

Influence de la taille, de la température et du régime alimentaire sur la consommation d'oxygène de l'oursin *Paracentrotus lividus* et de l'ormeau *Haliotis tuberculata* en élevage

Effect of body size, temperature and feeding activity on the oxygen consumption of the reared sea urchin Paracentrotus lividus and abalone Haliotis tuberculata

Olivier Basuyaux^{*/**}, Michel Mathieu^{**}, Olivier Richard^{*}

^{*}Syndicat mixte pour l'équipement du littoral, Blainville-sur-Mer, France

^{**}Laboratoire de biologie et biotechnologie marine, Université de Caen, France

Mots clés : oxygène, respiration, *Haliotis tuberculata*, *Paracentrotus lividus*, invertébré, aquaculture.

Key-words: oxygen, respiration, *Haliotis tuberculata*, *Paracentrotus lividus*, invertebrate, aquaculture.

RÉSUMÉ

Basuyaux O., M. Mathieu, O. Richard - Influence de la taille, de la température et du régime alimentaire sur la consommation d'oxygène de l'oursin *Paracentrotus lividus* et de l'ormeau *Haliotis tuberculata* en élevage. Mar. Life, 11 (1-2) : 57-67.

Les consommations d'oxygène de l'oursin *Paracentrotus lividus* et de l'ormeau *Haliotis tuberculata* ont été déterminées pour cinq températures d'élevage (12 à 24°C) et trois régimes alimentaires pour des animaux de différentes tailles au stade grossissement en élevage à terre en circuit semi-fermé. Les consommations d'oxygène en fonction de la température ont été modélisées selon deux types d'expressions mathématiques (linéaire et exponentielle) pour chaque régime alimentaire. À jeun, la température d'élevage des oursins n'est pas un facteur faisant varier la consommation d'oxygène. Par contre, l'activité métabolique des animaux alimentés entraîne une dépendance de la consommation d'oxygène par rapport à la température. Des différences significatives sont mesurées entre les animaux à jeun et alimentés de même taille. La comparaison de l'ormeau avec d'autres prosobranches place *H. tuberculata* parmi les faibles consommateurs d'oxygène. La comparaison entre plusieurs espèces d'oursins montre des résultats semblables. La consommation d'oxygène est plus importante pour l'ormeau que pour l'oursin ce qui entraîne des biomasses en élevages différentes pour un même volume d'eau. Avec ce critère, les modèles permettent de montrer que la biomasse maximale admissible dans un mètre cube d'eau avec un renouvellement de 0,5 m³.h⁻¹ est de 29 kg.m⁻³ d'ormeaux et 58 kg.m⁻³ d'oursins (18°C, poids individuel de 30 g).

ABSTRACT

Basuyaux O., M. Mathieu, O. Richard - [Effect of body size, temperature and feeding activity on the oxygen consumption of the reared sea urchin *Paracentrotus lividus* and abalone *Haliotis tuberculata*]. Mar. Life, 11 (1-2) : 57-67.

Oxygen consumption of the sea urchin *Paracentrotus lividus* and the abalone *Haliotis tuberculata* were determined for five rearing temperatures (12 to 24°C) and three diets for different sized on-growing animals reared in a land-based semi-closed culture facility. Oxygen consumption according to the temperature was modelled according to two types of mathematical expressions (linear and exponential) for every diet. Under fasting conditions, the rearing temperature of sea urchin is not a factor in variation of the consumption of oxygen. On the other hand, fed animal metabolism activity shows dependence of oxygen consumption on rearing temperature. Significant differences are recorded between same size fasted and fed animals. Abalone, compared to other prosobranches, are low consumers of oxygen. Comparison between different urchin species shows similar results. Comparison between several sorts of sea urchin shows similar results. Oxygen consumption relative to fresh weight is greater in abalone than in sea urchins, which means reared biomass is different for the same water volume. On the basis of this criterion, models show that acceptable maximum biomass in a cubic meter of water with a renewal of 0.5 m³.h⁻¹ is 29 kg.m⁻³ for the abalones and 58 kg.m⁻³ for the sea urchin (18°C, individual weight of 30 g).

INTRODUCTION

L'ormeau *Haliotis tuberculata* (Gastéropode), et l'oursin *Paracentrotus lividus* (Échinoderme) sont deux invertébrés présents sur les côtes françaises et susceptibles de présenter un intérêt pour l'élevage en circuit fermé. Depuis quelques années, des juvéniles de ces deux espèces sont produits et élevés expérimentalement dans des structures d'élevage à terre, jusqu'à une taille commerciale (70 mm pour les ormeaux et 40 mm pour les oursins). Les structures d'élevage utilisées sont semblables à celles décrites par Le Gall (1989) : des plateaux légèrement inclinés reçoivent les animaux, l'eau s'y écoule en permanence, et tombe dans une réserve d'où elle est pompée pour être réinjectée en début de plateau. Cette technique présente l'avantage d'avoir une eau en circulation permanente, ce qui permet une bonne oxygénation. Toutefois, pour des fortes charges (plusieurs dizaines de kilogrammes par mètre cube), le taux d'oxygène dans l'eau des structures peut devenir limitant.

La consommation d'oxygène de ces deux espèces est peu documentée. Seuls Gaty et Wilson (1986) ont mesuré la consommation d'oxygène chez *H. tuberculata*, pour trois températures (8, 16 et 24°C) à jeun, et à 16°C nourri d'algues vertes, *Ulva lactuca*. L'alimentation en élevage est actuellement composée d'une algue rouge *Palmaria palmata* (Rhodophycée), riche en protéines mais disponible en faibles quantités (Koike *et al.*, 1979 ; Mercer *et al.*, 1993) et une algue brune, *Laminaria digitata* (Phéophycée), moins riche en protéines mais plus abondante (Perez, Audouin, 1973 ; Arzel, 1989). Les oursins peuvent être alimentés avec du maïs en grain qui permet de bons taux de croissance (Basuyaux, Blin, 1998). Lawrence et Lane (1982) indiquent une consommation d'oxygène pour *P. lividus* mais le régime alimentaire et la température ne sont pas précisés.

Dans cette étude, la consommation d'oxygène de ces deux espèces est mesurée pour cinq températures comprises entre 12 et 24°C pour des individus de différents poids (ormeaux : 10 à 90 g, oursins : 2,5 à 60 g) en fonction de trois régimes alimentaires. Les relations mathématiques établies entre la consommation d'oxygène et les deux paramètres température et poids, pour chacun des régimes alimentaires, permettront ainsi d'évaluer les biomasses maximales que l'on peut atteindre dans un système d'élevage dans de bonnes conditions d'oxygénation.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Système d'élevage

Les animaux sont issus d'une éclosure et sont élevés en circuit fermé. Ils sont pesés sur une balance de précision (0,01 g) après égouttage sur papier absorbant.

Les bacs d'élevage de 180 litres d'eau de mer sont oxygénés en permanence par un surpresseur relié à des diffuseurs afin de maintenir un taux

d'oxygène proche de 100% de la saturation. Un renouvellement de 30% de l'eau est effectué quotidiennement par siphonnage avec une eau de forage sous dune dont les caractéristiques sont les suivantes :

- pH : $8,3 \pm 0,1$;
- alcalinité : $4 \pm 0,5$ mmol.L⁻¹ ;
- NH₃₋₄ <0,5 mgN.L⁻¹ ;
- NO₂ <0,5 mgN.L⁻¹ ;
- NO₃ <2 mgN.L⁻¹.

Un système de régulation thermique permet de maintenir la température avec une amplitude de $\pm 1^\circ\text{C}$. Cinq températures d'eau d'élevage (12, 15, 18, 21 et 24°C) et trois régimes alimentaires pour les deux espèces ont été testés (tableau I).

Les animaux sont placés à l'obscurité dans ces bacs avec chaque régime alimentaire quinze jours avant l'expérimentation et sont alimentés sans limitation. Les laminaires (*Laminaria digitata*) et les palmaria (*Palmaria palmata*) sont récoltées sur les côtes de la Manche et stockées dans des bassins aérés à l'extérieur du bâtiment. Les grains de maïs non traités destinés à l'alimentation du bétail (Agralco) sont stockés à l'obscurité et au sec.

Mesure de la consommation d'oxygène

Les animaux sont prélevés dans les bacs d'élevage et placés dans une chambre respirométrique avec aération pendant 30 minutes afin de limiter les perturbations comportementales des animaux (figure 1). La chambre respirométrique est thermostatée. Après arrêt de l'aération (et fermeture de la purge), une mesure de la concentration en oxygène est réalisée en début et fin d'expérience. Le volume d'eau (V en L) de la chambre respirométrique est déterminé par pesée.

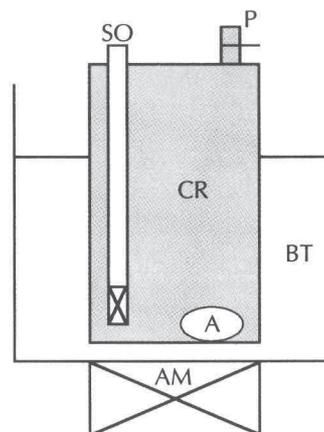


Figure 1 - Système de mesure de la consommation d'oxygène. CR : chambre respirométrique ; BT : bain thermostaté ; SO : sonde à oxygène avec agitateur ; AM : agitateur magnétique ; A : animaux ; P : purge. / Oxygen consumption measuring system. CR: respirometric chamber ; BT: temperature regulated bath; SO: oxygen probe with stirrer; AM: magnetic stirrer; A: animals; P: bleed-tap.

Tableau I - Poids moyen (W en g) et écart type (e.t.), minimum et maximum (min-max) et nombre d'oursins et d'ormeaux pour chaque régime alimentaire et température (T en °C) testés. / Means weight (W in g) and standard deviation (e.t.), minimum and maximum (min-max) and number of urchins or abalone for each diet and temperature (T en °C) tested.

<i>Haliotis tuberculata</i>									
À jeun				<i>Palmaria palmata</i>			<i>Laminaria digitata</i>		
T	W + e.t.	min-max	n	W + e.t.	min-max	n	W + e.t.	min-max	n
12	47,89±21,85	9,6-86,6	15	50,71±22,87	10,5-87,3	15	49,8±18,04	9,2-87,0	27
15	45,59±19,07	16,1-87,7	15	47,88±19,69	17,9-92,2	14	46,8±19,07	17,0-88,2	15
18	47,37±21,76	16,1-91,7	15	51,00±22,78	18,0-101,4	15	39,5±16,35	13,4-66,1	12
21	45,99±22,94	8,3-79,7	15	49,67±22,99	11,3-89,2	15	48,5±23,73	9,7-87,0	15
24	42,88±18,20	11,5-79,2	15	46,62±18,40	12,8-80,0	15	46,8±19,16	2,6-83,6	15

<i>Paracentrotus lividus</i>									
À jeun				<i>Laminaria digitata</i>			Maïs		
T	W + e.t.	min-max	n	W + e.t.	min-max	n	W + e.t.	min-max	n
12	23,88±13,84	2,6-51,2	20	23,97±13,78	2,6-50,6	17	14,47±14,14	2,9-52,9	18
15	23,58±13,06	3,6-49,1	18	23,10±13,21	3,4-50,5	18	24,80±12,85	4,0-49,2	18
18	25,38±13,87	4,0-53,8	18	23,97±15,55	3,5-54,3	18	25,49±14,73	4,3-55,6	18
21	26,51±13,72	4,7-58,9	17	22,93±13,50	3,8-49,1	18	27,32±14,17	5,4-61,3	18
24	22,91±13,54	3,9-49,1	19	25,04±14,86	3,8-59,8	18	24,09±12,90	5,4-50,7	18

$$V = P/\rho(T,S,0)$$

Où : P est le poids en gramme de l'eau contenue dans la chambre ; $\rho(T,S,0)$ la masse volumique de l'eau de mer pour une température T, une salinité S et à la pression atmosphérique standard.

$\rho(T,S,0)$ est calculée avec la formule adoptée par Millero *et al.* (1976) ; *in* Copin-Montegut (1989).

Trois capacités de chambre respirométrique sont utilisées : 350, 500 et 1000 mL en fonction de la taille des individus. La respiration est mesurée de façon individuelle, sauf pour les oursins de petite taille (poids frais inférieur à 12 g ; dans ce cas, des lots de plusieurs individus de poids homogènes sont réalisés).

La concentration en oxygène est mesurée par un oxymètre WTW 325 muni d'une sonde WTW 320 après un étalonnage à l'air selon la procédure du constructeur. La salinité est mesurée ($\pm 0,1$) par un conductimètre-salinomètre WTW LF 196.

La consommation globale en oxygène (C en $\text{mg O}_2 \cdot \text{h}^{-1}$) est calculée selon la formule :

$$C = \Delta\text{O}_2 \times 60 \times V / t$$

Où : O_2 est la différence de concentration d'oxygène entre le début et la fin de l'expérience (en $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) ; V, le volume d'eau (en L) ; t, la durée de l'expérience (min).

La concentration en oxygène en fin d'expérience ne doit pas être inférieure à $4,5 \text{ mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$,

l'oursin *Strongylocentrotus droebachiensis* étant dépendant de l'oxygène en-dessous de $4-4,5 \text{ mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$, (Johansen, Vadas, 1987). Ce seuil minimal acceptable est couramment employé en aquaculture (Hussenot, 1987). Le temps d'expérimentation varie entre 30 minutes et 1 heure en fonction de la température et du régime alimentaire afin d'obtenir un ΔO_2 compris entre 1 et $3 \text{ mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$ dans la chambre respirométrique.

Afin de ne prendre en compte que la respiration des animaux, l'évolution de la concentration en oxygène dans une chambre respirométrique sans animaux est réalisée. Les consommations enregistrées correspondent aux bilans d'oxygène des bactéries présentes dans l'eau de mer utilisée. Ainsi, la consommation R (en $\text{mgO}_2 \cdot \text{h}^{-1}$) en oxygène des animaux est calculée suivant la formule :

$$R = C_{(\text{animaux+bactéries})} - C_{(\text{bactéries})}$$

Où : $C_{(\text{animaux+bactéries})}$ est la consommation globale obtenue dans la chambre respirométrique en $\text{mgO}_2 \cdot \text{h}^{-1}$ et $C_{(\text{bactéries})}$ la consommation d'oxygène des bactéries.

Les consommations (R en $\text{mg} \cdot \text{h}^{-1}$) seront exprimées en fonction de la température (T en °C) et du poids frais (W en g) des animaux selon deux types de modèle : un modèle puissance ($R=a \cdot W^b \cdot T^c$) et un modèle linéaire ($R=a+bW+cT$). Les coefficients a, b et c sont calculés par le logiciel *Table Curve 3D* (SPSS).

Le rapport R/W (consommation/poids de l'animal) est calculé pour chaque incubation (en $\text{mgO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$).

Le rapport Q_{10} est calculé selon la formule suivante :

$$Q_{10} = \frac{R/W(24^\circ\text{C}) \times 10}{R/W(12^\circ\text{C}) \times 12}$$

Où : R/W(24°C) est la consommation d'oxygène à 24°C.

Une analyse statistique ANOVA à deux facteurs (régime alimentaire et température) est réalisée en utilisant le poids des animaux comme covariant et la consommation comme variable dépendante. Cette analyse est réalisée par le logiciel *StatView 5.0* (SAS).

RÉSULTATS

La respiration "bactérienne" mesurée dans le respiromètre est inférieure à 5% de la consommation des animaux.

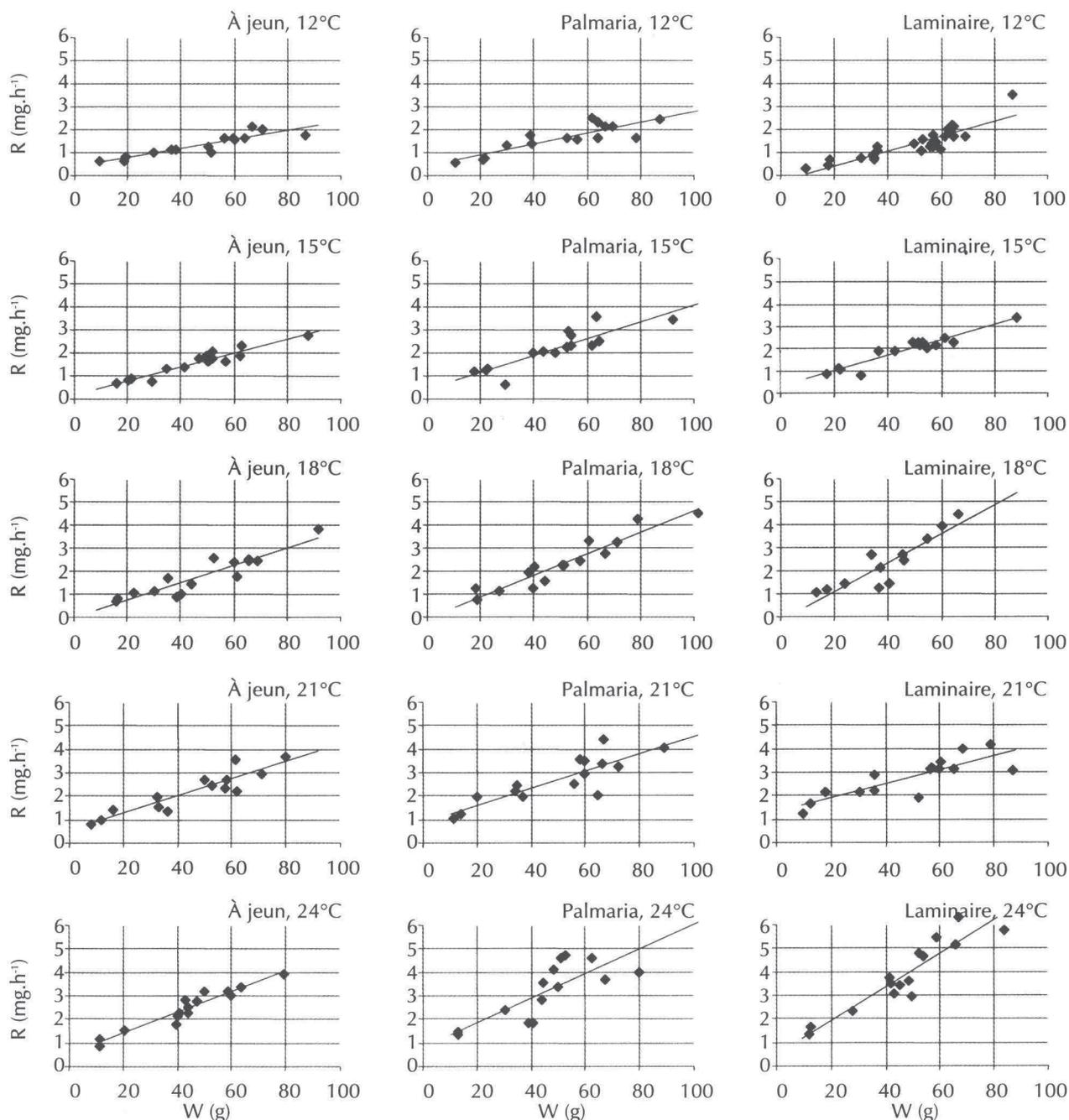


Figure 2 - Consommation en oxygène des ormeaux (R en $\text{mg} \cdot \text{h}^{-1}$) en fonction de leur poids (W en g), de la température d'élevage (en °C) et du régime alimentaire. / Oxygen consumption in abalones (R in $\text{mg} \cdot \text{h}^{-1}$) in relation to total weight (W in g), temperature (in °C) and diet.

Tableau II - ANOVA pour la consommation d'oxygène des ormeaux (F : F de Fisher). / Result ANOVA for abalones' oxygen consumption (F: Fisher test).

	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F	P	Lambda	Puissance
Régime	2	0,268	0,134	0,764	0,467	1,527	0,173
Température	4	3,296	0,824	4,696	0,001	18,782	0,956
Poids	1	135,612	135,612	772,728	<0,0001	772,728	1,000
Régime x température	8	1,161	0,145	0,827	0,579	6,618	0,374
Régime x Poids	2	2,388	1,194	6,802	0,0014	13,605	0,930
Température x poids	4	11,019	2,755	15,696	<0,0001	62,785	1,000
Régime x température x poids	8	2,155	0,2690	1,535	0,147	12,280	0,674
Résidu	203	35,628	0,175				

Tableau III - ANOVA pour la consommation d'oxygène des oursins (F : F de Fisher). / Result ANOVA for sea urchins' oxygen consumption (F: Fisher test).

	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F	P	Lambda	Puissance
Régime	2	0,204	0,102	5,617	0,004	11,234	0,867
Température	4	0,029	0,007	0,402	0,807	1,610	0,141
Poids	1	23,276	23,276	1279,323	<0,0001	1279,323	1,000
Régime x température	8	0,119	0,015	0,815	0,5897	6,522	0,371
Régime x Poids	2	1,771	0,885	48,661	<0,0001	97,322	1,000
Température x poids	4	1,713	0,428	23,533	<0,0001	94,134	1,000
Régime x température x poids	8	0,582	0,073	3,998	0,0002	31,986	0,994
Résidu	241	4,385	0,018				

Haliotis tuberculata

Les consommations d'oxygène (en mgO₂.h⁻¹) d'*H. tuberculata*, pour différentes tailles en phase de grossissement, élevé à différentes températures (12, 15, 18, 21 et 24°C) et ayant des régimes alimentaires différents (à jeun, *P. palmata* et *L. digitata*) sont indiquées dans la figure 2.

L'analyse de variance (tableau II) pour la consommation d'oxygène permet de montrer qu'il

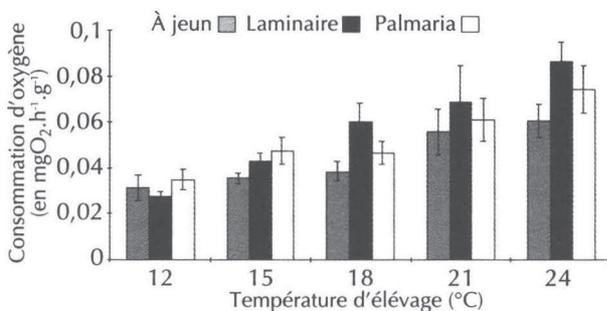


Figure 3 - Consommation d'oxygène (en mgO₂.h⁻¹.g⁻¹) chez l'ormeau pour cinq températures (de 12 à 24°C) et trois régimes alimentaires (J : à jeun ; P : palmaria; et L : laminaires). Moyennes et intervalles de confiance (95%) sont indiqués. / Oxygen consumption (in mgO₂.h⁻¹.g⁻¹) of abalone at five temperatures (from 12 to 24°C) and three diets (J: fasted; P: Palmaria; and L: Laminaria). Means and confidence intervals (95%) are indicated.

existe un effet très significatif (P=0,001) de la température sur la consommation d'oxygène et ceci quel que soit le régime alimentaire. Par contre, l'influence du régime alimentaire sur la consommation n'est pas significative (P=0,467) lorsque ce facteur est seul mais le croisement du facteur régime x poids est très significatif (P=0,001).

La consommation d'oxygène est sensiblement identique, que les ormeaux soient alimentés en *L. digitata* ou en *P. palmata*. Les consommations d'oxygène maximales sont de 0,086 ± 0,009 et 0,074 ± 0,010 mgO₂.g⁻¹.h⁻¹ à 24°C pour une alimentation en *L. digitata* et *P. palmata* respectivement ; les consommations minimales sont observées à 12°C et sont de 0,031 ± 0,005, 0,027 ± 0,002 et 0,034 ± 0,004 mgO₂.g⁻¹.h⁻¹ chez les animaux à jeun, alimentés en *L. digitata* et alimentés en *P. palmata* respectivement (figure 3). Un Q₁₀ égal à 2,7 est constaté lorsque les animaux sont alimentés avec *L. digitata*.

Paracentrotus lividus

Les consommations d'oxygène (en mgO₂.h⁻¹.g⁻¹) de *P. lividus* pour différentes tailles en phase de grossissement, élevé à différentes températures (12, 15, 18, 21 et 24°C) et ayant des régimes alimentaires différents (à jeun, maïs en grains et *L. digitata*) sont indiquées dans la figure 4.

L'analyse de variance (tableau III) pour la consommation d'oxygène permet de montrer qu'il

existe un effet très significatif de la température sur la consommation d'oxygène pour les animaux alimentés en maïs ou en lamiaines ($P < 0,001$). Par contre, l'effet de la température sur la consommation d'oxygène est négligeable lorsque les animaux sont à jeun ($P = 0,2$). Dans ce cas nous constatons une consommation de base comprise entre $0,015$ et $0,018 \text{ mgO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ quelle que soit la température d'élevage. À 12°C , la consommation d'oxygène n'est pas significativement différente en fonction du régime alimentaire ; par contre, aux températures supérieures

à 12°C , la consommation en oxygène est toujours très significativement plus faible pour des animaux à jeun que pour des animaux alimentés. Il n'y a pas de différence significative en fonction de l'aliment consommé (maïs ou lamiaines) pour une même température d'élevage.

Les consommations maximales de $0,046 \pm 0,004$ et $0,045 \pm 0,005 \text{ mgO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ sont observées à 24°C pour une alimentation au maïs et à 21°C pour une alimentation avec des lamiaines. Les consommations minimales sont observées pour les

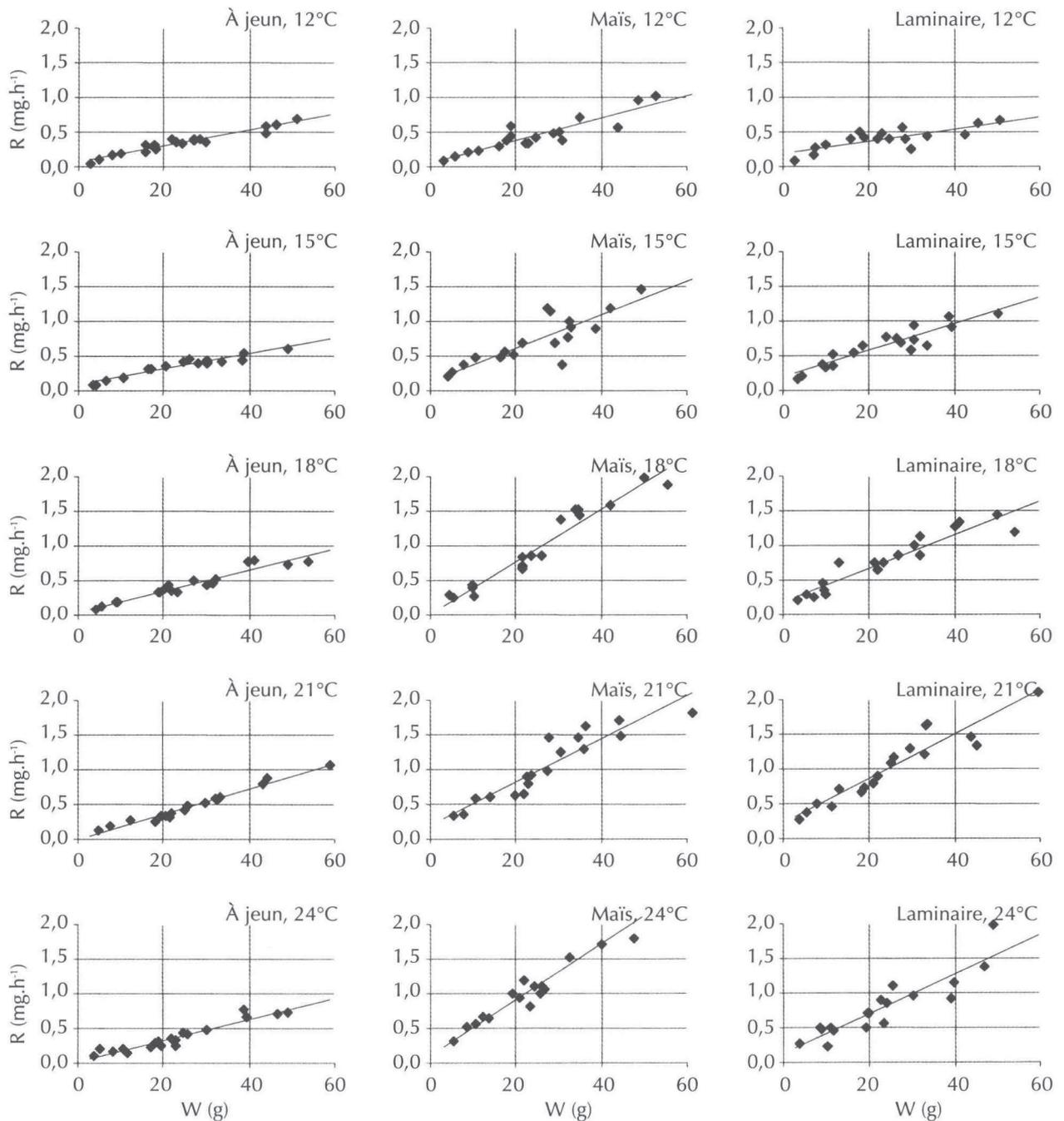


Figure 4 - Consommation en oxygène des oursins (R en $\text{mg} \cdot \text{h}^{-1}$) en fonction de leur poids (W en g), de la température d'élevage (en $^\circ\text{C}$) et du régime alimentaire. / Oxygen consumption in urchins (R in $\text{mg} \cdot \text{h}^{-1}$) in relation to total weight (W in g), temperature (in $^\circ\text{C}$) and diet.

Tableau IV - Résultats de l'analyse multirégression exponentielle de la consommation d'oxygène (R en mgO₂.h⁻¹) en fonction du poids total (W en g) et de la température (T en °C) : R=a.W^b.T^c. Le nombre d'expérimentations (n), les indices de probabilité F et P sont indiqués pour les ormeaux et les oursins sous différents régimes alimentaires. / Results of the multiple regression exponential analysis of oxygen consumption (R in mgO₂.h⁻¹) in relation to total weight (W in g) and temperature (T in °C): R=a.W^b.T^c. The number of experiments (n), the probability indices F and P are indicated for abalone and urchins fed with the different diets.

		a	b	c	n	r ²	F	P
ormeaux	À jeun	0,00776	0,701	0,971	74	0,86	211,6	<0,001
	Palmaria	0,00801	0,733	0,988	75	0,80	148,3	<0,001
	Laminaire	0,00149	0,752	1,572	84	0,87	270,3	<0,001
oursins	À jeun	0,01592	0,808	0,220	92	0,93	600,2	a,b<0,001 ; c>0,05
	Laminaire	0,00453	0,681	1,010	89	0,84	225,6	<0,001
	Maïs	0,00183	0,793	1,238	90	0,89	354,9	<0,001

Tableau V - Résultats de l'analyse multirégression linéaire de la consommation d'oxygène (R en mgO₂.h⁻¹) en fonction du poids total (W en g) et de la température (T en °C) : R=a+bW+cT. Le nombre d'expérimentations (n), les indices de probabilité F et P sont indiqués pour les ormeaux et les oursins sous différents régimes alimentaires. / Results of the multiple regression linear analysis of oxygen consumption (R in mgO₂.h⁻¹) in relation to total weight (W in g) and temperature (T in °C): R=a+bW+cT. The number of experiments (n), the probability indices F and P are indicated for abalone and urchins fed with the different diets.

		a	b	c	n	r ²	F	P
ormeaux	À jeun	-1,5566	0,0330	0,1054	74	0,85	204,7	<0,001
	Palmaria	-1,8474	0,0376	0,1340	75	0,75	110,8	<0,001
	Laminaire	-3,0397	0,0410	0,1987	84	0,82	185,9	<0,001
oursins	À jeun	0,0570	0,0143	0,0056	92	0,90	384,2	a,b<0,001 ; c>0,05
	Laminaire	-0,0665	0,0267	0,0445	89	0,78	316,6	<0,001
	Maïs	-0,0813	0,0297	0,0511	90	0,84	219,4	<0,001

animaux à jeun quelle que soit la température (0,016 à 0,018 mgO₂.h⁻¹.g⁻¹) et à 12°C pour ceux alimentés en maïs et en *L. digitata* (0,020 ± 0,002 et 0,020 ± 0,004 mgO₂.g⁻¹.h⁻¹ respectivement) (figure 5). L'expérience montre un Q₁₀ de 1,9 pour des animaux alimentés (maïs ou laminaire) et 0,9 pour des animaux à jeun.

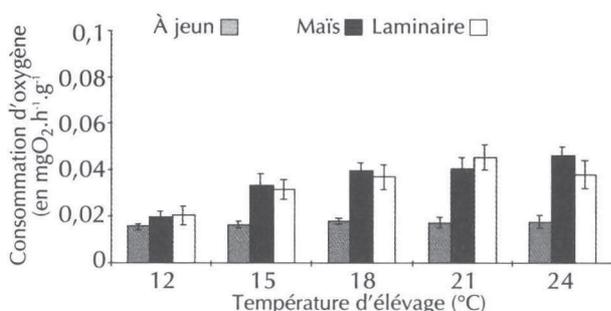


Figure 5 - Consommation d'oxygène (en mgO₂.h⁻¹.g⁻¹) chez l'oursin pour cinq températures (de 12 à 24°C) et trois régimes alimentaires (J : à jeun ; M : maïs ; et L : laminaires). Moyennes et intervalles de confiance (95%) sont indiqués. / Oxygen consumption (in mgO₂.h⁻¹.g⁻¹) of urchins at five temperatures (from 12 to 24°C) and three diets (J: fasted; M: maize; and L: Laminaria). Means and confidence intervals (95%) are indicated.

Les consommations d'oxygène de l'ormeau, *H. tuberculata*, et de l'oursin, *P. lividus*, sont modélisées pour chaque régime alimentaire (tableaux IV et V).

DISCUSSION

La formulation mathématique de la consommation d'oxygène en fonction de différents paramètres est variable selon les auteurs. Certains auteurs utilisent des modèles linéaires en fonction de la température : R=a+bT (Chen, Kou, 1996) ; d'autres, des modèles plus complexes : R=[a+(b.c^T)].W^d (Bougrier *et al.*, 1995 ; Haure *et al.*, 1998). Toutefois la plupart des auteurs utilisent des modèles puissances (Kim, 1980 ; Wilson, Elkaim, 1997).

L'expression puissance de la consommation d'oxygène est proche de la réalité physiologique et, d'autre part, les coefficients de corrélation sont meilleurs que pour l'expression linéaire. Toutefois, cette expression exponentielle est très mal adaptée en élevage. En effet, pour connaître la consommation globale d'une structure d'élevage, il faudrait connaître la taille de chaque individu. Or si nous utilisons une modélisation linéaire de la consommation, il suffit de connaître le nombre et la

biomasse globale des animaux en élevage pour déterminer les besoins en oxygène ($\sum R_i$ en $\text{mgO}_2 \cdot \text{h}^{-1}$) qui sont alors :

$$R = a + bW + cT$$

$$\sum_n R_i = n(a + cT) + b \sum_n W$$

Où : n est le nombre d'individus ; SW, la biomasse (en g) ; T, la température d'élevage (en °C) ; a, b, et c, les coefficients déterminés dans cette étude.

D'autres modèles, linéaires pour la température, et puissance pour le poids, peuvent être utilisés mais ne permettent pas d'augmenter sensiblement le coefficient de corrélation.

La relation entièrement linéaire donne une bonne approximation pour des ormeaux dont le poids est compris entre 10 et 90 g et des oursins dont le poids est compris entre 5 et 60 g, soit dans la partie linéaire de la courbe de la consommation d'oxygène en fonction de la taille. Pour des animaux de petite taille, l'approximation est surévaluée.

Pour un ormeau de 10 g de poids frais total à jeun, la consommation d'oxygène calculée par les modèles montre une consommation de 0,71 ; 0,86 et 0,76 $\text{mgO}_2 \cdot \text{h}^{-1}$ à 18°C pour le modèle exponentiel, le modèle linéaire de cette étude et le modèle exponentiel de Gaty et Wilson (1986) respectivement. Pour un ormeau de 50 g de poids frais total, la consommation d'oxygène calculée montre une consommation de 2,2 ; 2,2 et 3,0 $\text{mgO}_2 \cdot \text{h}^{-1}$ pour le modèle exponentiel, le modèle linéaire de cette étude et le modèle de Gaty et Wilson (1986) respectivement. Nous constatons donc que les trois expressions donnent des résultats proches pour un animal de 10 g, avec une légère surévaluation pour le modèle linéaire. Par contre, pour un animal de 50 g de poids frais, il existe un écart assez important entre le modèle de Gaty et Wilson (1986) et les deux expressions développées dans cette étude qui donnent des résultats similaires. Gaty et Wilson (1986) utilisent dans leurs expériences des animaux de petite taille (poids maximum de 12,6 g), ce qui peut expliquer la différence observée dans la consommation d'oxygène ; leur modélisation est meilleure pour les petites tailles que pour des individus de grande taille, or en élevage, les problèmes liés aux déficits d'oxygène interviennent généralement pour les animaux de grande taille.

Les résultats obtenus dans cette étude pour *H. tuberculata* peuvent être comparés avec ceux de Segawa (1991) qui travaille sur l'ormeau *Sulculus diversicolor aqualilis* à jeun à 24°C. Ainsi, l'expression mathématique que l'auteur calcule ($R=aW^b \cdot c^T$) permet de connaître la consommation d'oxygène pour un ormeau de 10 g après 15 jours de jeûne, soit une consommation de 0,886 $\text{mgO}_2 \cdot \text{h}^{-1}$. Dans les mêmes conditions, le modèle puissance développé ci-dessus donne une valeur très proche de 0,853 $\text{mgO}_2 \cdot \text{h}^{-1}$.

La comparaison des résultats obtenus par Gaty et Wilson (1986) et d'autres auteurs concernant plusieurs espèces de prosobranches

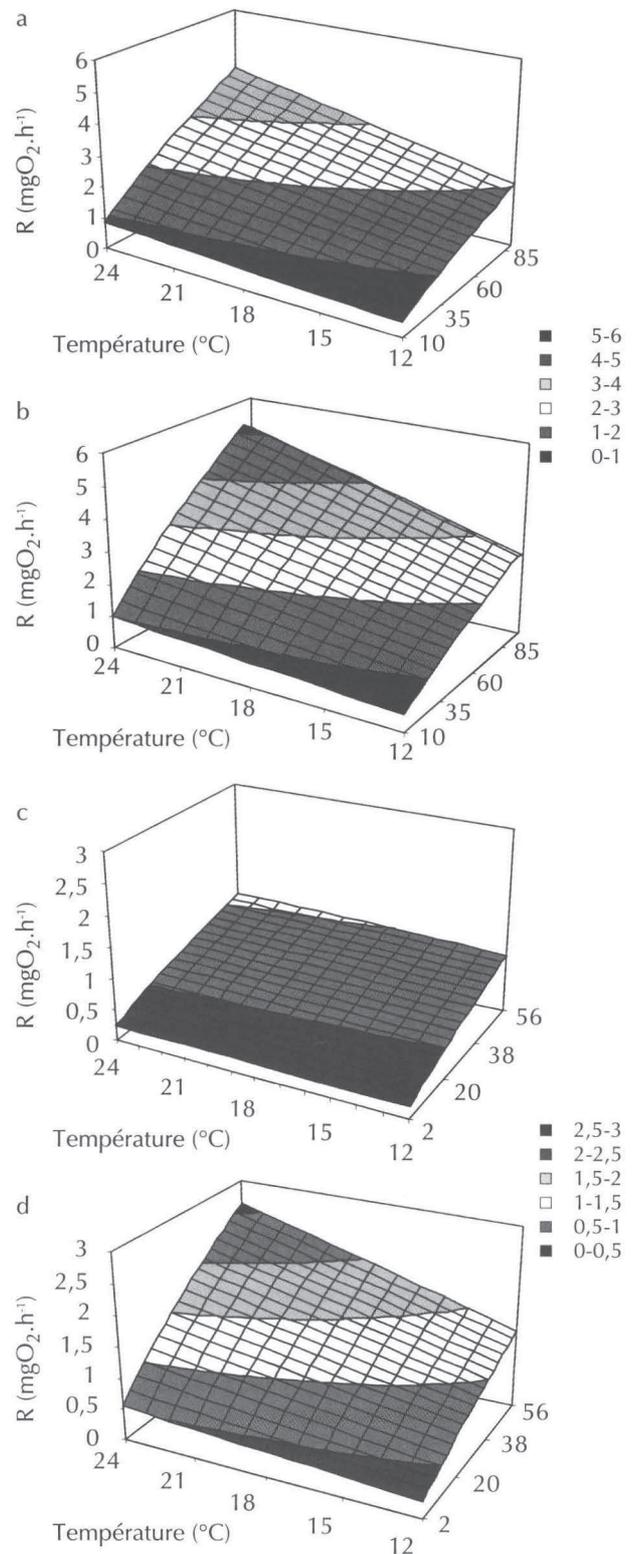


Figure 6 - Modélisation exponentielle de la consommation d'oxygène ($\text{mgO}_2 \cdot \text{h}^{-1}$) chez l'ormeau à jeun (a) ou alimenté (b), ainsi que chez l'oursin à jeun (c) ou alimenté (d) en fonction du poids frais de l'animal (en g) et de la température d'élevage (en °C). / Oxygen consumption modelling (in $\text{mgO}_2 \cdot \text{h}^{-1}$) of fasted abalone (a) or fed (b) and fasted urchins (c) or fed (d) in relation to total weight (W in g) and temperature (in °C).

(Shumway, 1981 ; Bayne, Newell, 1983) place l'ormeau parmi les espèces à faible besoin. D'autres auteurs ont étudié la respiration de certains gastéropodes mais les conditions de mesure sont très différentes (température, alimentation) et rendent difficiles les comparaisons.

Lawrence et Lane (1982) dans leur rapport de synthèse regroupent 123 espèces d'échinodermes qui ont fait l'objet de mesures respirométriques dont 36 échinoïdes. La seule donnée sur *P. lividus* indique une consommation d'oxygène de 30 mL_{O₂}.j⁻¹ pour un individu de 80 g de poids frais. Les auteurs ne mentionnent ni la température, ni le régime alimentaire ce qui ne permet pas de comparer les résultats.

Les données bibliographiques sur *Strongylocentrotus droebachiensis* sont plus complètes, ainsi Miller *et al.* (1971) indiquent à 17°C une consommation de 0,676 mL_{O₂}.j⁻¹.g⁻¹ de poids frais. Le modèle développé ci-dessus permet de calculer une consommation de 0,636 mL_{O₂}.g⁻¹.j⁻¹ dans les mêmes conditions. Leighton (1968), pour *Strongylocentrotus purpuratus*, indique une consommation de 0,021 mL_{O₂}.h⁻¹.g⁻¹ de poids frais et notre modèle indique une consommation de 0,020 mL_{O₂}.h⁻¹.g⁻¹ de poids frais à 15°C, pour des animaux alimentés en laminaires et 0,012 mL_{O₂}.h⁻¹.g⁻¹ de poids frais à 15°C et à jeun. Ainsi, nos valeurs calculées sont assez proches des valeurs mesurées par d'autres auteurs sur les autres espèces d'oursins.

Nous pouvons constater que la consommation en oxygène des oursins *P. lividus* est plus faible que celle des ormeaux *H. tuberculata* et ceci quel que soit le régime alimentaire pour une même température. Cela peut-être expliqué par le fait que les ormeaux ont une quantité plus importante de chair (environ 75% du poids total frais en élevage ; Basuyaux, 1998) que les oursins (environ 20% du poids frais). D'autre part, nous constatons une différence importante sur le Q₁₀. En effet, ce rapport calculé pour l'ormeau alimenté en *L. digitata* est de 2,7, alors qu'il est 1,9 pour l'oursin : cela indique que l'ormeau a une mauvaise adaptation métabolique par rapport à la température et que cette adaptation est faible pour l'oursin. Par contre, à jeun l'oursin présente une meilleure compensation métabolique à la température puisque le Q₁₀ est de 1,9 contre 1,7 pour l'ormeau. Toutefois, ce rapport n'atteint pas la gamme 1-1,5 généralement reconnue comme représentant une compensation thermique immédiate (Hazel, Prosser, 1974 ; Taylor, Meyer-Rochow, 1996). Mc Pherson (1968) indique des résultats identiques pour *Eucidaris tribuloides* ; la consommation de ces échinoïdes est sensiblement constante quelle que soit la température d'élevage lorsque les animaux sont à jeun. En ce qui concerne les mollusques, Newell et Pye (1971), montrent des résultats similaires pour *Littorina littorea* à jeun. Il semble donc qu'il y ait des différences selon les mollusques dans l'adaptation métabolique à la température.

D'autres facteurs peuvent intervenir sur la consommation d'oxygène. Le déplacement des animaux implique une forte augmentation de la consommation en oxygène (Newell, Pye, 1971 ; Uki, Kikuchi, 1975) mais, dans les structures d'élevage, l'accès permanent à l'alimentation en algues limite probablement le déplacement. D'autre part, plusieurs auteurs montrent des différences significatives de la consommation d'oxygène en fonction de la saison de prélèvement des animaux dans le milieu naturel et en fonction du remplissage gonadique (Giese, 1967 ; Percy, 1972). Dans nos élevages, la température est maintenue constante toute l'année et l'indice gonadique (poids de gonade/poids frais total 100) est généralement supérieur à 10 (Blin, Basuyaux, données non publiées). Ainsi, peu de variations de ces deux facteurs sont observées au cours de l'année. La consommation d'oxygène dans les structures d'élevage devrait donc présenter moins de variabilité que dans la nature.

Les modèles développés dans cette étude permettent de calculer la consommation dans différentes conditions (figures 5 et 6). Ainsi, la figure 7

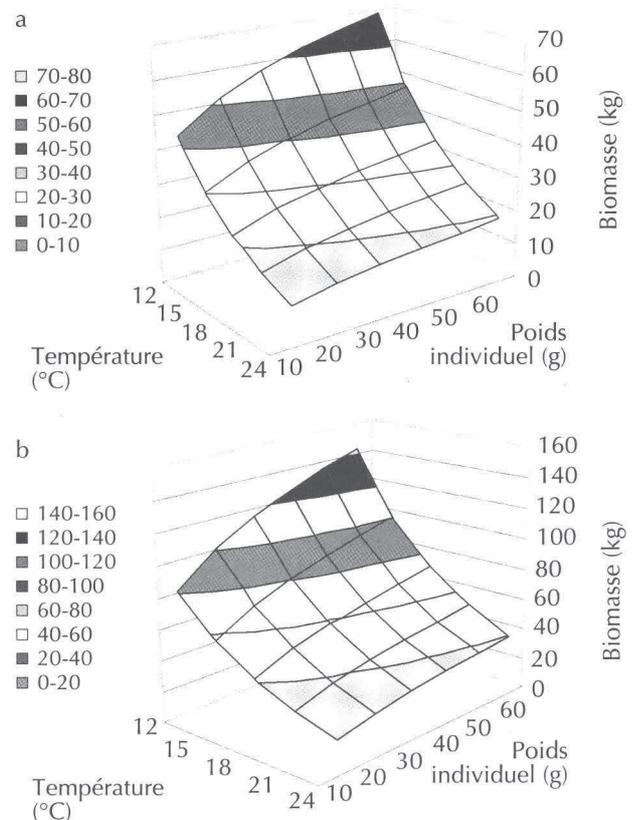


Figure 7 - Biomasse maximale admissible dans un bac d'un mètre cube d'eau de mer avec un apport d'eau de 0,5 m³.h⁻¹ (saturée en oxygène) en fonction de la température et du poids individuel pour des ormeaux (a) et des oursins (b). / Maximum biomass allowed in the one cubic metre sea water tank with a 0.5 m³.h⁻¹ water input (oxygen saturated) versus temperature and body weight for the abalone (a) and sea urchin (b).

indique les biomasses admissibles dans un bac d'un mètre cube d'eau de mer avec un apport d'eau de 0,5 m³.h⁻¹ (saturé en oxygène) en fonction de la température et du poids individuel pour des ormeaux et des oursins pour un seuil minimum en oxygène de 4,5 mgO₂.L⁻¹. Cette simulation est réalisée sur la base des modèles exponentiels de consommation d'oxygène pour des animaux alimentés. Les biomasses obtenues sont légèrement surévaluées car les bilans bactériens, phytoplanctonique et zooplanctonique de même que les échanges air/eau à la surface du bac ne sont pas pris en compte. Dans la chambre respirométrique, la consommation attribuée aux bactéries est inférieure à 5%, toutefois, cette chambre est exempte de fèces (peu de dégradation de matière organique) et de flore bactérienne fixée (nettoyage régulier). L'estimation de la biomasse maximale est de 29 kg.m⁻³ d'ormeaux et 58 kg.m⁻³ d'oursins (18°C, poids individuel de 30 g). Cette biomasse maximale est uniquement calculée par rapport à une limitation en oxygène, toutefois, d'autres paramètres interviennent, tels que la densité d'élevage, la concentration en sels azotés, ... qui peuvent être des contraintes plus importantes en élevage.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été financée par le Syndicat mixte pour l'équipement du littoral (Manche, France) et le Conseil général de Basse-Normandie. Nous remercions J.-L. Blin et S. Petinay pour leur avis technique sur la réalisation de ce travail ; A. Migné pour la relecture et M. Amat pour la traduction et la correction de ce travail.

BIBLIOGRAPHIE

- Arzel P., 1989 - *Aménagement rationnel des pêcheries de Bretagne-Nord*. DRV Pêche, Ifremer : 69 pp.
- Basuyaux O., 1998 - *Étude et modélisation des paramètres physico-chimiques sur la croissance de l'ormeau (Haliotis tuberculata) en élevage en circuit semi-fermé*. Thèse de doctorat de l'université de Caen, France, 237 pp.
- Basuyaux O., J.L. Blin, 1998 - Use of maize as a food source for sea urchins in a recirculating rearing system. *Aquacult. int.*, **6** : 233-247.
- Bayne B.L., R.C. Newell, 1983 - Physiological energetics of marine molluscs. In : *The mollusca*. A.S.M. Saleuddin, K.L. Wilbur (eds), Academic Press, New York, **4** (1) : 407-515.
- Bougrier S., P. Geairon, J.M. Deslous-Paoli, C. Bacher, G. Jonquière, 1995 - Allometric relationships and effects of temperature on clearance and oxygen consumption rates of *Crassostrea gigas* (Thunberg). *Aquaculture*, **134** : 143-154.
- Chen J.C., T.T. Kou, 1996 - Effects of temperature on oxygen consumption and nitrogenous excretion of juvenile *Macrobrachium rosenbergii*. *Aquaculture*, **145** : 295-303.
- Copin-Montegut G., 1989 - Physico-chimie de l'eau de mer. *Océanis*, **15** : 1-142.
- Gaty G., J.H. Wilson, 1986 - Effect of body size, starvation, temperature and oxygen tension on the oxygen consumption of hatchery-reared ormers *Haliotis tuberculata* L. *Aquaculture*, **56** : 229-237.
- Giese A.C., 1967 - Changes in body-component indexes and respiration with size in the purple sea urchin *Strongylocentrotus purpuratus*. *Physiol. Zool.*, **40** : 194-200.
- Haure J., C. Penisson, S. Bougrier, J.P. Baud, 1998 - Influence of temperature on clearance and oxygen consumption rates of the flat oyster *Ostrea edulis*: determination of allometric coefficients. *Aquaculture*, **169** : 211-224.
- Hazel J., C.L. Prosser, 1974 - Molecular mechanisms of temperature compensation in poikilotherms. *Physiol. Rev.*, **91A** : 620-677.
- Hussenot J., 1987 - Le contrôle des gaz dissous en aquaculture marine. In : *Le traitement de l'eau de mer en aquaculture*. Rapport du groupe de travail, Brest. Ifremer. **2** (5) : 1-25.
- Johansen K., R. Vadas, 1987 - Oxygen uptake and responses to respiratory stress in sea urchin. *Biol. Bull.*, **132** : 16-22.
- Kim Y.S., 1980 - Efficiency of energy transfer by a population of the farmed Pacific oyster *Crassostrea gigas* in Geoje-Hansan bay. *Bull. Korean Fish. Soc.*, **13** : 179-193.
- Koike Y., J. Flassch, J. Mazurier, 1979 - Biological and ecological studies on the propagation of the ormer, *Haliotis tuberculata* Linnaeus. II: Influence of food and density on the growth of juveniles. *Umi/Mer*, **17** (1) : 43-52.
- Lawrence J.M., J.M. Lane, 1982 - The utilization of nutrients by post-metamorphic echinoderms. In : *Echinoderm nutrition*. M. Jangoux, J.M. Lawrence (eds). A.A. Balkema publishers / Rotterdam, pp : 331-371.
- Le Gall P., 1989 - Echinoculture. In : *Aquaculture 2^{ème} édition, Vol 1*. G. Barnabé (ed.). Lavoisier, France, pp : 468-491.
- Leighton D.L., 1968 - *A comparative study of food selection and nutrition in the abalone Haliotis rufescens Swainson, and the sea urchin, Strongylocentrotus purpuratus (Stimpson)*. PhD Dissert., Univ. California, San Diego, 197 pp.
- Mc Pherson B.F., 1968 - Feeding and oxygen uptake of the tropical sea urchin *Eucidaris tribuloides*. *Biol. Bull. mar. biol. Lab., Woods Hole*, **135** : 308-321.
- Mercer J.P., K.S. Mai, J. Donlon, 1993 - Comparative studies on the nutrition of two species of abalone, *Haliotis tuberculata* L. and *Haliotis discus hannai* Ino. I Effects of algal diets on growth and biochemical composition. *Invertebr. Reprod. Dev.*, **23** : 75-88.
- Miller R.J., K.H. Mann, D.J. Scarratt, 1971 - Production potential of a seaweed-lobster community in eastern Canada. *J. Fish. Res. Bd Can.*, **28** : 17-33.
- Millero F.J., A. Gonzalez, G.K. Ward, 1976 - The density of seawater solutions at one atmosphere as a function of temperature and salinity. *J. mar. Res.*, **34** (1) : 61-93.
- Newell R.C., V.I. Pye, 1971 - Quantitative aspects of the relationship between metabolism and temperature in the winkle, *Littorina littorea* (L.). *Comp. Biochem. Physiol. B*, **38** : 635-650.
- Percy J.A., 1972 - Thermal adaptation in the boreo-arctic echinoid, *Strongylocentrotus droebachiensis*. I. Seasonal acclimatization of respiration. *Physiol. Zool.*, **45** : 277-289.

- Perez R., J. Audouin, 1973 - Répartition des grands champs d'algues brunes sur les côtes françaises de la Manche occidentale entre l'Île Grande et l'Île de Sieck. Science et pêche, 226 pp.
- Segawa S., 1991 - Oxygen consumption and ammonia excretion by abalone *Sulcatus diversicolor aqualitis* in starved condition. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **57** (11) : 2001-2006.
- Shumway S.E., 1981 - Factors affecting the oxygen consumption of the marine pulmonate *Amphibolota crenata*. *Biol. Bull. mar. biol. Lab., Woods Hole*, **160** : 332-347.
- Taylor P.R., V.B. Meyer-Rochow, 1996 - Thermally-induced changes in the metabolism of the eye of the crayfish *Paranephrops planifrons*: respiration and substrate utilisation at three distinct temperatures. *Physiol. Behav.*, **61** (4) : 613-618.
- Uki N., S. Kikuchi, 1975 - Oxygen consumption of the abalone, *Haliotis discus hannai*, in relation to body size and temperature. *Bull. Tokai reg. Fish. Res. Lab.*, **35** : 73-84.
- Wilson J.G., B. Elkaim, 1997 - Seasonal and geographical differences in oxygen consumption with temperature of *Cerastoderma glaucum* and comparison with *C. edule*. *Estuar. coast. Shelf Sci.*, **45** : 571-577.

Reçu en août 1999 ; accepté en juillet 2000.
Received Augst 1999; accepted July 2000.