expérimentales.

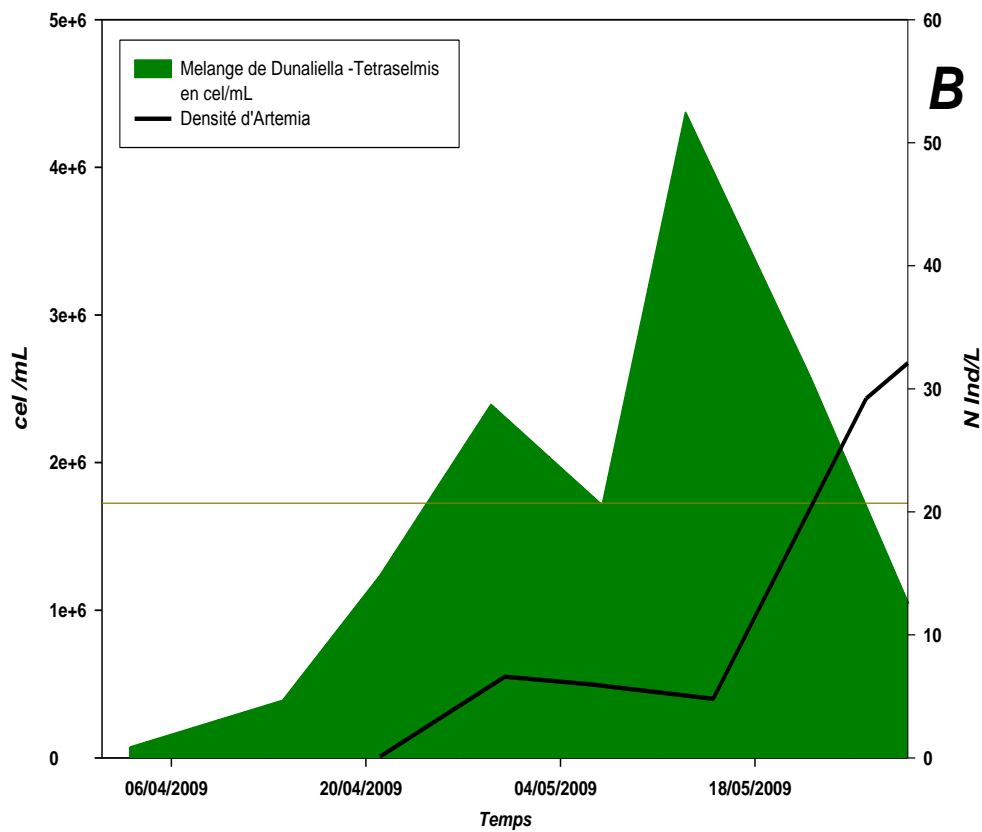
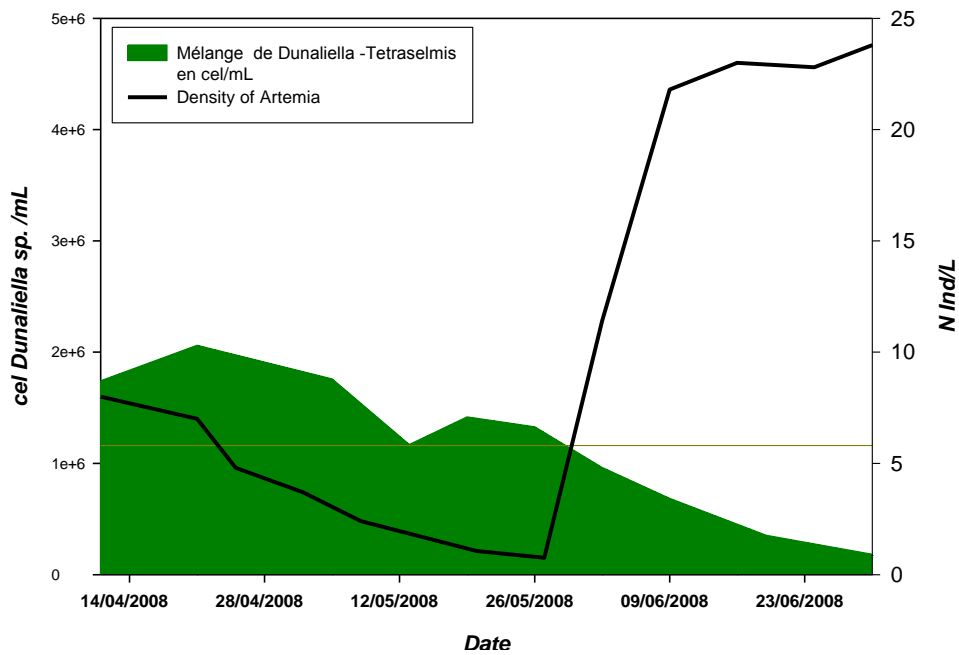


Figure 29. Evolution du phytoplancton en fonction de la densité d'*Artemia* (A) période printemps – été 2008 ; (B) période printemps – été 2009

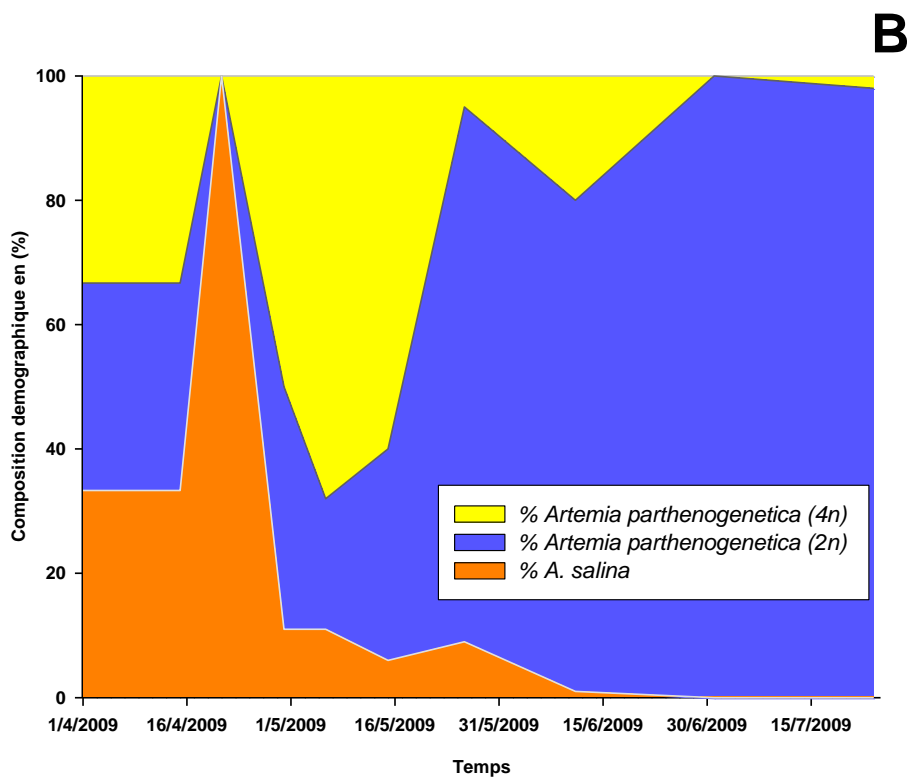
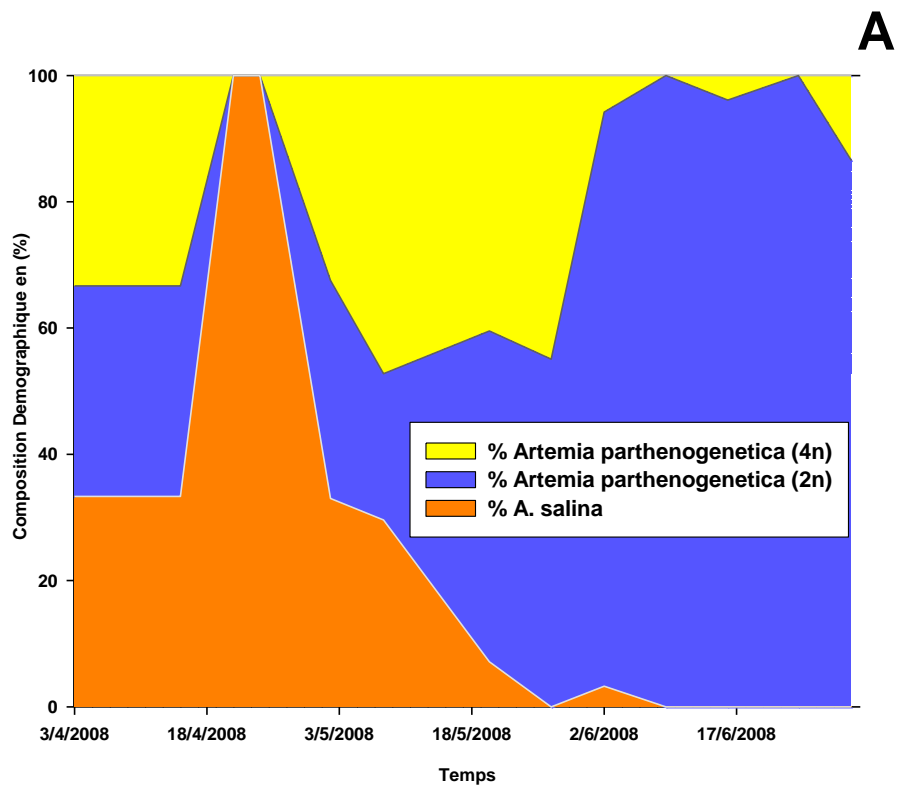


Figure 30. Evolution de la composition de la population adulte d'*Artemia* (A) période printemps – été 2008 ; (B) période printemps – été 2009

Pour les populations expérimentales des périodes printemps-été (2008-2009), les nauplii et les métanauplii font leur apparition à partir du mois d'Avril. Leur nombre s'accroît durant les mois qui succèdent suite à la disponibilité du phytoplancton et au développement de la population ancestrale. Vers la fin du mois de Juin, la plus part atteignent le stade adulte mais avec la chute du phytoplancton (fig. 31) le risque de mortalité est important sur ces stades (fig. 32).

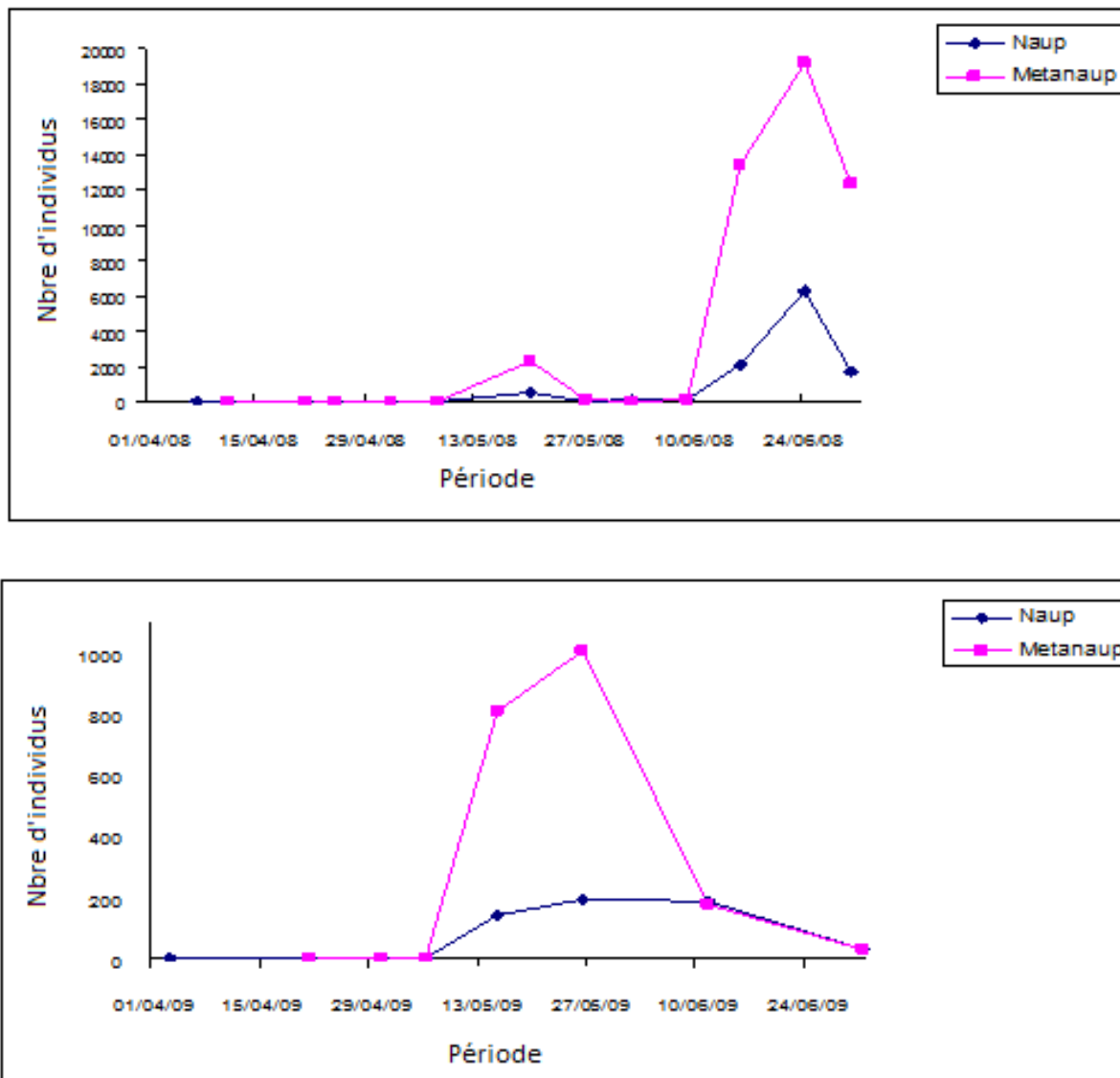


Figure 31. Evolution du nombre de nauplii et de métanauplii durant la période printemps – été.

4.5. Discussion

Les expériences réalisées en conditions de température externe (air libre), indiquent que le développement des populations dépend de deux facteurs principaux :

- Le pouvoir de croissance des populations des différentes espèces ou souches durant certaines périodes de l'année et de l'effet de la compétition interspécifique.
- Les conditions favorables ou précaires du milieu d'élevage.

L'importance de ces facteurs dépend de l'efficacité biologique (fitness) des espèces ou souches en concurrence et de la période de l'année.

Durant les mois où règne le froid, le développement des populations autochtones d'*Artemia* est favorable pour celles qui résistent aux basses températures indépendamment du processus compétitif. C'est le cas des populations de l'espèce sexuée *A. salina* qui se développent en hiver, étant donné leur préférence écologique à vivre en conditions de basse température (VANHAECKE & al., 1984 ; BROWNE & al., 1988 ; HONTORIA, 1990 ; BARATA et al, 1996b).

Les populations parthénogénétiques ne peuvent montrer de développement qu'au delà de températures supérieures à 12 °C (BROWNE., 1988 ; AMAT et al., 1991 ; BARATA, 1996). Par ailleurs, des températures supérieures à 20 °C favorisent le pouvoir de croissance des populations parthénogénétiques diploïdes (BROWNE et al., 1988 ; AMAT, 1983), mais ces températures ne semblent pas encore favorables pour les souches polyploïdes. Ce régime thermique finit par atténuer le pouvoir compétitif de la souche parthénogénétique tétraploïde. C'est ce qui explique les faibles densités que présentent ces souches quand elles sont en présence des populations diploïdes, puis leur complète disparition après un certain temps, ou leur réapparition en de faibles densités à plus hautes températures.

Sur la base de l'analyse des paramètres de reproduction des souches parthénogénétiques tétraploïdes, la première ponte est ovovivipare donnant lieu à des naupliis. Puis, toute suite la femelle entame le processus d'oviparité jusqu'à la fin de sa vie. Par occasion apparaissent des nauplii à un taux très faible dans ces pontes ovipares, dus aux cystes instantanés qui éclosent subitement et qui sont à l'origine de la réapparition de la population disparu.

Les capacités compétitives des populations semblent être liés à leur cycle de vie déjà signalé (BROWNE, 1980a; BROWNE et al., 1984; BARATA et al., 1996b; AMAT et al.,

2007). Le comportement reproductif est l'un des facteurs biologique qui influe le plus sur le développement écologique des organismes. Chez l'*Artemia* on note une grande variabilité dans le mode de reproduction et de fécondité, en fonction des variations des conditions du milieu, particulièrement l'aliment et la température. Dans certains cas il a été observé que la compétitivité interspécifique réduit la fécondité chez les femelles, et la carence de l'aliment affecte beaucoup plus les stades de développement les plus critiques (LENZ et DANA, 1987 ; BROWNE et al., 1988 ; AMAT et al., 1991).

L'expérience montre qu'une limitation de l'aliment, induit un changement de compétitivité interspécifique, affectant la fécondité: le nombre d'individus diminue (fig. 30) puis augmente et tend vers une certaine stabilité, la progéniture est affectée (fig. 33). LENZ et DANA (1987) signalent que la population qui atteint une forte densité, limite ou diminue sa fécondité pour maintenir l'état d'équilibre avec le milieu. Cependant en conditions d'alimentation optimale, les facteurs extrinsèques peuvent être importants dans le sens ou BROWNE & al., 1988 ont montré que la température a une influence favorable sur les paramètres reproductifs chez les différentes souches durant certaines périodes de l'année.

La réponse des paramètres reproductifs des souches parthénogénétiques diploïdes peut être différente d'une population à une autre et même au sein de la même population. Certaines populations sont ovovivipares tout au long de leur cycle de vie, d'autres sont parfois à dominance ovipares quand l'intervalle de température varie entre 19 et 24°C. Pour l'espèce sexuée la seule déduction que l'on peut avancer sur la base des faibles observations obtenus des couples qui ont survécus à une température de 24°C, est que le comportement reproductif est à dominance ovipare.

Le peu de travaux sur les expériences de compétitivité existante dans la bibliographie, BROWNE et HALANYCH (1989) mettent en évidence une expérience de compétitivité entre populations sexuées et parthénogénétiques et concluent que les formes sexuées sont toujours dominées et éliminées.

Si on compare les résultats des deux expériences réalisés pendant les périodes printemps – été (2008 et 2009) on déduit que pour les deux cas (Fig 31 A et B), le profil schématique est identique. La population sexuelle est dominée par les souches parthénogénétiques, avec abondance de la souche diploïde, ce qui confirme les résultats des différents auteurs (BROWNE et HALANYCH, 1989 ; BROWNE et al., 1988 ; BARATA et al., 1996b). A partir de la moitié du mois de Mai s'accroît le développement de la souche parthénogénétique diploïde. Par ailleurs les capacités compétitives des populations de la

souche parthénogénétiques tétraploïdes dans les deux cas ne présentent pas de différences substantielles. Elle apparaît durant le mois d'Avril et puis disparaît vers le début du mois de Juin, puisque cette dernière manifeste des préférences à vivre en températures plus ou moins élevées (BARATA et al., 1996b ; AMAT et al., 2007).

Ainsi, le rôle de la température comme facteur environnemental, règle du moins les capacités compétitives des populations d'*Artemia*. Ceci se reflète à travers la succession saisonnière de ces populations, comme dans le cas de certaines salines Algériennes (cas de Rélizane, et Bethioua) où on rencontre les trois souches en concurrence. L'espèce sexuelle domine les mois d'hiver à basse température, et les souches parthénogénétiques diploïdes dominent durant les mois de l'été corroborant les résultats d'AMAT, 1983. La souche parthénogénétique tétraploïde développe une population avec peu d'individus adultes durant l'hiver et l'été.

Conclusion

La température est le facteur environnemental qui règle les capacités compétitives des populations d'*Artemia*, C'est ce qui se reflète à travers la succession saisonnière de ces populations dans le milieu naturel.

Il s'avère que durant la période printanière, les populations sexuées manifestent leur présence en début de saison au moment des basses températures. Lorsque les températures augmentent apparaît la souche parthénogénétique : en premier la forme tétraploïde, suivie de la forme diploïde. Parallèlement commence la disparition des sexuées.

Il en résulte ainsi, que les souches parthénogénétiques manifestent des préférences à vivre à des températures élevées. Vers la fin de la saison, apparaît le schéma suivant : une dominance de la forme diploïde, un faible effectif des formes tétraploïdes et disparition totale de la sexuée.

CHAPITRE 5

BIOMÉTRIE DES CYSTES ET NAUPLII ET FACTEURS D'ECLOSION

5.1. Rappels bibliographiques

5.1.1. Biométrie des cystes et naupliis

L'étude comparative de la taille des cystes et nauplii a démontré son utilité comme critère permettant de différencier entre les populations de ce crustacé. D'AGOSTINO (1965) fut le premier à avoir noté la différence de taille des cystes entre populations et même au sein de la même population. Postérieurement CLAUS et al. (1977) étudient plusieurs échantillons de cystes provenant de différentes régions du monde et corroborent les propos D'AGOSTINO (1965).

Par la suite VANHAECKE et SORGELOOS (1980a) établissent la base des études biométriques des cystes et nauplii après analyse d'un grand nombre d'échantillons provenant des cinq continents. Ils confirment ainsi les résultats obtenus par les auteurs précédents sur l'existence de cette notable différence entre populations, bien qu'il n'y a pas de différence entre lots d'une même population ni entre cystes naturels ou ceux reproduit en laboratoire.

VANHAECKE et SORGELOOS (1980a) établissent une classification des cystes d'*Artemia* selon leur diamètre et se répartie en trois groupes :

- Des cystes de petit diamètre provenant de San Francisco Bay (Californie, USA) et de leurs sites d'inoculation dans d'autres régions du monde.
- Des cystes de grand diamètre, caractéristiques des populations parthénogénétiques.
- Des cystes intermédiaires, provenant de grand Lac Salé (Utah, USA)

La nouvelle compilation complète des données biométriques des cystes et nauplii se rencontre dans les travaux de LEGER et al., (1986). Toutefois il existe de nombreuses études sur des populations provenant de régions précises telles que la péninsule Ibérique (AMAT, 1979; 1982b; VIEIRA et AMAT, 1985; VILELA et CASTELO, 1987; HONTORIA et al., 1987b; VARO, 1988; HONTORIA et al., 1989b), des Iles Canaris (VARO, 1988), de Grèce (ABATZOPOULOS et al., 1987), de Tunisie (VAN BALLAER et al, 1987, d'Algérie (KARA et al., 1998), du Mexique (CASTRO et al., 1987) et de Chili (ZUÑAGA et al., 1999).

5.1.2. Processus de désactivation de la diapause :

Les cystes libérés par les femelles sont en stade de cryptobiose (métabolisme ralenti). Ils sont contrôlés par des facteurs endogènes (diapause), demeurent à un stade jusqu'à ce qu'un signal environnemental favorise certaines conditions endogènes différentes à ceux qui

induisent la diapause. A ce moment l'embryon poursuit son métabolisme (cryptobiose) et le contrôle de cette rétention devient environnemental (quiescence).

Au moment où les conditions externes sont favorables, le cyste réactive son métabolisme, tout dépend du facteur environnemental concret qui a empêché le développement de l'embryon. Le stade de quiescence reçoit différentes appellations : anhydrobiose s'il s'agit de manque d'eau pour son hydratation, cryobiose si c'est une baisse de température ou anoxibiose si le facteur déterminant est une carence en oxygène dans milieu.

En effet, il existe des procédés qui stimulent la désactivation de la diapause. Il a été démontré qu'une partie des embryons enkystés d'un échantillon n'éclosent pas à la première hydratation, si non il y a lieu de les soumettre à plusieurs cycles d'hydratation/déshydratation (BARIGOZZI, 1939 ; METALLI et BALLARDIN, 1972). Dans le même contexte BROWNE (1980a) ; BROWNE et al. (1984) et HONTORIA et al. (1989a) mettent en rapport ce fait avec les mécanismes désactivateurs de la diapause observés dans les environnements subtropicaux où l'aridité est typique de ces zones, qui par moment coupée par de ponctuelles et importantes précipitations, hydratant les cystes présents dans le milieu.

Autres cas de cystes provenant de zones à climat continental où l'hiver est rigoureux avec des températures très basses, il a été observé la nécessité de certaines périodes d'hibernation plus ou moins prolongées pour que la diapause soit désactivée. Ce procédé a été testé sur les cystes provenant de Great Salt Lake (UTAH., USA) (LAVENS et SORGELOOS, 1987a.) et de Mono Lake (Californie, USA) (DANA et LENZ, 1986).

Autre élément important, le traitement des embryons en diapause avec du peroxyde d'hydrogène (eau oxygénée H_2O_2), se révèle hautement bénéfique pour l'éclosion. Ceci peut être dû au fait que ces produits modifient l'équilibre ionique du cytoplasme, et par conséquent influent sur le pH intracellulaire. Les atomes d'oxygène du peroxyde catalysent le processus d'oxydoréduction pour lequel le tétrahalose est converti en glycérol et glycogène durant l'embryogénèse.

Autre stimulant aussi mentionné par certains auteurs et ayant de grande influence est l'illumination. VAN DER LINDEN et al. (1988) observent qu'un haut pourcentage de cystes maintenus en obscurité n'éclosent pas jusqu'à leur exposition à la lumière. Selon ces auteurs il existe un photorécepteur qu'ils identifient comme un hémato-pigment situé en phase de gastrula, et dont les fonctions seraient bloqués par de l'hématine qui imprègne l'enveloppe

tertiaire et qui exerceraient seulement une fonction d'écran retardant l'arrivée de la lumière aux photorécepteurs.

Le traitement des cystes avec la solution décapsulatrice pour éliminer l'enveloppe tertiaire (chorion) augmente l'éclosion (BRUGGEMAN et al., 1980 ; VANHAECKE et SORGELLOOS, 1983). Selon LAVENS et SORGELLOOS (1987a), ceci pourrait être dû à une interaction ou action de ces solutions sur l'état cryptobiotique du cyste

5.1.3. Facteurs qui influent sur l'éclosion

Sur le plan de la viabilité du cyste d'*Artemia*, plusieurs conditions interviennent. Les facteurs génotypiques expliquent les différences rencontrées entre les cystes appartenant à diverses populations. Selon certains auteurs, les conditions environnementales du milieu où sont produits les cystes sont les responsables des variations dans l'éclosion des échantillons recueillis durant les diverses saisons de l'année. La salinité du milieu d'élevage des populations originales semble avoir une influence sur l'éclosion des cystes et paraît être caractéristique pour chaque souche ou espèce. Pour certains cas de cystes produits à basse salinité, on observe une faible viabilité. (LAVENS et SORGELLOOS, 1987a).

Les conditions de manipulation (prélèvement, traitement, purification, séchage et conservation) ont une importance primordiale (VANHAECKE et SORGELLOOS, 1982). Dans tous ces procédés, le grand impact sur l'éclosion est fonction des effets de la déshydratation et de l'hydratation. Ces conditions peuvent se répercuter sur l'état cryptobiotique des cystes et agir comme mécanisme de désactivation de la diapause. Une fois désactivée, la viabilité des cystes quiescents est réduite si les niveaux ou conditions de déshydratation sont inadéquats, ou lorsque les périodes d'hydratation sont longues ou par un excès des cycles d'hydratation/déshydratation. À cause de ces conditions, les cystes ont tendance à perdre leur capacité d'éclosion.

Les conditions de l'état du cyste par rapport à la diapause sont déterminantes pour son éclosion. Si le stade cryptobiotique n'est pas désactivé, le cyste n'éclore pas quelque soit les conditions du milieu.

La composition ionique qualitative du milieu affecte la survie des embryons, surtout la capacité osmotique du cyste et l'activité enzymatique (LAVENS et SORGELLOOS, 1987a). La salinité influence sur la vitesse et la qualité de l'éclosion (LAVENS et SORGELLOOS, 1987a ; SORGELLOOS, 1980; DANA et LENZ, 1986; VANHAECKE et SORGELLOOS, 1982).

Le pH influe sur la qualité de l'éclosion spécialement les faibles salinités (LAVENS et SORGELLOOS, 1987a ; METALLI et BALLARDI, 1972 ; SORGELLOOS, 1980).

La température conditionne la viabilité des cystes et la vitesse d'éclosion (SORGELLOOS, 1980 ; ROYAN et al, 1987 ; LAVENS et SORGELLOOS, 1987a).

La concentration d'oxygène influe aussi sur la qualité, ainsi l'agitation par bullage durant l'éclosion empêche le dépôt des cystes au fond du récipient utilisé au laboratoire, ce qui évite la création de zones anaérobiques (LAVENS et SORGELLOOS, 1987a ; SORGELLOOS, 1980).

La densité des cystes influe indirectement sur d'autres facteurs abiotiques (pH, concentration d'oxygène, illumination) (LAVENS et SORGELLOOS, 1987a).

L'intensité lumineuse influe sur la qualité et la vitesse d'éclosion (LAVENS et SORGELLOOS, 1987a ; SORGELLOOS, 1980 ; SORGELLOOS, 1973 ; VANHAECKE et al., 1981).

5.2. Objectifs

Ce chapitre est consacré à l'étude de la biométrie des cystes des différentes populations algériennes, collectés dans leur milieu naturel et reproduits en laboratoire.

Parallèlement, la biométrie des nauplii fraîchement éclos de certaines populations sexuées et parthénogénétiques est mise en évidence.

Par manque de matériel biologique, la détermination de certains paramètres d'éclosion a été possible uniquement pour quelques populations prélevées de leur milieu naturel.

Des traitements à l'hypochlorite de soude et peroxydes d'hydrogène sont appliqués sur les cystes afin d'évaluer l'amélioration de la qualité de l'éclosion

Les résultats expérimentaux obtenu pour les populations algériennes ont été comparés aux données de l'espèce de référence *A. franciscana*.

5.3. Matériels et méthodes

5.3.1. Diamètre des cystes et des nauplii

L'analyse du diamètre du cyste et de l'épaisseur de l'enveloppe tertiaire (chorion) sont effectués selon les procédures décrites par VANHAECKE et al., 1980. En premier les cystes sont purifiés selon la méthode décrite dans **le chapitre II Section 3.2**. Dans le but d'éliminer

le plus possibles les débris et particules associés aux cystes, il convient d'effectuer plusieurs purifications pour avoir un échantillon pur sans débris et matériaux.

Les embryons enkystés, entiers et parfaitement propres sont hydratés dans de l'eau distillée durant une durée de deux heures, à température ambiante. Durant leur hydratation, les cystes sont maintenus en suspension à l'aide d'une légère agitation par simple aération à partir du fond du récipient.

Un autre échantillon de cystes est traité à l'hypochlorite de soude pour éliminer l'enveloppe tertiaire (chorion), selon la méthode décrite par BRUGGEMAN et al. (1979).

Après décapsulation, le reste des débris de chorion et matériaux légers sont séparés des cystes entiers par le processus de flottaison différentielle en eau distillée. Les éléments légers restent en surface alors que les cystes décapsulés se déposent au fond. Afin d'éliminer tout débris associés, il est recommandé de refaire un nouveau processus de flottaison différentielle en saumure concentrée, qui permet de recueillir ainsi les embryons enkystés décapsulés en surface, les autres matériaux se déposent au fond. Les cystes décapsulés propres et entiers sont soumis au même processus d'hydratation décrit précédemment.

Après hydratation, les cystes prennent une forme sphérique, le diamètre des cystes hydraté non décapsulé et le diamètre des cystes décapsulés (nombre (n) > à 200) sont mesurés. Toutes les mesures sont réalisées à l'aide d'un microscope stéréoscopique (SZ-ST OLYMPUS) muni d'un objectif 4x et d'un micromètre oculaire. Pour chacune de ces deux catégories de cystes, le diamètre moyen est ensuite calculé. La différence entre les deux diamètres moyens, divisée par deux permet de déterminer l'épaisseur du chorion du cyste.

Pour ce qui est du diamètre des nauplii, ce paramètre est déterminé sur des individus, juste après leur apparition dans le milieu (Instar I, selon HEATH, 1924). Pour cela, de petites quantités de cystes de chaque échantillon sont incubés jusqu'à éclosion, selon le procédé décrit dans le **chapitre II, Section 3.3**. Deux heures avant d'atteindre le T_{90} (temps nécessaire pour que 90% de cystes éclosent), les nauplii encore retenus dans la membrane embryonnaire (forme vésiculaire), sont immédiatement isolés et mis dans des boîtes de pétrie sous une source lumineuse. A partir de ce moment, les embryons qui se libèrent de leur membrane sont fixés par une solution de lugol et peuvent être mesurés par la suite à l'aide d'un microscope stéréoscopique doté d'un micromètre optique (AMAT., 1980b ; SORGELOOS et al., 1986).

5.3.2. Paramètres d'éclosion

Il existe différents paramètres pour quantifier la qualité de l'éclosion d'un échantillon de cystes déterminé :

Le premier paramètre utilisé est le pourcentage d'éclosion (Hatching Rate **HR**), représente le nombre de nauplii obtenu de 100 cystes. Si on l'utilise tel que défini par BRUGGEMAN et al., 1980, ce paramètre ne tient pas compte du degré de pureté du produit, c'est-à-dire ne considère pas la nature des autres matériaux qui adhèrent aux cystes entiers.

D'autre part dans plusieurs cas il est d'une importance vital de savoir le nombre de nauplii obtenu d'un poids déterminé de cystes. SORGELOOS et al., 1978, évoquent le paramètre de l'efficacité d'éclosion (Hatching Efficiency **HE**) défini comme étant le nombre de nauplii obtenu dans un gramme de cystes déshydratés ou bien le poids de cyste nécessaire pour obtenir un million de nauplii. Ce paramètre représente une grande utilité surtout quand il s'agit de quantifier la qualité de l'éclosion d'un produit par rapport à son utilisation pratique comme source d'aliment pour un élevage larvaire.

Additionnellement à la qualité de l'éclosion, l'analyse de la vitesse ou la synchronie est impératif, ainsi il est évalué le temps d'incubation nécessaire pour obtenir 10 et 90% du total de nauplii qui éclosent (**T₁₀** et **T₉₀**). Ces périodes sont plus fiables et simples à déterminer, vu que les courbes d'éclosion décrivent des formes sigmoïdes correspondant dans la réalité à des valeurs concrètes (**T₁₀** temps nécessaire d'incubation pour l'éclosion des premier cystes, **T₉₀** temps pour l'éclosion des derniers cystes).

La synchronie d'éclosion ou temps d'éclosion **T_s**, exprime la synchronisation de l'éclosion des cystes. Plus **T_s** est grand plus la synchronisation d'éclosion des cystes est faible, et inversement. Il est estimé par le biais des laps de temps passés entre **T₁₀** et **T₉₀**.

5.3.3. Analyse de **HR**, de **HE** et **T_s**

Il n'a pas été possible d'appliquer ces procédés à toutes les populations identifiées dans les biotopes algériens, pour des raisons d'insuffisance de matériel biologique. Trois échantillons de cystes originaux appartenant à des populations différentes (Bethioua, Rélizane et El Goléa) de situations géographiquement éloignées ont fait l'objet d'étude.

Pour chaque échantillon analysé, trois sous-échantillons de cystes déshydratés d'un poids connu (100 à 500 mg selon la disponibilité) sont incubés dans le montage expérimental décrit dans le **chapitre II**, schématisé dans la figure 5, photo 2. Les conditions d'incubation sont

décrites dans le même chapitre, **Section 3.3**. Chaque échantillon subit trois traitements différents :

- Hydratation pendant 2h puis incubation.
- Traitement des cytes avec de l'hypochlorite de soude pour une décapsulation (BRUGGEMAN et al., 1979) puis incubation.
- Traitement des cystes avec du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) à 5% pendant 10 minutes (VAN STAPPEN et al., 1998) puis incubation.

Après une période de 12 à 14 heures d'incubation, toutes les 2 heures, trois aliquotes de 1ml sont prélevés à l'aide d'une pipete automatique de chaque échantillon incubé. Chaque aliquote est fixé à l'aide d'une goutte de solution de lugol et le nombre de nauplii est compté sous une loupe stéréoscopique. Seulement les nauplii totalement libre de la cuticule embryonnaire sont comptabilisés. Les résultats seront obtenus sur la base du calcul de la moyenne des trois prélèvements.

A partir du moment où le nombre de nauplii commence à diminuer dans le comptage successive des échantillons, un pourcentage pour chaque comptage est déterminé. Les données relatives de chaque échantillon sont utilisées par la suite pour établir le calcul de la courbe d'éclosion par rapport au temps.

Les valeurs moyennes les plus élevées de chaque échantillon seront extrapolées par rapport au volume total de chaque récipient d'incubation (1l). En utilisant le poids des cystes déshydraté, les trois estimations d'HE sont ainsi déduites.

Les valeurs de T_{10} et T_{90} sont calculées à travers la courbe d'éclosion qui représente le pourcentage cumulé des cystes éclore comme variable dépendante et le temps comme variable indépendante. Le T_s est déterminé par la différence entre les valeurs de T_{10} et T_{90} ($T_s = T_{90} - T_{10}$).

5.4. Resultats

Dans le tableau 11 sont rapportés les résultats des analyses de diamètre de cystes de tous les échantillons étudiés (originaux et purs), provenant des populations autochtones des différentes salines algériennes.

Tableau 11. Résultats du diamètre moyen des cystes hydratés et décapsulé et de l'épaisseur du chorion en μm .

Souche	Population	Diamètre des cystes hydraté	Diamètre des cyste Décapsulé	Epaisseur du chorion	Nombre de cystes (Hydrat/decaps)
Original	Relizane	253,5 (± 15.3)	231,1 (± 13.6)	11.2	320/347
	Bethioua	273 (± 12.6)	252 (± 14.7)	10.5	390/316
	Ezzamoule	250 (± 16.3)	226 (± 17.6)	12	292/297
	Melghir	244,8 (± 15.4)	223,3 (± 12.7)	10,7	258/279
	El Golea	288,5 (± 13.5)	255,3 ($\pm 11,8$)	9	244/308
	Adrar	253,8 ($\pm 16,6$)	226,2 ($\pm 15,0$)	13,8	271/290
<i>A. salina</i>	Relizane	246,4 (± 16.9)	220 (± 11.9)	13,1	219/266
	Ezzamoule	247,1 ($\pm 15,5$)	202,3 (± 13)	12,4	253/210
	Garaet El Taref	246 ($\pm 13,2$)	226 ($\pm 10,7$)	10	275/272
<i>A. partenogénétique</i> (Diploïde)	Relizane	257,6 (± 12.4)	240,3 (± 17.2)	8.5	447/329
	Bethioua	248,1 (± 19.8)	233 (± 17.8)	7.5	439/376
	Ezzamoule	250,4 (± 14.2)	237,2 (± 14.0)	6.5	317/337
	Setif	253 (± 17.1)	237 (± 17.5)	8	397/210
	Oran	249,2 (± 16.9)	232,4 (± 13.5)	8,4	211/267
	Melghir	275 (± 15.9)	256 (± 15.8)	9.5	273/275
<i>A. partenogénétique</i> (Tétraploïde)	Relizane	268,3 (± 15.8)	250,5 (± 14.6)	8,9	322/346
	Bethioua	271,9 (± 25.4)	254,1 (± 23.8)	8.5	298/329
	Setif	280 (± 16.7)	261 (± 16.7)	9.5	266/263
	El Goléa	284,1 ($\pm 15,1$)	265,4 ($\pm 13,1$)	9,3	267/283

($n \geq 200$)

Les cystes hydratés de l'espèce *A. salina* présentent le diamètre moyen le plus petit (246 – 247,1 μm), suivi de la souche parthénogénétique diploïdes (248,1 - 275 μm) puis de la tétraploïde (268,3 – 284,1 μm).

Les cystes d'Ezzamoule, Rélizane et Garaet El Taref (populations sexuées) possèdent un diamètre plus petit et une épaisse enveloppe tertiaire (10 – 13,1 μm), par rapport à ceux des populations parthénogénétiques. Les formes tétraploïdes produisent des cystes de grand diamètre avec une épaisseur du chorion petite de (8,5 – 9,5 μm). Les formes parthénogénétiques diploïdes ont un diamètre de cystes moyen compris entre les deux premières avec une épaisseur du chorion entre (6,5 – 9,5 μm). L'épaisseur de l'enveloppe tertiaire pour les parthénogénétiques est plus fine par rapport aux espèces sexuées.

Par ailleurs, les cystes originaux (prélevés du milieu naturel), se composent d'un mélange de souches. Les valeurs des diamètres de ces cystes se situent presque pour la majorité entre les mêmes valeurs extrêmes précédentes. Les cystes des échantillons provenant des populations de Mélghir sont les plus petits, suivis des populations d'Ezzamoule, Rélizane, Bethioua et enfin El Goléa

Les nauplii des populations sexuées paraissent plus petits que ceux des parthénogénétiques. La taille moyenne des nauplii de la sexuée est de 418 μm , ceux des parthénogénétiques varie entre 422 et 454 μm pour les diploïdes et de 463 à 500 μm pour les

tétraploïdes (fig. 32). Les nauplii des populations originales se situent entre les valeurs extrêmes (maximales et minimales) des populations reproduites en laboratoire.

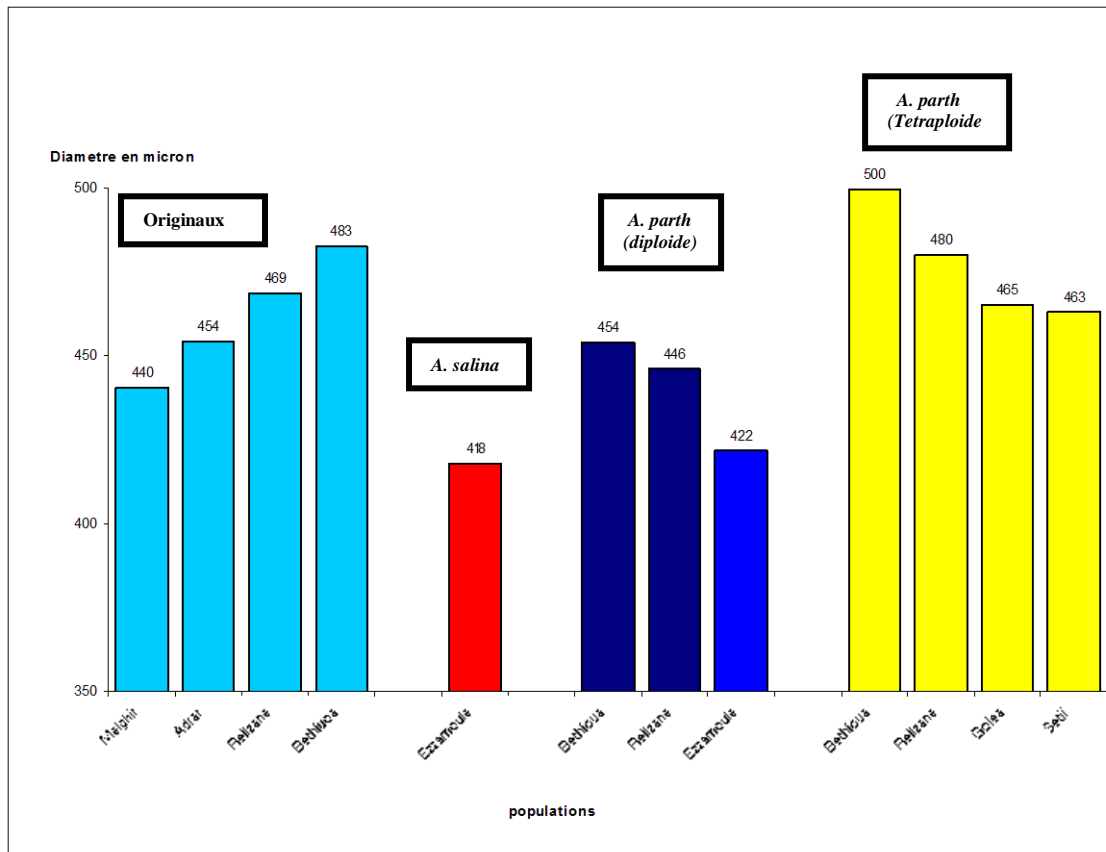


Figure 32. Taille moyenne des nauplii de certaines populations étudiées

A propos des paramètres d'éclosion, il apparait que la souche de Bethioua est celle qui présente les valeurs les plus élevées, avec un pourcentage d'éclosion de 79,4%, une efficacité d'éclosion qui vari entre 153.540 à 220.667 nauplii et une synchronie d'éclosion qui va de 5,9 à 6,7 heures selon le traitement appliqué aux cystes originaux. La population de Rélizane s'avère la plus faible du point de vue taux et efficacité d'éclosion (Tableau 12, Fig. 33)

Tableau 12. Résultats de l'analyse d'éclosion des échantillons de cystes des populations provenant de Bethioua, Rélizane et El Goléa.

Populations	Pourcentage d'éclosion (HR) (%)	Efficacité d'éclosion (HE) (nauplii par gramme de cystes)			Temps de synchronie (Ts=T90-T10) (Heures)		
		Non traité	Décapsulé	H ₂ O ₂	Non traité	Décapsulé	H ₂ O ₂
Bethioua	79,4	153.540	220.667	162.000	06,7	05,9	06,2
Rélizane	04,4	13.111	20.667	43.333	10,6	07,1	09,3
El Goléa	15,8	14.222	76.667	90.667	11,1	06,2	07,1

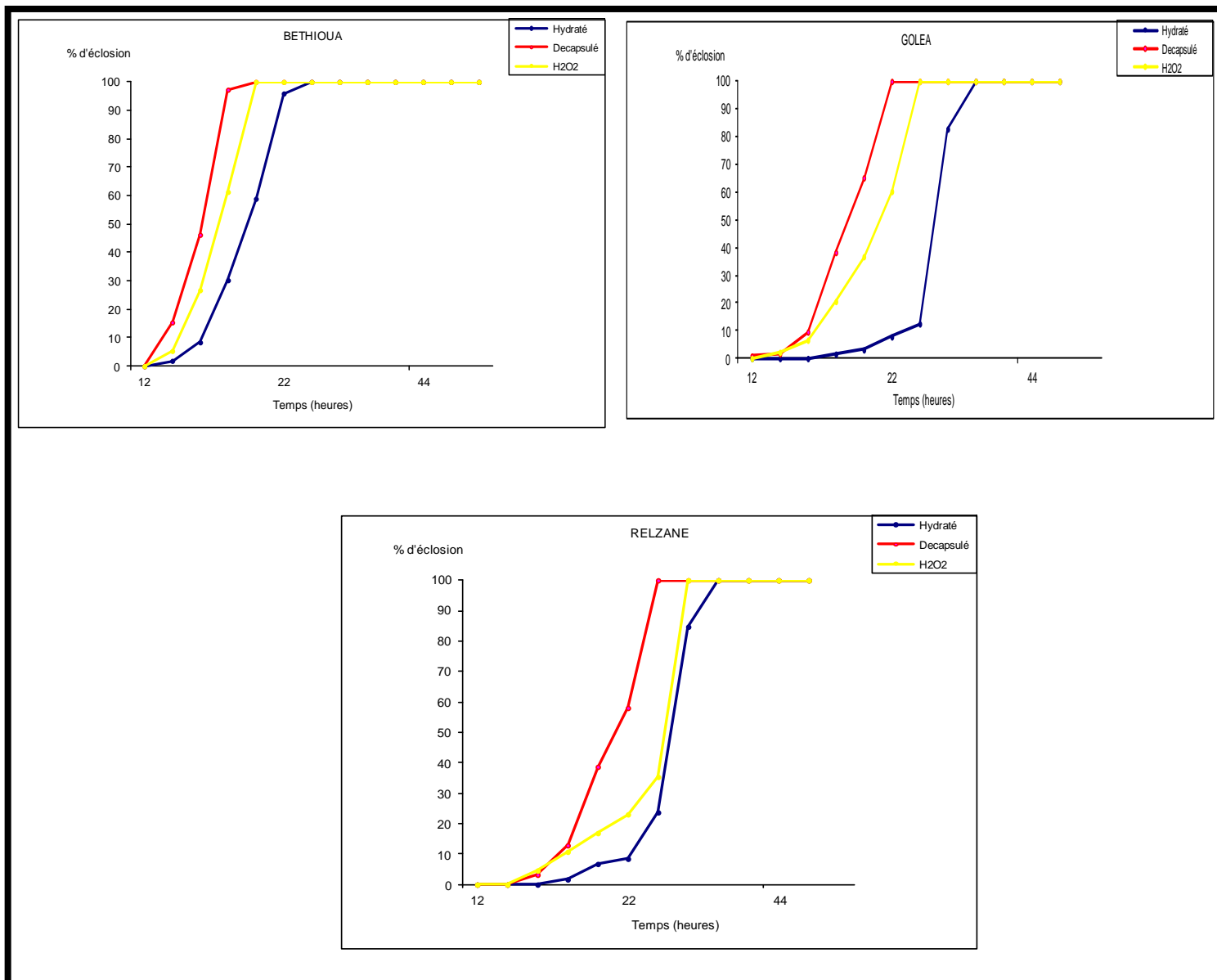


Figure 33. Courbes d'éclosion des échantillons provenant de de Bethioua, Rélizane et El Goléa après avoir été soumis à différents traitements utilisés pour désactiver la diapause

5.5. Discussion

La connaissance de la biométrie et les différents paramètres d'éclosion des cystes d'*Artemia* permet de réaliser une meilleure gestion de la ressource.

En aquaculture, il est important de considérer la taille des organismes qui sont utilisés comme aliment vivant, compte tenu de la relation de la taille de la proie avec la bouche de la larve du prédateur (CASTRO et al., 1997).

Par ailleurs, on admet que les données sur l'héritabilité de certaines caractéristiques quantitatives obtenues par les tests de croisement, comme le pourcentage d'éclosion, diamètre des cystes, la température de résistance du nauplii et le taux de croissance, prouvent non seulement qu'ils sont sous contrôle génétique (TACKAERT et al, 1987) mais également, subissent en partie l'influence des conditions de collecte, de traitement et de conservation (VANHAECKE et SORGELOOS, 1982).

Biométrie des cystes et nauplii

Les données obtenues dans cette étude confirment bien les variations des caractéristiques biométriques des cystes et nauplii, qui existent entre les différentes populations vivant dans des biotopes différents.

Cette marge de variabilité qui existe entre les paramètres biométriques, résulte vraisemblablement d'une réponse évolutive aux situations écologiques (VOS et al., 1984).

ALVAREZ et SANCHEZ (1994) signalent aussi que les conditions environnementales sont les causes fondamentales des différences observées dans les caractéristiques biométriques des cystes. D'autre part BELK et al. (1990) montrent que la taille des cystes de *Streptocephalus sealii* varie chez diverses populations selon l'origine et la nature de l'eau. Les cystes sont plus petits dans les flaques de pluie, dont le régime inondation-dessiccation est instantané, par rapport à ceux issues de la fonte des neiges saisonnières. La taille des cystes varie aussi avec la taille de la femelle, la latitude et l'altitude des biotopes. Ces variations paraissent de faibles importances comparées à ceux ayant pour origine les facteurs génétiques (VANHAECKE et al., 1984).

A propos de l'épaisseur du chorion, CORREA et BUCKLE (1993) mentionnent que les différences, peuvent être causées par les conditions environnementales de l'habitat des populations, conférant à celles-ci des stratégies adaptatives pour survivre. Les cystes de grand diamètre disposent de beaucoup de vitellus, ce qui permettra au nauplii d'avoir une énergie suffisante pour rompre le chorion, et en plus ces organismes auront plus d'avantages quand il y a un manque d'aliment dans le milieu.

LEGER et al. (1986) signalent que le diamètre des cystes varie largement de 224,7 à 284,9 μm pour les cystes hydratés non décapsulés et de 207,3 à 266,3 μm pour les cystes décapsulés. Il en résulte que les diamètres des cystes étudiés hydratés non décapsulé et décapsulés se retrouvent bien dans ces intervalles.

Nous avons observé que le profil des cystes provenant des salines algériennes est similaire à ceux provenant du continent européen et des pays adjacents. Il peut être scindé en trois groupes différents : les cystes produits par les populations sexuées variant entre 246 et 247,1 μm , ceux produits par les femelles parthénogénétiques diploïdes entre 248,1 et 275 μm , et en fin, ceux des femelles parthénogénétiques tétraploïdes fluctuant dans un intervalle élevé entre 268,3 – 284,1 μm .

L'épaisseur de l'enveloppe tertiaire chez les populations sexuées, ne montre pas de relation avec la grandeur du cyste, les cystes sont plus petits avec un chorion plus grand. Par contre chez les populations parthénogénétiques, on note plus ou moins cette corrélation, l'enveloppe est plus fine chez les cystes petits (visible chez les diploïdes).

AMAT (1982b) et SORGELLOOS et al. (1986) mentionnent que le chorion épais se présente comme une réponse pour compenser l'action de la salinité élevée et les fortes températures. GELABERT et al. (1993) mentionnent que le chorion a pour fonction principale de protéger l'embryon contre les radiations solaires.

LAVENS et SORGELLOOS (2000) signalent que dans un écosystème naturel, le climat et autres changements environnementaux interfèrent sur la production des cystes et par conséquent, il apparaît des fluctuations dans la récolte des cystes d'une année à l'autre.

La plus part des cystes originaux (prélevés directement de leur milieux naturels) sont composés d'une mixture de cystes appartenant à des populations différentes. Ce composite de cystes fait ressortir la présence de cystes appartenant à la forme parthénogénétique tétraploïdes et des cystes plus petits des parthénogénétiques diploïdes et/ou de l'espèce sexuée. Cette situation de coexistence des sexuées et parthénogénétiques dans un même habitat est une particularité fréquente dans les salines de la région méditerranéenne (sud de France, îles Baléares, Espagne et Maroc).

Le diamètre du nauplii est d'une grande importance pratique pour l'alimentation des larves de poissons et crustacés. Les nauplii de grande taille offre plus d'énergie pour un même effort de capture développé par le prédateur, quand la taille de la bouche le permet.

Actuellement, les espèces les plus utilisées sont celles de San Francisco Bay et celles de Great Salt Lake. La taille de la majorité des nauplii des différentes populations algériennes se situe bien entre celle de l'espèce de San Francisco Bay (428 microns) et celle de Great Salt lake (482 microns). Ce résultat laisse présumer que du point de vue taille, les nauplii des populations algériennes pourraient être utilisés en larviculture.

Dans les grandes épreuves de larviculture, il a été signalé dans de nombreux cas de grandes mortalités de larves de poissons et crustacés. Cette situation est liée à l'incapacité de larve à capturer le nauplii d'*Artemia* (BECK et al., 1980 ; BECK et BENGTON, 1981). Le diamètre du nauplii d'*Artemia* employé reste toujours le paramètre déterminant.

A présent, l'importance est donnée aux aspects nutritifs intrinsèques du nauplii d'*Artemia*, en terme de contenu en acides gras essentiels (LEGER et al., 1986 ; NAVARRO , 1985).

Paramètres d'éclosion

L'éclosion est le processus par lequel le cyste (l'œuf de durée) contenant un embryon au stade de cryptobiose, amorce son développement avant de se convertir en pré-nauplii pour apparaître dans le milieu en forme de nauplii (première phase larvaire de ce crustacé).

L'éclosion des cystes d'*Artemia* est influencée par une série de facteurs précédemment évoqués.

VANHAECKE et SORGELOOS (1989) ont étudié 32 souches d'*Artemia* de différentes origines géographiques et indiquent que la température d'incubation affecte significativement le pourcentage d'éclosion chez toutes les *Artémia* étudiées. Ils ont signalé que le pourcentage d'éclosion était toujours maximum dans l'intervalle de température entre 25-30°C, mais aucune recherche n'a été effectuée sur l'effet de la température sur le taux d'éclosion.

SORGELOOS (1980) rapporte que des températures en dessous de 25 °C ralentissent le taux d'éclosion et donc ne sont pas approprié pour l'aquaculture.

En général, Il est établi que le taux d'éclosion des cystes produits par une femelle qui vit dans un environnement prévisible et stable, est élevé par rapport aux femelles des milieux imprévisibles et instables.

Le cas des populations de Rélizane et El Goléa, montrent un pourcentage d'éclosion faible par rapport à celui de Bethioua. Il semblerait être lié au stade de latence. Alors que la forte diapause des cystes naturels est induite par le processus des cycles répétés d'hydratation et déshydratation de ces derniers. Ces processus font qu'une partie des réserves énergétiques des cystes sont perdus lors des tentatives d'éclosions échouées, ce qui réduit la capacité d'éclosion de ces cystes. D'autre part, il y a l'influence des facteurs climatiques de l'environnement sous lesquels les cystes sont produits (VANHAECKE et SORGELOOS, 1980 ; SORGELOOS et al., 1986 ; TORRENTERA-BLANCO et al., 1993), en particulier les

excès de chaleurs et les fortes salinités. Enfin autres paramètres qui seraient à l'origine aussi de ce problème d'éclosion, les différences génétiques entre les populations.

Une efficacité d'éclosion de cystes inférieures à 100.000 nauplii g⁻¹, est très commune à l'échelle commerciale. Les cystes de meilleur qualité provenant du continent Américain (Great Salt Lake) présentent des valeurs jusqu'à 270.000 nauplii g⁻¹ (HR>90%). Les petits cystes (San Francisco Bay) donnent de meilleurs rendements, jusqu'à 300.000 nauplii g⁻¹.

Les *Artemia* d'Amérique produisent des cystes qui ont une éclosion qui dure moins de 24h pour atteindre le T₉₀. Les échantillons analysés des populations de Bethioua et El Goléa semblent avoir des rendements plus ou moins satisfaisants et qui se rapprochent ou s'ajustent aux cystes commerciaux communs inférieurs à l'espèce américaine, peuvent être utilisés en aquaculture.

Il s'avère qu'une synchronie d'éclosion élevée devrait assurer la récolte d'un maximum de nauplii avant d'avoir consommé leurs réserves d'énergie. Le temps d'éclosion (Laps de temps pour l'éclosion complète des cystes) est un critère important pour l'évaluation de la qualité des éclosions des différentes cystes d'*Artemia*. Ce temps d'éclosion, n'est pas seulement fonction de l'origine géographique du matériel (cystes) mais aussi, paraît être influencé par les conditions d'incubation, de traitement et de conservation (VANHAECKE et SORGELOOS, 1982), et par certaines conditions environnementales sous lesquels le cyste a été produit (VANHAECKE et SORGELOOS, 1982). En matière de synchronie d'éclosion, il apparaît une différence entre les cystes provenant des salines algériennes. Ceci est dû probablement à la différence du taux métabolique entre les groupes de populations. La population de Bethioua apparaît avoir la durée d'éclosion des cystes la plus courte que les autres populations, et très proche de celle qui caractérise les cystes de San Francisco Bay (T_s = 5 heures).

Par ailleurs le traitement au peroxyde d'hydrogène, appliqué par plusieurs auteurs a révélé plusieurs succès sans beaucoup définir une méthode d'application uniforme (BOGOTAVA et SHMAKOVA, 1980). D'autres études (LAVENS et al., 1986 ; VU QUYN et al., 1987) ont montrés que différentes souches et différentes concentrations et périodes de traitement ont été utilisés. L'effet du traitement était variable et dans tous les cas de figure il était prometteur.

En effet, le test de l'influence du peroxyde d'hydrogène sur le taux d'éclosion des populations algérienne, a induit une certaine amélioration de la qualité de l'éclosion, mais la vitesse d'éclosion reste meilleure pour un produit décapsulé.

Conclusion

Les différents résultats des caractéristiques biométriques des cystes et nauplii, révèlent bien des variations entre les populations algériennes étudiées.

Le profil biométrique de ces cystes est similaire à celui des pays du bassin méditerranéen. Il se compose de trois groupes : les cystes produits par les populations sexuées avec un petit diamètre, ceux des femelles parthénogénétiques tétraploïdes avec un diamètre supérieur et en dernier les cystes des parthénogénétiques diploïdes avec un diamètre moyen entre les deux groupes précédents.

La taille des nauplii des différentes populations algériennes se situe dans l'intervalle de taille des espèces les plus commercialisées, ce qui laisse présumer que ces nauplii peuvent être utilisés en aquaculture.

En ce qui concerne les paramètres d'éclosion, les populations de Bethioua et El Goléa semblent avoir des rendements acceptables, qui se rapprochent des cystes commerciaux communs, inférieurs à ceux de l'espèce de référence. Ils peuvent être utilisés dans l'industrie aquacole.

L'application des traitements qui améliorent l'éclosion aux populations algériennes, a abouti à de bons résultats. Le traitement au peroxyde d'hydrogène agit sur le pouvoir de diapause et améliore le taux d'éclosion, l'hypochlorite de soude qui permet la décapsulation des cystes, favorise aussi une meilleure éclosion.

CHAPITRE 6

COMPOSITION EN ACIDES GRAS DES POPULATIONS ALGERIENNES D'ARTEMIA

6.1. Rappels bibliographiques

6.1.1. La composition en acides gras de l'*Artemia*

Depuis que les auteurs nord américains et norvégiens (SEALE, 1933 ; ROLLEFSEN, 1939) ont mis en évidence la particularité du nauplii d'*Artemia* comme aliment pour les larves de poissons, son utilisation s'est généralisée et est devenue une pratique indispensable en larviculture marine et d'eau douce (KINNE, 1977)

Durant les années 60-70, des recherches ont mentionné l'apparition de mortalités massives des larves de poissons nourris à base d'*Artemia*, provenant de stocks de cystes appartenant à différentes races ou variétés (WATANABE et al., 1978a ; FUJITA et al., 1980).

Par la suite il s'est révélée l'existence d'une différence dans la qualité nutritive des cystes appartenant à des zones géographiques différentes (BECKS et al., 1980 ; LEGER et al., 1986) et même au sein de la même population collectée à différents époques de l'année (LEGER et al., 1986).

LEGER et al 1986; LAVENS et al 1989 ; NAVARRO et al, 1992; TIZOL-CORREA et al, 2006 montrent que le facteur qui détermine la valeur nutritif des nauplii d'*Artemia* en tant qu'aliment larvaire est sa composition en acides gras polyinsaturés de longue chaîne (AGPI), qui est très variable. (WATANABE et al., 1978b, LEGER et al., 1986).

Chez *Artemia*, les acides gras essentiels sont généralement composés d'acide palmitoléique $C16:1(n-7)$, oléique $C18:1(n-9)$, $C18:1(n-7)$, linoléique $C18:2(n-6)$, linoléinique $C18:3(n-3)$, l'eicosapentaénoïque $C20:5(n-3)$ EPA et arachidonique $C20:4(n-6)$. Ils représentent environ 80% du total du profil des acides chez *Artemia* (LEGER et al., 1986; BENGSTON et al., 1991). Les deux acides gras dominants sont : le LNA $C18:3(n-3)$ qui peut dépasser 30% et l'EPA ne dépasse pas 13% du total d'acides gras.

WATANABE et al.,(1978a, 1980), sur la base de l'étude des profils lipidiques des nauplii de différents origines géographiques a défini deux groupes d'*Artemia* : le type d'*Artemia* dulçaquicole (fresh-type *Artemia*), riche en acide gras insaturés $n-3$ comme le $C18:3(n-3)$ LNA et pauvre en acide eicosapentaénoïque $C20:5(n-3)$ EPA, par contre le type marin (marine-type *Artemia*) avec des quantités appréciable d'EPA convenable pour les animaux marins.

Dans le même contexte NAVARRO et al (1991 ; 1992) signale que le caractère marin ou dulçaquicole d'une population déterminé, peut être lié à son biotope littoral ou continental. Les populations qui se développent dans les écosystèmes hypersalins côtiers contiennent

l'acide eicosapentaénoïque $EPA\ C20 :5(n-3)$ et celles qui séjournent dans les écosystèmes salins continentaux ou intérieures présentent des quantités élevées d'acide linoléique $LNA\ C18 :3(n-3)$.

Toute fois NAVARRO et al., 1991; NAVARRO et AMAT, 1992, rencontrent des cystes provenant d'écosystèmes intérieures avec des niveaux élevés d'acide linoléique $LNA\ C18 :3(n-3)$ propres et spécifiques aux échantillons du type dulçaquicoles et en même temps avec des quantités comparables d'acide eicosapentaénoïque $EPA\ C20 :5(n-3)$ typiques aux échantillons du type marin.

6.1.2. Facteurs affectant la composition en acide gras chez *Artemia*

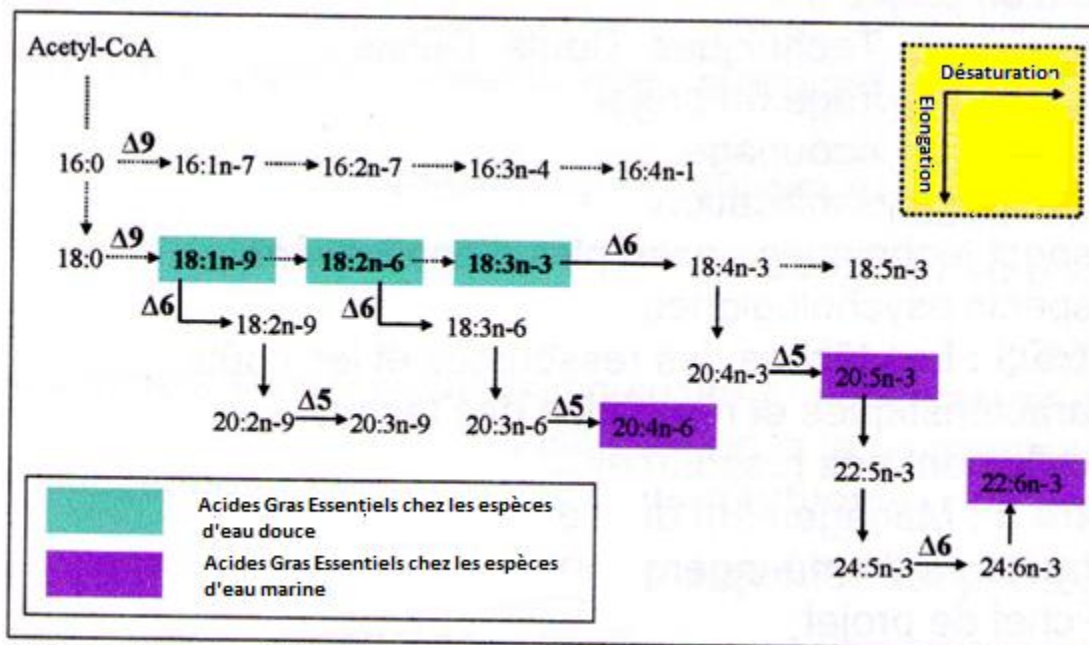
A ce jour, il est difficile d'élucider les différences de composition en acides gras qui existent entre les populations de différentes origines géographiques et entre échantillons appartenant à la même population.

Il semble que la composition du milieu où vivent les femelles ovipares d'*Artemia* a une grande influence sur la qualité et la quantité d'acides gras de sa descendance (LAVENS et al., 1989, NAVARRO et AMAT, 1992).

Par ailleurs d'après la littérature le profil d'acide gras d'*Artemia* reflète le régime alimentaire consommé par la génération parentale (LEGER et al., 1986 ; WATANABE, 1980, 1987; NAVARRO et AMAT, 1992). En effet, les lipides contenus dans les cystes découlant des femelles qui ont synthétisés puis transformés et catalysés les acides gras, proviennent de leur milieu de vie. Il a été confirmé aussi que des cystes d'*Artemia* produits dans un milieu riche en micro-algues montrent un profil lipidique différent à celui des cystes produits dans une saline à salinité élevée et pauvre en micro-algues. Enfin LAVENS et al. (1989) démontrent qu'il est possible de manipuler le profil d'acide gras des cystes et nauplii produits dans un système de culture intensif par ajout ou substitution de micro-algues.

La nature hypersaline de ces milieux fermés est complexe. Ils comprennent des saumures de différentes compositions, chlorées, sulfatées et carbonatées (COLE et BROWNE 1967). Les caractéristiques écologiques qui définissent chaque milieu favorisent la présence de certains groupes de phytoplancton et zooplancton. En conséquence l'abondance de polyinsaturés (n-6) indique la présence de protozoaires et organismes benthiques dans le régime. Les $C16 :0$, $C16 :1(n-7)$, $C18 :1(n-3)$ et $C20 :5(n-3)$ révèlent l'influence d'un régime à base de phytoplancton (DESVILETTES et al., 1994).

En général, seules les plantes sont capables d'effectuer la biosynthèse de novo des acides gras polyinsaturés des séries ($n-3$) et ($n-6$), processus non décrit chez les invertébrés et protozoaires. Les poissons marins par contre ne possèdent pas les capacités enzymatiques de désaturation en raison de l'absence de désaturases dont la $\Delta-5$ désaturase, ni celles d'élongation à cause de l'absence d'elongases. Ces enzymes sont nécessaires à la conversion de l'acide linoléique en acide gras polyinsaturés à longues chaînes. Ces acides gras de la série $n-3$ à plus de 20 atomes de carbone qui jouent un rôle essentiel pour ces espèces, sont fournis par l'aliment exogène. Certains poissons d'eau douce sont capables d'effectuer une désaturation par des enzymes désaturases et des élongations par des élongases, de l'acide linoléique en des acides gras hautement insaturés AGHI et polyinsaturés AGPI. Ce sont des eicosanoïdes comme l'acide eicosapentaénoïque *EPA* $C20 :5(n-3)$, l'acide eicotétraénoïque ou arachidonique *AA* $C20 :4(n-6)$ et l'acide docosahexaénoïque *DHA* $C22 :6(n-3)$ (WATANABE, 1982). Le processus de désaturation et d'élongation des diverses familles d'acide gras sont représentés dans la Figure 36.



(Dalsgaard y cols., 2003; Zheng y cols., 2004)

Figure 36 .Les voies principales de synthèse des acides gras de 20 et 22 carbones à partir des précurseurs C18 de la série $n-3$, $n-6$ et $n-9$.

D'autres facteurs qui conditionnent aussi la composition d'acides gras chez l'*Artemia* est la température du milieu de vie. Toutes les populations d'*Artemia tibetiana* (propres aux écosystèmes hypersalins continentaux des grandes altitudes) montrent un profil d'acides gras

typiques marin, dû à la quantité d'acides gras hautements insaturés présentes dans le phytoplancton utilisé comme source de nourriture de ces populations (VAN STAPPEN et al, 2003).

6.2. Objectif

La détermination du profil d'acides gras des cystes d'*Artemia* de certaines populations algériennes permettra d'apprécier la valeur nutritive de ces populations de différentes origines. Elle sera par la suite comparée à celle des espèces commerciales afin de déterminer sa possible utilisation en aquaculture.

Enfin, le profil d'acides gras sera utilisé pour classer le type d'*Artemia* marin ou dulçaquicole et en fonction de sa localisation géographique type côtière ou intérieure.

6.3. Matériel et méthodes

6.3.1. Extraction des lipides totaux

L'extraction des lipides totaux dans les échantillons de cystes et biomasse d'*Artemia* s'effectue selon la méthode proposée par FOLCH et al., (1957), modifiée.

Avant de procéder à l'extraction des lipides, les cystes sont décapsulés pour faciliter l'homogénéisation de leurs contenus (embryon). La décapsulation consiste en la dissolution de l'enveloppe lipoprotéique externe du cyste (Chorion) par un traitement avec de l'hypochlorite de soude. Les cystes sont d'abord hydratés en eau distillée durant une période de 2 heures pour acquérir la forme sphérique qui facilitera l'action du réactif décapsulateur sur toute la superficie du cyste. L'agent décapsulateur utilisé est l'eau de javel concentrée (Hypochlorite de soude) appliqué selon la méthodologie décrite dans les travaux de BRUGGEMAN et al., 1979)

Une fois soumis à l'action de l'hypochlorite, les cystes changent de couleur, du brun à l'orange à rouge, couleur typique des caroténoïdes de l'embryon. Une fois la décapsulation achevée, les embryons sont recueillis sur une maille de 150 micron, puis soumis à un rinçage à l'eau douce afin d'éliminer les résidus décapsulant.

Le poids sec et le contenu d'humidité des cystes décapsulés est déterminé à partir de 03 sous échantillons ou répliques, maintenus durant 24h à 100°C.

Les cystes décapsulés (trois répliques pour chaque échantillon) sont homogénéisés mécaniquement dans un homogénéiseur type Potter, avec un mélange de chloroforme :

méthanol (2 :1, v/v) contenant l'antioxydant BHT (Sigma, Alcobendas, Espagne) à une concentration de 0,01% (p/v). Au volume total homogénéisé on ajoute ¼ du volume d'une solution de KCL (0,88%) (p/v), après agitation et centrifugation durant 2 min à 600g, le surnageant est retiré puis la phase organique est filtrée à travers un papier filtre (Wattman, Mardstone, U.K). Le processus est refait une seconde fois afin de minimiser l'extraction des lipides de l'échantillon.

Les phases organiques filtrés dans les deux extractions sont séchés sous un flux d'azote (N₂). L'extrait des lipides est transféré dans un petit flacon de verre préalablement pesé, où s'effectuera le séchage complet à l'azote. La masse des lipides totaux obtenus de l'échantillon initial s'obtient par gravimétrie. Les échantillons des extraits lipidiques sont conservés dissouts dans une concentration connue d'un mélange de chloroforme : méthanol (2 :1, v/v) contenant 0,01 % (p/v) de BHT, l'air présent dans les petits flacons est chassé avec l'azote sec afin de minimiser l'oxydation des échantillons durant leurs conservation.

L'analyse des acides gras est réalisée par chromatographie en phase gazeuse à partir des esters méthyliques des acides gras, obtenus par transméthylation des échantillons lipidiques.

6.3.2. Transméthylation des lipides

Le processus de transméthylation (CRISTIE, 1982) consiste à ajouter une quantité connue d'un extrait lipidique à 1ml de toluène et 2ml d'une solution de H₂SO₄ à 1% en méthanol, et la soumettre à 50°C durant une période approximative de 16h.

Les esters méthyliques des acides gras sont récupérés selon deux extractions consécutives. La première sera appliquée sur l'échantillon incubé en ajoutant 5ml d'eau distillée et 5ml d'une solution de l'héxane : éther di éthylique (1 :1, v/v). Après agitation du mélange et centrifugation durant 2 min à 600g, le surnageant est récolté, sur laquelle sera appliquée la deuxième extraction. Elle consiste à ajouter 1,5 ml d'une solution de KHCO₃ à 2% (p/v), après agitation et centrifugation durant 2 min à 600g, le surnageant est alors transféré à un autre tube qui sera séché à l'azote sec. A la fin l'échantillon sera transféré dans un petit flacon de verre qui sera conservé dissouts dans un volume de 140 ul d'hexane-éthers di éthylique comme phase précédant la purification des esters méthyliques des acides gras.

6.3.3. Purification :

La purification est réalisée par chromatographie en couche fine de plaques de gel de silice G 60 de 20x20 cm (Merck, Darmstadt, Allemagne) imbibé d'un solvant composé de l'hexane :éther di éthylique :acide acétique glacial (85 :15 :1,5, v/v/v).

Un standard est appliqué sur la même plaque et qui sera postérieurement développé avec une solution d'iode 1% (p/v) en chloroforme. Cette opération permet de déterminer la position de la fraction des esters méthyliques des acides gras des échantillons. La fraction correspondant à chaque échantillon est récupérée par grattage du gel de silice correspondant à l'aire où se trouve la fraction des esters méthyliques. Les esters méthyliques des acides gras présents dans le gel de silice sont arrosés d'hexane : éther di éthylique, après agitation et centrifugation durant 2 min à 600g la fraction liquide est transférée dans un autre tube qui sera séché complètement à l'azote sec. Enfin les esters méthyliques sont transférés en petits flacons de verre avec une suspension d'hexane contenant du BHT (0,01% p/v). De cette manière les échantillons sont prêts à être injectés dans le chromatographe à phase gazeuse.

6.3.4. Conditions chromatographiques

Les acides gras sont analysés par le chromatographe Fisons Instruments (CG 8000 séries, Fisons Instruments, Rodano, Italie) équipé d'une colonne capillaire ouverte de 30m x 0,25 mm (tracer, TRWAX, épaisseur de couche 0,25 um, Teknokroma, Barcelone, Espagne).

Les échantillons injectés en colonne subissent une élution avec l'hélium comme unique composé de la phase mobile sous un gradient thermique de 50 à 220°C. Les données provenant d'un détecteur de la flamme (Fisons Instruments, rodano) sont récupérés dans un système informatique équipé de l'application Chrom-Card for Windows (CE Instruments, Milan, Italie) durant les 40 min de l'élution des échantillons.

L'identification des différents acides gras est réalisée par comparaison des chromatogrammes des échantillons avec ceux d'un standard connu.

6.4. Résultats

Le pourcentage des lipides totaux contenus dans les échantillons des cystes d'*Artemia* provenant d'Algérie sont représentés dans la Figure 37. Il varie entre 19,27 % et 24,43% du poids sec. Les valeurs maximales se rencontrent dans les échantillons provenant de Bethioua et El Goléa.

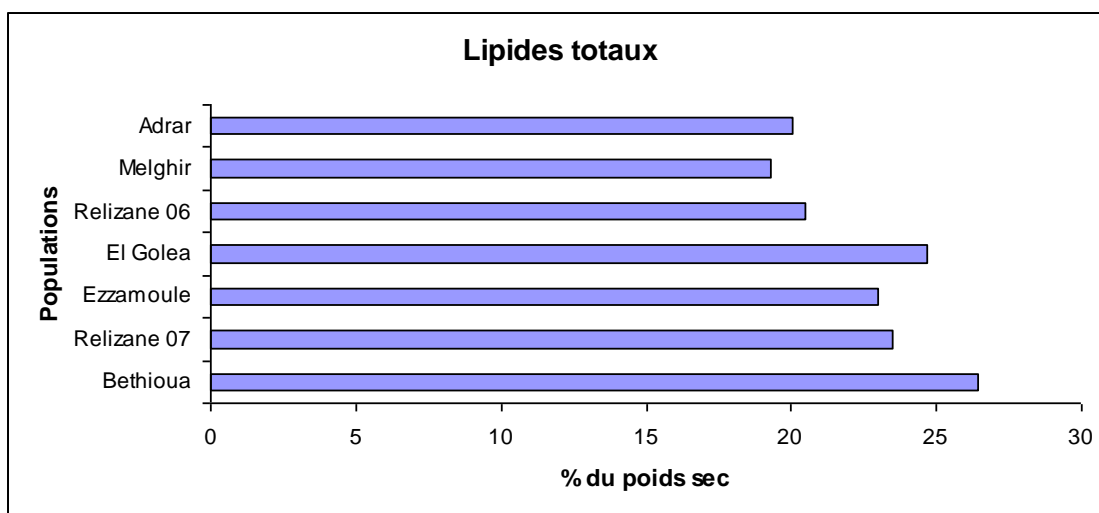


Figure 37. Lipides totaux contenus (% du poids sec) dans les échantillons de cystes d'*Artemia* algériennes

Les profils des acides gras des cystes d'*Artemia* sont représentés dans le Tableau 13. Les acides gras essentiels sont généralement composées d'acides palmitique, palmitoléique, oléique, linoléique, linoléique, l'eicosapentaénoïque et arachidonique, et représentent en théorie environ 80% du total du profil des acides gras contenu dans un échantillon d'*Artemia* (LEGER et al., 1986; BENGTON et al., 1991). Nos résultats confirment clairement ce niveau pour toutes les populations.

Les résultats montrent aussi que la majorité des acides gras de la famille des linoléique et linoléique sont présents dans tous les échantillons, exceptés pour le docosahexaénoïque C22 :6 (n-3) qui est présent à de faibles proportions dans uniquement deux populations (Relizane et Ezzamoule).

L'acide linoléique C18:3(n-3) montre des niveaux élevés dans les populations d'Ezzamoule (10,35%), Adrar (24,15%) et Melghir (24,04), par contre l'acide linoléique C18:2(n-6) est disponible que dans la population d'Ezzamoule (4,73%).

L'acide palmitique est présent dans tous les échantillons. Ses valeurs approchent une moyenne variant entre 13,4% à 17%. En général les niveaux de cet acide gras chez *Artemia* sont prévisibles et relativement constants. Par contre l'acide palmitoléique montre des proportions variables allant entre 5,19% et 22,08% du total des esters méthyliques des acides gras.

Les acides gras mono-insaturés se retrouvent à des taux similaires dans toutes les populations exceptés pour les populations provenant des zones continentales du sud où les

taux sont faibles, et sont deux fois supérieures aux polyinsaturés qui ne montrent pas de grandes différences notables.

Tableau13. Composition en acides gras (% des acides gras totaux) des lipides totaux des cystes d'*Artemia* des populations Algériennes. Données moyennes de trois répétitions.

FAME	POPULATIONS													
	----- Marine -type ^a -----						----- Freshwater -type ^a -----							
	BETHIOUA 07	DS	GOLEA 08	DS	RELISANE 07	SD	RELISANE 06	DS	EZZAMOULE 08	DS	MELGHIR 09	DS	ADRAR 09	DS
14:0	2,14	0,03	1,94	0,03	1,97	0,04	1,84	0,02	1,72	0,02	0,82	0,05	0,80	0,03
15:0	0,34	0,01	0,42	0,01	0,45	0,01	0,37	0,01	0,41	0,00	1,54	0,03	1,57	0,04
16:00	13,03	0,18	16,13	0,23	15,44	0,13	16,63	0,51	17,52	0,06	14,29	0,16	14,12	0,17
16:1n-7	18,01	0,07	20,81	0,04	20,07	0,09	22,08	0,31	14,67	0,09	5,19	0,05	5,22	0,11
16:2	1,17	0,03	0,92	0,01	0,79	0,03	0,75	0,07	0,63	0,04	0,15	0,05	0,20	0,01
17:0	0,61	0,01	0,57	0,01	0,79	0,01	0,52	0,02	0,72	0,03	0,69	0,07	0,74	0,01
16:3	1,10	0,01	1,34	0,02	1,15	0,00	1,02	0,01	2,23	0,01	0,85	0,02	0,83	0,00
16:4	0,20	0,00	0,08	0,07	-	-	-	-	-	-	4,48	0,03	4,42	0,09
18:0	4,39	0,19	4,32	0,09	4,75	0,14	4,49	0,23	4,79	0,03	13,66	0,08	13,51	0,15
18:1n-9	16,42	0,03	12,65	0,16	14,63	0,08	11,67	0,29	14,03	0,10	9,28	0,02	9,24	0,11
18:1n-7	11,10	0,10	11,22	0,06	10,77	0,04	11,50	0,20	9,04	0,12	7,73	0,01	7,85	0,12
18:2n-6	3,05	0,03	2,38	0,04	2,68	0,01	2,15	0,02	4,73	0,05	-	-	-	-
18:3n-6	0,37	0,00	0,29	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18:3n-3 (LNA)	2,62	0,06	5,15	0,07	4,28	0,01	5,53	0,07	10,35	0,13	24,04	0,30	24,15	0,30
18:4n-3	0,70	0,01	1,32	0,01	1,08	0,00	1,43	0,04	2,12	0,04	4,47	0,03	4,51	0,15
20:0	0,08	0,00	0,06	0,05	0,10	0,00	0,09	0,01	0,03	0,06	0,07	0,00	0,07	0,01
20:1n-9	0,33	0,00	0,26	0,01	0,33	0,01	0,28	0,01	0,34	0,01	0,19	0,00	0,22	0,04
20:1n-7	-	-	0,06	0,06	0,03	0,05	0,13	0,03	0,03	0,05	-	-	-	-
20:2n-6	0,08	0,02	-	-	-	-	-	-	0,18	0,02	0,17	0,00	0,14	0,05
20:3n-6	0,32	0,00	0,17	0,00	0,21	0,01	0,14	0,01	0,21	0,00	0,11	0,01	0,13	0,03
20:4n-6 (ARA)	1,43	0,02	0,90	0,02	1,15	0,03	0,61	0,00	1,39	0,02	0,13	0,01	0,13	0,02
20:3n-3	-	-	-	-	-	-	-	-	0,30	0,01	0,41	0,01	0,32	0,16
20:4n-3	0,22	0,01	0,30	0,01	0,32	0,01	0,29	0,04	0,34	0,01	0,52	0,00	0,49	0,06
20:5n-3 (EPA)	15,45	0,23	14,44	0,14	12,54	0,08	12,97	0,55	8,06	0,13	-	-	0,83	0,26
22:0	0,13	0,01	0,08	0,07	0,14	0,01	0,13	0,02	0,16	0,00	0,15	0,01	0,14	0,01
22:1n-11	0,07	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22: 5n-3	-	-	-	-	0,04	0,06	0,04	0,07	-	-	-	-	-	-
22:6n-3 (DHA)	-	-	-	-	0,28	0,01	-	-	0,02	0,04	-	-	-	-
Total	93,4	-	95,8	-	94,0	-	94,7	-	94,0	-	88,9	-	89,6	-
Saturés	2,96	0,43	23,53	0,26	23,64	0,20	24,07	0,79	25,35	0,08	31,21	0,23	30,96	0,28
MonoSaturés	45,91	0,13	45,00	0,18	45,82	0,19	45,66	0,82	38,10	0,27	22,39	0,05	22,53	0,23
PUFA	26,70	0,28	27,30	0,10	24,53	0,05	24,93	0,60	30,56	0,22	35,33	0,27	36,14	0,46
Total n-3	18,98	0,24	21,21	0,09	18,51	0,08	20,22	0,58	21,19	0,23	29,43	0,33	30,29	0,53
Total n-6	5,26	0,04	3,74	0,06	4,04	0,05	2,90	0,03	6,51	0,06	0,41	0,01	0,40	0,03
n-3 HUFA	15,67	-	14,74	-	12,86	-	13,29	-	8,70	-	0,39	-	0,48	-
n-6 HUFA	0,38	-	0,17	-	0,21	-	0,14	-	0,39	-	0,28	-	0,08	-
Ratio 10:0/16:1	0,72	0,01	0,78	0,01	0,77	0,01	0,75	0,01	1,19	0,01	2,75	0,04	2,70	0,08

^a Classification selon Watanabe et al. (1978)

LNA : Acide linoléique ; ARA : acide arachidonique ; EPA acide eicosapentaénoïque ; DHA : acide docosahexaénoïque ; nd : non détecté ; PUFA acides gras polyinsaturés ; n-3HUFA : $\geq 20 : 3n-3$; n-6 HUFA : $\geq 20 : 2n-6$

Parmi les populations algériennes, les cystes de Bethioua, Rélizane et El Goléa peuvent s'aligner au type marin (un contenu élevé en eicosapenténoïque, faible en linolénoïque). Le rapport 16 :0/16 :1 décrit par NAVARRO et al., 1992 et qui détermine le type d'*Artemia* (marin ou dulçaquicole), confirme bien une tendance du type marin.

Ceux d'Adrar et Mèlghir présentent un profil type dulçaquicole avec un contenu élevé en linolénoïque et faible en eicosapentaénoïque, le ratio 16 :0/16 :1 est supérieur à 1.

L'acide arachidonique est présent en général dans les échantillons de cystes ayant un profil du type marin. Dans notre cas il est présent dans la population de Bethioua d'origine côtière, alors que chez les autres populations il est totalement absent ou à des proportions très faibles.

Le contenu en acides hautement insaturés n-3 est élevé dans les cystes ayant un profil du type marin que les types dulçaquicoles.

L'étude de l'analyse discriminatoire de la composition en acides gras des populations algériennes montre bien la séparation des différents groupes étudiés, un groupe du type marin correspondant à la population de Bethioua d'origine côtière, un autre groupe du type dulçaquicole représenté par Adrar et Mèlghir d'origine continental, et enfin le groupement à profil mixte (type marin et dulçaquicole) représenté par les populations d'El Goléa, Rélizane et Ezzamoule. Ce dernier groupe présente une répartition caractéristique El Goléa apparaît séparée d'Ezzamoule et Rélizane à cause de leurs biotopes qui sont différents (fig. 38).

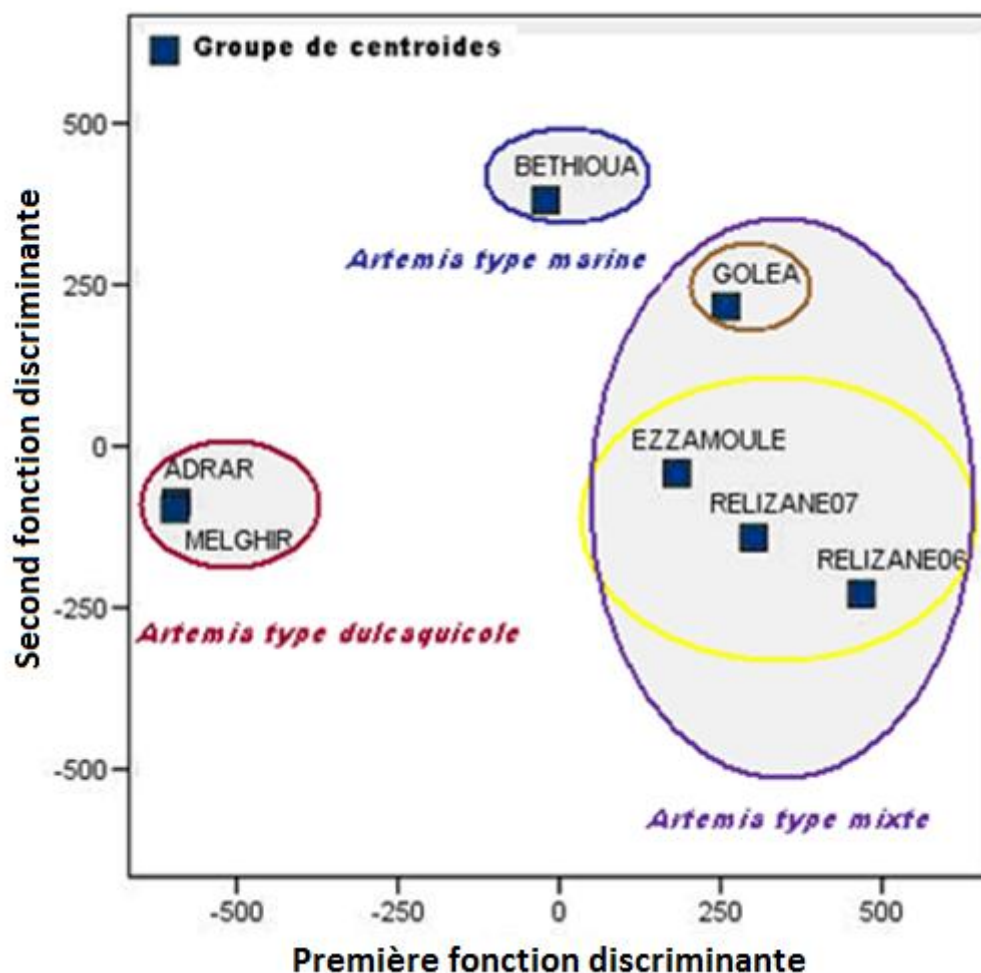


Figure.38 : représentation de l'analyse discriminante de la composition en acides gras (la première et seconde fonction discriminante) pour la séparation des différents groupes d'*Artemia*

6.5. Discussion

L'analyse des acides gras polyinsaturés chez *Artemia* révèle une variabilité aussi bien entre espèces qu'au sein de la même espèce d'une année à l'autre (LEGER et al., 1986, NAVARRO et al, 1992). Cette fluctuation est du probablement à la nature de la faune et flore primaire du milieu ingéré par les femelles productrices de cystes.

En effet selon LEGER et al (1986) et LAVENS et al (1989), les variations du contenu en acides gras hautement insaturés (HUFAs), entre les différents cystes, peuvent être dues à la diversité des micro-algues disponibles dans le milieu et utilisée comme source d'aliment par les populations parentales d'*Artemia*.

Cette composition en acides gras est également indirectement reliée aux conditions qui affectent le milieu tel que la température, la salinité, oxygène dissous et qui ont tendance à modifier la qualité et la quantité des blooms phytoplanctoniques.

MURA et al. (1997, 1998, 2000), concluent, que les conditions particulières de ces habitats et les facteurs biologiques tels que l'aliment, la température, la durée de vie et le sexe ont un impact direct sur le profil des acides gras des Anostraca du type dulçaquicole.

En effet *Artemia* filtre une diversité d'aliment microparticulaires dont la composition varie considérablement avec l'augmentation de la salinité. Ainsi les composés riches en acides gras polyinsaturés comme les microalgues et bactéries diminuent par contre certaines espèces d'algues vertes, bleues et flagellés prédominent.

Les acides gras peuvent être ainsi utilisés comme un indicateur pour caractériser les biotopes intérieures et/ou côtiers comme l'a décrit NAVARRO et al., 1992).

Chez *Artemia*, le plus souvent l'acide gras le plus abondant est le $C18:1(n-9)$ (acide oléique) avec des valeurs qui varient entre 14 et 37,5% des acides gras essentiels totaux, le $C18:2(n-6)$ (acide linoléique) par contre contribue avec des valeurs inférieures à 10% des acides gras totaux (LEGER et al., 1986). Ces taux se retrouvent dans les populations algériennes.

La plupart des études sur le niveau des acides gras polyinsaturés, indiquent que la performance des larves de poissons est directement liée à la composition en acides gras hautement insaturés contenus dans l'*Artemia*, ce qui explique que les acides gras essentiels sont la source principale de nourriture des larves.

Parmi les acides gras essentiels, l'arachidonique $C20:4(n-6)$, eicosapentaénoïque $C20:5(n-3)$ et l'acide docosahexaénoïque $C22:6(n-3)$, sont les plus importants dans l'alimentation des larves de poissons (SARGENT et al, 1997; IZQUIERDO et al, 2000). Il semblerait que toutes les populations algériennes analysées contiennent ces éléments.

L'arachidonique est présent à différentes concentrations. Cet acide gras joue un rôle important dans l'amélioration de la croissance des larves et la pigmentation chez plusieurs espèces de poissons marins car il fournit des précurseurs pour la production d'eicosanoïdes (CASTELL et al., 1994 ; ESTEVEZ et al., 1997 ; SARGENT et al., 1995).

LEGER et al, (1985, 1987a,b) concluent que le principal facteur influant sur la valeur nutritive de l'*Artemia* est la teneur en acide gras polyinsaturés eicosapentaénoïque $C20:5(n-3)$. Pour subvenir à ce facteur, il est préconisé des proportions de 4% du total des acides gras pour assurer une bonne croissance et survie des poissons et crevettes d'eaux marines. Les

populations algériennes d'*Artemia* semblent satisfaire ce besoin fondamental en acide eicosapentaénoïque.

L'acide docosahexaénoïque représente la composante extrêmement riche du tissu nerveux et de la rétine des larves d'espèces marines. Une carence en $C22:5(n-3)$ dans le régime alimentaire des larves de poissons marins compromet le développement neurologique et visuel, ce qui se répercute sur les processus physiologiques et comportementaux (SARGENT et al., 1995). D'autre part des niveaux élevés du ratio docosahexénoïque / eicosapentaénoïque favorisent une bonne croissance, résistance au stress et la pigmentation (LAVENS et al., 1995).

Il semble que l'acide docosahexénoïque n'est présent que dans deux populations Rélizane 07 et Ezzamoule 08, mais absent chez les autres populations. Cette composition très particulière a été signalée dans la plus part des populations d'*Artemia* (MORAITI et al., 2007; NAVARRO et al., 1992 ; KARA et al., 1994). Afin de recourir à cette déficience naturelle en acide docosahexaénoïque, on fait recours aux techniques d'enrichissement développé par WATANABE et al. (1983) pour améliorer la qualité nutritive. C'est un procédé utilisé aujourd'hui dans les manipulations nutritionnelles (McEVOY et al., 1996; TOCHER et al., 1997).

La classification de WATANABE et al. (1978a), reconnaît deux catégories d'*Artemia*, ceux qui ont un profil lipidique qui s'adapte au type marin et ceux du type dulçaquicole.

Les types marins et dulçaquicoles sont associés aux origines géographiques des écosystèmes de provenance, au type de saumure et à la qualité spécifiques des microalgues de ces biotopes. Les profils lipidiques du type marin correspondent aux populations d'*Artemia* provenant du milieu hypersalin d'origine marin ou côtier alors que les types dulçaquicoles sont affectés aux populations d'*Artemia* provenant du milieu hypersalin intérieur ou continental.

Dans le même contexte de distinction, NAVARRO et al (1992, 1993) signalent que l'acide gras $C18:3(n-3)$ est utilisé comme indicateur phénotypique des cystes d'*Artemia* provenant des biotopes continentaux ou intérieures. Ils déduisent à partir des valeurs obtenues sur le rapport $C16:0/C16:1$ que les populations ayant un profil dulçaquicoles présentent un rapport toujours supérieur $>$ à 1 et celles ayant des profils marins sont inférieures à 1. Ils considèrent que ce ratio est un bon indicateur pour affecter les populations d'*Artemia* aux caractères marins ou dulçaquicoles.

Les échantillons analysés dans cette étude montrent des résultats qui confirment bien l'indication relative au contenu en acide linoléique pour les populations d'Adrar et Mèlghir d'origine continentale ou intérieure. Le rapport $C16 :0/C16 :1$ est supérieur à 2.

Par rapport au contenu en acide eicosapentaénoïque, les populations de Béthioua, El Goléa, Rélizane et Ezzamoule disposent de ce composé, par contre si on se réfère aux critères de classification des types d'*Artemia* par WATANABE et al., (1978a), il apparaît que seulement la population de Bethioua répond au critère du type marin se trouvant dans un biotope littoral. Par contre les populations d'Adrar et Mèlghir sont du type dulçaquicole.

Par ailleurs les populations d'El Goléa, Rélizane et Ezzamoule proviennent de biotopes continentaux mais avec un contenu élevé d'acide eicosapentaénoïque. Ces observations permettent d'affirmer qu'il existe des cystes ayant un profil marin (riches en acide eicosapentaénoïque) et séjournant dans des écosystèmes continentaux avec un contenu d'acide linoléique. On peut déduire alors, qu'il existe une catégorie de cystes avec un profil lipidique mixte satisfaisant aussi bien les poissons marins que dulçaquicole. une réflexion similaire a été exprimée dans les travaux de RUIZ et al., 2007 sur les populations d'Argentine.

Parallèlement, WATANABE (1978a) signale que l'acide arachidonique $C20:4(n-6)$ est associé au type d'*Artemia* marin. En effet, les populations du type marin décrites dans cette étude montrent des valeurs élevées de l'arachidonique par rapport aux types dulçaquicoles, ce qui confirme bien les propos de l'auteur.

Tableau 14. Composition en acides gras essentiels des populations Algériennes comparées aux populations Américaines

	16 :0	16 :1n-7	18 :1n-9	18 :2n-6	18 :3n-3	20 :5n-3	Auteurs
Bethioua	13,03	18,01	16,42	3,05	2,62	15,45	
El Goléa	16,13	20,81	12,65	2,38	5,15	14,44	
Melghir	14,29	5,19	9,28	-	24,04	-	
Adrar	14,12	5,22	9,24	-	24,15	0,83	
Rélizane	16,63	22,08	11,67	2,15	5,53	12,97	
Ezzamoule	17,52	14,67	14,03	4,73	18,35	8,06	
Grand Lac Salé	15,06	5,99	30,25	6,69	28,27	1,77	Millamina, 1985 in Léger et al. ; 1986
San Fransico Bay	26,6	16,3	25,8	2,6	3,3	3,9	Watanabe, 1982

Dans le monde, les deux principales sources de cystes commerciales en aquacultures proviennent des populations de Grand Lac Salé (GLS) et de la Baie de San Francisco en Californie (SFB, EE.UU.). Les cystes provenant du GLS présentent un profil typiquement dulçaquicole, alors que ceux provenant de SFB sont du type marin.

En ce qui concerne les teneurs en acides gras essentiels, la valeur nutritive de certaines populations algériennes se rapproche de celle des espèces d'*Artemia* les plus commercialisées dans le monde (Tableau 14). L'acide linoléique est très élevé chez les espèces américaines, par contre l'acide eicosapenténoïque est dominant dans la plus part des populations algériennes.

On peut donc affirmer que les populations d'*Artemia* Algérienne peuvent faire l'objet d'utilisation en aquaculture.

Conclusion

L'analyse du contenu en acides gras des cystes d'*Artemia* d'Algérie, révèle une variabilité entre les différentes populations et au sein de la même population d'une période à autre.

En s'inspirant de la classification établie par WATANABE et al., 1978a, sur la base de la composition en acides gras, algériennes d'*Artemia* objet de notre étude peuvent être classées comme suit :

- la population de Bethioua répond aux critères du type marin.
- Les populations de Mélghir et Adrar sont du type dulçaquicole.
- Le groupe composé des populations d'El Goléa, Ezzamoule et Rélisane, présente un profil d'acides gras mixte riche en acide eicosapenténoïque et en acide linoléique.

Du point de vue qualitatif, la valeur nutritive des populations algériennes est comparable aux espèces d'*Artemia* commercialisées (*A. franciscana*). La seule variabilité réside dans la composition en acide linoléique qui est élevée dans les espèces américaines, et l'acide eicosapenténoïque qui est dominant dans les populations algériennes. On peut affirmer que les populations algériennes peuvent faire l'objet d'utilisation en aquaculture.

CONCLUSION GENERALE

Au terme de cette étude il apparaît possible d'adapter l'*Artemia* algérienne à l'industrie aquacole. Cependant, l'état actuel de cette ressource naturelle doit faire l'objet d'autres investigations.

Trois grandes aires furent prospectés les Zones Humides de l'Ouest, ceux des Hautes Plaines de l'Est et en dernier certains Complexes Humides Sahariens. Tous les biotopes étudiés sont du type sebkha et chott.

La description des biotypes basée sur la morphologie des individus adultes d'*Artemia* et comparé à des souches de référence ou entre elles par le biais des analyses discriminantes, a permis de caractériser les différentes populations existantes. Ainsi, il a été possible de différencier les populations sexuées et parthénogénétiques diploïdes et tétraploïdes provenant des différents milieux hypersalins algériens. Ce modèle de diversité biologique des populations d'*Artemia* d'Algérie est similaire à celui trouvé dans le reste de la Méditerranée occidentale. Il en résulte aussi que les formes sexuées et parthénogénétiques cohabitent fréquemment dans le même biotope, ce qui contrarie la notion de continentalité et monospécificité des formes parthénogénétiques tétraploïdes.

La réponse physiologique des populations d'*Artemia* en termes de fécondité, oviparisme, longévité et survie paraît être plus ou moins affectée par les conditions de température. Ce paramètre compromet le développement de certaines populations.

Le nombre de descendance par ponte et par femelle n'est pas très variable entre les différentes populations d'*Artemia*, spécialement lorsque chacune d'elle se rencontre dans des circonstances environnementales optimales. Cependant le potentiel reproductif de ces populations reste inférieur à celui des populations américaines qui présentent une capacité métabolique élevée lui permettant une récupération plus rapide entre les pontes.

L'oviparisme, comme mode reproductif, paraît être influencé aussi bien par les facteurs génétiques, qu'environnementales. C'est le mode de reproduction préféré de certaines espèces lorsque les conditions environnementales se détériorent.

Le facteur température s'est avéré comme étant le paramètre environnemental qui règle les capacités compétitives des populations d'*Artemia*. De ce fait les populations sexuées manifestent leur présence au moment des basses températures. Les souches parthénogénétiques manifestent des préférences à vivre à des températures élevées.

La cohabitation des populations algériennes révèle la supériorité de la souche parthénogénétique diploïde par rapport à la forme tétraploïde et l'espèce sexuée.

L'application des outils biométriques pour déterminer les différences de tailles entre les cystes et nauplii des populations algériennes a permis de séparer les populations d'*Artemia* les plus prometteuses pour le potentiel aquacole. Il apparaît l'existence d'une variabilité des données biométriques des cystes d'*Artemia* entre les différentes populations. Les populations sexuées possèdent un diamètre plus petit et une grande enveloppe tertiaire comparés à ceux provenant des populations parthénogénétiques. Les formes parthénogénétiques tétraploïdes produisent des cystes de grand diamètre, alors que pour les formes diploïdes donnent des cystes avec un diamètre moyen compris entre les deux premières. L'épaisseur de l'enveloppe tertiaire pour les parthénogénétiques est plus fine par rapport aux espèces sexuées. Par ailleurs, en aquaculture la taille des proies vivantes (nauplii d'*Artemia*) doit s'adapter à la bouche des larves fragiles. Par conséquent, la sélection d'une proie de taille appropriée constitue l'un des facteurs déterminant pour l'industrie aquacole. Les nauplii des populations algériennes peuvent être admis en aquaculture et sont comparables ou proches à ceux issus des populations américaines.

En général les paramètres d'éclosion n'ont pas de valeurs spécifiques pour chaque population. Cependant, la vitesse d'éclosion est influencée par les facteurs environnementaux et vraisemblablement contrôlée par une composante génétique. L'éclosion du cyste d'*Artemia* est conditionné par son état de diapause. La fin de la diapause est provoquée par différents signaux environnementaux spécifiques pour chaque population en relation avec son milieu naturel. L'hydratation des cystes semble affecter l'éclosion. Le traitement au peroxyde d'hydrogène semble avoir un effet sur la désactivation de la diapause pour certaines populations. Par contre la décapsulation à l'hypochlorite de soude, améliore l'éclosion des cystes, surtout pour les cystes qui disposent de peu d'énergie pour l'éclosion. En tout état de cause la décapsulation reste le procédé le plus performant pour avoir une parfaite éclosion. L'analyse des taux et l'efficacité d'éclosion des différentes populations algériennes confirment leur ajustement aux cystes commerciaux communs, et peuvent être utilisés en aquaculture.

La qualité des souches dépend également de leur composition, en particulier leur contenu en acides gras essentiels. Leur richesse en acide docosahexaénoïque (22 :6n-3) et en acide eicosapentaénoïque (20 :5n-3) est d'une grande importance, spécialement pour l'aquaculture marine. Ces acides ne sont pas biosynthétisés par la majorité des poissons et crustacés (LEGER et al., 1986). La détermination des acides gras dans les cystes collectés, montre des niveaux élevés d'acide eicosapentaénoïque pour certains et des quantités d'acide linoléinique élevé pour d'autres. Les populations de Bethioua littorales riches en acide eicosapentaénoïque semblent être appropriées pour l'aquaculture marine, alors que les populations d'Adrar et Melghir riches en acide linoléinique sont appropriées pour l'aquaculture d'eau douce. Parallèlement, il se dégage un groupe intermédiaire composé des populations de Relizane, Ezzamoule et Goléa qui s'adapte aux deux types d'aquaculture

En matière de biogéographie de l'*Artemia*, les informations concernant la biodiversité du genre Afrique du Nord ont subi de grandes modifications ces dernières années. Il apparaît que la présence relative de l'espèce sexuelle *A. salina* a notablement changé par rapport aux formes parthénogénétiques particulièrement les parthénogénétiques diploïdes. A partir des résultats obtenus on peut déduire que la présence de la forme parthénogénétique tétraploïde est assez commune à l'Afrique du Nord. Cette observation contredit complètement la supposition qui stipule que la distribution géographique des formes polyploïdes de l'*Artemia* sont propres aux grandes latitudes septentrionales.

BIBLIOGRAPHIE

- ABATZOPOULOS, T.J., J. A. BEARDMORE, J.S. CLEGG & P. SORGELOOS. 2002. *Artemia: Basic and Applied Biology*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Londres: 286 pp.
- ABATZOPOULOS, T.J., B. ZHANG & P. SORGELOOS. 1998. International study on *Artemia*. LIX. *Artemia tibetiana*: preliminary characterization of a new *Artemia* species found in Tibet (people's Republic of China). *Int J Salt Lake Res*, 7: 41-44.
- ABATZOPOULOS, T.J., C.D. KASTRITSIS & G.V. TRIANTAPHYLLIDIS. 1986. A study of karyotypes and heterochromatic associations in *Artemia*, with special reference to two N. Greek populations. *Genetica* 71:3-10p.
- ABATZOPOULOS, T. J., F. AMAT, A. D. BAXEVANIS, G. BELMONTE, F. HONTORIA, S. MANIATSI, S. MOSCATELLO, G. MURA & N. V. SHADRIN, 2009. Updating geographic distribution of *Artemia urmiana* Günther, 1890 (Branchiopoda, Anostraca) in Europe: an integrated and interdisciplinary approach. *International Review of Hydrobiology*, 94 (5): 560-579.
- ABATZOPOULOS, T.J., C.D. TRIANTAPHYLLIDIS & C.D. KASTRITSIS. 1987. Preliminary studies on some *Artemia* populations from northern Greece.: 1.07-114. *In: Artemia Research and its Applications*. Vol. 1. P. Sorge1oos, D .A. Bengtson, W. Declair and E. J aspens (Eds.). Universa Press. Wetteren (Belgium). 380 pp.
- ABREU-GROBOIS, F.A. & J.A. BEARDMORE. 1982. Genetic differentiation and speciation of the brine shrimp *Artemia*: 345-376. *En: Mechanisms of speciation*. R. Alan (Ed.). Liss Inc. New York (USA): 546 pp.
- ALVAREZ, Z., & R. SANCHEZ, 1994. Evaluacion de la calidad de la cepa de *Artemia* las Cumaraguas, Paraguana, Venezuela. *Cienc Mar* 20(3):287-299.
- AMAT, F. 1979. Diferenciación y distribución de las poblaciones de *Artemia* (Crustaceo Branquiopodo) de España. Tesis doctoral. Universidad de Barcelona. 251 pp.
- AMAT, F. 1980a. Différentiation in *Artemia* strains from Spain.: 19-39. *En: The Brine Shrimp Artemia*. Vol. 1. G. Persoone, P. Sorgeloos, O. Roels yE.Jaspers (Eds.). Univerlsa Press. Wetteren (Belgium). 345 pp.
- AMAT, F. 1980b. Diferenciación y distribución de las poblaciones de *Artemia* (Crustaceo, Branquiopodo) de España. 1. Analisis morfológico. Estudios alométricos referidos al crecimiento y a la forma. *Inv. Pesq.*, 44(1): 217-240.
- AMAT, F. 1980c. Diferenciación y distribución de las poblaciones de *Artemia* (Crustaceo Branquiopodo) de España. II. Incidencia de la salinidad ambiental sobre la morfología y el desarrollo, *Inv. Pesq.*, 44(3): 485-503.
- AMAT, F. 1981. Zygogenetical and parthenogenetical *Artemia* in the Cadiz sea side Salterns Marine Ecology Progress Series. 13: 291-293.
- AMAT, F. 1982a. Diferenciación y distribución de las poblaciones de *Artemia* (Crustaceo Branquiopodo) de España. Oviparismo y ovoviviparismo. Estudio cualitativo y cuantitativo. *Inv. Pesq.*, 46(1): 3-13.

- AMAT, F. 1982b. Diferenciación y distribución de las poblaciones de *Artemia* (Crustaceo Branquiopodo) de España. IV. Biometría de quistes y nauplios. *Inv. Pesq.*, 46(1): 55-62.
- AMAT, F. 1983. Diferenciación y distribución de las poblaciones de *Artemia* (Crustaceo Branquiopodo) de España, VI. Biogeografía. *Inv. Pesq.*, 47(2): 231-244.
- AMAT, F. 1985a. Biología de *Artemia*. *Inf Téc. Inst. Inv. Pesq.*, 126-127: 1-60.
- AMAT, F. 1985b. Utilización de *Artemia* en acuicultura. *Inf Téc. Inst. Inv. Pesq.*, 128-129: 1-60.
- AMAT, F., C. BARATA, F. HONTORIA, J. C. NAVARRO & I. VARO. 1995b. Biogeography of the genus *Artemia* (Crustacea, Branchiopoda, Anostraca) in Spain. *International Journal of Salt Lake Research* 3: 175-190.
- AMAT, F., F. HONTORIA, J. C. NAVARRO, A. E. GOZALBO & I. V. VARO. 1991. Bioecología de la *Artemia* (Crustacea, Branchiopoda) en la laguna de la Mata, Torrevieja, Alicante. Instituto de Torre de la Sal (CSIC), Castellon, España.
- AMAT, F., F. HONTORIA, O. RUIZ, A. GREEN, M. SANCHEZ, J. FIGUEROLA & F. HORTAS 2007. The American brine shrimp as an exotic invasive species in the Western Mediterranean. *Biological Invasions*. 7: 37-47.
- ARTOM, C. 1905. Osservazioni generali sull'*Artemia salina* Leach delle saline di Cagliari. *Zool. Anz.*, 29(9): 284-291.
- ARTOM, C. 1906. Ricerche sperimentali sul modo di riprodursi dell'*Artemia salina* Lin. Di Cagliari. *Biol. Zbl.*, 26(1): 26-32.
- ARTOM, C. 1907a. Ricerche sperimentali sulla variazione dell'*Artemia salina* Lin. Di Cagliari. *Biologica*, 1: 247-264.
- ARTOM, C. 1907b. La variazione dell'*Artemia salina* (Linn.) di Cagliari sotto l'influsso della salsedina. *Mem. R. Accad.*, 57: 221-254.
- ARTOM, C. 1922. Nuovi dati sulla distribuzione geografica e sulla biologia delle due specie (Micropirenica e Macropirenica) del genere *Artemia*. *Rend. Acc. Naz. Lincee*, 5 (XXXI): 529-532.
- ARTOM, C. 1931. L'origine e l'evoluzione della partenogenesi attraverso i differenti biotipi di una specie collettiva (*Artemia salina* L.) con speciale riferimento al biotipo diploide partenogenetico di Sète. *Memoire della Reale Accademia D'Italia, Classe di scienze [fisiche, matematiche e naturali]*, 2(B. 1): 1-57.
- BARATA, C., F. HONTORIA, F. AMAT & R. A. BROWNE, 1996a. Demographic parameters of sexual and parthenogenetic *Artemia*: temperature and strain effects. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 196:329-340
- BARATA, C., F. HONTORIA, F. AMAT & R. A. BROWNE, 1996b. Competition Between sexual and parthenogenetic *Artemia*: temperature and strain effects. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 196: 313-328
- BARATELLI, L., V. VARATTO, G. BADARACCO, G. MURA, B. BATTAGLIA & C. BARIGOZZI. 1990. Biological data on the brine shrimp *Artemia* living in the Italian saltworks. *Atti Accademia Nazionale dei Lincei. Memorie*. 1:45-53.

- BARIGOZZI, C. 1939. La biologia di *Artemia salina* Leach studiata in aquario. Morfologia e velocità dello sviluppo. *Atti della Soc. It. Sc. Nat.*, 78: 137.
- BARIGOZZI, C. 1974. *Artemia* : a survey of its significance in genetic problem. *Evol Biol* 7: 221-252pp
- BARIGOZZI, C. 1989. Cytogenetics and speciation of the brine shrimp *Artemia*. *Atti Accademia Nazionale Lincei rendiconti*, 19: 57-96pp.
- BARIGOZZI, C. & L. BARATELLI. 1993. New data for defining the species *Artemia tunisiana* Clark and Bowen. *Rendiconti Fisiche Accademia Lincei*, 4:39-42pp.
- BARIGOZZI, C. 1980. genus *Artemia*: Problems of systematics. In: G. Persoone, P. Sorgeloos, O. Roels and E. Jaspers (eds). *The brine Shrimp Artemia*. Vol. 1 Morphology, Genetics, Radiobiology, Toxicology. Universa Press, Wetteren, Belgium:147-153pp.
- BARIGOZZI, C & Z.L. BARATELLI. 1982. Presence and absence of chromacenter In populations of *Artemia*. *Rend Acc Naz Lincei* 71:122-125
- BAXEVANIS, A.D., I.KAPPA & T.J.ABATZOPOULOS. 2006. Molecular phylogenetics and asexuality in the brine shrimp *Artemia*. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 40: 724-738.
- BEARDMORE, J.A., E.J. PILLA & K.M. THOMAS. 1995. Genetic variation: speciation, reproductive mode and potential for exploitation. *In: Book of abstracts of contributions presented at the International Conference "Improvement of the commercial production of marine aquaculture species"*. G.gajardo and P Couteau (eds), Puerto Montt, Chile, Dec.5-9.
- BECK, A.D. & D.A. BENGTON. 1981. ISA XXII. Nutrition in aquatic toxicology: diet quality of geographical strains of the brine shrimp *Artemia*: B9-147. *In: Aquatic Toxicology and Hazard Assessment: Fifth Conference*. J.G. Pearson, R.B. Forster y W.E. Bishop (Eds.). Amer. Soc. for Testing and Materials. Philadelphia (USA). PA:161-168.
- BECK, A.D., D.A. BENGTON & W.H. HOWELL. 1980. ISA. V. Nutritional value of five geographical strains of *Artemia*: effects on survival and growth of larval Atlantic silverside *Menidia menidia*: 249-259. *In: 171e Brine Shrimp Artemia*. Vol. 3. G. Persoone, P. Sorgeloos, O. Rads y E. Jaspers (Eds.). Universa Press. Wetteren (Belgium). 456 pp.
- BELK, D, G. ANDERSON & YU. HDU-SHEAU. 1990. Additional observations on variation in egg size among populations of *Streptocephalus sealii* (Anostraca). *Journal of Crustacea Biology*, 10: 128-133.
- BENGTON, D.A., P.LEGER & P.SORGELOOS, 1991. Use *Artemia* as food source For aquaculture. In: Browne, R.A., Sorgeloos, P., Trotman, C.N.A., (Eds), *Artemia biology*, vol. 11. CRC Press, boca Rato, Fl pp.255-285.
- BENZIANE, A. 1982. Problèmes géologiques et hydrogéologiques de la sebkha de Benziane (Nord-Ouest algérien). Doctorat de 3^{ème} cycle. Géologie des ensembles sédimentaires. *Spécialité Hydrogéologie*.
- BOGOTOVA, I. B., & Z. I. SHMAKOVA, 1980. Activation of diapause eggs in *Artemia salina* L. (in Russian)- *Gidrobiol. Zh.* 16:108-110.

- BOGOTOVA, I.B., & Z. L. EROFEEVA, 1985. Incubation of *Artemia salina* L. Diapause eggs without preliminary hatching stimulation (using hydrogen peroxide) (in Russian)-Gidrobiol. Zh.21:52-56.
- BOWEN, S.T. 1965. The genetics of *Artemia salina*. V. Crossing over between the X and Y chromosomes. *Genetics* 52: 695-710.
- BOWEN, S.T. & G. STERLING. 1978. Esterase and malate dehydrogenase isozym polymorphisms in 15 *Artemia* populations. *Comparative Biochemistry and Physiology*. 61B: 593-595.
- BOWEN, S.T., E.A.FOGARINO, K.N. HITCHNER, G.L. DANA, V.H.S. CHOW, M.R. BUONCRISTIANI & J.R. Carl. 1985. Ecological isolation in *Artemia*: Population differences in tolerance of anion concentrations. *J. Crust. Biol.* 5:106-129.
- BOWEN, S.T., J.P.DURKIN, G.STERLING & L.S.CLARK. 1978. *Artemia* hemoglobins: Genetic variation in parthenogenetic and zygogenetic populations. *Biological Bulletin* 155: 273-287.
- BOWEN, S.T., M.R. BUONCRISTIANI & J.R. Carl. 1988. *Artemia* habitats: ion Concentrations tolerated by one superspecies. *Hydrobiologia* 158: 201-214.
- BRAUER, A. 1983. Zur Kenntnis der Reifung des parthenogenetischen sich entwickelnden Eies von *Artemia salina*. *Arch Mikrosk Anat* 43: 162-222.
- BROWNE, R.A. 1980a. Reproductive pattern and mode in the brine shrimp. *Ecology*, 61(3): 466-470.
- BROWNE, R.A. 1980b. Competition experiments between parthenogenetic and sexual strains of the brine shrimp, *Artemia salina*. *Ecology*, 61(3): 471-474.
- BROWNE, R.A. 1982. The costs of reproduction in brine shrimp. *Ecology*, 63(1): 43-47.
- BROWNE, R.A. 1988. Ecological and genetic divergence of sexual and asexual brine shrimp (*Artemia*) from the Mediterranean basin. *Natl. Geogr. Research*, 4: 548-554.
- BROWNE, R.A. & K.M. HALANYCH, 1989. Competition between sexual and Parthenogenetic *Artemia*: a re-evaluation (Branchiopoda, Anostraca). *Crustaceana* 57: 57-71.
- BROWNE, R.A. & S.T. BOWEN. 1991. Taxonomy and population genetics of *Artemia*. In: Browne, R.A., Sorgeloos, P., Trotman, C.N.A. (Eds). *Artemia Biology*, CRC Press, Boca Raton, Florida, U.S.A: 221-235.
- BROWNE, R. A., L. E. DAVIS & S. E. Sallee, 1988. Temperature effects on life history traits and relative fitness of sexual and asexual *Artemia*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 124: 1-20.
- BROWNE, R.A., P. SORGeloos & C.N.A.TROTMAR, 1991. use of *Artemia* as food source for Aquaculture. *Artemia Biology* (Eds). CRC Press, Inc, Boca Raton, Florida, USA. 374: 255-285.
- BROWNE, R.A., S.E. SALLEE, D .S. GROS CH, W.O. SEGRETI & S.M. PURSER. 1984. Partitioning genetic and environmental components of reproduction and lifespan in *Artemia*.

Ecology, 65(3): 949-960.

- BRUGGEMAN, E., M. BAEZA-MESA, E. BOSSUYT y P. SORGELOOS. 1979. Improvements in the decapsulation of *Artemia* cysts: 309-315. En: *Cultivation of fish fry and its live food*. EMS special publication no. 4. E. Styczynska-Jurewicz, T. Backiel, E. Jaspers and G. Persoone (Eds.). European Mariculture Society. Bredene (Belgium). 534 pp.
- BRUGGEMAN, E., P. SORGELOOS y P. VANHAECKE. 1980. Improvements in the decapsulation technique of *Artemia* cysts.: 261-269. En: *The Brine Shrimp Artemia*. Vol. 3. G. Persoone, P. Sorgeloos, O. Roels y E. Jaspers (Eds.). Univers a Press. Wetteren (Belgium). 456 pp.
- CAI, Y. 1989. A redescription of the brine shrimp (*Artemia sinica*). *Wasmann Journal of Biology* 47: 105-110.
- CHRISTIE, W.W., 1982. *Lipid Analysis* (2ª edición). Pergamon Press, Oxford, 207 pp.
- CASTRO, T., G. CASTRO & R. De LARA. 1987a. Experimental production of an introduced *Artemia* strain in alkaline waters in the State of Mexico.: 319-325. In: *Artemia Research and its Applications*. Vol. 3. P. Sorgeloos, D.A. Bengtson, W. Declerck y E. Jaspers (Eds.). Univers a Press. Wetteren (Belgium). 556 pp.
- CASTRO, B.T., M.G. CASTRO, M.J. CASTRO, S.A. MALPICA & A.R. De LARA, 1997. Características morfométricas y calidad de los quistes de *Artemia* sp, (Crustacea: anostraca), habitante de aguas sulfatadas de Coahuila, Mexico. *Ciencias Marinas*:491-503.
- CASTEL, J.D., BELL, J.G., TOCHER, D.R. & J.R. SARGENT, 1994. Effects of Purified diets containing different combination of arachidonic and docosahexaenoic acid on survival, growth and fatty acid composition of juvenile turbot, *Scophthalmus maximus*. *Aquaculture*. 128, 315-333.
- CLAUS, C., F. BENIJTS & P. SORGELOOS. 1977. Comparative study of different geographical strains of the brine shrimp, *Artemia salina*. In: *Fundamental and Applied Research on the Brine Shrimp, Artemia salina (L.) in Belgium*, EMS Spec. Publ. Vol. 2. G. Persoone and E. Jaspers (Eds.). Inst. Mar. Scien. Res. Bredene (Belgium) :91-105.
- CAMARGO, W.N. 2002 Characterisation of artemia population of Colombia for use in Aquaculture. Doctoral thesis. Gent University. 116
- CLEGG, J.S. & F.P. CONTE. 1980. A review of the cellular and developmental biology of *Artemia*.: 11-54. In: *171e Brine Shrimp Artemia*. Vol. 2. G. Persoone, P. Sorgeloos, O. Reels y E. Jaspers (Eds.). Univcrsa Press. Wetteren (Bélgium). 664 pp.
- COLE, G.A. & R.J. BROWN. 1967. Chemistry of *Artemia* habitats. *Ecology*, 48(5): 858-861.
- CORREA, F. S. & L. F. R. BUCKLE, 1993. Morfología y biometría de cinco poblaciones de *Artemia franciscana* (Anostraca:Artemiidae). *Rev. Biol. Trop.* 41(1): 103-110.
- CROGHAN, P.C. 1985a. The osmotic and ionic regulation of *Artemia salina* (L). *J Exp Biol* 35(1): 219-233.
- CROWE, J.H., L.M. CROWE, L. DRINKWATER & W.B. BUSA, 1987. Intracellular pH and anhydrobiosis in *Artemia* cysts.: 19-40. In: *Artemia Research and its Applications*. Vol. 2. W. Declerck, L. Moens, H. Slegers and E. Jaspers (Eds.). Universa Press. Wetteren (Belgium). 562 pp.

- D'AGOSTINO, A.S. 1965. Comparative studies of *Artemia salina* (development and physiology). Ph.D. Thesis. New York University. New York (USA). 83 pp.
- DALSGAARD, J., St. M.JOHN, G. KATTNER, D. MULLER-NAVARRA & W. HAGEN. 2003. Fatty acid trophic markers in the pelagic marine environment. *Adv. Mar. Biol.* 46, 225-340.
- DANA, G.L. & P.H. LENZ. 1986. Effects of increasing salinity on an *Artemia* Population from Mono Lake, California. *Oecologia*, 68: 428-436.
- DESVILLETES, C., G. BOURDIER, J.C. BRETON & P. COMBROUZE, 1994. Fatty Acids as organic markers for the study of trophic relationships in littoral cladoceran communities of a pond. *J. Plankton Res.* 16, 643-659.
- DRINKWATER, L.E & J.S. CLEGG. 1991. *In: Artemia biology* (Browne, R.A., Sorgeloos. P., and Trotman, C.N.A., eds). CRC Press, Boca Raton: 93-118
- DUTRIEU, J.1960. Observations biochimiques et physiologiques sur le developpement d'*Artemia salina* Leach. *Archs. Zool. exp. gén.* 99: 1-134.
- ESTEVEZ, A., M. IZHIKAWA & A.KANZAWA, 1997. Effects of arachidonic acid on pigmentation and fatty acid composition of japanese flounder, *Paralychthys olivaceous* (Temminck and Schlegel). *Aquaculture Research*, 28, 279-289.
- FAUTREZ, J. & N. FAUTREZ-FIRLEFYN. 1971. Contribution à l'étude des glandes coquillières et des coques de l'œuf d'*Artemia salina*. *Arch. Biol. (Liège)*, 82: 41-83.
- FOLCH, J., N. LEES & G.H. SLOANE-STANLEY, 1957. A simple method for the Isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.* 226, 497-509.
- FRYER, G. 1987. A new classification of the branchiopod Crustacea. *Zoologic Journal of the Linnean society*, 91: 357-383
- FUJITA, S., T. WATANABE & C. KITAJIMA, 1980. Nutritional quality of *Artemia salina* from different locations, as a living feed from the viewpoint of essential fatty acids for marine fish. *En: Persoone, G., Sorgeloos, P., Roels, O., Jaspers, E.(Eds.)*, The Brine Shrimp *Artemia*. Ecology, Culturing, Use in Aquaculture. Wetteren Universa Press, Belgium, pp. 456.
- GAGNEUR, J., & H.M. KARA, , 2001. Limnology in Algeria. *In: Wtzel, R.G., Gopal B.,(Eds)*.Limnology in Developing Countries 3, 1-34.
- GAJARDO, G.M. & J.A. BEARDMORE, 1989. Ability to switch reproductive mode in *Artemia* is related to maternal heterozygosity. *Mar Ecol Prog Ser* 55:191.
- GAJARDO, G. M., C. MERCADO, J.A. BEARDMORE & P. SORGELOOS. 1999. International study on *Artemia*. LX. Allozyme data suggest that a new *Artemia* population in southern Chile (50° 29'S; 73° 45'W) is *A. persimilis*. *Hydrobiologia* 405:117-123.
- GAJARDO, G.M, J. CRESPO, A. TRIANTAPHYLLIDIS, A. TZIKA, A.D. BAXEVANIS, I. KAPPAS & T.J. ABATZOPOULOS. 2004. Species identification of Chilean *Artemia* populations based on mitochondrial DNA RFLP analysis. *J. Biogeogr.* 31: 547-555.

- GAJARDO, G., M. DA CONCEICAO, L. WEBER & J.A. BEARDMORE. 1995. Genetic variability and interpopulational differentiation of *Artemia* strains from South America. *Hydrobiologia* 302: 21-29.
- GEDDES, M.C. 1980. The brine shrimps *Artemia* and *paraartemia* in Australia. *In* : the Brine shrimp *Artemia*. Vol 3. ecology, culturing, Use in Aquaculture. G. Persoone, P. Sorgeloos, O.A. Roels and E. Jaspers (eds). Universa Press, Wetteren, Belgium. 57-65pp
- GALABERT, R., R. SANCHEZ & L. Solís. 1993. Valoración de la calidad de una cepa cubana de *Artemia*. *Rev. Invest. Marinas, Habana, Cuba* 14: 92-101.
- GILCHRIST, B.M. 1956. The oxygen consumption of *Artemia salina* (L.) in different salinities. *Hydrobiologia* 8: 54-65.
- GILCHRIST, B.M. 1960. Growth and form of the brine shrimp *Artemia salina* L. *Proc. Zool. Soc. Lond.*, 134(2): 221-235.
- GOLDSCHMIDT, E. 1952. Fluctuation in chromosome number in *Artemia salina*. *J Morphology* 91 (1): 111-133
- GUILLARD, R.R.I. & J.H.RYTHYER. 1962. Studies on marine planktonic diatoms. I. *Cyclotella nana* Hustedt and *Detonula confervacea* Cleve. *Can. J. Microbiol.* 8, 229-239.
- GUNTHER, R.T. 1890. Crustacea. *In*: Günther, R.T. (Ed.) Contributions to the natural history of Lake Urmi, N.W. Persia and its neighbourhood. *Journal of the Linnean Society (Zoology)* 27: 394-398.
- HEATH, H.1924. The external development of certain phyllopods. *J. Morphol.* 38, 453-483.
- HALFER-CERVINI, A.M, M. PICCINELLI, T. PROSDOCIMI & L.BARATELLI-ZAMBRUNI. 1968. Sibling species in: *Artemia* (Crustacea: Branchiopoda). *Evolution* 22:373-381
- HONTORIA, F. 1990. Caracterización de tres poblaciones originarias del área levantina española del crustáceo branquiópodo *Artemia*. Aplicación en acuicultura. Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona, España, 326 pp.
- HONTORIA, F., J.C. NAVARRO, I. VARO, A GOZALBO, F. AMAT & M.N. VIEIRA.1987b. Ensayo de caracterización de cepas autoctonas de *Artemia* de Portugal. *Seminario sobre acuicultura*. Abril1987, Porto (Portugal).
- HONTORIA, F., A GOZALBO, J.C. NAVARRO, I. VARO & F. AMAT,1989a. Influencia de los factores ambientales sobre la eclosion de quites de *Artemia* de la lagune de la Mata (Alicante, España):147-157 *In*: Acuicultura Intermareal. II Simposio de acuicultura de esteros y Zonas Intermareales. Cadiz (España). Noviembre1988. M, Yufera (ed.). Inst. Cien. Mar. Andalucía. Cadiz (España). 378pp.
- HONTORIA, F., J.C. NAVARRO, I. VARO & F. AMAT. 1989b. Utilisation of *Artemia* cysts in marine larvae cultures: a model of quality evaluation. *Aquacultural Engineering*, 8: 127-138.
- HONTORIA, F. & F. AMAT, 1992a. Morphological characterization of adult *Artemia* from different geographical origin. Mediterranean populations. *J. Plankt. Res.* 14 (7), 949-959.
- HONTORIA, F. & F. AMAT, 1992b. Morphological characterization of adult *Artemia* (Crustacea, Branchiopoda) from different geographical origin: American populations. *J. Plankt. Res.* 14(10), 1461-1471.

- ITO, M.K. & K.L.SIMPSON, 1996. The biosynthesis of w3 fatty acids from 18:2w6 in *Artemia* sp. *Comp. Biochem. Physiol.* 115 B, 69-76.
- IZQUIERDO, M.S., J.SOCCORO, L.ARANTZAMENDI & C.M.HERNANDEZ-CRUZ, 2000. Recent advances in lipid nutrition in fish larvae. *Fish Physiol. Biochem.*, 22, 97-107.
- KARA, M.H., K.A. BENGRAINE, F. DERBAL, L. CHAOUI & M. AMAROUAYACHE, 2004. Quality evaluation of a new strain of *Artemia* from Chott Marouane (Northeast Algeria). *Aquaculture.*, 235: 361-369.
- KELLOGG, V.L. 1906. A new *Artemia* and its life conditions. *Science*, 24: 594-596.
- KHALAF, A.N., M.A. LA TTIF & Z.R. ZAHID. 1978. Structure and ultrastructure of the egg shell of *Artemia* (Abstract).: 97. En: *The Brine Shrimp Artemia*. Vol. 1. G. Persoone, P. Sorgeloos, O. Roels y E. Jaspers (Eds.). Universa Press. Wetteren (Belgium). 345 pp.
- KINNE, O., 1977. Cultivation of animals: research cultivation. En: Kinne, O. (Ed.), *Marine Ecology*, Vol. 111, Cultivation, Part 2. Wiley, Chichester, pp. 579-1293.
- KUENEN, D.J. 1939. Systematical and physiological notes on the brine shrimp, *Artemia Arch néerl Zool* 3: 365-449.
- KUENEN, D.J. & L.G.M. BAAS-BECKING. 1938. Historical notes on *Artemia salina* (L.).*Zool. Med.* 20: 222-230. In: Ben Abdelkader, N. 1985. l'Artemia dans les Chotts les sebkhas et les salines de Tunisie. *Bull. Inst. Natn. Scient.Tech.Océanogr. Pêche Salambo.* 12 : 87-95.
- LAVENS, P., W. TACKAERT & P. SORGeloos. 1986. ISA. XLI. The influence of culture conditions and specific diapause-deactivation methods on the hatchability of *Artemia* cysts, produced in a standard culture system. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 31: 179-203.
- LAVENS, P. & P. SORGeloos. 1987a. The cryptobiotic state of *Artemia* cysts its diapause deactivation and hatching: a review.: 27-63. En: *Artemia Research and its Applications*. Vol. 3. P. Sorgeloos, D.A. Bengtson, W. Decler y E. Jaspers (Eds.), Universa Press. Wetteren (Belgium). 556 pp.
- LAVENS, P., P.LEGER & P.SORGeloos, , 1989. Manipulation of the fatty acids profile in *Artemia* offspring produced in intensive culture systems. In: N.de Pauw. E.Jaspers, H.Ackefors and n.Wilkins (editors), *aquaculture, a biotechnology in Progress*.European Aquaculture society, bredene, pp. 731-739.
- LAVENS, P., P. COUTTEAU & P. SORGeloos, 1995. Laboratory and field variation in HUFA enrichment of *Artemia* nauplii. In: Lavens P., Jaspers E., Roelants I. (eds.) *Larvi 95 Fish and Shellfish Larviculture*, Eur. Aquacult. Soc. Spec. publ. Gent 24:137-140.
- LAVENS, P. & P. SORGeloos. 1996. Manual on the production and use of live food for aquaculture. *FAO Fisheries Technical Paper* 361:175-180.
- LAVENS, P. & P.SORGeloos, 2000. The history, present status and prospects of the availability of *Artemia* cysts for aquaculture. *Aquaculture* 181: 397-403.
- LAW, J. H. & B. J. CRESPI, 2002. The evolution of geographic parthenogenesis in *Timema* walkingsticks. *Molecular Ecology*, 11: 1417-1489.

- LEACH, W.E. 1819. Entomostraca. *In: Dictionaire des sciences naturelles* 4:524-543
- LEGER, P., P. SORGELOOS, O.M. MILLAMENA & K.L. SIMPSON, 1985. ISA. XXV. Factors determining the nutritional effectiveness of *Artemia*, the relative impact of chlorinated hydrocarbons and essential fatty acids in San Francisco bay and San Pablo Bay *Artemia*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 93:71-82.
- LEGER, P., D.A. BENGTON, K.L. SIMPSON & P. SORGELOOS. 1986. The use and nutritional value of *Artemia* as a food source. *Marine Biology and Oceanography: an annual review*. M. Barries (Ed.). Aberdeen University Press. (UK), 24: 521-623.
- LEGER, P., E. NAESSENS-FOUCQUAERT & P. SORGELOOS, 1987a. ISA. XXXV. Techniques to manipulate the fatty acid profile in *Artemia* nauplii and the effect on its nutritional effectiveness for the marine crustacean *Mysidopsis bahia* (M.). p. 411-424. *In: Artemia* research and its applications. Vol. 3. Ecology, Culturing. Use in aquaculture. Sorgeloos P., D.A. Bengtson, W. Decler, and E. Jaspers (Eds). Universa Press, Wetteren, Belgium. 556p.
- LEGER, P., D.A. BENGTON, P. SORGELOOS, K.L. SIMPSON & A.D. BECK. 1987b. The nutritional value of *Artemia*: a review. *In: Artemia* research and its applications. Ecology, culturing, use in aquaculture, edited by P. Sorgeloos et al., Universa Press, Wetteren, Belgium:357-327
- LENZ, P.H. 1987. Ecological studies on *Artemia*: a review. *In: Artemia* Research and its Applications. Vol. 3. Ecology, Culturing, Use in Aquaculture. P. Sorgeloos, D.A. Bengtson, W. Decler and E. Jaspers (Eds.). Universa Press. Wetteren (Belgium). 5-18 pp.
- LENZ, P. & G.L. DANA. 1987. Life-cycle studies in *Artemia* : a comparison between a sub-tropical and a temperate population.: 90-100. *En: Artemia* Research and its Applications. Vol. 3. P. Sorgeloos, D.A. Bengtson, W. Decler y E. Jaspers (Eds.). *Universa Press*. Wetteren (Belgium). 556 pp.
- LENZ, P.H. & R.A. BROWNE. 1991. Ecology of artemia. *In: Artemia* biology. R.A. BROWNE, P. Sorgeloos and C.N.A. Trotman (eds), CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, USA. 237-253pp
- LINNE, C. 1758. *Systema Naturae*, Ed. X. I-fafniae. 634 pp.
- MacDONALD, G.H & R.A. BROWNE. 1989. Population dynamics of an asexual Brine shrimp (*Artemia*) population. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 133: 169-188.
- MARGALEF, R. 1953. Los crustaceos de las aguas continentales ibéricas. *Inst. forest. Invest. Exp. Madrid* (España). 243p
- MASSON, D.T., 1963. The growth response of *Artemia salina* (L) to various feeding regimens. *Crustaceana*, 5:138-150.
- McEVOY, L.A, J.C NAVARRO, F. HONTORIA, F. AMAT & J.R. SARGENT, 1996. Two novel *Artemia* enrichment diets containing polar lípido. *Aquaculture* 144:339-352
- MEDINA, G.R., J.GOENAGA, F. HONTORIA, G. COHEN & F. AMAT. 2007. Effects of temperature and salinity on prereproductive life span and reproductive traits of two species of *Artemia* (Branchiopoda, Anostraca) from Argentina: *Artemia franciscana* and *Artemia persimilis*. *Hydrobiologia* 579, 41-53.
- METALLI, P. & E. BALLARD IN. 1972. Radiobiology of *Artemia*: radiation effects And ploidy. *Current Topics in Radiation Research Quarterly*, 7: 181-240.
- MIANPING, Zheng. 1997. An introduction to saline Lakes on the Qinghai-Tibet Plateau Dumont, H.J. and Werger, M.J.A. (eds.). kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands.

- MURA, G., 1990. *Artemia salina* (Linnaeus, 1758) from Lymington, England: frontal Knob Morphology by scanning electron microscopy. *Journal of Crustacean Biology*, **10**: 364-368.
- MURA, G., F.FERRARI, F.FABIETTI, M.DELISE & A.BOCCA, , 1997. Biochemical (fatty acid profile) diversity in anostracan species of the genus *Chirocephalus*. *Hydrobiologia* 359, 237-241.
- MURA, G., F.FERRARI, F.FABIETTI, M.DELISE & A.BOCCA, 1998. Intraspecific variation of fatty acid profile in wild populations of *Chirocephalus diaphanous* (Anostraca). *Crustaceana* 71, 785-800.
- MURA, G., F.FERRARI, F.FABIETTI, M.DELISE & A.BOCCA, 2000. Seasonal variation of the fatty acid profile in cyst and wild adults of the fairy shrimp *Chirocephalus kerkyrensis* Pesta, 1936 (Anostraca). *Crustaceana* 73:479-495.
- MORAITI, M., J.CASTRITSI, H.MILIOU & Y.P.KOTZAMANIS, 2007. Fatty acids composition and biometry of five Greek *Artemia* populations suitable for aquaculture purposes. *Aquaculture Research* 38,1664-1672.
- MUÑOZ, J., A. GOMEZ, A. J. GREEN, J. FIGUEROLA, F. AMAT & C. RICO, 2008. Phylogeography and local endemism of the native Mediterranean brine shrimp *Artemia salina* (Branchiopoda:Anostraca). *Molecular Ecology*, **17**: 3160-3177.
- NAVARRO, J.C. 1985. Aportaciones al conocimiento del valor nutritivo de nauplios de *Artemia* de diferentes cepas como alimento para larvas de peces y crustaceos, Tesis de Licenciatura. Universidad de Valencia. Valencia (España). 108 pp.
- NAVARRO, J.C., 1990. Caracterización de las cepas españolas de *Artemia* desde el punto de vista de su valor nutritivo y de sus fenotipos electroforéticos. Implicaciones prácticas en Acuicultura. Tesis Doctoral. Universidad de Valencia, España, 350 pp.
- NAVARRO, J.C., F. AMAT & J.R.SARGENT, 1991. A study of the variations in lipid levels, lipid class composition and fatty acid composition in the first stages of *Artemia* sp. *Mar. Biol.* 111, 461-465.
- NAVARRO, J.C., F. AMAT & J.R.SARGENT, 1992. Fatty acid composition of coastal and inland *Artemia* sp. populations from Spain. *Aquaculture* 102, 219-230.
- NAVARRO, J.C. & F. AMAT, 1992. Effect of algal diets on the fatty acid composition of brine shrimp, *Artemia* sp. cysts. *Aquaculture* 101, 223-227.
- PERSOONE, G. & P. SORGELOOS. 1980. General aspects of the ecology and biogeography of *Artemia*.: 3-24. En: *The Brine Shrimp Artemia*. Vol. 3. G. Persoone, P. Sorgeloos, O. Roels y E. Jaspers (Eds.). Universa Press. Wetteren (Belgium). 456 pp.
- PICCINELLI, M. & T. PROSDOCIMI. 1968. Descrizione tassonomica delle due specie *Artemia salina* L. *Artemia persimilis*. *Rend. Inst. Lomb. Sci Lett classe Sci* 102(B):113-118.
- PILLA, E.J.S. & J.A. BEARDMORE. 1994. Genetic and morphometric differentiation in Old World bisexual species of the brine shrimp (*Artemia*). *Heredity* 72:47-56.
- POUGET, M. 1971. Etude agro-pedologique du bassin de Zahrez gharbi (feuille du rocher de sel) R.A.d.P. Secretariat d'état à l'hydraulique, Alger 1971, 1 vol., 160p.
- ROYAN, J.P., SUMITRA-VIJAYARAGHAVAN, L. KRISHNAKUMARI & N. RAMAIAH. 1987. Cyst quality and hatching in parthenogenetic brine shrimp, *Artemia*. *Indian Journal of Marine Sciences*, 16: 249-252.
- ROLLEFSEN, G., 1939. Artificial rearing of fry of seawater fish. Preliminary communication. *Rapp. P.-V. Reun. Cons. perm. int. Explor. Mer*, 109-133

- RUIZ, O., G.R. MEDINA, G. COHEN, F. AMAT & J.C. NAVARRO. 2007. Diversity of the fatty acid composition of *Artemia* sp. cysts from Argentinean populations. *Mar. Ecol. Progr. Series*, 335, 155-165.
- RUNSHENG, Z. & L. FENGQI, 1990. Distribution of *Artemia* in Bashang region of PR China. *Artemia Newsletter*, 5:33
- SARGENT, J.R., J.G. BELL, M.V. BELL, R.J. HENDERSON & D.R. TOCHER, 1995. requirement criteria for essential fatty acids in marine fish larval feeds. *Aquaculture* 155:117-127.
- SARGENT, J.R., L.A. McEVOY & J.G. Bell, 1997. Requirements, presentation and Sources of polyunsaturated fatty acid in marine fish larval feeds. *Aquaculture*, 155,127-177.
- 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 Gantier* : 58-60.
- SEALE, A., 1933. Brine shrimp (*Artemia*) as a satisfactory live food for fishes. *Trans. Am.Fish. Soc.* 63, 129-130.
- SICK, L.V., 1976. Nutritional effect of five species of marine algae on the growth, development and survival of the brine shrimp *Artemia salina*. *Mar Biol.*, 35:69-78.
- STEFANI, R. 1963. La digametria femminile in *Artemia salina* Leach e la costituzione del corredo cromosomico nei biotipi salini di Cagliari. *Caryologia* 16(3):625-636.
- STEFANI, R. 1964. L'origine dei maschi nelle popolazione parthenogenetiche di *Artemia salina*. *Riv Biol* 21 :74-87.
- SORGELOOS, P., 1973. First report on the triggering effect of light on the hatching mechanism of *Artemia salina* dry cysts. *Marine Biology*, 22(1): 75-76.
- SORGELOOS, P., 1980. The use of the brine shrimp *Artemia* in aquaculture.: 25-46. En: *The Brine Shrimp Artemia*. Vol. 3. G. Persoone, P. Sorgeloos, O. Roels y E. Jaspers (Eds.). Univers a Press. Wetteren (Belgium). 456 pp.
- SORGELOOS, P., G.PERSOONE, M.BAEZA-MESA, E. BOSSUYT & E.BRUGGEMAN.,1978. The use of *Artemia* cysts in aquaculture: - the concept "Hatching efficiency" – description of a new method for eyst processing.: 715-721. In: *Proc. 9th. Annual Meeting World Mariculture Society*. J.Y. Avault (Ed.). Louisiana State University. Baton Rouge (Florida, USA). 807 pp.
- SORGELOOS,P.,P.LAVENS,P.LEGER,W.TACKAERT & D.VERSICHELE.1986. Manual for the culture and use of brine shrimp *Artemia* in aquaculture. State University of Ghent. (Belgium). 319 pp.
- TACKAERT, W., P. VANBAECKE & P. SORGELOOS. 1987. Preliminary data on the heritability of some quantitative characteristics in *Artemia*.: 241-248. In: *Artemia Research and its Applications*, Vol. 1. P. Sorgeloos, D.A. Bengtson, W. Declair and E. Jaspers (Eds.). Universa Press. Wetteren (Belgium). 380 pp.
- TAKAMI, A., 1989. Two Straits of *Artemia* in Urmia Lake (Iran). *Artemia News Letters*,13:5.

- THRELKELD, S.T., 1976. Starvation and size structure of zooplankton communities Freshwater Biol., 6: 489-496.
- TRIANANTAPHYLLIDIS, G.V., T.J.ABATZOPOULOS & P.SORGELOOS. 1998. Review of the Biogeography of the genus *Artemia* (Crustacea, Anostraca). *Journal of Biogeography* 25: 213-226
- TRIANANTAPHYLLIDIS, G.V., G.R.J.CRIEL, T.J.ABATZOPOULOS, K.M.THOMAS, J. PELWEMAN, J.A. BEARDMOR & P. SORGELOOS. 1997. International Study on *Artemia*. LVII. Morphological and molecular characters suggest conspecificity of all bisexual European and North African *Artemia* populations. *Marine Biology* 129:477-487.
- TRIANANTAPHYLLIDIS, G.V., G.R. CRIEL, T.J. ABATZOPOULOS & P.SORGELOOS.1996. International Study on *Artemia*. LIII. Morphological study of *Artemia* with emphasis to Old World Strain. I. Bisexual populations. Int. Symp. On Saline Lakes.
- TILMAN, D., 1982. Resource competition and community structure. Princeton Univ. Press. New Jersey, 269pp.
- TIZOL-CORREA, R., L.CARREON-PALAU, B.O.ARREDONDO-VEGA, G. MURUGAM, L.TORRENTERA, TDN.J. MALDONADO-MONTIEL & A.M. MAEDA-MARTNEZ, 2006. Fatty acid composition of *Artemia* (Brachiopoda: Anostraca) cysts from tropical salterns of South Mexico and Cuba. *Journal of Crustacea Biology*, 26(4):503-509.
- TOCHER, D.R., G. MOURENTE & J.R. SARGENT, 1997. The use of silages prepared from fish neural tissues as enrichers for rotifers (*B. plicatilis*) and *Artemia* in the nutrition of larval marine fish. *Aquaculture* 148:2-3.
- TORRENTERA-BLANCO, L. 1993. Ecology and evolution of Yucatan Peninsula. *Artemia*. Doctor Thesis, University of Wisconsin, Wisconsin, EEUU. 104 p.
- VAN BALLAER, E., D. VERSICHELE, P. V ANHAECKE, P. LEGER, N. BEN ABDEL KADER, S. TURKI & P. SORGELOOS. 1987. Characterization of *Artemia* From different localities in Tunisia with regard to their use in local aquaculture: 199-209. In: *Artemia Research and its Applications*. Vol. 1. P. Sorgeloos, D.A. Bengtson, W. Decler and E. Jaspers (Eds.). Universa Press. Wetteren (Belgium). 380 pp.
- VAN DER LINDEN, A., R. BLUST, AJ. VAN LAERE & W. DECLEIR. 1988. Light-induced release of *Artemia* dried embryos from diapause: analysis of metabolic status. *The Journal of Experimental Zoology*, 247: 131-138.
- VANHAECKE, P., A. COOREMAN & P. SORGELOOS. 1981. TSA. XV. Effect of light intensity on hatching rate of *Artemia* cysts from different geographical origin. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 5: 111-114.
- VANHAECKE, P. & P. SORGELOOS.1980a. ISA IV. The biometrics of *Artemia* strains from different geographical origin.: 393-405. In: *the Brine Shrimp Artemia*. Vol 3. G. Persoone, P. Sorgeloos, O. Roels y E. Jaspers (Eds.). Universa Press. Wetteren (Belgium). 456 pp.
- VANHAECKE, P. & P. SORGELOOS. 1982. ISA. XVIII. The hatching rate of *Artemia* cysts. A comparative study. *Aquacultural Engineering*. 1(4):263-273.
- VANHAECKE, P., & P.SORGELOOS, 1989. International Study on *Artemia*. XLVII. The effect of temperature on cyst hatching, larval survival and biomass production for different geographical strains of brine shrimp *Artemia* spp. *Annales de la Société royale zoologique de Belgique*

119: 7-23.

- VANHAECKE, P., S.E. SIDDAL & P. SORGELOOS. 1984. ISA. XXXII. Combined Effects of temperature and salinity on the survival of *Artemia* of various Geographical origin. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 80(3): 259-275.
- VANHAECKE, P., W. TACKAERT & P. SORGELOOS. 1987. The biogeography of *Artemia*: an updated review: 129-155. *In: Artemia Research and its Applications*. Vol. 1. P. Sorgeloos, D.A. Bengtson, W. Declerck & E. Jaspers (Eds.). Universa Press. Wetteren (Belgium). 380 pp.
- VAN STAPPEN, G., LAVENS, P., & P. Sorgeloos, 1998. Effect of hydrogen peroxide treatment in *Artemia* cysts of different geographical origin. *Arch. Hydrobiol. Spec. Issues Advanc. Limnol.* 52, 281–296.
- VAN STAPPEN, G., L.Y.SUI, N.H.Xin & P. Sorgeloos, , 2003. Characterization of high-altitude *Artemia* populations from the Qinghai-Tibet Plateau, PR China. *Hydrobiologia* 500, 179-192.
- VARO, I., 1988. Caracterización de dos poblaciones de *Artemia partenogenética* procedentes del Archipiélago canario. Estudio comparativo. Tesis de Licenciatura. Universidad de La Laguna. La Laguna (España), 152 pp.
- VENTURA, B. 1963. L'ammissi trs I biotopi diploide partenogenético in *Artemia salina* Leach e la comparsa di Macchi in popolazioni parthenogenetiche. *Re Semin Fac Univ Cagliari* 33:244-254.
- VERRILL, A.E. 1869. Contribution to zoology from the museum of Yale College. III. Descriptions of some new American phyllopod Crustacea. *Amer J Science Arts Ser 2*(43):244-254
- VIEIRA, M.N. & F. AMAT. 1985. *Artemia* sp. from Aveiro: its characterization. *Publicações do Instituto de Zoologia "Dr. Augusto Nobre". Faculdade de Ciências. Universidade do Porto*, 191: 1-9.
- VILELA, M.H. & M.A. CASTELO. 1987. Contribution to the characterization of the Portuguese *Artemia* strains.: 211-217. *In: Artemia Research and its Applications* Vol. 1. P. Sorgeloos, D.A. Bengtson, W. Declerck & E. Jaspers (Eds.). Universa Press. Wetteren (Belgium). 380 pp.
- VOS, J., P. LEGER, P. VANHAECKE & P. SORGELOOS. 1984. Quality evaluation of brine shrimp *Artemia* cysts produced in Asian saltponds. *Hydrobiologia*, 108: 17-23.
- VU DO QUYNH & NGUYEN NGOC LAM, 1987. Inoculation of *Artemia* in Experimental ponds in central Vietnam : an ecological approach and comparison of three geographical strains:253. *In: Artemia Research and its Applications*. Vol. 3. P. Sorgeloos, D.A. Bengtson, W. Declerck and E. Jaspers (Eds.). Universa Press. Wetteren (Belgium). 380 pp.
- WATANABE, T., 1982. Lipid nutrition in fish. *Comp. Biochem. Physiol.*, 73b:3-5.
- WATANABE, T., C. KITAJIMA & S. FUJITA, 1983. Nutritional values of live food organisms used in Japan for the mass propagation of fish: a review. *Aquaculture* 34, 115-143.
- WATANABE, T., F. OOWA, C. KITAJIMA & S. FUJITA, 1978a. Nutritional quality of Brine Shrimp, *Artemia salina*, as a living feed from the viewpoint of essential fatty acids for fish. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 44, 1115-1121.
- WATANABE, T., F. OOWA, C. KITAJIMA & S. FUJITA, 1980. Relationship between dietary value of brine shrimp *Artemia* and their content of w3 highly unsaturated fatty acids. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 46, 35-41.

- WATANABE, T., T.ARAKAWA, C.KITAJIMA, K.FUKUSHO & S.FUJITA, 1978b. Nutritional quality of living feeds from the viewpoint of essential fatty acids for fish. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 44, 1223-1227.
- WEIDER, L. J., A. HOBAEK, J. K. COLBOURNE, T. J. CREASE, F. DUFRESNE & P. D.N. HEBERT, 1999. Holarctic phylogeography of an asexual species complex I. Mitochondrial DNA variation in Arctic *Daphnia*. *Evolution*, **53**: 777-792.
- WEAR, R.G., S.J. HASLETT & N.L. ALEXANDER, 1986. Effects of temperature and salinity on the biology of *Artemia franciscana* Kellogg from Lake Grassmere, New Zealand. II. Maturation, fecundity and generation times. *J exp mar Biol Ecol* 98:167-183.
- WIRICK, C.D., 1972. *Dunaliella-Artemia* plankton community of the Great Salt Lake. M. Sc. Thesis. Utah University. Logan. 44pp
- XIN, N., J. SUN, B. ZHANG, G.V. TRIANTALPHYLLIDIS, G.VAN STAPPEN & P.Sorgeloos.1994. International study on *Artemia*. LI. New survey of *Artemia* resources in the Peoples's Republic of China. *Int. J. Salt Lake Res.* 3, 105-112
- YANEG, C., 1986. Observations on parthenogenetic and bisexual brine shrimp (*Artemia*). Primary consultation on sibling species. *Journal of Shandong College of Oceanology*, 16:59
- ZHANG, L. & H. LEFCORT, 1991. The effects of ploidy level on the thermal distributions of Brine shrimp *Artemia parthenogenetica* and its ecological implications. *Heredity*, **66**: 445-452.
- ZHENG, M., 1997. An introduction to saline lakes on the Qinghai-Tibet Plateau. *Kluwer Academic Publishers*, Dordrecht, the Netherlands, 294 p.
- ZUNAGA, O., R. WILSON, F. AMAT & F. HONTORIA. 1999. Distribution and characterization of Chilean populations of the brine shrimp *Artemia* (Crustacean, Branchiopoda, Anostraca), *Int J Salt Lake Res* 8: 23-40.

Résumé

Artemia est un crustacé branchiopode *Anostraca*. Il vit généralement dans les milieux hypersalins et dans les salines exploités par l'homme. Son adaptation à ces environnements difficiles est régie par ses capacités d'osmorégulation uniques, ainsi que par la production de cystes en diapause (embryons enveloppés dans un chorion).

Le stade nauplii est un substituant commode du régime planctonique naturel des poissons et des larves de crevettes.

La première partie de notre étude a été consacrée à la localisation et la caractérisation morphologique des populations d'*Artemia* présentes dans différents milieux hypersalins en Algérie (types Sebkhass et Chotts). Sebkhass et Chotts sont deux types de bassins d'eaux intérieures fermés.

Une analyse discriminante multivariée, appliquée aux paramètres morphométriques obtenus à partir d'individus adultes élevés en conditions standardisées, ont permis de différencier les espèces et les souches.

La seconde partie de la présente étude a permis de quantifier l'effet de la température sur les variables du cycle de vie des populations d'*Artemia* en Algérie en conditions standards.

La troisième partie de la présente étude met en évidence l'effet de la compétition entre les populations autochtones algériennes en système de mésocosme durant la saison printanière.

Les variations saisonnières provoquent des changements dans les capacités compétitives des trois formes autochtones utilisées.

La quatrième partie porte sur la biométrie des cystes des différentes populations algériennes, collectés dans leur milieu naturel et reproduits en laboratoire. Parallèlement la biométrie des nauplii fraîchement éclos de certaines populations sexuées et parthénogénétiques est mise en évidence, ainsi que certains paramètres d'éclosion.

L'analyse du profil biométrique des cystes est similaire à celui des pays du bassin méditerranéen. Il se compose de trois groupes : les cystes produits par les populations sexuées avec un petit diamètre, ceux des femelles parthénogénétiques tétraploïdes avec un diamètre supérieur et en dernier les cystes des parthénogénétiques diploïdes avec un diamètre moyen entre les deux groupes précédents.

Les dimensions des nauplii des différentes populations algériennes se situe dans l'intervalle de tailles qui laisse prédire que ces nauplii peuvent être utilisés en aquaculture.

Dans l'étude des paramètres d'éclosion, les populations algériennes semblent avoir des rendements acceptables, qui se rapprochent des cystes commerciaux communs. Ils peuvent être utilisés dans l'industrie aquacole

Enfin le profil des acides gras des cystes d'*Artemia* de certaines populations algériennes a permis de connaître la valeur nutritive de ces populations issues de différentes origines. Ce profil peut être comparé à celui des espèces commerciales afin de déterminer sa possible utilisation en aquaculture.

L'analyse du contenu en acides gras des cystes d'*Artemia* d'Algérie, révèle une variabilité entre les différentes populations et au sein de la même population d'une période à autre.

La population de Bethioua répond aux critères du type marin. Les populations de Melghir et Adrar sont du type dulçaquicole. Le groupe des populations d'El Goléa, Ezzamoule et Rélizane présentent un profil d'acides gras mixte riche en acide eicosapentaénoïque et en acide linoléinique.

La valeur nutritive des populations algériennes est comparable aux espèces d'*Artemia* commercialisées (*A. franciscana*). La seule variabilité réside dans la composition en acide linoléinique qui est élevée dans les espèces américaines, et l'acide eicosapentaénoïque qui est dominant dans les populations algériennes.

Les populations algériennes peuvent faire l'objet d'utilisation en aquaculture.

Abstract

The brine shrimp *Artemia* is an Anostracan branchiopod crustacean occurring worldwide in hypersaline lakes, ponds and lagoons, as well as in man-operated solar salt works. In addition to its unique osmoregulatory capacity, brine shrimp is adapted to this harsh environment by the capacity to produce diapausing cysts, dormant embryos enveloped in a chorion, when the conditions turn unfavorable.

The emerging instar I nauplius is a convenient substitute for the natural plankton diet of fish and shrimp larvae.

The first part of our study summarizes the results of a study on the location and morphological characterization of *Artemia* populations present in different hypersaline environments in Algeria (types and sebkha Chott). Sebkhass and Chotts are two types of closed basins of inland waters.

A multivariate discriminate analysis, applied to morphometric parameters obtained from adult individuals reared under standardized conditions, allowed to differentiate species and strains.

The second part quantifies the effect of temperature on the variables of the life cycle of *Artemia* populations in Algeria under standard conditions.

The third component study highlights the effect of competition between indigenous Algerian in a mesocosm during spring. The wine is in a medium composed of brine 65 gl⁻¹ and a mixture of microalgae (*Dunaliella sp* and *Tetraselmis sp*). A number of 100 nauplii, aged from 48 hours of hatching cysts pure populations composed of: *A. salina*, *A. parthenogenetica* diploid and tetraploid, are introduced into this environment.

Seasonal variations cause changes in the competitive abilities of the three indigenous forms used.

The fourth study focused on biometrics of cysts of various Algerian populations, collected in the wild and laboratory products. Parallel biometrics freshly hatched nauplii of sexual and parthenogenetic populations is highlighted, and some hatching parameters.

The profile analysis of biometric cysts is similar to that of Mediterranean countries. It consists of three groups: the cysts produced by sexual populations with a small diameter, those of the tetraploid parthenogenetic females with a larger diameter and last cysts of parthenogenetic diploids with an average diameter between the two previous groups.

The dimensions of the nauplii of various Algerian populations are in the size range that allows predicting that these nauplii can be used in aquaculture.

In the study of hatching parameters, Algerian populations appear to have acceptable yields, which resemble common commercial cysts. They can be used in the aquaculture industry.

The last part study the profile of fatty acid of some Algerian cysts populations. The fatty acid composition will allow to know the nutritional value of these populations from different origins and will subsequently compared to that of commercial species to determine its possible use in aquaculture.

Analysis of the fatty acid content of *Artemia* cysts from Algeria reveals variability between different populations and within the same population from one period to another.

Bethioua population meets the criteria of marine type. Populations of Adrar and Melghir are of fresh water type. The group of population from El Golea, Ezzamoule and Rélizane has a fatty acid profile mixed, rich in eicosapentaénoic acid and linolénic acid.

The nutritional value of Algerian populations of *Artemia* is comparable to the commercial species (*A. franciscana*). The only variable is the composition of linolénic acid which is high in the American species, and the eicosapentaénoic acid is dominant in the Algerian populations.

The Algerian populations may be of use in aquaculture.

Remerciements

Ce travail a été réalisé au laboratoire de Technologie Alimentaire et Nutrition avec le concours de l'équipe du laboratoire d'élevages auxiliaires de l'Institut d'Aquaculture de Torre de la Sal (Espagne).

Je voudrai remercier Le professeur G. SELSELET-ATTOU pour l'intérêt qu'il a porté pour la direction de cette thèse. J'espère qu'il trouvera des éléments de satisfaction dans le présent document.

J'adresse mes sincères remerciements au Professeur Z. BOUTIBA Directeur du laboratoire de Réseau de Surveillance Environnementale pour avoir accepté de présider le jury malgré ses multiples préoccupations. Sa grande connaissance, sa rigueur scientifique, ses critiques et surtout ses conseils me seront d'une grande utilité.

Je tiens à remercier les Professeurs, M.BENALI et B. A. BOUCHIKHI de l'Université de Sidi Belabess qui ont accepté de juger mon travail, malgré leurs nombreuses occupations. Qu'ils me permettent de leur exprimer ma profonde gratitude. Leurs critiques et commentaires me seront très utiles.

Je remercie le Pr K. BOUDEROUA Directeur du laboratoire de Technologie Alimentaire et Nutrition pour avoir accepté d'examiner ce travail. Je lui exprime tous mes remerciements pour ses conseils et recommandations lors de la réalisation et surtout la rédaction de cette thèse.

Ma profonde reconnaissance au Pr M. BELAHCEN pour avoir accepté de donner son avis en tant qu'examineur. Ses commentaires me seront précieux.

Je dédie mes remerciements au Pr F. AMAT responsable du laboratoire d'élevages auxiliaires pour m'avoir accueilli dans sa structure de recherche et mis à ma disposition les moyens nécessaires pour l'accomplissement de ce travail.

Le Professeur F. HONTORIA chercheur de l'Institut d'Aquaculture de Torre de la Sal, en dépit de ses multiples préoccupations, il a assuré la direction d'une partie de mes travaux de recherche. Qu'il me permette de lui exprimer ma profonde gratitude pour la totale disponibilité dont il a fait preuve à mon égard.

Le professeur J. C. NAVARRO Chercheur et Directeur de l'IATS a fait partie de l'équipe d'encadrement du présent travail. Je voudrai lui exprimer ici toute ma reconnaissance pour sa participation active à la réalisation de mes travaux. Par ailleurs, je tiens à le remercier particulièrement pour la grande convivialité manifestée à mon égard bien au-delà du cadre du travail

Je ne peux oublier ceux qui m'ont accompagné dans les travaux de laboratoire en particulier G. MEDINA, E. REDON et M. MACCARI leur dévouement au travail m'a beaucoup aidé dans la réalisation de mes travaux de recherche.

Je remercie tous mes amis, mes compatriotes et tous ceux qui m'ont côtoyé et supporté au cours de ces années de thèse.