

# L'Aspartate transcarbamylyase, Indice de l'Activité Sexuelle de la Coquille Saint-Jacques (*Pecten maximus* L.). Premier Résultats

J.-P. Bergeron et D. Buestel

Centre Oceanologique de Bretagne, 29273 Brest Cedex, France

## ABSTRACT

The breeding cycle of scallops (*Pecten maximus* L.) from a population harvested in Bay of Saint-Brieuc has been surveyed over a period of three years with a classical gonad index, which is useful for the detection of the maturity and first spawning at the beginning of the season. Then phenomena are more complex with rematuration and late spawning. So we tried to find a new biochemical index and in 1977 the *in situ* sexual maturation of individuals from this population was studied simultaneously by measuring concentration of aspartate transcarbamylyase (ATC), which was used as a potential index of gonad growth. A positive correlation was evident between this activity and the growth rate of the gonad. During the spawning period, the variations of ATC activity are described as a function of the maturity stages of the gonad.

## INTRODUCTION

Un indice pondéral permettant le suivi de la maturation et des pontes de la coquille Saint Jacques est utilisé depuis 1975 en Baie de Saint Brieuc. Le suivi est complété par des prélèvements de plancton et la pose de collecteurs expérimentaux pour la fixation des larves métamorphosées (Buestel et al., 1976 et 1977). Grâce à cette étude, le cycle sexuel de cette population est désormais suffisamment connu pour que soient mises en oeuvre des opérations de captage de naissain de coquille Saint Jacques. Cependant, des problèmes d'interprétation des mesures, dus à l'hétérogénéité des poids des gonades, subsistent après la première ponte. Par ailleurs, les cycles sexuels de certaines populations sont plus difficiles à appréhender : les gonades des coquilles Saint Jacques du gisement de Camaret, par exemple, présentent presque constamment les caractères morphologiques de la maturité ; pour d'autres espèces de Lamellibranches, le tissu sexuel est diffus dans le manteau.

Nous proposons, dans ce travail, d'aborder l'étude de l'aspect métabolique de ces phénomènes par mesure des taux d'aspartate transcarbamylyase (ATC) de la gonade. En effet, l'ATC intervient au début de la chaîne de réactions enzymatiques réalisant la biosynthèse de novo des bases pyrimidiques, constituants des acides nucléiques. De nombreux auteurs ont montré les relations existant entre les taux d'ATC et les activités de multiplication cellulaire dans différents tissus végétaux (Stein et Cohen, 1965) ou animaux, tels que les tumeurs (Calva et al., 1959), les organes foetaux (Nordmann et al., 1964 ; Herzfeld et Knox, 1972) ou en régénération (Waymire et Nishikawara, 1972 ; Kim et Cohen, 1965).

L'ATC devrait pouvoir constituer un bon indice du taux de synthèse du matériel génétique et nous avons cherché à mettre au point, sur la population naturelle de Saint-Brieuc dont les traits caractéristiques sont globalement connus, une méthode d'évaluation *in situ* du taux de maturation et du stade de maturité sexuelle de la coquille Saint Jacques, voire ultérieurement d'autres Lamellibranches.

MATERIEL ET METHODESPrélèvements

Les échantillons sont collectés par dragage sur deux stations de la baie de Saint Briec, les Comtesses et les Platières. Ils comprennent des individus de différentes classes d'âge, déterminées par comptage du nombre d'anneaux d'arrêt de croissance hivernal (Buestel et Laurec, 1975).

Rapport gonado-somatique (RGS)

La mesure du RGS est réalisée selon un protocole toujours identique, dans un délai maximum de 24 heures après le prélèvement : les gonades sont disséquées et pesées au décigramme près, la hauteur de la valve gauche est mesurée au millimètre près. Un indice proche d'un rapport gonado-somatique a été défini :

$$\text{RGS} = \frac{\text{Poids de la gonade en grammes}}{(\text{Hauteur en cm})^3} \times 1000$$

C'est dans un but pratique que nous avons modifié le RGS par rapport à sa conception classique. L'emploi du cube de la hauteur de la valve au dénominateur se justifie par le fait que la croissance de la coquille Saint-Jacques est pratiquement isométrique (Mason, 1957). Nous utilisons le poids humide malgré les imprécisions inhérentes à cette méthode, car la gonade peut retenir une certaine quantité d'eau, variable selon les stades, mais particulièrement importante au moment des pontes (Mason, 1958). Cependant, l'imprécision des mesures est négligeable par rapport aux variations de poids de la gonade au moment des pontes. Après la mesure des RGS, un échantillon de gonades est congelé pour dosage ultérieur de l'ATC.

Dosage de l'activité spécifique de l'aspartate transcarbamylase (ATCg)

Les mesures d'ATC ont été réalisées dans un délai maximum de quatre mois après le prélèvement des gonades. Aucune diminution de l'activité n'a pu être observée dans ces conditions. Les gonades sont décongelées le jour du dosage, broyées entières à l'aide d'un homogénéiseur de Potter dans de l'eau distillée. Le broyat brut ainsi préparé est utilisé comme source d'enzyme. L'activité enzymatique est mesurée selon une méthode mise au point par Alayse-Danet et Bergeron (publication en préparation), dérivée de celle de Bresnick et Mossé (1966). Les protéines sont dosées sur le broyat brut sur autoanalyseur Technicon, selon la méthode décrite par Samain et Boucher (1974). L'activité spécifique de l'enzyme (ATCg) est exprimée en nanomoles de carbamylaspartate synthétisées par minute et par milligramme de protéines.

RESULTATSDescription du cycle sexuel des coquilles Saint Jacques de la Baie de Saint-Briec

Le cycle sexuel des coquilles Saint Jacques de la baie de Saint Briec est conditionné par le rythme saisonnier et montre chaque année une évolution analogue, que les mesures de RGS permettent de contrôler efficacement, excepté au moment de l'émission des gamètes.

A titre d'exemple, la figure 1 présente les variations des moyennes du RGS au cours de l'année 1977 pour les individus de la station "Les Comtesses" appartenant à la classe d'âge IV.

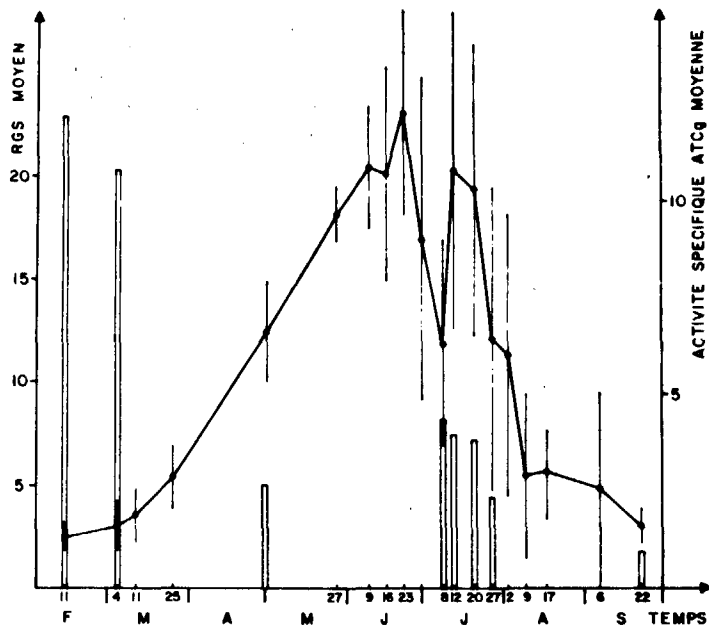


Fig. 1 : Evolution des moyennes et écarts-types des RGS au cours du cycle et valeurs moyennes de l'activité spécifique de l'ATC des gonades pour quelques prélèvements.

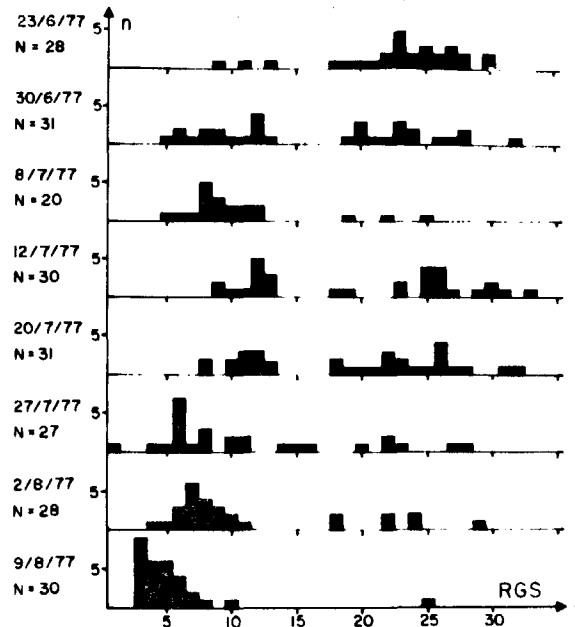


Fig. 2 : Histogrammes de fréquence des RGS au cours de la période des pontes (N = effectif total ; n = effectif par classe).

L'analyse des mesures de RGS permet de distinguer plusieurs phases du cycle sexuel, que l'on peut schématiser ainsi :

La maturation des gonades dure en moyenne quatre à cinq mois, de février à juin. Au cours de cette période, l'accroissement pondéral des gonades est très homogène pour l'ensemble de la population. L'amorce du maximum de la courbe des RGS moyens en fonction du temps, accompagnée de l'augmentation de l'écart-type des RGS moyens, est significative de l'approche de l'état de maturité.

A la fin du mois de juin en général, une augmentation de la température de l'eau, aux environs de 15° C, est le plus souvent le stimulus qui déclenche la première émission de gamètes.

La chute du RGS traduit cette première ponte, qui peut être partielle ou assez massive comme le suggère l'exemple présenté sur la figure 1 (du 23.6 au 8.7).

Les mesures de RGS suivantes montrent d'importantes fluctuations qui peuvent durer un mois, quelquefois plus, et correspondent à la période d'émission des gamètes. L'interprétation des mesures devient souvent difficile et nécessite de considérer conjointement la figure 1 et les histogrammes de fréquence des RGS présentés sur la figure 2. Dans l'exemple choisi, il est possible d'émettre deux hypothèses :

a) une ponte progressive s'effectue durant tout le mois de juillet, seul l'histogramme du 8.7 pourrait infirmer cette hypothèse, mais ce prélèvement pourrait, dans cette hypothèse, présenter un défaut d'échantillonnage ;

b) presque tous les individus pondent massivement entre le 23.6 et le 8.7, une très importante rematuration a lieu ensuite pour une partie de la population entre le 8.7 et le 12.7 et une série de rematurations et pontes se réalise à partir du 12.7, expliquant l'existence des deux modes principaux sur les histogrammes de fréquence.

A partir de la fin du mois de juillet, la diminution du RGS rend bien compte de l'atrophie progressive des gonades, qui resteront au stade de repos sexuel jusqu'à ce qu'une nouvelle maturation intervienne l'année suivante.

L'immersion de collecteurs expérimentaux en plusieurs points de la baie a permis d'observer la fixation, par vagues successives, de larves de coquilles Saint-Jacques métamorphosées. De plus, au cours du cycle de 1978, la recherche systématique et la détermination des larves de coquilles Saint Jacques dans le plancton a mis en évidence une production régulière de ces larves. La température de l'eau, enfin,

semble avoir une influence prépondérante sur le déclenchement de la ponte d'individus mûrs et, effectivement, des fluctuations de température de l'eau ont été enregistrées pendant le mois de juillet 1977. L'ensemble de ces observations nous suggère une forte présomption en faveur de la deuxième hypothèse (b) faite ci-dessus et nous laisse croire, en particulier, à l'existence de la ponte massive et de la rematuration rapide d'une grande partie des individus entre le 23.6 et le 12.7.1977.

Variations de l'activité spécifique de l'ATC de la gonade au cours du cycle sexuel de 1977 - Comparaisons avec le RGS

Sur l'ensemble de l'année 1977, huit séries de prélèvements ont été effectuées pour le dosage de l'activité spécifique de l'ATC des gonades. Elles concernent les trois phases caractéristiques du cycle sexuel des coquilles Saint Jacques : trois séries de mesures ont été réalisées au cours de la première maturation, quatre pendant la période de pontes et rematurations successives, une à la fin du cycle.

Les valeurs moyennes des RGS et de l'activité spécifique de l'ATC de la gonade sont présentées sur la figure 1. Juste avant le début de la maturation (le 11.2), le taux moyen d'ATC est maximal (12,2). Au cours de la première maturation, on observe un taux fort au début (10,8 pour le prélèvement du 4.3), faible à la fin (2,7 pour le prélèvement du 30.4). RGS et ATC ont donc tendance à varier de façon inverse. A la fin du cycle d'activité sexuelle, alors que le RGS est en diminution rapide, l'activité spécifique de l'ATC de la gonade a une valeur moyenne très faible (0,95).

Au vu de ces résultats, nous constatons que, lorsque la gonade s'apprête à un important accroissement pondéral, nécessitant une forte activité de synthèse, l'activité spécifique de l'ATC est élevée et que, par contre, celle-ci est faible lorsque la gonade approche la maturité. A la période d'atrophie de la gonade correspond une activité nettement inférieure à toutes celles enregistrées lorsque la gonade, quel que soit son stade de maturité, est en activité. Pour ces quatre prélèvements réalisés hors de la période des pontes, alors que les gonades présentent un comportement très homogène pour l'ensemble de la population, les activités spécifiques de l'ATC semblent bien traduire les besoins de biosynthèse des tissus sexuels.

Pendant le mois de juillet, la population présente des poids de gonade très hétérogènes, comme le montrent les histogrammes de fréquence des RGS (fig. 2), et l'écart-type des RGS moyens augmente considérablement (fig. 1). De la même façon, les valeurs moyennes des taux d'ATC présentent une forte augmentation de leur écart-type et n'ont donc plus un caractère aussi significatif que précédemment pour l'ensemble de la population. Les activités spécifiques sont donc prises en compte individuellement : la figure 3 les présente en fonction des poids des gonades pour les prélèvements du 8.7 au 20.7. Ces diagrammes permettent de distinguer trois types de situations que l'on peut schématiser de la façon suivante :

Gonades de pois faible .....	{	ATCg fort
	{	ATCg faible
Gonades de poids fort .....		ATCg faible

Le diagramme du 8.7 (fig. 3) montre que les gonades ont un faible poids, mais les taux d'ATC permettent de distinguer grossièrement deux groupes de points, qui semblent répartis de part et d'autre de la valeur 4 et dont les valeurs moyennes sont respectivement 2,8 et 6,3 : certaines gonades ont donc un taux d'ATC fort qui permet de penser qu'elles sont aptes à réaliser une nouvelle maturation.

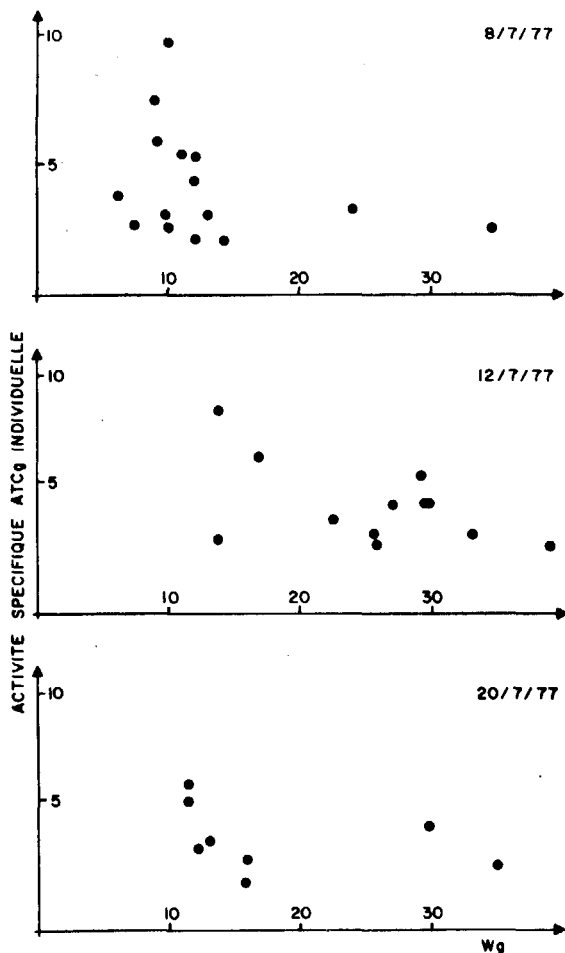


Fig. 3 : Variations de l'activité spécifique individuelle de l'ATC au cours de la période des pontes en fonction des poids des gonades (exprimés en grammes).

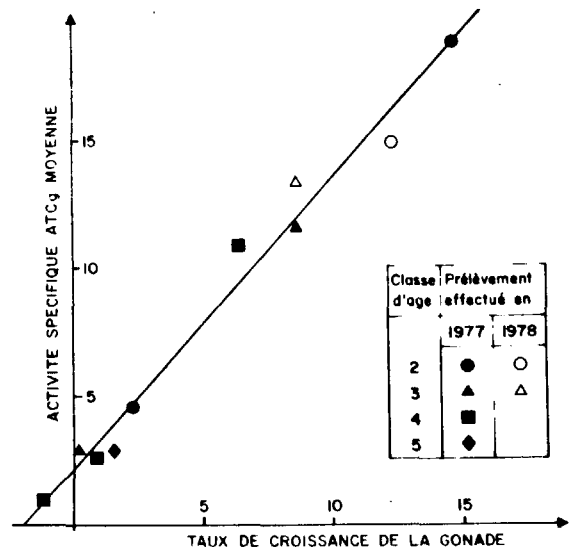


Fig. 4 : Corrélation obtenue entre l'activité spécifique moyenne de l'ATC et les taux moyens de croissance pondérale des gonades.

En effet, l'histogramme de fréquence des RGS du 12.7 (fig. 2) fait apparaître une rematuration probable pour une partie des individus. Dans cette hypothèse, les valeurs individuelles faibles des taux d'ATC présentées sur le diagramme du 12.7 (fig. 3) confirment que la majorité des gonades semble se retrouver à l'état de maturité (RGS fort). Le 20.7, l'activité spécifique relativement faible des gonades de poids faible permet de penser qu'aucune rematuration importante ne puisse se réaliser ensuite. Ceci est confirmé par l'histogramme du 27.7 (fig. 2) qui marque le début de la chute progressive des RGS. Nous sommes à la fin de la période d'activité sexuelle.

L'observation des mesures d'activité spécifique de l'ATC effectuées au cours du mois de juillet 1977 permet donc d'appuyer l'hypothèse de l'existence de rematurations rapides pour certains individus à RGS faibles et ATC forts et de nouvelles pontes pour ceux dont le taux d'ATC semble significatif d'un nouvel état de maturité.

Relations entre l'activité spécifique de l'ATC et le taux de croissance de la gonade

Les taux moyens de croissance pondérale des gonades *in situ* sont estimés par différence des poids moyens des gonades entre deux prélèvements (20 à 25 jours) et exprimés en pourcentage quotidien d'accroissement du poids initial. Les valeurs moyennes par classe d'âge obtenues au cours de la phase de maturation et en fin de la période d'activité sexuelle permettent de mettre en évidence une corrélation positive entre les activités spécifiques initiales de l'ATC et les taux de croissance ultérieurs des gonades (fig. 4). Le taux d'ATC mesuré pour le premier prélèvement (11,2, classe IV) ne suit cependant pas la même loi : à un très fort taux d'ATC (12,2) correspond un taux de croissance faible (2%).

DISCUSSIONValeur et limites des mesures de l'activité spécifique de l'ATC comme indice de taux de maturation.

La figure 1 fait apparaître que, lorsque les potentialités de croissance des gonades sont importantes en début de maturation, l'activité spécifique moyenne de l'ATC est forte et qu'inversement, à l'approche de la maturité ou en fin de période d'activité sexuelle, les activités mesurées sont significativement plus faibles. La corrélation obtenue (fig. 4) entre les moyennes par classe d'âge des activités spécifiques de l'ATC des gonades et les taux de croissance correspondants apporte une confirmation quantitative à cette observation.

Il convient, cependant, de considérer cette corrélation avec prudence du fait qu'elle ne concerne qu'un nombre restreint de prélèvements et que le premier échantillon du 11.2 n'entre pas dans le cadre de cette loi. Au tout début de la phase de maturation, les gonades, dont le taux de croissance est encore faible, présentent en effet de très forts taux d'ATC. Ce pourrait être l'expression d'un état particulier de la physiologie des gonades, qui seraient surtout constituées d'un pool de cellules très homogène se trouvant en fin du stade 0 de la gonade précédant le stade I décrits par Lubet en 1959 : l'examen histologique de ce stade I montre essentiellement la présence de gonies en mitoses et, simultanément, les premiers ovocytes en prévitellogénèse, au cours de laquelle l'histochemie met en évidence une importante accumulation d'acides nucléiques dans les cellules, sans accroissement notable de la taille de celles-ci. Les fortes activités spécifiques d'ATC mesurées reflèteraient donc les importants besoins en acides nucléiques permettant la réalisation de ce stade I et expliqueraient la forte activité de synthèse des bases pyrimidiques intervenant avant l'accroissement effectif des gonades.

Il est probable qu'ensuite une sorte de rotation s'effectue entre les différents niveaux des tissus de la gonade entamant progressivement ces processus de maturation. C'est ce fonctionnement global de la gonade que représenterait la corrélation mise en évidence.

Au cours de la phase de rematurations et pontes successives, l'hétérogénéité des échantillons rend impossible une estimation des taux de croissance qui, a priori, paraissent très importants, supérieurs à ceux que l'on pourrait s'attendre à trouver d'après les activités spécifiques de l'ATC. Ceci peut s'expliquer par le fait qu'il s'agit de rematurations partielles des gonades ne concernant qu'une portion de leurs tissus. Les études histologiques réalisées par Lubet (1959) sur le cycle sexuel de la Coquille Saint Jacques montrent que les phénomènes de rematuration commencent immédiatement après l'émission des gamètes. Malgré l'absence d'observations histologiques de ces gonades, il est possible d'émettre l'hypothèse que ces tissus n'entrent pas dans un nouveau processus complet de maturation, mais sont essentiellement constitués de gamétocytes proches de la maturité. Ceci expliquerait que, pour une croissance équivalente, les besoins en bases nucléiques de la gonade soient inférieurs.

Il apparaît assez clairement que les phénomènes de rematuration observés au cours de cette période ne suivent pas la loi mise en évidence ci-dessus pour la première maturation des gonades.

Durant la première maturation sexuelle, la corrélation semble montrer que le taux d'ATC régule l'accroissement en poids de la gonade, que celui-ci exprime une synthèse protéique, nécessitant l'élaboration d'acides ribonucléiques (maturation des gamétocytes), ou la synthèse du matériel génétique indispensable aux divisions cellulaires. L'activité spécifique de l'ATC semble constituer une mesure de la vitesse d'accroissement en poids de la gonade et donc, au moins pendant la phase de première maturation, un indice du taux de maturation de la gonade in situ.

Valeur et limites des mesures de l'activité spécifique de l'ATC comme indice du stade de maturité

L'équation de la droite de régression présentée sur la figure 4 est :  $y = 1,12x + 2$  le coefficient de corrélation ( $r = 0,99$ ) est hautement significatif. Dans l'état actuel de nos travaux, cette équation ne peut prétendre fournir une droite d'éta-lonnage. Mais elle présente en particulier l'intérêt de donner, pour un taux de croissance nul, une valeur de l'activité spécifique de l'ATC égale à 2, ce qui correspond bien aux valeurs minimales mesurées lorsque la gonade est en activité sexuelle. Les seules valeurs inférieures à 2 ont été mesurées sur des gonades dont le poids diminue en fin de la période d'activité sexuelle (prélèvement du 22.9), toutes les valeurs supérieures se rencontrent chez les gonades en cours de maturation. Il apparaît donc qu'une activité spécifique ayant pour valeur 2 devrait être significative de l'état de maturité.

La comparaison des valeurs de RGS et d'ATC dans certaines situations caractéristiques permet de mettre en évidence l'intérêt et les limites de l'information apportée par les mesures de l'activité spécifique de l'ATC sur le stade de la maturité de la gonade.

Les gonades prélevées le 4.3 et le 22.9 présentent un même RGS, mais les taux d'ATC permettent de montrer que, le 4.3, les gonades sont en début de maturation, alors que, le 22.9, elles entrent dans la phase de repos sexuel. L'ATC nous fournit bien ici une indication formelle sur le stade de maturité de la gonade. Pour trois autres prélèvements, ceux des 30.4, 8.7 et 27.7, les valeurs de RGS sont identiques. Le 8.7, l'existence de gonades à fort taux d'ATC révèle que certains individus sont en cours de rematuration et donc à un stade de maturité antérieur à la ponte. Les gonades prélevées le 30.4 et le 27.7 présentent un taux d'ATC moyen de l'ordre de 2,5 qui pourrait indiquer qu'elles sont proches de l'état de maturité ou en fin de période des pontes. Dans ce cas, l'évolution du RGS permet de lever le doute : elle indique après le 30.4 l'approche de la ponte, la régression pondérale des gonades après le 27.7 montre que les individus sont à la fin de leur période d'activité sexuelle. Il faut remarquer de plus que, pendant la période des pontes, certaines gonades de faible poids présentent des taux d'ATC compris entre 2 et 3 qui ne sont pas indicateurs d'un état de maturité, mais seulement d'un taux de maturation proche de zéro. Dans ces derniers cas, l'information fournie par l'aspect pondéral (RGS) est nécessaire pour trancher sur le stade de maturité de la gonade et nous nous trouvons en présence d'une situation litigieuse, où la mesure du taux d'ATC ne rend pas compte à elle seule du stade réel de maturité de la gonade.

En conclusion, l'activité spécifique de l'ATC, uniquement lorsqu'elle est significativement différente de 2, constitue un indice des potentialités de croissance de la gonade, donc de son stade de maturité.

CONCLUSION

Le cycle sexuel des Coquilles Saint-Jacques de la baie de Saint-Brieuc est décrit de façon satisfaisante par la simple mesure du RGS, à l'exception de la période des pontes qui apparaît assez complexe. Seule l'étude de plusieurs cycles a permis d'en saisir les principaux mécanismes.

Les mesures de l'activité spécifique de l'ATC de la gonade effectuées en 1977 sont en bon accord avec les phénomènes connus de ce cycle.

Elles ont de plus permis de confirmer les diverses observations qui avaient été menées afin de comprendre le comportement des gonades *in situ* au cours de la période des pontes.

Au cours de la première maturation, l'activité spécifique de l'ATC constitue un indice du taux de croissance pondérale de la gonade, donc du taux de maturation instantané de la Coquille Saint-Jacques. Pendant la période des pontes,

elle permet de statuer sur l'existence d'individus en rematuration et, si l'on prend conjointement en considération l'aspect pondéral, de connaître le stade de maturité des gonades. A l'approche du repos sexuel, elle devient significativement inférieure à un seuil qui correspond au taux de croissance nul de la gonade. Ces premiers résultats obtenus au cours du cycle sexuel de 1977 semblent confirmer notre hypothèse : la mesure de l'activité spécifique de l'ATC des gonades doit pouvoir fournir une information sur la dynamique des phénomènes de maturation sexuelle à un instant donné et permettre d'aborder plus rapidement l'étude de la reproduction d'une population de Pectinidés, dont le cycle sexuel est inconnu, ou d'autres espèces de Lamellibranches, dont l'appareil sexuel est anatomiquement moins accessible.

#### REFERENCES

- Alayse-Danet, A.M. et J.P. Bergeron. Aspartate transcarbamylase de la coquille Saint-Jacques (Pecten maximus L.) : methode de dosage et mesure de l'activite dans les tissus somatiques et sexuels. En preparation.
- Bresnick, E. et H. Mosse, 1966. Aspartate carbamoyltransferase from rat liver. Biochem. J., 101 : 63-69.
- Buestel, D. et A. Laurec, 1975. Croissance de la coquille Saint-Jacques (Pecten maximus L.) en rade de Brest et en baie de Saint-Brieuc. Haliotis, 5 : 173-177.
- Buestel, D., J.C. Dao et G. Lemarie, 1976. Collecte de naissain de Pectinides en Bretagne. I.C.E.S. Special Meeting on Population Assessment of Shellfish Stocks. Contribution n° 5. J. Cons. Int. Explor. Mer (sous presse).
- Buestel, D., P. Arzel, P. Cornillet et J.C. Dao, 1977. La production de juveniles de coquille Saint-Jacques (Pecten maximus L.). 3rd Meeting of the I.C.E.S. Working Group on Mariculture, Actes de Colloques du CNEOX, 4 : 307-315.
- Calva, E., J.M. Lowenstein et P.P. Cohen, 1959. Carbamyl phosphate-aspartate transcarbamylase activity in tumors. Cancer Research, 19 : 101-103
- Herzfeld, A. et W.E. Knox, 1972. Aspartate transcarbamylase concentrations in relation to growth rates of fetal, adult and neoplastic rat tissue. Cancer Research, 32: 1842-1847.
- Kim, S. et P.P. Cohen, 1965. Transcarbamylase activity in fetal liver and in liver of partially hepatectomized parabiotic rats. Arch. Biochem. Biophys., 109 : 421-428.
- Lubet, P., 1959. Recherches sur le cycle sexuel et l'emission des gametes chez les Mytilides et les Pectinides. These Doc. d'Etat. Rev. Trav. Inst. Peches Marit. 23-24.
- Mason, J., 1957. The age and growth of the scallop Pecten maximus L. in Manx waters. J. Mar. Biol. Ass. U.K., 36 : 473-492.
- Mason, J., 1958. The breeding of the scallop Pecten maximus L. in Manx waters. J. Mar. Biol. Ass. U.K., 37 : 653-671.
- Nordmann, Y., R. Hurwitz et N. Kretchmer, 1964. Activity of aspartate transcarbamylase in heart and liver of the developing rat. Nature, 201 : 616-617.
- Samain, J.F. et J. Boucher, 1974. Dosage automatique et simultane de l'amylase et des proteines du zooplancton. Ann. Inst. Oceanogr., Paris, 50, 2 : 199-205.
- Stein, L.I. et P.P. Cohen, 1965. Correlation of growth and aspartate transcarbamylase activity in higher plants. Arch. Biochem. Biophys., 109 : 429-433
- Waymire, J.C. et M.T. Nishikawara, 1972. Increased aspartate carbamyltransferase activity in compensatory renal growth. Proc. of the Soc. for Exp. Biol. and Med., 139, 4 : 1398-1400.