



Défi MOREST

Mortalités estivales de l'huître creuse *Crassostrea gigas*.

Caractérisation des facteurs de risques associés au mortalités estivales

Synthèse du thème 6

Le risque température

(La Rochelle 14-15 mars 2006)

Projet cofinancé par :





Caractérisation des facteurs de risques associés au mortalités estivales

Synthèse du thème 6

Le risque température

2000 – 2005

C.Lambert, J.Moal, S. Pouvreau, G.Le Moullac JF. Samain

Contributeurs :

M. Delaporte, C. Quéré, J.R Le Coz, M. Garnier; JL Nicolas / Ifremer PFOM/PI-Brest

P. Le Souchu, Y. Bourles, I. Queau, / Ifremer PFOM/PI-Argenton

K.Costil, J.Royer/LLBA, Caen

P. Soudant, M. Jegaden, M. Gonçalves, G. Choquet, C. Paillard/ IUEM, LEMAR, éq. IHP..

B. Gagnaire, T. Renault, N. Faury, N. Kerdudou, D.Saunier, M. Gay, L. Miossec / Ifremer LGP.

P. Soletchnik, F. Blouin, O. Le Moine, P. Geairon, P. Madec/ Ifremer LERPC.

M. Ropert, E. Le Gagneur, A. Gangnery / Ifremer LERN

E. Bedier, A.Langlade/Ifremer LERB

J.Knoery/Ifremer, Nantes

Coordinateur du programme

J.F. Samain



Sommaire

1. Introduction	3
2. La physiologie de l'huître :	3
2.1 Stades de gamétogenèse et 19°C.....	3
2.3 Bilan énergétique et température 19°C,	5
2.3.1 Les réserves.....	5
2.3.2 L'assimilation.....	6
Conclusion	7
2.4. La respiration	7
2.4.1 : Métabolisme de base associé au stade de reproduction :.....	7
2.4.2 : Effet de la nutrition sur le coût de la reproduction:	8
2.4.3 : Besoins et disponibilité en oxygène	9
2.5 Paramètres hématocytaires et température	9
3. Le sédiment et 19°C.....	10
3.1 La reminéralisation sédimentaire et 19°C :.....	10
3.2.Diffusion et température.....	11
3.3.Sédiment et pontes partielles :	12
4. La génétique et la température :	13
5. Les pathogènes et la température :	13
5.1 Quelle est l'influence de la température sur les bactéries ?	13
5.2. Quelle est l'influence de la température sur OsHV-1 ?	14
6. Conclusion générale.....	14
7. Bibliographie.....	16

1. Introduction

Les mortalités apparaissent toujours très rapidement après le passage de la température de l'eau à 19°C. Il a bien été montré que ce n'était pas la valeur absolue de la température qui était associée à la mortalité, puisque des années très chaudes comme 2003, peu de mortalités étaient enregistrées. Il s'agit plutôt d'un seuil à partir duquel le risque devient réel.

La température affecte tous les processus de la physiologie et c'est un facteur clef de la distribution géographique des espèces. Les espèces se maintiennent dans les conditions environnementales qui ont permis leur adaptation. Les mortalités traduisent donc une rupture de l'adaptation ou une modification brutale de l'environnement qui peut affecter les équilibres qui se sont installés entre espèces.

Dans ce chapitre nous analyserons les effets de la température sur la physiologie de l'huître en reproduction, sur les stress associés aux processus biologiques du sédiment, sur la flore bactérienne et virale susceptibles d'infecter l'huître.

Nous chercherons à identifier si des optimums thermiques ou au contraire des bouleversements physiologiques caractérisent le passage à 19°C sur ces différents aspects.

2. La physiologie de l'huître :

2.1 Stades de gamétogenèse et 19°C

La gamétogenèse de lots d'huîtres âgées de plus d'un an a été suivie en Baie des Veys, pendant trois années, à partir de coupes histologiques. Ces séries chronologiques ont permis d'établir le cycle sexuel des huîtres dans un secteur où les pontes sont partielles.

Il apparaît que la gamétogenèse est une fonction linéaire de la température pour une même classe d'âge; en effet, les stades de gamétogenèse se répartissent linéairement à la somme cumulée des degrés depuis le début estimé de la gamétogenèse) (figure 1).

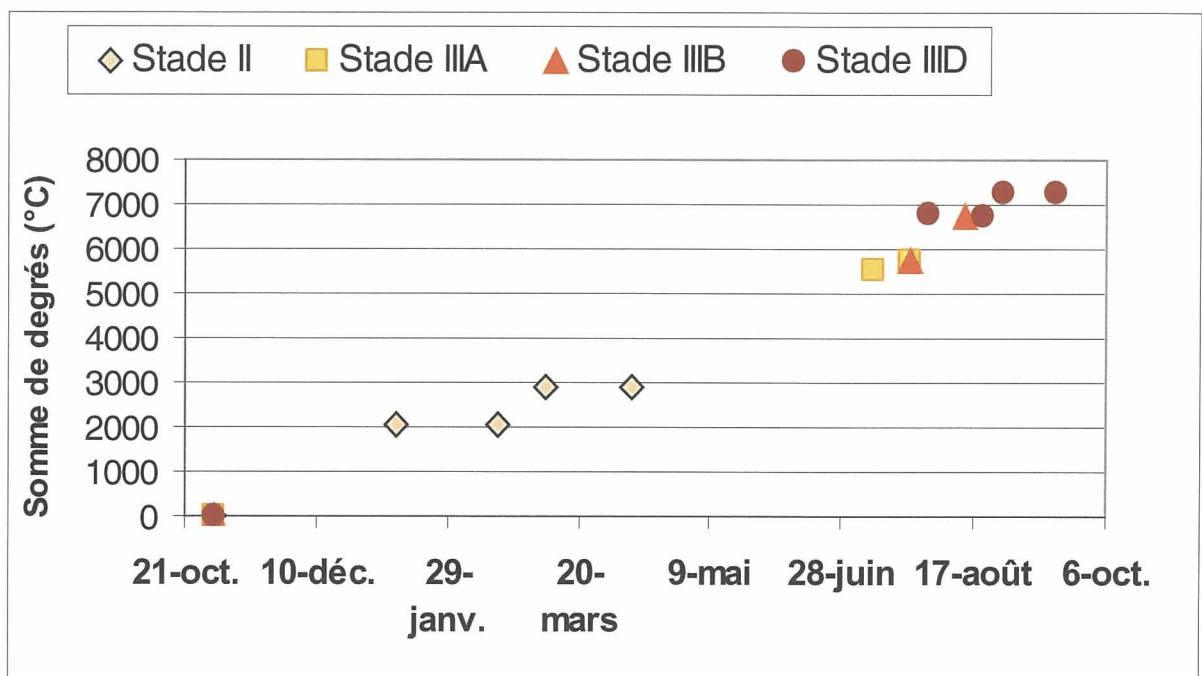


Figure 1 : Relation entre les stades de gamétogenèse observés en Baie des Veys et la température

Le tableau 1 relève les conditions thermiques et la période d'observation des différents stades de gamétogenèse en Baie des Veys.

Tableau 1 : Stade de gamétogenèse en Baie des Veys : 1) Période pendant laquelle le stade peut être observé au cours de l'année, 2) Période pendant laquelle le stade est majoritairement observé dans les échantillons (n = 30) et 3) Gamme de températures moyennes pendant la « dominance » du stade (\pm écart type) (variable selon les années).

Stades	Caractéristiques du stade	Mois "présence" *	Mois "dominance" **	Température moyenne ***
I	Mitoses goniales	septembre-avril	octobre-mars	10,1(2,4) à 10,5 (2,7)
II	Développement des tubules	janvier-juillet	mars-juin	10,9 (2) à 12,2 (3,1)
IIIA	Volume maxi. de la gonade Encore des gamètes non matures	juin-septembre	juin-juillet	17,1 (0,7) à 19 (0,6)
IIIB	Pleine maturité sexuelle	juillet-novembre	août	18,8 (0,2) à 19,5 (0,5)
IIID	Post-ponse / résorption	août-novembre	août-septembre	17,2 (0,9) à 19 (0,6)

Il semble cependant que la dynamique de gamétogenèse puisse varier selon les classes d'âge pour un même site. Ainsi, en Baie des Veys, à la température de 19°C, les trois classes d'âge ne sont pas au même stade de la gamétogenèse (fig 2).

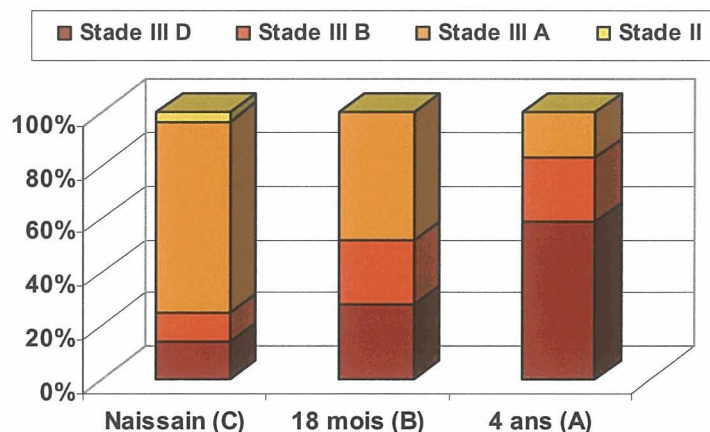


Figure 2 : Répartition des stades de gamétogenèse au mois d'août 2001 sur des huîtres d'âges différents et à 19°C

Le naissain a aussi la particularité de ne subir que peu de mortalités en Baie des Veys. Le stade IIIA qui est le plus présent chez le naissain ne serait donc pas un stade associé aux mortalités. Par contre les stades III B et D observés sur les huîtres plus âgées, sont les stades d'attente de ponte et de ponte, et paraissent correspondre aux stades où le risque est le plus important.

A Auray ou à Marennes la mortalité affecte plutôt les juvéniles qui ont atteint le même stade que les adultes. Le stade de maturité ne dépend donc qu'en partie de la température. Dans les écosystèmes où la température monte la plus vite, juvéniles et adultes peuvent être au même stade, alors que



cela n'est pas le cas dans les milieux où la température monte lentement.

2.2 La ponte et 19°C:

Mori (1979) et Perdue et al.(1981) signalent que la mortalité est souvent associée à la ponte. En effet, en Baie des Veys, le seuil de 19°C est atteint en fin d'été et le pic de mortalité a, plus particulièrement, lieu « autour de la période de ponte et/ou de résorption », simultanément à une chute des indices de remplissage (AFNOR, WM). Cependant on observe aussi le contraire, à Auray ou à Marennes, où le seuil de 19°C est franchi vers la fin juin. La mortalité est observée peu après, mais intervient près de 15 jours à un mois avant la ponte massive.

Il semble donc que si le stade IIIB ou D est nécessaire, il n'y a pas de lien direct avec la ponte massive. La température de 19°C ne correspond pas à la date de la ponte massive qui est généralement autour de 20°C. La conjonction entre les deux événements dépend de la latitude.

En Baie des Veys il est parfois observé des pontes partielles qui peuvent résulter de fortes variations thermiques autour du seuil critique de 19°C et être suivies de mortalités. Ce type d'observation n'est pas systématique, mais peut être plausible. En effet, les expérimentations ont montré qu'un stress était nécessaire, quand les huîtres étaient en pleine maturité et au dessus de 19°C, pour déclencher la mortalité. Une brusque variation thermique pourrait constituer un stress. A cette température un tel stress peut provoquer des pontes partielles si les huîtres sont suffisamment matures. Le lien entre de telles pontes partielles avec le déclenchement de la mortalité, s'il est ici suggéré ici, doit être documenté par ailleurs.

Conclusion

La température de 19°C correspond généralement aux stades IIIB et IIID qui sont les stades de pré-ponte et de ponte. La température de 19°C peut correspondre à une fenêtre thermique dans laquelle les huîtres ayant atteint un stade de maturité proche de la ponte, pourraient faire des pontes partielles dans le cas de variations thermiques ponctuelles de 1 à 2°C ou sous l'effet d'autres stress.

2.3 Bilan énergétique et température 19°C,

Que représente le seuil de 19°C pour une huître prête à pondre ? La température gouverne en premier lieu le cycle annuel de la reproduction qui est corrélé à un cycle de stockage et de mobilisation des réserves énergétiques constituées essentiellement de glycogène et de lipides (Mathieu and Lubet 93). La balance énergétique contrôle la reproduction (Schneider 2004). Dans le chapitre 2 il a été montré en effet que l'investissement dans la gamétogenèse était corrélé aussi à la nourriture disponible. Par ailleurs, ces réserves s'épuisent au cours de la progression de la gamétogenèse. Ainsi, le contenu en glycogène a été relié aux mortalités estivales (Perdue et al 81). Quand la température monte, les coûts énergétiques du métabolisme augmentent selon la loi d'Arrhenius. D'après les premiers résultats du modèle DEB (Kooijman, 2000, et Chapitre 2), des déficits énergétiques pourraient apparaître lors d'une chute brutale de l'ingestion du fait de manque de nourriture ou de stress.

2.3.1 Les réserves

Pendant la période de gamétogenèse active et d'augmentation de la température (avril à juillet), le développement du tissu gonadique s'accompagne d'une consommation en glucides pour toutes les huîtres, quel que soit le niveau initial des réserves et le niveau d'alimentation (chapitre 2). Cette consommation d'énergie se répercute jusqu'au niveau du stock cellulaire d'ATP avec une diminution des valeurs de charge énergétique adénylique (CEA). En considérant l'ensemble des résultats obtenus, on constate que la température de 19°C correspond à des concentrations de sucres, généralement les plus basses du cycle saisonnier. Quand elles sont inférieures à 5-10%, elles provoquent à partir de ce seuil une baisse de charge énergétique dans une zone de valeur considérée comme critique (0,50-0,60) ou très critique (<0,50). C'est le cas dans les écosystèmes du Sud, Marennes –Oléron et Auray au moment des mortalités. Inversement, en Baie des Veys,



quand les mortalités se déclenchent la charge énergétique peut être encore élevée à 19°C parce que les réserves en sucres sont encore abondantes (fig. 3).

Le bilan des réserves au moment des 19°C ne paraît pas être le seul responsable du déclenchement des mortalités.

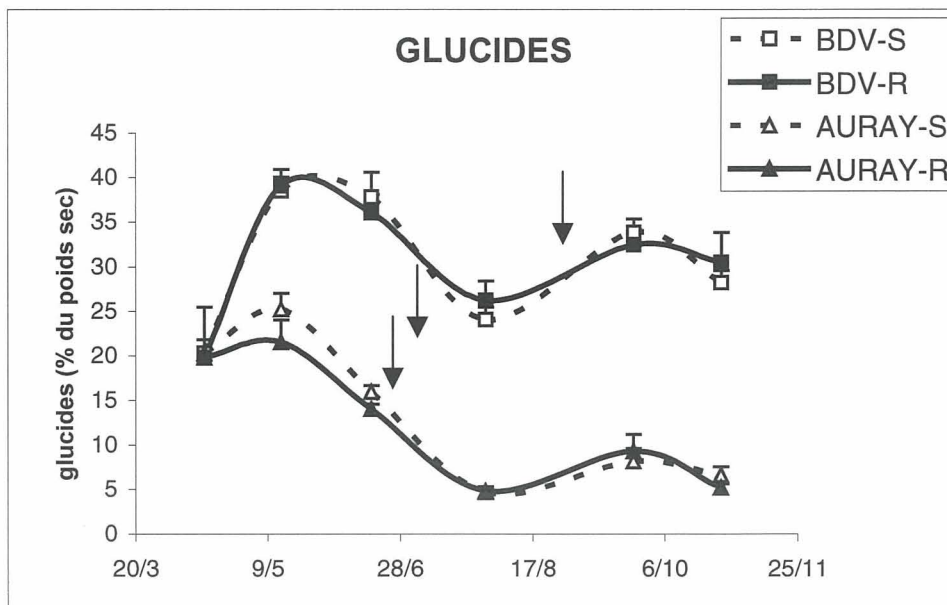
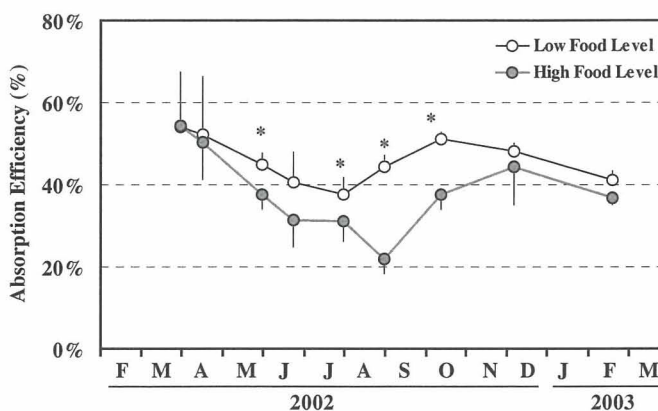


Figure 3 : teneurs en sucres au cours d'un cycle saisonnier à Auray et en Baie des Veys. Les flèches indiquent les périodes de mortalités qui correspondent aussi à des températures proches de 19°C. Les mortalités enregistrées sont de 5% et 15% pour R et S à Auray et 5 et 8% pour R et S à Baie des Veys.

2.3.2 L'assimilation

En milieu contrôlé on a aussi observé une baisse de l'efficacité d'absorption quand les huîtres sont au maximum de leur effort de reproduction aussi bien par la mesure des paramètres écophysologiques que enzymatiques (Fig.4). Cette perturbation de l'assimilation est maximum quand la demande énergétique est la plus forte et contribue à accentuer le déficit énergétique. Cependant cette baisse qui est entamée dès le début de la gamétogenèse, ne fait que se poursuivre jusqu'à la fin juillet. Le seuil de 19°C ne marque pas particulièrement ces observations.



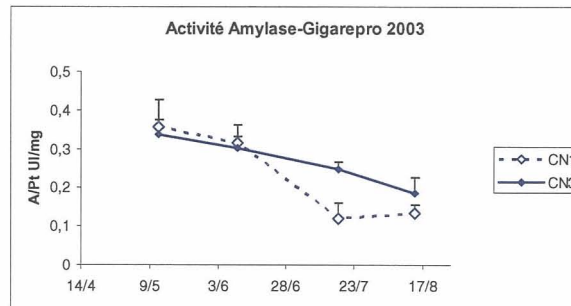


Figure 4 : variations des paramètres de l'assimilation au cours du temps en milieu contrôlé et pour deux niveaux nutritifs faible CN1 (low) et fort CN3 (high). En haut l'efficacité d'absorption mesuré sur le banc d'écophysiologie et en bas l'activité spécifique de l'enzyme amylase

Une dégradation estivale des cellules de la glande digestive a été reportée à Arcachon (Maurer et Comps, 1986) pendant la période critique. Elle semble traduire une atrophie progressive des tubules digestifs. L'interprétation de ce phénomène par la raréfaction de la ressource ou par une baisse du taux d'ingestion, n'a pu être démontrée à ce jour. De même, il n'a pas encore été possible de démontrer si ce phénomène pouvait résulter d'une infection intervenant autour des 19°C.

Conclusion

Le seuil de 19°C peut traduire une limite au delà de laquelle plusieurs paramètres qui décrivent le statut énergétique de l'animal, sont à des niveaux généralement à la baisse. Mori79 constate aussi une diminution de l'activité métabolique pendant la maturation qu'il relie à l'absence de fuels énergétiques (glycogène, lipides) qui ont été épuisés.

Cependant dans nos suivis quand les mortalités apparaissent, le niveau des réserves n'est souvent pas toujours épuisé et d'autres facteurs doivent intervenir pour déclencher le processus.

Le développement d'un modèle bioénergétique, appliqué aux données de terrain montre que la raréfaction du phytoplancton en été et la ponte sont autant de facteurs stressants qui accentuent le déficit énergétique. Cependant, ces situations ne semblent pas systématiquement associées à la température de 19°C.

Pour mieux préciser les dépenses énergétiques, l'effet de la température sur le métabolisme est considéré par la mesure de la respiration qui fournit un index de la demande énergétique.

2.4. La respiration

2.4.1 : Métabolisme de base associé au stade de reproduction :

Pour vérifier si le coût énergétique de la reproduction est différent de celui de la croissance, une mesure de consommation d'oxygène avec des huîtres de 1 an élevées à l'Aber Wrach a été réalisée en mai 2005 à 5 températures 12, 15, 20, 25, 30°C en absence de nourriture.

Les huîtres ont été classées en 3 catégories d'indice gonadique et leur taux de respiration ont été mesurés individuellement pendant 20h sur un banc d'écophysiologie en circuit ouvert (Fig.5).

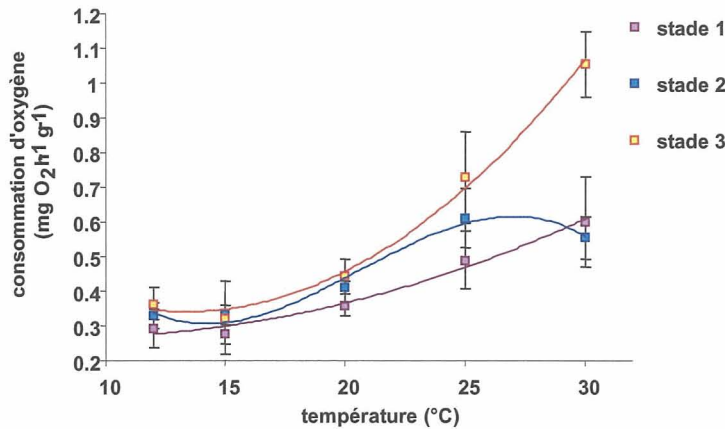


Figure 5 : respiration en fonction de la température et du stade de maturation des huîtres.

Le métabolisme de base (à jeûn) traduit par la consommation d'oxygène des huîtres, augmente avec la température mais aussi avec le stade de maturation (Fig 4). L'analyse des Q10 montre qu'il est multiplié par 1.3 quand le stade de maturation passe des stades (I ou II) au stade III. Ce résultat confirme l'hypothèse du surcoût métabolique de la gamétogenèse qui va donc s'amplifier avec la température et encore plus avec l'effort de reproduction (Voir chapitre 2).

2.4.2 : Effet de la nutrition sur le coût de la reproduction:

En effet, en conditions contrôlées (Gigarepro 1 et 2) on a observé à partir de 19°C un gradient croissant de la respiration avec le niveau nutritif qui lui-même induit un gradient d'intensité de la reproduction (fig 6).

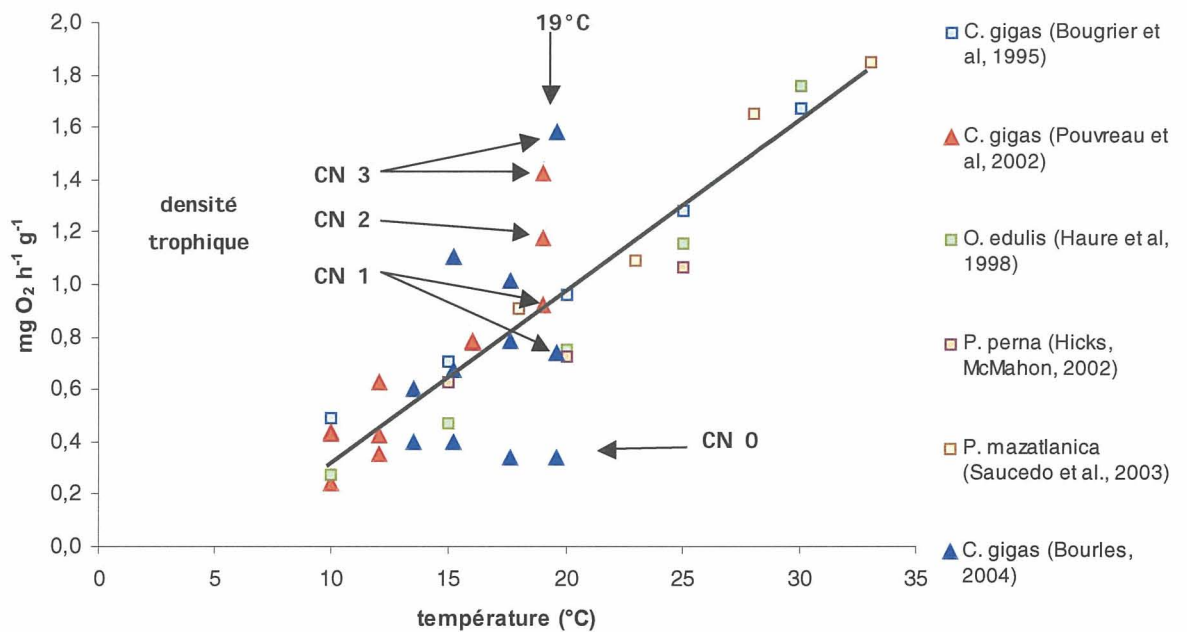


Figure 6 : respiration en fonction de la température. Les triangles correspondent à des points expérimentaux obtenus dans différentes conditions nutritives à Argenton en 2002, 2004. Les carrés correspondent à des données de la littérature. (Crassostrea gigas, Ostrea edulis, Perna perna, Pinctada mazatlanica).

2.4.3 : Besoins et disponibilité en oxygène

Face aux conditions environnementales et en particulier à la solubilité de l'oxygène en fonction de la température, on observe que si le seuil critique à partir duquel la consommation d'oxygène est perturbée par sa disponibilité dépend de la température. Ainsi, le seuil critique de concentration d'oxygène pour le maintien de l'optimum de respiration est plus élevé à 25°C: (6 mg/l) qu'à 20°C (4mg/L) et qu'à 15°C (3mg/L) (Fig.7). Des difficultés respiratoires peuvent donc apparaître à des seuils de pressions partielles en oxygène de plus en plus élevés dans l'eau de mer, quand la température augmente. Le risque d'hypoxie métabolique augmente donc avec la température et avec l'effort de reproduction.

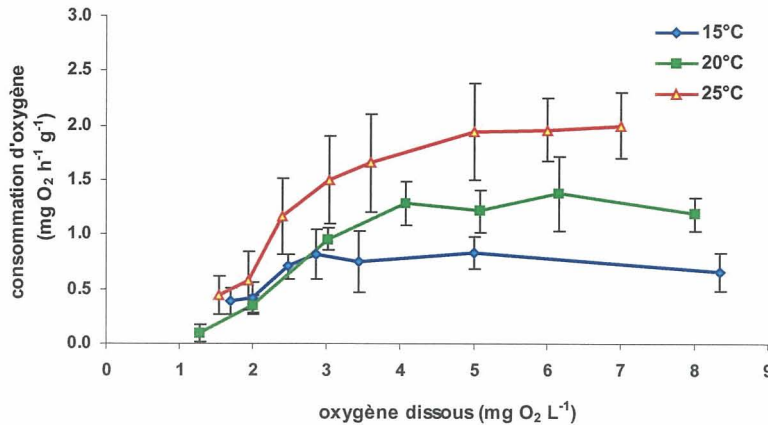


Figure 7 : Consommation d'oxygène d'huîtres en fonction de la concentration en oxygène dans l'eau et de la température.

Conclusion : On observe que le coût métabolique change surtout au stade III qui est lui même atteint autour des 19°C. Ce changement s'amplifie d'autant plus à ce stade que l'apport de nourriture a pu augmenter l'effort de reproduction. La solubilité de l'oxygène diminuant avec la température il devient possible qu'au stade III, selon l'intensité de l'effort de reproduction, la pression partielle d'oxygène devienne limitante par rapport aux besoins.

2.5 Paramètres hématocytaires et température

Le lien entre la baisse des réserves énergétiques et les capacités immunitaires a été étudié (synthèse 2). On ne trouve pas de particularité à ce niveau pour le seuil de 19°C. La comparaison d'huîtres triploïdes et d'huîtres diploïdes montre cependant que si pour les premières, d'une façon générale, les activités hématocytaires augmentent avec la température, c'est plutôt l'inverse qui est observé pendant la reproduction. Il semble exister un cycle de l'immunité qui s'inverse autour du mois de juillet au cours duquel on observe à nouveau une augmentation des hématocytes et de la phagocytose (Fig.8). Cependant, le seuil de 19°C intervenant plus tôt ou plus tard que cet événement, ne semble pas relié aux paramètres hématocytaires mesurés.

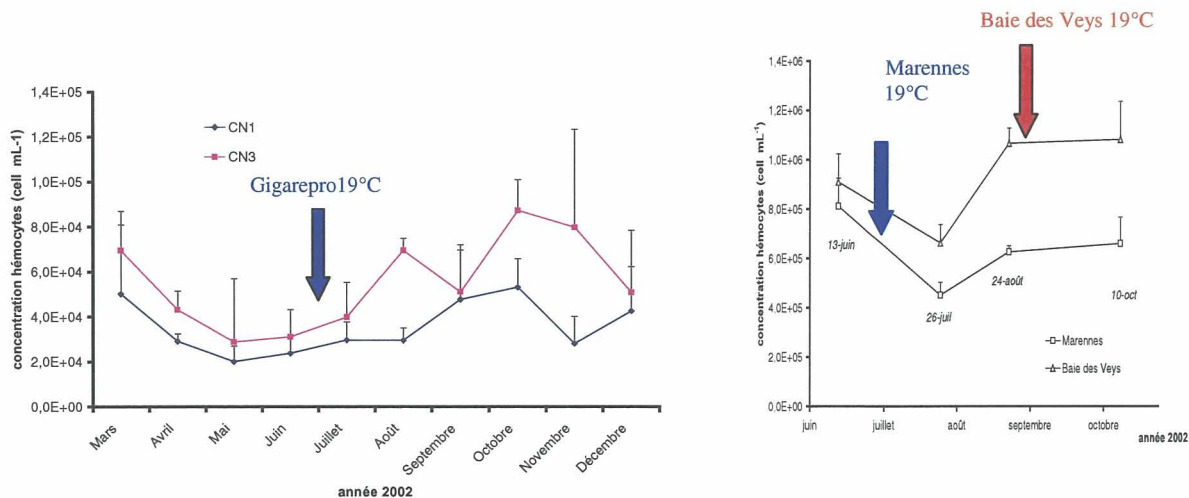


Figure 8 : A gauche : Evolution de la concentration moyenne (n = 4, ± SE) en hémocytes circulants chez des huîtres diploïdes soumises expérimentalement (Gigarepro) au cycle de température de Marennes. (Avril à juillet = gamétogenèse active ; CN1 : 4% de poids sec d'algues par g de poids sec d'huître et par jour, CN3 = 12%). A droite , hémocytes circulants chez les huîtres diploïdes à Marennes et en Baie des Veys. La température de 19°C est indiquée en bleu pour le cycle de Marennes et en rouge en Baie des Veys .

3. Le sédiment et 19°C

3.1 La reminéralisation sédimentaire et 19°C :

Parmi les paramètres environnementaux étudiés au moment où la température dépasse les 19°C, on a observé dans le sédiment, la formation d'un noyau de sulfures (Fig.9) et d'ammonium (données non présentées) synchrones, dont l'apparition se situe vers le 10 juin à Marennes et vers le 4 Août en Baie des Veys. Selon les années, et les sites, ce noyau est plus ou moins important. Il correspond à la reminéralisation anaérobie de la matière organique stockée dans le sédiment.

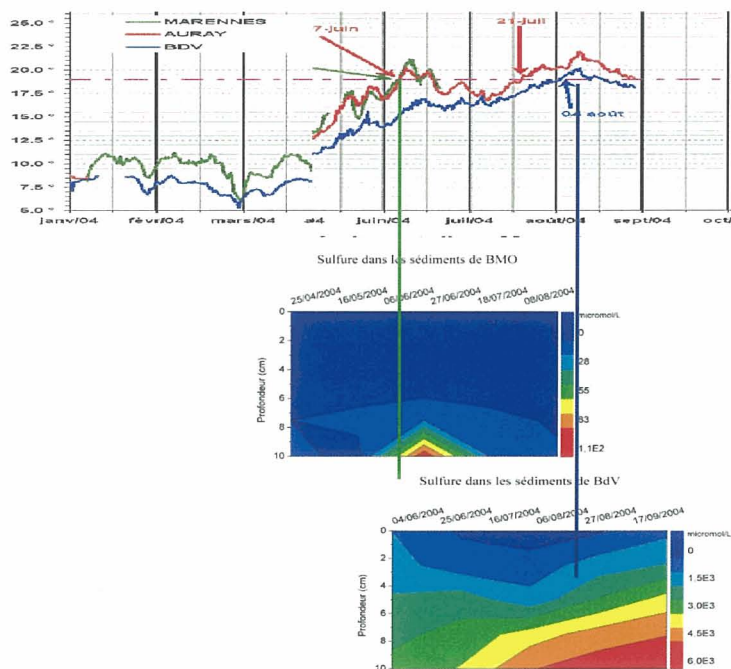


Fig.9 : En haut : courbes de température 2004 à Marennes (vert), Auray (rouge), Baie des Veys (bleu). En dessous profils d'H₂S dans les dix premiers centimètres du sédiment. La température de 19°C est repérée par la barre verte à Marennes et

la barre bleue en Baie des Veys.

La production de substances réduites (H_2S , NH_4^+ , etc...) dépend de l'activité bactérienne qui dégrade la matière organique (MO) enfouie dans le sédiment. Cette activité augmente avec la température, et la production d' H_2S et NH_4^+ est alors accélérée. Ainsi la production d' H_2S dans le sédiment par des bactéries sulfato-réductrices augmente de plus de 100% entre 15°C et 22°C (Fig.10).

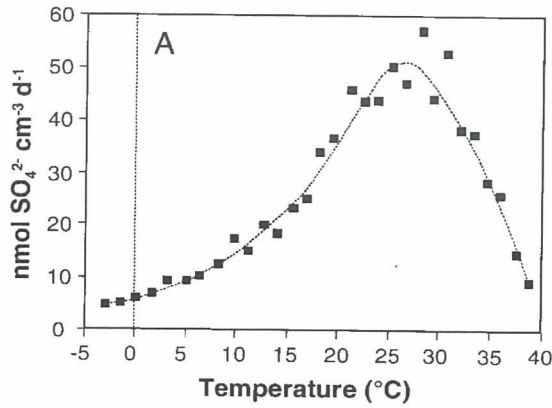


Figure 10 : production de sulfate dans le sédiment en fonction de la température

3.2. Diffusion et température

La question de la diffusion de ces substances vers la surface est posée. Cette diffusion dépend de la teneur en oxygène de la couche d'eau superficielle, de la température, de la granulométrie du sédiment. Les bioturbations associées à la méiofaune contribuent à augmenter cette diffusion qui s'intensifie avec la température (Fig.11). On observe chaque année en Baie des Veys et dans la masse d'eau un seul pic d'ammonium dans les données RNO. Ce pic apparaît synchroniquement avec la période de mortalité et les 19°C et pourrait provenir de la reminéralisation sédimentaire (Fig.12). A Marennes, il existe plusieurs pics d' NH_4^+ dans la masse d'eau

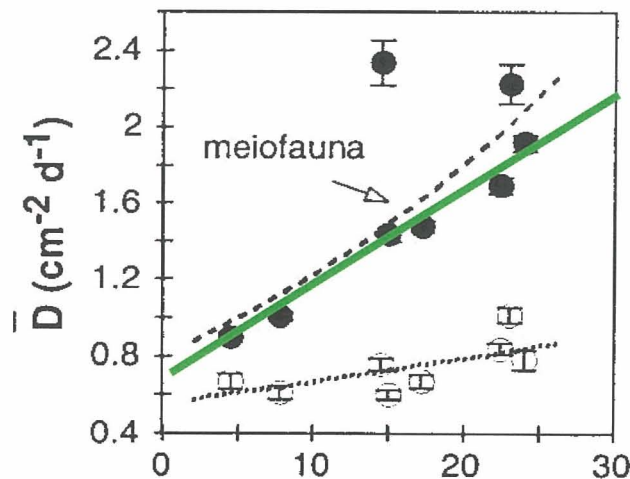
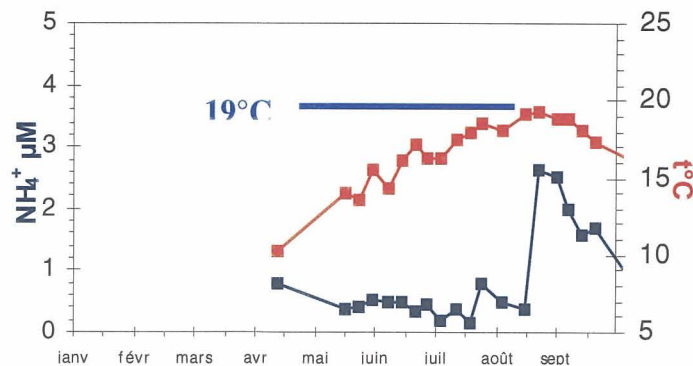


Figure 11 : La tempé



réaire (+20% entre 15 et

Figure 12 : profils de température et de teneurs en ammonium dans la masse d'eau en Baie des Veys Echelle de gauche : concentrations en ammonium en μM et échelle de droite : température en degrés Celsius

Conclusion : des processus de reminéralisation sédimentaires interviennent au moment où la température atteint les 19°C . Ces phénomènes sous contrôle de l'activité microbienne existent partout et dépendent de la teneur en matière organique du sédiment. La température favorise aussi le développement des bactéries et la réduction des sédiments dans la gamme des 19°C .

La proximité du sédiment est apparue néfaste pour la croissance et la survie des huîtres. L'existence d'un lien entre la diffusion de ces substances et les stress enregistrés au même moment n'est pas encore démontrée. Cependant, on a pu observer des phénomènes de toxicité dans le sédiment sur les foraminifères et sur le phytobenthos au même moment où les huîtres subissent des mortalités (Voir synthèse 1 et 3). La présence de poussées de phytoplancton benthique ou pélagique a déjà été signalée avant les mortalités. Elles peuvent être accompagnées, d'augmentation de pH du fait de l'utilisation intense du CO_2 par les algues. Cette montée du pH peut induire la formation d'ammoniac à partir de l'ammonium et expliquer la toxicité observée dans le sédiment et parfois dans l'eau. Enfin, au même moment, on enregistre sur l'huître des signes d'hypoxie et de baisse de charge énergétique (Le Moullac comm.pers) qui peuvent suggérer des flux de sulfures.

La présence de ce stress sédimentaire peut constituer le facteur aggravant qui déclenche la mortalité au moment où les huîtres arrivent en stade de pré-ponche.

3.3.Sédiment et pontes partielles :

Les huîtres sensibles S qui sont proches du sédiment présentent un plus fort investissement dans la gamétogenèse et subissent autour des 19°C des pontes partielles successives avec rematuration extrêmement rapide contrairement aux huîtres résistantes. Il paraît possible que les stress sédimentaires, contribuent simplement à induire ces pontes (Fig.13). D'ailleurs, l'ammonium est connu pour induire la ponte chez les bivalves.

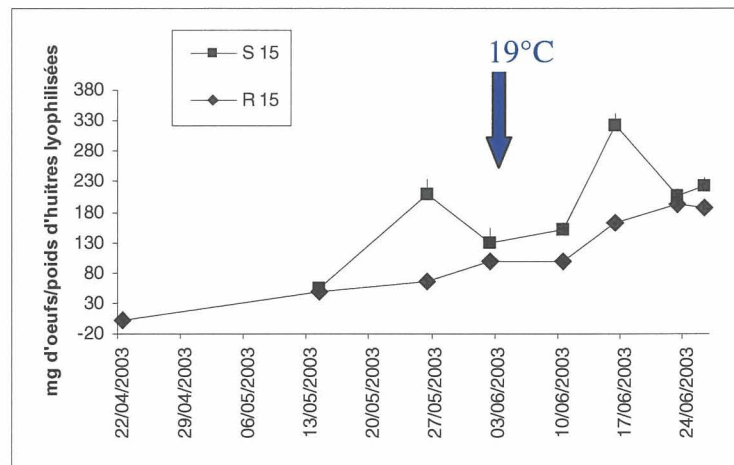


Fig.13 : mg d'oeufs produits par huître sensible (S) ou résistante (R) à la mortalité estivales et placées à 15 cm du sédiment à Marennes Oléron en 2003 (méthode anticorps Kang et al.2003)

4. La génétique et la température :

Si la présence d'un stress sédimentaire est très nettement montrée sur les sites d'exploitation, on observe aussi des mortalités dans les bacs de géniteurs en conditionnement en éclosérie sans qu'il n'y ait du sédiment.

Cette mortalité intervient aussi le plus souvent au dessus du seuil de 19°C , avec une fréquence élevée d'observation d'une bactérie dominante (*Vibrio aestuarianus*). Les conditions à risque décrites précédemment associées au stade III de gamétogenèse, au niveau d'investissement dans

la reproduction en fonction de la nourriture et aux conditions de renouvellement d'eau peuvent favoriser ces infections comme dans le milieu.

A priori, on n'a pas enregistré de stress zootechnique, par contre, le suivi des protéines de choc thermique (HSP70) après la montée thermique associée au conditionnement montre une surexpression des HSP70 chez les huîtres sensibles (S) comparées aux huîtres résistantes (R) (Synthèse 3). De plus, l'émission d'espèces radicalaires d'oxygène est très supérieure chez ces mêmes huîtres S comparées aux R pendant un mois précédant les mortalités (Gigarepro 2). Ces deux paramètres marquent aussi une situation stressante. Comme les huîtres sensibles investissent plus dans la reproduction, on peut penser que cet état constitue un stress quand la température devient critique. Ce stress suffit aussi à favoriser l'infection. Des pontes partielles sont observées surtout pour les huîtres S dans les bacs. Ces pontes partielles pourraient constituer une étape facilitant l'infection.

5. Les pathogènes et la température :

Les données du réseau REPAMO qui analyse l'origine des événements de mortalités des huîtres dans les exploitations, montrent qu'avec les progrès réalisés au cours de Morest, le nombre de cas de mortalités associés à la présence de pathogènes s'est considérablement accru (Voir synthèse 5). L'hypothèse d'une mortalité du seul fait d'un déficit énergétique paraît peu plausible aujourd'hui. Celle associée à un stress pouvant créer une fragilité paraît plus probable. L'intervention ultime des pathogènes opportunistes représente aujourd'hui le plus grand nombre de cas observés.

La question se pose de savoir si à la fragilité observée des huîtres et sous conditions de stress, la microflore des pathogènes est elle même inféodée à la température critique de 19°C.

5.1 Quelle est l'influence de la température sur les bactéries ?

La croissance de 8 sur 13 souches de *Vibrio splendidus* est légèrement stimulée à 20°C par rapport à 18 et 22°C (fig14) Pour *Vibrio estuarianus* les optima de température sont variables (indépendants de leur virulence) mais ils sont au-dessus de 20°C (fig 14).

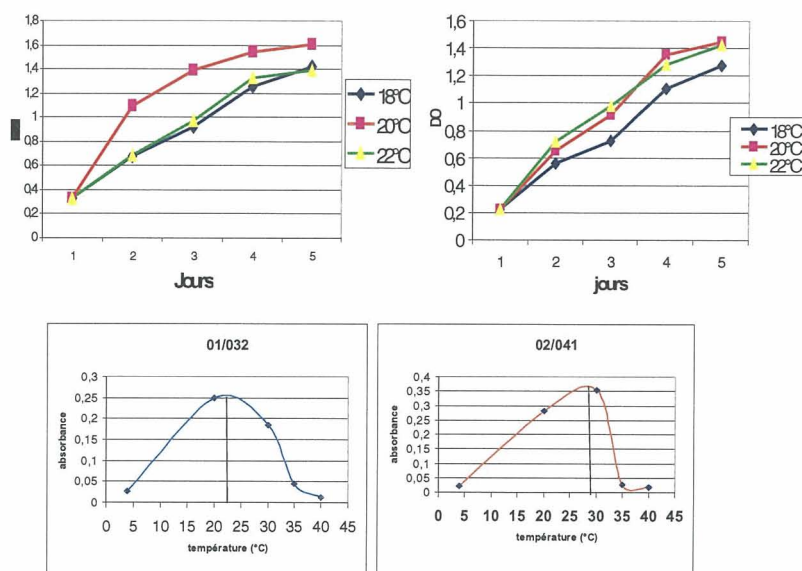


Figure 14 : croissance de 2 souches *V. splendidus*. (en haut) et de *V. aestuarianus* en bas, en fonction de la température

Les données sur l'expression des facteurs de virulence des vibrios isolés au cours des suivis Morest ne sont pas encore définitives. Si dans la littérature on rapporte que la température peut jouer un rôle dans l'expression des gènes de virulence, on peut signaler cependant que *V. aestuarianus* semble être pathogène de 9 à 22°C (infection spontanée) et que *V. splendidus* n'a été



isolé qu'à des températures autour de 20°C.

Des travaux sur l'écologie des ces vibrios et sur le rôle de la température et du sédiment sont engagés pour préciser cette question. En particulier, la présence de thiosulfate formé par l'oxydation de l'H₂S dans le sédiment pourrait constituer un milieu sélectif des vibrios. Des essais ont été effectués pour voir si la présence de gamètes pouvait favoriser l'infection au moment des pontes (synthèse 6). Des résultats très préliminaires obtenus avec des sondes spécifiques tendent en effet à montrer que des pics de *Vibrio splendidus* pourraient suivre les pontes partielles observées à Marennes sous l'effet du sédiment.

5.2. Quelle est l'influence de la température sur OsHV-1 ?

Les fortes températures favorisent les infections à herpès virus OsHV-1 chez les huîtres. Chez *C. virginica* des particules virales ont été détectées uniquement en période estivale ou pour des températures expérimentales élevées (Farley et al., 1972).

Des particules virales ont été observées chez les larves de *C. gigas* élevées à 25-26°C mais pas à 22-23°C (Le Deuff et al., 1996). Sur le naissain la présence d'herpes virus est souvent associée à des événements de mortalité estivale à Fouras (Bassin de Marennes). Ainsi des résultats similaires à *C. virginica* sont rapportés dans le cadre du suivi National REPAMO (1997-2005) sur *C. gigas*. Les analyses positives en PCR sur animaux de moins d'un an sont rapportées par mois dans le tableau 2. Elles montrent très clairement que la fréquence d'infection à OsHV-1 correspond aussi à la montée de température du sud vers le nord. Les premières apparitions correspondent au passage au dessus de 19°C jusqu'à plus de 23°C.

Tableau 2 : Nombre mensuel d'analyses positives en PCR sur animaux de moins d'un an pour la période 1997-2005 sur l'huître *Crassostrea gigas*.

	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Total
Nord										0
Normandie					1					1
Bretagne nord					2	4				6
Bretagne sud				13		4	2			19
Vendée				2	3	7		1		13
Charente-Maritime			3	15	9	8				35
Arcachon				1						1
Méditerranée			2	5	1					8
Total	0	0	5	36	16	23	2	1	0	83
Façade manche					3	4				
Façade atlantique				31	12	19	2	1		

Conclusion : Que ce soient les pathogènes d'origine bactérienne ou virale, les éléments disponibles concernant leur relation avec la température de 19°C sont encore partiels, mais ils sont plutôt en accord avec cette température. Ces travaux doivent être poursuivis

6. Conclusion générale

Plusieurs conditions cumulatives coïncident avec la température de 19°C. Le stade pré-ponte, la baisse des niveaux de réserve, l'augmentation de la demande énergétique et l'effort de reproduction, la baisse de la concentration en oxygène. Cependant ces différents facteurs, s'ils sont nécessaires dans le modèle d'interaction, ont toujours existé et ne suffisent pas à déclencher la mortalité.

Le stress paraît nécessaire et le plus régulièrement observé est le stress associé à la proximité du sédiment. C'est aussi le plus inféodé avec la température de reminéralisation de la matière organique dans le sédiment. Sa durée dans le temps est aussi limitée et correspond à la durée des épisodes de mortalité observés sur le terrain. Une fois la reminéralisation achevée, le noyau d'H₂S et de sulfure disparaît et les mortalités s'arrêtent aussi, alors que parfois, la température continue d'augmenter et que la ponte n'a pas encore eu lieu. Plusieurs pratiques culturales ont, de façon



empirique, éloigné cette huître du sédiment dans certains sites et dans divers pays (cultures suspendues).

Les modalités par lequel ce phénomène se produit ne sont pas encore définitivement démontrées. Il peut s'agir d'effet plus ou moins directs (diffusion d' NH_4^+), pouvant constituer à la fois un stress et un signal d'induction de ponte partielles, ou d'action indirecte via la sélection d'une microflore de *Vibrios*, par la chimie du sédiment et la présence de gamètes. Ces hypothèses sont encore spéculatives et doivent faire l'objet de travaux ultérieurs. L'existence de souches fluorescentes de *V.splendidus* et de *V.aestuarianus* ainsi que d'outils de détection spécifiques de ces bactéries devraient en faciliter le suivi dans le milieu. La connaissance des gènes de virulence devrait permettre d'en suivre l'expression sous les conditions environnementales qui paraissent critiques (température 19°C, gamètes, thiosulfate, NH_4^+ etc...).

Les expériences en bacs sans stress sédimentaire montrent aussi que les huîtres S ont une augmentation forte de leurs HSP à la montée thermique et à l'hypoxie. Ceci est aussi simultanément avec un processus de pontes partielles avec rematuration rapide qui leur est propre au moment où elles sont matures. On ne peut dire aujourd'hui si c'est l'investissement plus rapide et plus intense dans la reproduction, qui conduit les huîtres S à une susceptibilité à la température ou si au contraire, c'est cette susceptibilité à la température qui conduit ces huîtres à faire et à émettre plus de gamètes. Les travaux se poursuivent pour répondre à ces questions.



7. Bibliographie

- Cheng, W., Hsiao, I.S., Hsu, C.H., Chen, J.C., 2004. Change in water temperature on the immune response of Taiwan abalone *Haliotis diversicolor supertexta* and its susceptibility to *Vibrio parahaemolyticus*. *Fish Shellfish Immunol.* 17, 235-243.
- Delaporte M., P. Soudant, C. Lambert, J. Moal, S. Pouvreau, & J.-F. Samain. Impact of food availability on energy storage and defense related hemocyte parameters of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* during an experimental reproductive cycle. *Aquaculture*, in press.
- Farley et al., 1972, Oyster herpes-type virus, *Science*
- Goedken, M., Morsey, B., Sunila, I., Dungan, C., De Guise, S., 2005. The effect of temperature and salinity on apoptosis of *Crassostrea virginica* hemocytes and *Perkinsus marinus*. *Journal of Shellfish Research* 24, 177-183.
- 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.
- Hicks D.W., R.F. McMahon, 2002. Respiratory responses to temperature and hypoxia in the nonindigenous Brown Mussel, *Perna perna* (Bivalvia: Mytilidae), from the Gulf of Mexico. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 277, 61-78
- Hernroth, B., 2003. The influence of temperature and dose on antibacterial peptide response against lipopolysaccharide in the blue mussel, *Mytilus edulis*. *Fish Shellfish Immunol.* 14, 25-37.
- Kang S-G., Choi K-S., Bulgakov A.A., Kim Y., Kim S-Y. 2003. Enzyme -linked immunosorbent assay (ELISA) used in quantification of reproductive output in the pacific oyster, *Crassostrea gigas* in Korea. *J.Exp.Mar.Biol.Ecol.*, 282, 1-21.
- Kooijman, S.A.L.M., 2000. *Dynamic energy and mass budgets in biological systems*. Cambridge University Press, Cambridge. 366 pp.
- Le Deuff et al., 1996, Effects of temperature on herpes-like virus detection among hatchery-reared larval Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, (*Diseases of Aquatic Organisms*)
- Maurer D. and Combs M. (1986). Mortalités estivales de l'huître *Crassostrea gigas* dans le bassin d'Arcachon : facteurs de milieu, aspects biochimiques et histologiques. pp29-41. In *Pathology in marine aquaculture*. CP Vivares , J R.Bonami and EJaspers (eds) European aquaculture society, special publication n°9, Bredene Belgium
- Mori K.(1979) Effects of artificial eutrophisation on the metabolism of the Japanese oyster *Crassostrea gigas*.*Mar.Biol.*, 53: 361-369.
- Paillard, C., Allam, B., Oubella, R., 2004. Effect of temperature on defense parameters in Manila clam *Ruditapes philippinarum* challenged with *Vibrio tapetis*. *Dis. Aquat. Organ.* 59, 249-262.
- Perdue J.A., Beattie J.H. and Chew K.K.(1981) Some relationships between gametogenetic cycle and summer mortality phenomenon in the pacific oyster (*Crassostrea gigas*) in Washington State. *J. Shellfish Res.*, 1 (1) : 9-16.
- Saucedo, L. Ocampo, M. Monteforte, H. Bervera, 2004. Effect of temperature on oxygen consumption and ammonia excretion in the Calafia mother-of-pearl oyster, *Pinctada mazatlanica* (Hanley, 1856), *Aquaculture*, 229, 377-387
- Schneider J.E.(2004). Energy balance and reproduction. *Physiology and behavior* ,81 : 289-317.
- Soudant, P., Marty, Y., Moal, J., Robert, R., Quéré, C., Le Coz, J.R., Samain, J.F., 1996 a. Effect of food fatty acid and sterol quality on *Pecten maximus* gonad composition and reproduction process. *Aquaculture*. 143, 361-378.
- Soudant, P., Moal, J., Marty, Y., Samain, J.F., 1996 b. Impact of the quality of dietary fatty acids on metabolism and the composition of polar lipid classes in female gonads of *Pecten maximus*



(L.). J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 205, 149-163.

*Impression : Service IDM/RIC
IFREMER – Centre de Brest
BP 70 – 29280 Plouzané
Tél. : 02 98 22 43 53*