

ADAPTATION AUX VARIATIONS DE LA SALINITE CHEZ LE COPEPODE ACARTIA CLAUSI

*G. CERVETTO, **M. PAGANO & *R. GAUDY

* Centre d'Océanologie de Marseille, Station Marine d'Endoume,
JRA 41, rue de la Batterie des Lions, 13007 - Marseille.

** Centre de Recherches Océanologiques, BP V18, Abidjan, Côte d'Ivoire

ADAPTATION OF THE COPEPOD ACARTIA CLAUSI TO SALINITY VARIATIONS

Key words : *Acartia clausi*, salinity, Gulf of Fos

Abstract :

The calanoid copepod Acartia clausi is one of the most abundant species of coastal zooplankton, and the dominant one in the Gulf of Fos, near Marseilles. This copepod can be found in a wide range of environments : from coastal lagoons characterized by low salinity to the open sea. The degree of tolerance this species shows to salinity changes has been tested by means of laboratory experiments carried out with samples collected in the Gulf of Fos during a one year cycle. Our results confirm the euryhalinity of this species. Its resistance towards different kinds of osmotic shocks was tested, and the rank of a better adaptation to salinity was determined. Other complementary experiments were undertaken to define the maximal and minimal values of salinity this species could support. Maximal salinity was 65, and minimal was lower than 1 : the optimal adaptation was found between 24 and 30.

Mots clés : *Acartia clausi*, salinité, Golfe de Fos

Fonds Documentaire IRD

Cote : B* 30967 Ex :

INTRODUCTION

Parmi les facteurs du milieu, la salinité est certainement l'une des variables naturelles qui affectent le plus la répartition des organismes. Ses fluctuations peuvent en effet modifier considérablement leurs fonctions physiologiques et leur tolérance écologique (Kinne, 1958 ; 1966).

Le copépode calanoïde *Acartia clausi* Giesbrecht, 1892, est une espèce à large répartition qui peut être rencontrée aussi bien dans certaines lagunes côtières (Landry, 1975 ; 1978 ; Arfi *et al.*, 1987 ; Pagano & Saint-Jean, 1989), que dans des aires estuariennes plus ou moins ouvertes (Deason, 1980), ou dans des régions marines côtières (Conover, 1956 ; Klein-Breteler, 1980 ; Kiorboe *et al.*, 1990 ; Siokou-Frangou & Papatthanassiou, 1991). Elle a même été signalée dans des eaux du large (Colebrook, 1982). Les salinités correspondant à ces différents habitats varient de 0 (Pagano & Saint-Jean, 1989) à 37,90 PSU (Siokou-Frangou & Papatthanassiou, 1991), mais la tolérance à la salinité peut être plus limitée dans une région déterminée ; par exemple, Franz *et al.* (1991) signalent cette espèce dans les eaux côtières de la mer du Nord, tout en remarquant son absence dans les stations où la salinité est la plus faible.

Dans la région de Marseille (partie nord du bassin occidental méditerranéen), on peut se demander pourquoi, compte tenu de son caractère euryhalin, *A. clausi*, qui est abondante dans le Golfe de Fos, ne colonise pas l'écosystème voisin, l'Étang de Berre (Gaudy, 1986). Cette grande lagune côtière à basse salinité communique en effet, via le Canal de Caronte, avec le Gol-

fe de Fos. La température est très proche dans les deux milieux (Stora, 1982). D'autre part, la nourriture disponible, dans l'étang de Berre, si l'on se base sur les données de la littérature ne semble pas devoir être un facteur limitant pour le développement d'*A. clausi*. Il a été en effet démontré que *A. clausi* dans les conditions de salinité de l'étang de Berre, montre une préférence pour les particules inférieures à 17 µm, particules qui sont les plus abondantes dans l'étang (Cervetto, 1995). Par ailleurs, de nombreuses espèces phytoplanctoniques abondantes dans l'étang de Berre (Beker, 1986 ; Arfi, 1991) sont considérées comme des nourritures très favorables pour *A. clausi* (Conover, 1956 ; Rosenberg, 1980 ; Iwasaki *et al.*, 1984 ; Ayukai, 1987 ; Wiadnyana & Rassoulzadegan, 1989). Enfin d'un point de vue quantitatif, les concentrations en chlorophylle de l'étang de Berre sont de l'ordre de 10 fois supérieure à celles du golfe de Fos (Cervetto, 1995). La raison de l'absence d'*Acartia clausi* dans l'étang pourrait être liée aux fortes différences de salinité existant entre celui-ci (environ 12 PSU) et le milieu marin (environ 36 PSU). Nous avons donc testé la capacité d'adaptation de cette espèce aux changements rapides de salinité, afin de savoir si le choc osmotique subi au cours de son transit par le canal de Caronte était susceptible de tuer les individus provenant du Golfe de Fos. En effet, malgré l'euryhalinité reconnue d'*A. clausi*, il n'est pas exclu qu'une durée minimale d'acclimatation à des conditions intermédiaires de salinité lui soit nécessaire pour lui permettre de coloniser un milieu au caractère halin très différent.



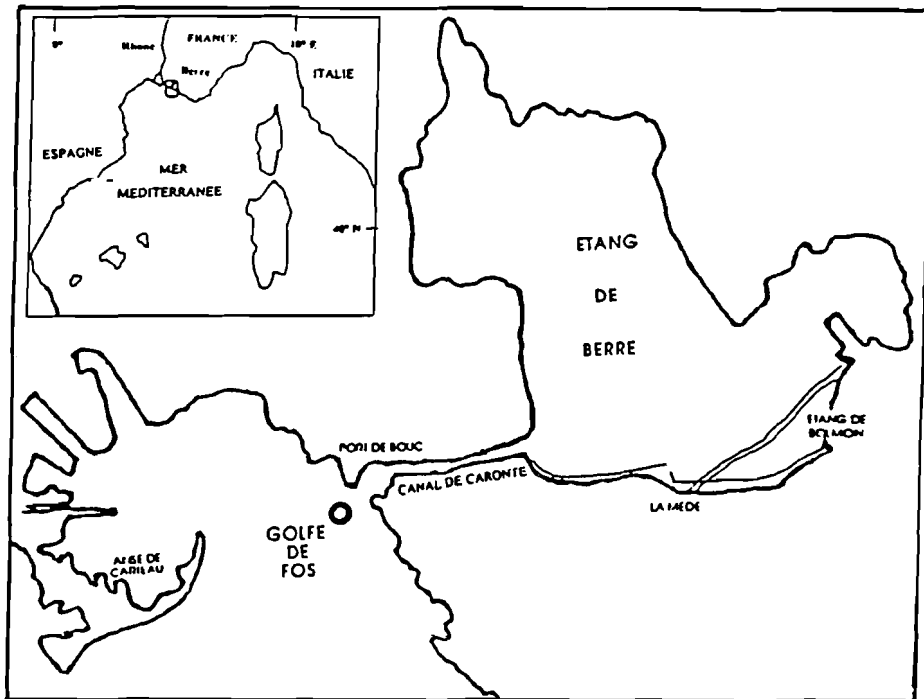


Figure 1: Aire d'étude et localisation de la station de prélèvement.

Figure 1: Study area and location of the sampling station.

MATERIEL ET METHODES

Les prélèvements de zooplancton ont été réalisés dans une station située dans le Golfe de Fos, grande baie ouverte au sud, située à 35 km à l'ouest de Marseille (Figure 1). La collecte était faite avec un filet de type WP2 équipé d'une soie de 60 µm de vide de maille, au moyen de plusieurs traits verticaux fond-surface successifs, la profondeur de la station de prélèvement étant d'environ 14 m. Les individus les plus âgés étaient isolés par tamisage de la pêche sur un filtre de 350 µm de vide de maille, puis transportés dans une glacière dans environ 30 litres d'eau du milieu pour maintenir une certaine constance de la température jusqu'au laboratoire.

Trois types d'expériences ont été réalisées en fonction du mode d'exposition à différentes conditions de salinité : Les premières (expériences A) visaient à simuler les chocs osmotiques subis par l'espèce au cours de son transport vers l'étang. Des expériences complémentaires étaient destinées à évaluer les limites d'adaptation de l'espèce face à un adoucissement de l'eau (expériences B) ou au contraire, à une surconcentration de la salinité (expériences C).

Ces différentes expériences ont été réalisées à la température du milieu (chambre thermostatée) et avec un protocole général identique dans les trois cas. Plusieurs lots de copépodes étaient placés dans des coupelles, dans un volume de 60 ml d'eau. Le nombre d'individus de chaque lot (entre 10 et 60 ind./coupelle) et le nombre de réplicats (2 à 3) variaient d'une série d'expérience à l'autre selon la disponibilité en matériel. Pour chaque "cas" (condition de salinité après dilution) testé, la moyenne des taux de mortalité des différents réplicats est calculée.

Les copépodes étaient nourris avec une suspension en excès (correspondant à environ $15 \mu\text{g Chla l}^{-1}$) d'algues unicellulaires (*Dunaliella tertiolecta*), ou d'un mélange de *D. tertiolecta* et de *Prorocentrum minimum*, cultivées à une salinité de 33 PSU. Le choix d'une culture d'algues a été fait pour éviter la variabilité supplémentaire entraînée par une nourriture naturelle, celle-ci différant à la fois dans le temps (date des expériences) et dans l'espace (étang de Berre ou golfe de Fos). Le choix des algues en culture simule cependant assez bien la dominance des dinoflagellés dans les deux milieux (Beker, 1986). *Prorocentrum minimum*, en particulier, est l'algue prédominante en biomasse au moment des blooms (Kim & Travers, 1984 ; Arfi, 1991).

A différents intervalles de temps, chaque coupelle était examinée et les individus morts comptés et retirés. Les coupelles étaient réoxygénées par bullage d'air lors de chaque période d'observation. La salinité de l'eau de chaque coupelle était mesurée avec un réfractomètre.

Expériences A

-Les lots d'individus provenant du Golfe de Fos étaient placés sans adaptation préalable, dans des coupelles remplies d'eau de salinités différentes, obtenues à partir du mélange des eaux de salinités "extrêmes" (basse : 10 à 12 PSU dans l'étang de Berre ; élevée : 35 à 40 PSU dans le Golfe de Fos). On obtenait ainsi, en plus des deux salinités extrêmes, plusieurs salinités intermédiaires (trois à cinq selon les expériences). Les coupelles étaient ensuite recouvertes d'un couvercle pour éviter l'évaporation.

Expériences B

-Les lots de copépodes étaient placés dans des coupelles rem-

Stade	Dilution	n	ddl	0h		10h		72h		F	p
				m	s	m	s	m	s		
Copép.	1	10	2-27	75,03	(10,45)	55,21	(11,09)	14,33	(5,05)	11,15	0,0003
	0,7-0,9	9	2-24	91,29	(2,86)	66,16	(9,54)	14,19	(3,91)	40,97	0,0000
	0,5-0,7	11	2-30	89,42	(4,35)	73,35	(6,89)	21,59	(6,07)	36,48	0,0000
	0,15-0,5	10	2-27	72,57	(10,96)	45,03	(8,78)	7,13	(2,25)	16,03	0,0000
	Fdilut. P (3-36 ddl)	(3-36ddl)	1,421 0,253			1,922 0,143		1,666 0,192			
Mâles	1	10	2-27	65,83	(14,30)	52,08	(12,50)	32,00	(10,26)	1,86	0,1744
	0,7-0,9	9	2-24	83,16	(11,11)	72,98	(10,92)	40,52	(12,46)	3,74	0,0386
	0,5-0,7	11	2-30	53,64	(13,41)	44,55	(11,91)	29,70	(10,82)	1,00	0,381
	0,15-0,5	10	2-27	39,69	(13,96)	31,85	(12,80)	19,33	(9,28)	0,71	0,500
	Fdil p			1,808 0,163		1,905 0,146		0,632 0,599			
Femel.	1	10	2-27	80,52	(10,73)	69,73	(9,71)	37,52	(10,16)	4,80	0,0165
	0,7-0,9	9	2-24	95,65	(2,25)	84,45	(6,26)	40,37	(10,58)	16,41	0,0000
	0,5-0,7	11	2-30	95,96	(2,41)	88,11	(5,93)	42,69	(10,57)	16,26	0,0000
	0,15-0,5	10	2-27	66,32	(14,69)	55,67	(13,62)	30,88	(10,78)	1,91	0,166
	Fdil p			2,348 0,089		2,521 0,073		0,240 0,869			

Tableau II : Valeurs moyennes (m) et écart-types (s) des pourcentages de survie d'*A. clausi* mesurés à 0 ou après 10 h et 72 h sous différentes conditions de dilution (salinité expérimentale/salinité témoin) et analyses de variances à un facteur (dilution ou durée d'incubation) pour tester les différences entre groupes (p = seuil de risque pour la significativité des différences entre groupes).

Table II : Mean values (m) and standard deviation of *A. clausi* survival percentages at 0 or after 10 h and 72 h incubation under varied dilution (experimental salinity/control salinity), and one way analysis of variance to test the effects of dilution or incubation time (p = significance level).

	d.d.l.	Copépodites		Males		Femelles	
		F	p	F	p		
Modèle	5	36,24	0,0000	5,00	0,0004	12,61	0,0000
Dilution (dil)	3	4,35	0,0062	4,20	0,0075	4,09	0,0086
Durée (dt)	2	84,07	0,0000	6,20	0,0028	25,40	0,0000
dil x dt	6	0,370	0,8965	0,202	0,9755	0,324	0,9229

Tableau III : Analyse de variances à deux facteurs pour tester les effets de la durée d'incubation (0, 10 et 72 h) et de la dilution sur le pourcentage de survie (p = seuil de risque pour la significativité des différences entre groupes).

Table III : Two ways analysis of variance to test the effects of dilution and incubation time (0, 10 and 72 h) on survival percentage (p = significance level).

plies d'eau du milieu marin d'origine. A chaque période d'observation, un volume déterminé de cette eau était siphonné et remplacé par un volume équivalent d'eau douce afin de réduire progressivement la salinité jusqu'à des valeurs minimales. Dans les expériences successives, la gamme des changements de salinité ainsi réalisés n'était pas toujours identique. Les coupelles étaient maintenues fermées pour éviter l'évaporation.

Expériences C

Les individus étaient placés dans des coupelles remplies d'eau du milieu d'origine, laissées sans couvercle pour faciliter une évaporation progressive. D'autre part, à intervalles réguliers, on ajoutait de petites quantités d'eau hypersalée (eau d'origine sursalée par évaporation partielle). Une seule expérience de ce type a été réalisée.

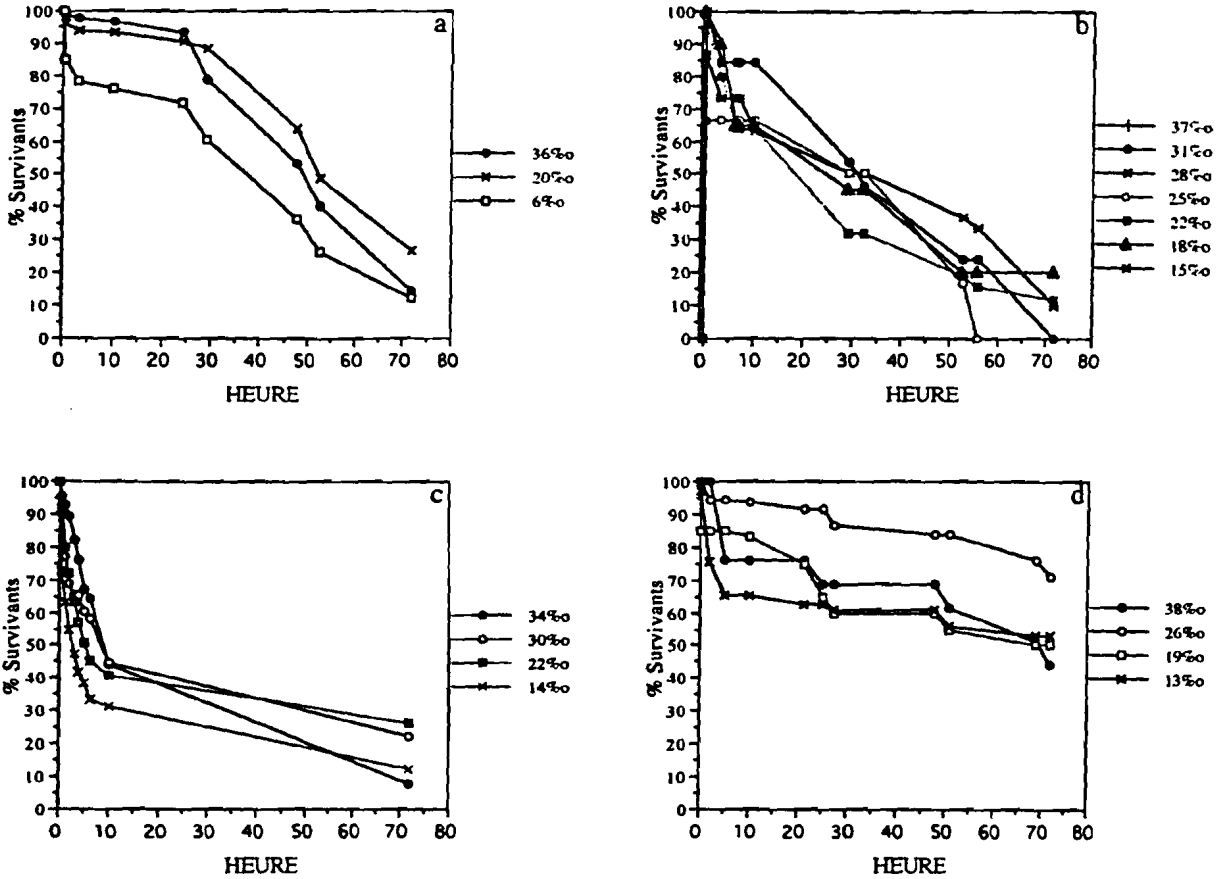


Figure 2 : Exemple de courbes de mortalité obtenues à partir des différentes expériences de type A.

a) Expérience N° 7 : faible réaction au choc osmotique et augmentation de la mortalité après 30 h d'expérience.

b) Expérience N° 2 : réaction très variable face au choc osmotique et augmentation soutenue de la mortalité (remarque : pour la salinité témoin, 37 PSU, et la salinité de l'étang de Berre, 15 PSU, la mortalité a été de 100 % au to).

c) Expérience N° 5 : Exemple de forte mortalité pendant les premières heures d'expérience avec une certaine stabilisation *a posteriori*.

d) Expérience N° 10 : Faible taux de mortalité tout au long de l'expérience.

Figure 2 : Mortality curves obtained from several A-type experiments

a) Experiment N° 7 : the reaction to osmotic shock was weak, the raising in mortality was found after 20 h.

b) Experiment N° 2 : the reactions to osmotic shock were varied, there was a steady increase of mortality (nota : there was a mortality of 100 % at to for the reference salinity 37 PSU, as well as for Berre lagoon salinity, 15 PSU).

c) Experiment N° 5 : High rates of mortality during the first experiment hours, and a certain stabilization afterwards.

d) Experiment N° 10 : Low mortality rates along the whole experiment.

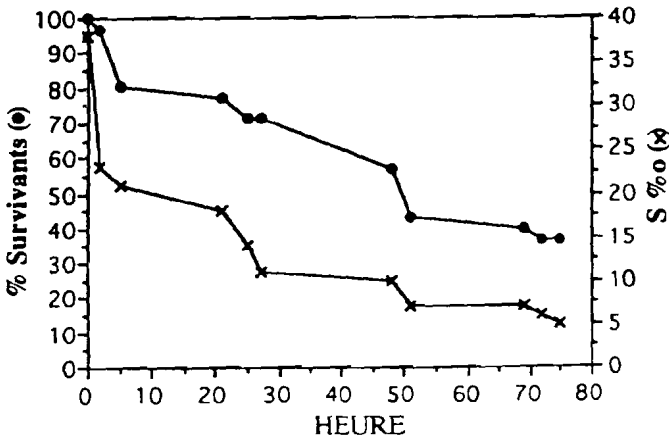


Figure 3 : Exemple de courbe de mortalité en fonction de la décroissance de la salinité (Expérience de type B)

Fig 3 : Mortality curve following a decrease in salinity

RESULTATS

Expériences A

Le laps de temps nécessaire au passage du zooplancton dans le canal de Caronte est estimé à 30 à 35 h, compte tenu des vitesses de courant mesurées en certaines occasions (Arfi, 1993). Nous avons principalement considéré les résultats obtenus, soit immédiatement après le changement de salinité (to) soit après 10 h ou de 72 h de maintien en culture dans ces nouvelles conditions l'élevage. L'examen immédiat (to) ou après 10 h, délai qui correspond à une situation intermédiaire où les copépode sont transportés dans des eaux de mélange entre son milieu d'origine et l'étang de Berre permet de juger de l'effet du choc osmotique. L'examen à 72 h permet d'estimer le degré d'acclimatation aux eaux déssalées de Berre après le transit entre les deux biotopes. D'après le tableau I, la réponse au choc osmotique est toujours très variée. En général, la mortalité à to est inférieure à 20 % (75 % des cas) (Figure 2), mais on observe dans certains cas (12, 14 et 19) des mortalités beaucoup plus

N°Expérience	Cas	Date	T°C	S%	% d'individus morts		
					0h	10h	72h
1	1	03-07	10°	14	45	40	70
	2	04 92		17	5	5	60
	3			19	20	20	60
	4			22	0	0	90
	5			25	0	0	90
2	6	10-13	10°	15	100	-	-
	7	04 92		18	0	35	80
	8			22	5	35	90
	9			25	35	35	100
	10			28	15	35	90
	11			31	0	15	100
	12			37	100	-	-
3	13	15-22	17°	30	15	20	40
	14	05 92		41	55	60	70
4	15	09-13	21°	10	45	75	80
	16	07 92		16	20	45	50
	17			25	15	45	55
	18			31	15	50	60
	19			41	30	70	75
5	20	10-13	23°	14	25	70	90
	21	08 92		22	10	60	75
	22			30	10	55	80
	23			34	5	55	90
6	24	11-15	13°	8	85	90	95
	25	12 92		21	5	15	60
	26			34	0	10	10
7	27	13-19	10°	6	15	25	85
	28	01 93		20	5	5	75
	29			36	0	5	85
8	30	03-07	11°	10	30	40	90
	31	02 93		22	10	20	40
	32			38	0	10	55
9	33	30 03-02 04 93	11°	14	15	30	85
	34			27	0	0	25
	35			32	10	10	40
	36			38	0	5	65
10	37	06-09 04 93	11°	13	0	35	45
	38			19	15	15	50
	39			26	0	5	30
	40			38	0	25	55

Tableau I :
Expériences de type A,
réalisées au cours
d'un cycle annuel.
Les températures (T) de chaque
expérience, et les
salinités (S) de chaque "cas"
sont indiquées.

Le % d'individus morts
correspond à la moyenne
des différents réplicats.

Table I : One year cycle of
A-type experiments.
Temperature (T) was stable
within each experiment,
salinity (S) corresponding
to each case are shown.
The percentages of dead individuals
are shown as the means
of different replicates.

ortes, voire complètes ne pouvant être attribuées au choc osmotique (absent dans ces conditions : eau d'origine) et ne résultant probablement pas exclusivement d'un stress particulier lié à la manipulation ou d'une pollution accidentelle, car les taux de mortalité demeurent élevés dans tous les réplicats concernés.

dans les conditions de forte diminution de salinité, ou dans celles correspondant aux eaux de l'étang de Berre, on ne retrouve au temps t_0 une mortalité supérieure à 50 % que dans deux cas (6 et 24) avec un écart de salinité par rapport à l'eau origine dépassant 20 unités.

Au terme de 10 heures d'expérience, la mortalité des témoins varie de 5 à 70 % (avec une moyenne de 32,5 % pour les dix expériences) et une mortalité inférieure ou égale à 10 n'est retrouvée que dans 5 cas sur 10. La survie est meilleure dans les conditions de salinités "intermédiaires" (entre 15 et 30 PSU). Ainsi, on observe pour cette gamme de salinités moins de 20 % de mortalité dans 9 cas sur 20 ; alors que pour les salinités supérieures ou inférieures, un taux de mortalité inférieur à 20 % ne se retrouve que dans 6 cas sur 20. Après 72 heures, la mortalité est moindre aux salinités intermédiaires (où la survie atteint au moins 50 % dans 6 cas sur 20), qu'aux salinités

extrêmes, supérieures à 31 (où la survie ne dépasse généralement pas 45 %, à l'exception du cas 26 où elle est beaucoup plus forte) ou inférieures à 15 (où une survie supérieure à 50 % n'est observée que dans un seul cas) (Figure 2).

La tendance des individus d'*A. clausi* à survivre mieux aux salinités intermédiaires est confirmée par l'examen des valeurs moyennes calculées pour quatre classes de dilution par rapport au milieu d'origine (Tableau II) ainsi que par l'absence de corrélation ($p > 0.05$) entre la salinité (ou la dilution du milieu d'origine) et le pourcentage de survie calculés pour chacun des trois temps de contrôle sur l'ensemble des 40 cas détaillés dans le tableau I. Par ailleurs, la bonne adaptation d'*A. clausi* aux changements de la salinité est confirmée par des analyses de variance (Tableau II et III). En effet, l'action de la dilution n'apparaît pas lorsque l'on considère les facteurs séparément dans une analyse à un facteur (Tableau II). Elle est par contre significative dans l'ANOVA à deux facteurs (Tableau III), mais reste très faible par rapport à l'action de la durée de l'incubation (qui représente en quelque sorte la mortalité en élevage).

En ce qui concerne les différences de résistance liées au sexe,

moins de mortalité. Mais dans le deuxième point de contrôle (t10), l'augmentation des taux de mortalité chez les copépodites se fait évidente. Au t72, seulement en 2/39 opportunités les copépodites ont une survie supérieure à 50%.

Expériences B

Dans les cinq expériences de ce type réalisées, le type de courbe représentant la mortalité des individus en fonction du temps est assez semblable. En début d'expérience (to), la baisse progressive de salinité conduit à un choc osmotique faible par comparaison aux conditions expérimentales de type A et ne provoque pas de mortalité importante (jusqu'à 10 % en moyenne). La proportion de survivants varie parallèlement avec la diminution de la salinité au cours de l'expérience (Figure 3). Les 50 % de mortalité sont toujours atteints entre 40 et 50 heures d'expérience, avec une salinité d'environ la moitié de sa valeur initiale. L'expérience a été suivie dans certains cas jusqu'à des salinités très basses (inférieures à 1). Des individus ont été retrouvés vivants même dans ces conditions limites.

Expériences C

La seule expérience de ce type réalisée montre que, bien que 50 % de mortalité soit atteint après une trentaine d'heures (pour une salinité proche de 50 PSU) ; la mortalité n'est pas totale en fin d'expérience (après 93 heures, à 65 PSU), 1 % du lot étant encore vivant. Dans cette expérience, l'augmentation de mortalité est parallèle à l'augmentation de la salinité (Figure 4).

DISCUSSION

Bien que *A. clausi* soit une espèce très étudiée, il n'existe à ce jour que peu d'informations concernant son adaptation à la salinité. Les travaux expérimentaux sur sa tolérance aux valeurs extrêmes de salinité sont rares et, en particulier, ne concernent pas son adaptation aux chocs osmotiques ; la plupart des études qui traitent de la question, se réfèrent à d'autres espèces de copépodes ou à d'autres invertébrés à partir d'observations effectuées au bout de 24 h d'expérience (Kinne, 1958 ; Lance, 1963 ; Rippingale & Hodgkin, 1977 ; Roddie *et al.*, 1984 ; Steele & Steele, 1991).

Les variations rapides de la salinité (choc halin) ne semblent pas avoir une influence très marquée sur la survie de cette espèce : l'écart de salinité doit être en

effet supérieur à 20 unités pour entraîner une mortalité conséquente. Ce résultat est en accord avec Kinne (1958) qui montre que le passage brusque d'une salinité à l'autre ne provoque pas de mortalité chez trois espèces d'invertébrés. D'après ses hautes valeurs de survie observées à la suite de chocs osmotiques importants *A. clausi* semble donc capable de s'adapter très rapidement au changement de salinité des milieux littoraux.

Nos expériences font cependant apparaître l'existence de facteurs de mortalité indépendants du choc osmotique comme le montrent les fortes mortalités observées dans certains cas dans les différents réplicats des coupelles témoin. Nous ne pouvons pour l'instant identifier ces facteurs.

Parmi les autres facteurs pouvant intervenir sur la mortalité, la température peut être envisagée en raison de son rôle interactif sur l'adaptation des organismes à la salinité (Roddie *et al.*, 1984 ; Guern & Stickle, 1992 ; Santamaria *et al.*, 1992). Dans

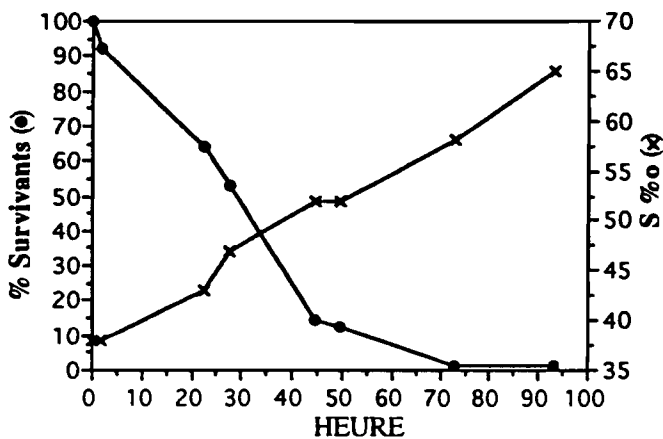


Figure 4 : Courbe de mortalité en fonction de l'augmentation graduelle de la salinité (Expérience de type C).

Figure 4 : Mortality curve following a gradual raise of salinity.

les femelles semblent un peu mieux supporter que les mâles les changements instantané de salinité. En effet leur mortalité à to a été inférieure à 10% dans la majorité des cas (29 cas sur 39) alors que chez les mâles, elle ne l'est que dans 18 cas sur 38. D'autre part, la mortalité des femelles a été supérieure à 50% dans un seul cas sur 39 alors que chez les mâles ce pourcentage est dépassé dans 12 cas sur 38 (dont 11 avec une mortalité totale). Après 10 heures, cette tendance se maintient, avec une mortalité inférieure chez les femelles. Après 72 heures, l'adaptation à la nouvelle salinité est toujours légèrement supérieure chez les femelles chez qui la mortalité n'atteint 50% que dans 23 cas sur 39 contre 13 cas sur 38 chez les mâles.

La réponse des copépodites face aux changements de la salinité est caractérisée par des taux de mortalité plus forts que chez les adultes. La réponse des stades copépodites au choc halin produit à to est meilleure que celle des mâles : avec une

la présente étude, nous avons adopté pour chaque expérience une température fixe (celle du milieu). En effet, la variation de température subie par *A. clausi* au cours de son transit par le canal de Caronte est assez faible (toujours inférieure à 5 °C) et son interaction sur la capacité de tolérance d'*A. clausi* doit être négligeable, d'autant plus que selon Lance (1963), si la variation thermique est graduelle (ce qui est le cas dans le canal de Caronte), la différence de température n'affecte pas l'adaptation à la salinité.

Selon Roddie *et al.* (1984), la mortalité vis à vis des variations de salinité peut différer selon la saison. Nos résultats montrent une certaine uniformité de réponse des organismes vis à vis des variations de salinité quelle que soit la période de l'année et ne confirment donc pas ce fait.

Il est assez étonnant de constater que la meilleure adaptation à la salinité de la population locale d'*Acartia clausi* correspond aux salinités intermédiaires (24 à 30 PSU). En effet, malgré son caractère général d'espèce eurybionte, et donc euryhaline, *A. clausi* peut être considérée dans notre aire d'étude, comme une forme marine (la salinité du golfe de Fos ne descend, en effet, jamais au dessous de 33 PSU). Malgré cela, au lieu de montrer une meilleure survie dans des eaux de salinité comparable à celle de son site d'origine, *A. clausi* supporte mieux les salinités plus faibles.

Selon Rippingale & Hodgkin (1977), la capacité d'adaptation aux changements de salinité dépend en grande mesure du caractère favorable ou défavorable des conditions de nutrition. Les cultures d'algues utilisées dans nos expériences, *Dunaliella tertiolecta* et *Prorocentrum minimum* présentent une forte tolérance aux changements de salinité (Bonin *et al.*, 1986 ; Berland & Grzebyk, 1991) ; il est donc peu probable que leur qualité soit altérée par les différentes conditions de salinité testées. Les conditions trophiques expérimentales n'ont ainsi probablement pas d'influence notable sur la mortalité des copépodes. L'oxygénation, maintenue à un niveau suffisant, ne semble pas non plus être un facteur limitant dans ces expériences.

Les valeurs de salinité tolérables par *A. clausi* présentent une gamme très large. La salinité minimale (moins de 1 PSU) est du même ordre que le minimum indiqué pour le biotope de cette espèce dans un milieu tropical (lagune Ebrié) (Pagano & Saint-Jean, 1989). Le maximum de salinité supportable par *A. clausi* (65 PSU) montre l'aptitude de cette espèce à coloniser également des milieux lagunaires à forte salinité. Cependant, aucune donnée de la littérature n'indique le maintien d'une population d'*A. clausi* à une telle salinité.

En dehors des valeurs limites compatibles avec la survie de l'espèce, nos expériences mettent aussi en évidence l'existence d'un *preferendum* de salinité. La meilleure survie de la population se situe dans une gamme de salinités intermédiaires en dehors de laquelle l'accroissement de mortalité est proportionnel à l'écart de salinité.

En définitive nos résultats montrent que l'absence d'*A. clausi* dans l'Étang de Berre ne résulte probablement pas des différences de conditions halines existant entre ce biotope et le milieu marin. En effet, les changements rapides des conditions halines rencontrées au cours du transit entre le Golfe de Fos et l'Étang de Berre semblent bien supportées par *A. clausi* comme l'indiquent les résultats de cette étude (expérience A). D'autre part, les basses salinités régnant dans l'étang devraient être bien tolérées par les individus ayant pénétré dans ce milieu, et ne pas empêcher le maintien de leur population (expérience B). Le problème de l'absence d'*A. clausi* de

l'étang de Berre reste donc posé. Elle pourrait être liée, non pas à une insuffisance du degré de tolérance de l'espèce vis vis des facteurs du milieu (salinité, température, quantité de nourriture), mais peut-être à des facteurs plus complexes, faisant appel notamment à la compétition interspécifique avec l'espèce congénérique *A. tonsa* qui atteint des effectifs considérables dans le zooplancton de l'étang. Il ne faut pas non plus exclure la possibilité d'un contrôle exercé par la prédation sur les oeuf ou les premiers stades de développement par cette même espèce connue pour son aptitude au cannibalisme. Une étude écophysiological comparée de ces deux espèces est actuellement en cours, en vue d'apporter des éléments nouveaux sur cette hypothèse.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- ARFI, R., 1991. *Étang de Berre 1990. Suivi exceptionnel du milieu. Qualité des eaux : hydrologie, matériel particulaire et plancton*. Rapport de convention, 156 pp.
- ARFI, R., 1993. *Courantologie dans le canal de Caronte*. Rapport Convention GERIM, 9 pp.
- ARFI, R., PAGANO, M. & SAINT-JEAN, L., 1987. Communautés zooplanctoniques dans une lagune tropicale (La lagune Ebrié, Côte d'Ivoire) : Variations spatio-temporelles. *Rev. Hydrobiol. Trop.*, 20 : 21-35
- AYUKAI, T., 1987. Predation by *Acartia clausi* (Copepoda: Calanoida) on two species of Tintinnids. *Mar. Microbial Food Webs*, 2 : 45-52
- BEKER, B., 1986. *Communautés phytoplanctoniques en milieu côtier à salinité variable (étang de Berre, golfe de Fos)*. Thèse Rech. Univ. Aix-Marseille II, 150 pp.
- BERLAND, B. & GRZEBYK, D., 1991. *Prorocentrum minimum*. In : Le phytoplancton nuisible des côtes de France. De la biologie à la prévention. Programme National "Efflorescences algales marines", SOURNIA, A., BELIN, C., BERLAND, B., ERARD-LEDENN, E., GENTIEN, P., GRZEBYK D., MARCAILLOU-LEBAUT, C., LASSUS, P. & PARTENSKY F. (eds.), CNRS - IFREMER : 101-113
- BONIN, D.J. DROOP, M.R & MAESTRINI, S.Y., 1986. Physiological features of six micro-algae to be used as indicators of seawater quality. *Cryptogamie, Algologie*, 7 : 23-83
- CERVETTO, G., 1995. *Comparaison de la répartition spatio-temporelle et de l'écophysologie de deux espèces de copépodes calanoides congénériques (Acartia tonsa et Acartia clausi) en milieu côtier et lagunaire (Golfe de Fos, Étang de Berre)*. Thèse de Doct., Univ. Aix-Marseille II, 225 pp.
- COLEBROOK, J.M., 1982. Continuous plankton records : Persistence in time-series and the population dynamics of *Pseudocalanus elongatus* and *Acartia clausi*. *Mar. Biol.*, 66 : 289-294
- CONOVER, R.J., 1956. Oceanography of Long Island Sound, 1952-1954. VI. Biology of *Acartia clausi* and *A. tonsa*. *Bull. Bingham Oceanogr. Coll.*, 15 : 156-233
- DEASON, E.E., 1980. Grazing of *Acartia hudsonica* (*A. clausi*) on *Skeletonema costatum* in Narragansett Bay (USA): Influence of food concentration and temperature. *Mar. Biol.*, 60 : 101-113
- FRANSZ, H.G., COLEBROOK ; J.M, GAMBLE, J.C & KRAUSE, M., 1991. The zooplankton of the North Sea. *Neth. J. Sea Res.*, 28 : 1-52
- GAUDY, R., 1986. Le chenal de Caronte : voie de transit pour les faunes pélagiques marines et saumâtres. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 30 : 197-198
- GUERIN, J.L. & STICKLE, W.B. 1992. Effects of salinity gra-

- dients on the tolerance and bioenergetics of juvenile blue crabs (*Callinectes sapidus*) from waters of different environmental salinities. *Mar. Biol.* 114 : 391-396
- IWASAKI, H., ENDO, K., ISHII, J. & NISHIHARA, S., 1984. Cultivation of marine copepod *Acartia clausi* Giesbrecht. 2. Fundamental experiments on mass culture. *Bull. Fac. Fish. Mie Univ./Miedai Suisan Kenpo.*, 11 : 75-93
- KIM, K.I. & TRAVERS, M., 1984. Le phytoplancton des étangs de Berre et Vaine (Méditerranée Nord-occidentale). *Int. R. G. Hydrobiol.*, 69 : 361-388
- KINNE, O., 1958. *Adaptation to salinity variations Some facts and problems.* In : Physiological adaptation. Prosser, C.L. (Ed.). Washington : 92-105
- KINNE, O., 1966. Physiological aspects of animal life in estuaries with special reference to salinity. *Neth. J. Sea. Res.*, 3 : 222-244
- KIORBOE, T., KAAS, H., KRUSE, B., MOHLENBERG ; F., TISELIUS, P. & AERTEBJERG, G. 1990. The structure of the pelagic food web in relation to water column structure in the Skagerrak. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 59 : 19-32
- KLEIN BRETELER, W.C.M., 1980. Continuous breeding of marine pelagic copepods in the presence of heterotrophic dinoflagellates. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 2 : 229-233
- LANCE, J., 1963. The salinity tolerance of some estuarine planktonic copepods. *Limnol. Oceanogr.*, 8 : 440-449
- LANDRY, M.R., 1975. The relationship between temperature and the development of life stages of the marine copepod *Acartia clausi* Giesbr.. *Limnol. Oceanogr.*, 20 : 854-857
- LANDRY, M.R., 1978. Population dynamics and production of a planktonic marine copepod, *Acartia clausii*, in a small temperate lagoon on San Juan Island, Washington. *Int. Rev. G. Hydrobiol.*, 63 : 77-119
- PAGANO, M. & SAINT-JEAN, L., 1989. Biomass and production of the Calanoid copepod *Acartia clausi* in a tropical coastal lagoon : Lagune Ebrié, Ivory Coast. *Scient. Mar.*, 53 : 617-624.
- RIPPINGALE, R.J. & HODGKIN, E.P. 1977. Food availability and salinity tolerance in a brackish water copepod. *Aust. J. Mar. Fresh. Res.*, 28 : 1-7.
- RODDIE, B.D., LEAKEY R.J.G. & BERRY, A.J., 1984. Salinity-temperature tolerance and osmoregulation in *Eurytemora affinis* (Poppe) (Copepoda : Calanoida) in relation to its distribution in the zooplankton of the upper reaches of the Forth estuary. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 79 : 191-211.
- ROSENBERG, G.G., 1980. Filmed observations of filter feeding in the marine planktonic copepod *Acartia clausii*. *Limnol. Oceanogr.*, 25 : 738-742.
- SANTAMARIA, L., Balsa, J., BIDONDO B., BALTANAS, A. & MONTES, C., 1992. Salinity tolerance of three ostracode species (Crustacea : Ostracoda) of Iberian saline lakes. *Hydrobiologia*, 246 : 89-98.
- SIKOU-FRANGOU, I. & PAPANASSIOU, E., 1991. Differentiation of zooplankton populations in a polluted area. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 76 : 41-51.
- STEELE, D.H. & STEELE, V.J., 1991. Effects of salinity on the survival, growth rate, and reproductive output of *Gammarus lawrencianus* (Crustacea, Amphipoda). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 78 : 49-56
- STORA, G., 1982. *Recherches de bionomie descriptive et expérimentale (in vivo et in vitro) dans quelques biotopes littoraux soumis à des variations naturelles ou artificielles des conditions du milieu (notamment dans l'Etang de Berre et le Golfe de Fos).* Thèse Doct. Etat, Univ. Aix-Marseille II. 226 pp.
- WIADNYANA, N.N. & RASSOULZADEGAN, F. 1989. Selective feeding of *Acartia clausi* and *Centropages typicus* on microzooplankton. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 53 : 37-45.
-