

Conseil International
pour l'Exploration de la Mer

CM 1988/K : 22
Shellfish Committee
Reference F
Mariculture Committee

Approche de la capacité trophique d'un
écosystème conchylicole.

par

Maurice HERAL, Jean-Marc DESLOUS-PAOLI et Jean PROU

IFREMER, Laboratoire Ecosystèmes Conchylicoles (LEC)
B.P. 133 - 17390 LA TREMLADE (France).

RESUME : Après une courte étude bibliographique des différentes approches disponibles pour déterminer les capacités trophiques d'un écosystème conchylicole, les auteurs, à partir d'un modèle global mettent en évidence les relations entre les performances de croissance des huîtres Crassostrea gigas en fonction des stocks cultivés. Les volumes de nourriture filtrée et assimilée sont déterminés pour ces stocks en fonction des volumes entrants et des temps de résidence des masses d'eau du bassin en mortes eaux et en vives eaux. Ainsi les auteurs mettent en évidence une baisse des croissances proportionnelle au volume de nourriture consommée. Lorsqu'il dépasse 60 % et que le volume de nourriture assimilée est de 20 % on constate une altération marquée des croissances.

Approach of the estimation of the carrying capacity
for oyster culture.

ABSTRACT : After a short bibliographical study of the different approaches for determination of the trophic capacity of a bay for molluscs culture, the authors, with a global model, show the relations between the growth performances of the oysters Crassostrea gigas in relation with the cultivated stocks. The volumes of consumed and assimilated food are calculated for the stocks in relation with the incoming volumes of water in the bay and the residence time for neap tide and spring tide. The authors find a decrease of growth rate in relation with the volume of consumed food. When it is above 60 % and when the volume of assimilated food is above 20 %, there is a large decrease of the growth of oysters.

Pour implanter l'aquaculture de mollusques dans de nouveaux secteurs d'élevage ou pour développer et gérer les élevages de moules et d'huîtres dans des bassins où cette industrie est déjà importante, il est nécessaire d'ajuster les biomasses cultivées aux potentialités trophiques des écosystèmes concernés (Incze et al., 1981 ; Héral, 1985 ; Héral et al., 1986).

Plusieurs approches sont réalisées pour parvenir à cet objectif. La première méthode est développée empiriquement par les éleveurs dans certains pays, par exemple au Japon. Elle consiste à observer les rendements des élevages. Lorsque ceux-ci s'infléchissent et descendent en dessous d'un seuil fixé par des critères de rentabilité économique, les groupements d'ostréiculteurs décident de réduire la charge en élevage. Cet ajustement empirique ne permet pas de déterminer si les altérations des rendements sont dues à des modifications environnementales (pollution, baisse des apports trophiques...) ou à des surcharges de mollusques soit cultivés soit issus de populations naturelles soumises à de grandes variabilités de recrutement (moules, coques, crépidules...). Ce mode de gestion se révèle cependant très efficace car il procède de fait à un ajustement permanent des biomasses cultivées à la nourriture disponible pour ces élevages. Néanmoins l'inconvénient de cette approche est de ne pas pouvoir être prédictive à long terme. Ainsi toute planification de développement est impossible mais surtout elle ne permet pas de déterminer la causalité de la variation de la capacité trophique d'une baie. Or pour les responsables de l'aménagement côtier, il est nécessaire d'identifier les facteurs qui provoquent les perturbations des capacités trophiques pour en déterminer l'impact et son évolution pour tenter dans le cas d'aménagement concurrentiel d'en prévoir et limiter les effets (polluants, construction de barrages, sédimentation...).

Pour répondre à ces questions, il est nécessaire de développer une approche analytique qui permet de construire des modèles de simulation. Une méthode décrite par Incze et al. (1981) est basée sur le flux de particules et sur la consommation par filtration des mollusques (moules). Ce modèle prend comme hypothèse que la nourriture ne doit pas être consommée à plus de 50 % en se basant sur les résultats de Mason (1976) et Fraga et Vives (1961). Il prend comme autre postulat que la croissance des mollusques est constante, si la déplétion de nourriture n'est pas

supérieure à 50 %. Ces hypothèses de travail ont été reprises par Rosenberg et Loo (1983) et Carver et Mallet (sous presse) pour déterminer la capacité trophique pour les élevages de moules en Suède et au Canada.

L'approche énergétique permet d'apporter un plus par rapport au modèle précédent car dans les écosystèmes côtiers, la composition qualitative et quantitative de la nourriture est très variable et un indice énergétique et un meilleur estimateur qu'un paramètre pondéral (Héral, 1985). L'estimateur le plus généralement admis est la matière organique dosée en termes de protéines, lipides et glucides convertis en énergie, il donne la nourriture assimilable par les mollusques (Widdows, 1979). Cette concentration de nourriture doit être couplée aux paramètres physiques pour définir le potentiel de nourriture disponible par cycle de marée. Soit on considère que le bassin correspond à une seule grande boîte et le flux énergétique disponible correspond au volume d'eau entrant dans le bassin (Curver, Maller, sous presse ; Héral et al., sous presse), il est alors pris comme hypothèse qu'il ne se produit pas de production primaire dans le bassin et qu'il y a un parfait mixage des différentes masses d'eau dans le bassin. Soit, la nourriture est injectée aux limites et c'est un modèle numérique d'advection dispersion qui va transporter dans les différentes boîtes cette nourriture disponible. L'avantage du modèle en boîte est qu'il permet d'envisager une production primaire dans certains secteurs, et qu'il répond à la question d'hétérogénéité physique des masses d'eau. Ce couplage a été réalisé sur le bassin de Marennes-Oléron, le modèle fonctionne avec une échelle de temps quotidienne et donc avec une résiduelle de courants de marée (Bacher, 1987).

Les mollusques doivent être introduits dans ces modèles non pas comme des consommateurs de nourriture mais comme des assimilateurs. En effet ce qui disparaît du milieu correspond à l'assimilation. La différence est grande car comme Héral et al. (1983) et Deslous-Paoli et Héral (1984) l'ont mis en évidence, les biodépôts (fèces + pseudofèces) peuvent représenter 70 % de l'énergie consommée pour l'huître Crassostrea gigas. Dans des écosystèmes à marée avec un hydrodynamisme violent, ces biodépôts sont remis en suspension et peuvent être réutilisés par les mollusques.

Parallèlement à cette approche énergétique, un modèle global basé sur la dynamique des populations (croissance, mortalité, production) a été construit (Héral et al., 1986). Il montre clairement la capacité maximale de production de l'écosystème de Marennes-Oléron, limité par les capacités trophiques de la baie. Ce travail a montré que sans aménagement du cheptel, les charges cultivées par les exploitants tendent à dépasser la biomasse minimale nécessaire pour atteindre le potentiel maximum de production. Il y a dans ce cas nécessité d'une régulation des quantités en élevage permettant de diminuer la durée du cycle d'élevage et d'augmenter le taux de survie. Ce modèle basé sur une série statistique de données prend comme hypothèse que les conditions environnementales sont constantes pendant la période considérée. Dans cette communication, il a semblé intéressant de coupler ce modèle global à un modèle énergétique et aux caractéristiques physiques du bassin pour essayer de caractériser les lois qui contrôlent la croissance des huîtres Crassostrea gigas afin de pouvoir généraliser cette approche à d'autres écosystèmes.

RESULTATS

En un premier temps il a été estimé par 3 sources statistiques l'évolution de la production d'huîtres commercialisées dans le bassin de Marennes-Oléron (1er bassin producteur d'huîtres européen).

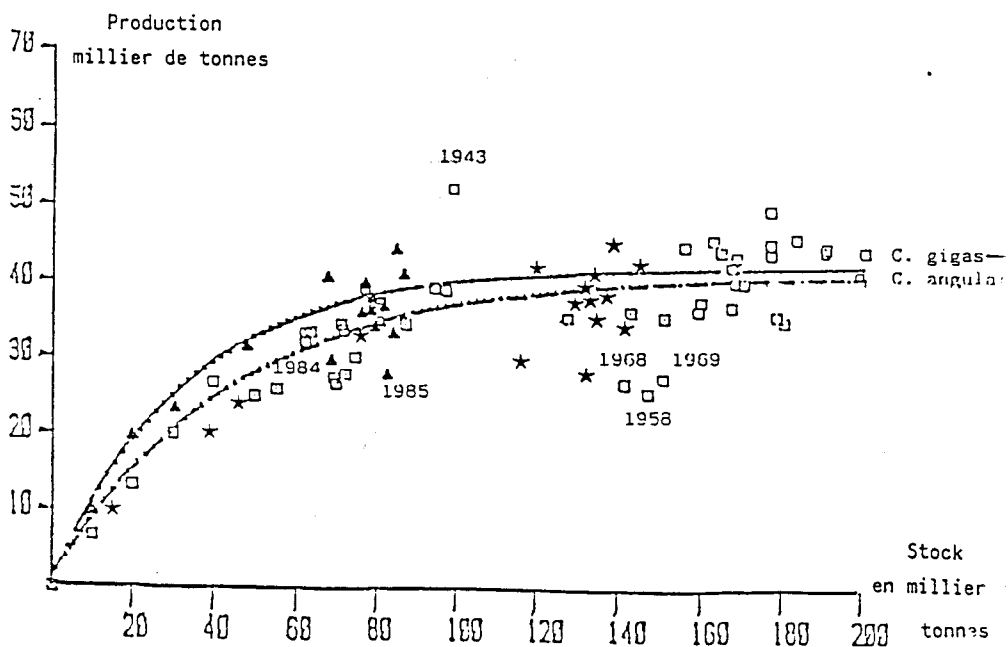


Figure 1 : Evolution de la production en fonction de la biomasse en élevage pour l'huître creuse Crassostrea angulata (□), Crassostrea gigas (▲) et pour Crassostrea gigas transformée en équivalent Crassostrea angulata (★).

Parallèlement, les performances de croissance et les taux de survie ont été recueillis. Ceci a permis de calculer les stocks cultivés (Héral et al., 1986). L'évolution du stock en fonction de la production (fig. 1) montre que la production est limitée et peut être modélisée par une équation de Bertalanffy de la forme $P = P_{\max} (1 - e^{-KB})$ où P est la production commercialisable annuellement, P_{\max} est la production maximale du bassin de Marennes-Oléron et B est le stock en élevage. $P_{\max} = 42\,450$ tonnes pour Crassostrea gigas.

De ces données, on peut déduire l'évolution d'un taux d'accroissement en fonction de l'évolution du stock. Cette variation de croissance pondérale (P) annuel correspond à une croissance de tissu sec (P_g), à un effort de reproduction (P_r) et à une croissance de la coquille (P_s).

Le poids sec de l'huître est estimé à 2 % du poids total, Deslous-Paoli (1981) ayant montré que dans le bassin de Marennes-Oléron, il varie de 1,4 % en hiver à 4 % au moment de la ponte. La valeur énergétique de la chair obtenue par comparaison entre une estimation biochimique et une estimation microcalorimétrique (Héral et Deslous-Paoli, 1983) est de 20,23 joules.mg⁻¹. Le poids de coquille représente en moyenne 65 % du poids total (Deslous-Paoli, 1981) auquel est appliqué le coefficient énergétique mesuré sur l'huître Crassostrea virginica par Dame (1976) 20 joules.mg⁻¹ de poids sec de coquille. L'effort de ponte varie en fonction de l'âge (et du sexe (Deslous-Paoli et Héral, sous presse). Avec un sex ratio de 50 %, l'effort de ponte représente 30 % pour des huîtres d'un poids de 0,5 g et 59 % pour des huîtres d'un poids de 1,1 g. Un effort de ponte de 50 % représentant la moyenne d'une population ayant une croissance en trois ans a été retenu comme base de calcul.

Ainsi, on obtient une courbe qui indique l'évolution du gain énergétique annuel d'huître en fonction du stock (fig. 2).

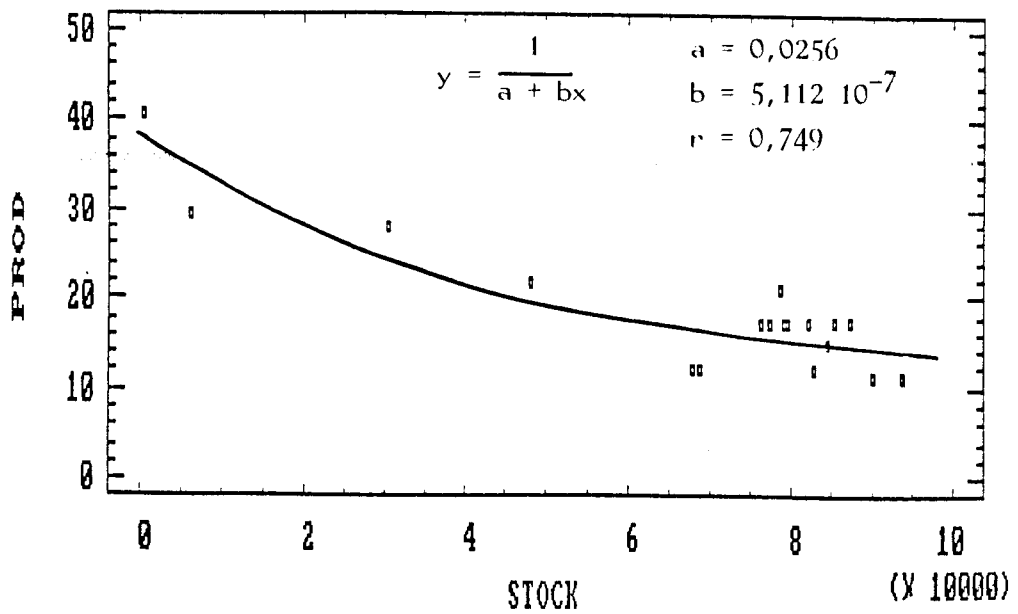


Figure 2 : Evolution de la production individuelle annuelle en Kjoules (PROD = P_g + P_r + P_s) en fonction des stocks d'huîtres cultivés en 10⁴ tonnes.

Des expériences de détermination des taux de filtration ont été réalisées chaque mois avec une eau dont la charge sestonique est élevée, prélevée au-dessus des parcs à huîtres et une autre avec une charge sestonique plus faible obtenue par décantation pendant une semaine. Ces conditions expérimentales simulent les conditions d'un cycle de marée vives eaux, mortes eaux (Anonyme, 1987). Il ne semble pas exister de différences dans les niveaux de filtration en regard des régimes alimentaires. *Crassostrea gigas* présente une activité moyenne de filtration calculée sur l'année de $4,8 \text{ l.h}^{-1}.\text{gcs}^{-1} \pm 2,2$.

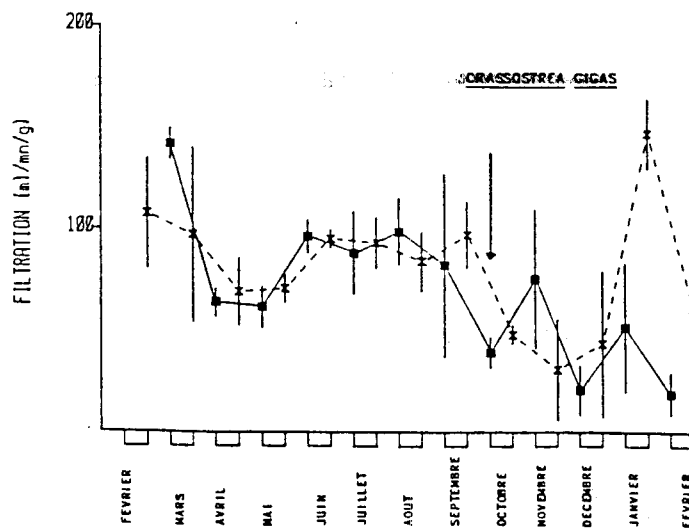


Figure 3 : Evolution des taux de filtration (ml/mn/g de chair sèche) de *Crassostrea gigas*, sous des conditions alimentaires estuariennes (■) et d'eau décantée (X), (↓) : effet de fortes charges sestoniques minérales, (—) : fin de gamétogenèse et pontes.

Ceci permet de calculer les volumes d'eau filtrés par les différents stocks de mollusques (tableau 1).

Tableau 1 : Evolution journalière des volumes filtrés de l'énergie consommée, de l'énergie assimilée et du volume assimilé.

Années	biomasse en tonnes	volume filtré $\times 10^6 \text{ m}^3 \text{ j}^{-1}$	Energie consommée en $10^6 \text{ Kjoules j}^{-1}$	Energie assimilée en $10^6 \text{ Kjoules j}^{-1}$	Volume assimilé en $10^6 \text{ m}^3 \text{ j}^{-1}$
1970	410	0,4	17	5	0,11
1971	6 059	14	608	182	4,2
1972	30 528	70	3 038	911	21
1973	48 237	111	4 817	1 445	33
1974	78 635	181	7 855	2 356	54
1975	76 369	176	7 638	2 291	53
1976	78 988	182	7 899	2 370	55
1977	82 152	189	8 203	2 461	57
1978	87 205	201	8 723	2 616	60
1979	85 256	196	8 506	2 552	59
1980	77 267	178	7 725	2 317	53
1981	79 528	183	7 942	2 383	55
1982	84 419	194	8 289	2 487	57
1983	67 911	156	6 770	2 031	47
1984	68 735	158	6 857	2 057	47
1985	82 722	190	8 246	2 474	57
1986	90 000	207	8 984	2 695	62
1987	93 700	215	9 331	2 799	64

Parallèlement, pendant 2 ans, 2 fois par mois, en cycle de marée en mortes eaux et en vives eaux, ce qui permet d'estimer la teneur énergétique de la nourriture particulaire (fig. 4).

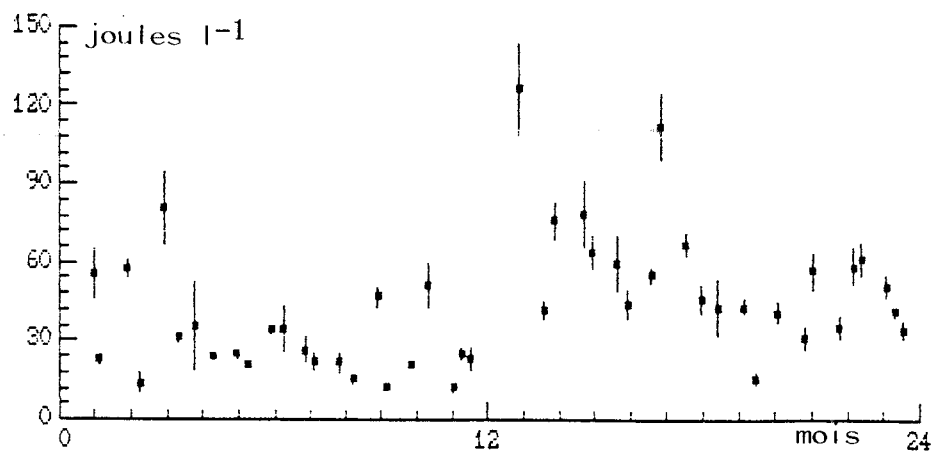


Figure 4 : Evolution des teneurs en énergie de la nourriture particulaire (moyenne et écart à la moyenne).

Ainsi la valeur énergétique totale moyenne d'un litre d'eau (somme des protides, lipides et glucides) est de 43 joules par litre. Ceci permet

d'estimer la quantité d'énergie consommée par les différents stocks de mollusques. Le rendement moyen annuel d'assimilation défini sur deux populations d'huîtres (Héral et al., 1983 ; Deslous-Paoli et Héral, 1984) est de 30 % ce qui permet une détermination du volume d'eau utilisé par l'assimilation des huîtres (tableau 1).

Pour pouvoir généraliser ces relations entre les taux de croissance et les volumes d'eau consommés et assimilés, il est intéressant de calculer le pourcentage d'utilisation que représente ces volumes utilisés par rapport au volume du bassin. Plus exactement, le volume de nourriture d'un bassin dépendra du flux entrant aux différentes limites. Ces flux ont été calculés à partir de relevés bathymétriques (DDE), à partir de mesures de courants sur la verticale (SHOM, LCHF, IGBA, IFREMER) et à partir des relevés marégraphiques (tableau 2).

Tableau 2 : Volume entrant par marée dans le bassin de Marennes-Oléron.

Volume entrant 10^6 m^3 par marée	mortes eaux coefficient 40 324	vives eaux coefficient 110 978
--	--------------------------------------	--------------------------------------

Si le temps de résidence des masses d'eau dans le bassin est de 1 jour, le volume de nourriture apporté correspond au volume de nourriture entrant. Dans le bassin de Marennes-Oléron le temps de résidence moyen des masses d'eau en vives eaux est de 3 jours et en mortes eaux de 11 jours avec un trajet Nord-sud. Ainsi la même masse d'eau sera successivement utilisée par les mollusques pendant le temps de résidence. Au volume entrant moyen (moyenne vives eaux, mortes eaux) correspond donc un temps moyen d'utilisation des masses d'eau par les mollusques de 7 jours.

Tableau 3 : Pourcentage moyen de nourriture consommée et assimilée par les stocks d'huîtres Crassostrea gigas cultivés dans le bassin de Marennes-Oléron. Pourcentages en vives eaux et en mortes eaux.

7 jours	% volume moyen consommé	% volume moyen assimilé	VIVES EAUX			MORTES EAUX		
			3 jours	% volume consommé	% volume assimilé	11 jours	% volume consommé	% volume assimilé
2,8	0,2	0,06	1,2	0,1	0,03	4,4	1,3	0,4
98	7	2	42	4	1	154	47	14
280	21	6	210	21	6	770	238	71
777	60	18	333	34	10	1 221	377	113
1 267	97	29	543	55	16	1 991	614	184
1 232	95	28	528	54	16	1 936	597	179
1 274	98	29	546	56	17	2 002	617	185
1 323	102	31	567	58	17	2 079	641	192
1 407	108	32	603	62	19	2 211	682	204
1 372	105	31	588	60	18	2 156	665	199
1 246	96	29	534	55	16	1 958	604	181
1 281	98	29	549	56	17	2 013	621	186
1 358	104	31	582	59	18	2 134	659	198
1 092	84	25	468	48	14	1 716	530	159
1 106	85	25	474	48	14	1 738	536	160
1 330	102	31	570	58	17	2 090	645	193
1 449	111	33	621	63	19	2 277	703	210
1 505	115	34	645	65	19	2 365	730	219

Il apparaît (fig. 5 et 6)) que l'évolution des performances de croissance est en relation directe avec le pourcentage consommé et assimilé. Dès une consommation moyenne de 100 % de la nourriture, il se produit une altération prononcée des croissances ne correspondant qu'à une assimilation de 30 %. Ces chiffres moyens masquent en réalité deux situations très différentes dans ce bassin avec en vives eaux, même avec une biomasse de 90 000 tonnes, une consommation de 65 % et une assimilation de 19 % alors qu'en mortes eaux, ce même stock entraîne une consommation de 700 % ce qui veut dire que la même eau a été successivement filtrée 7 fois par les huîtres. La situation de mortes eaux est une situation extrême (coefficient 40), elle induit un temps de résidence de 11 jours qui n'est pas compatible avec la réalité. La succession des coefficients de marée de déchet et de revif va en effet raccourcir ce temps de résidence ainsi en marée de coefficient 80, il est de 5 jours.

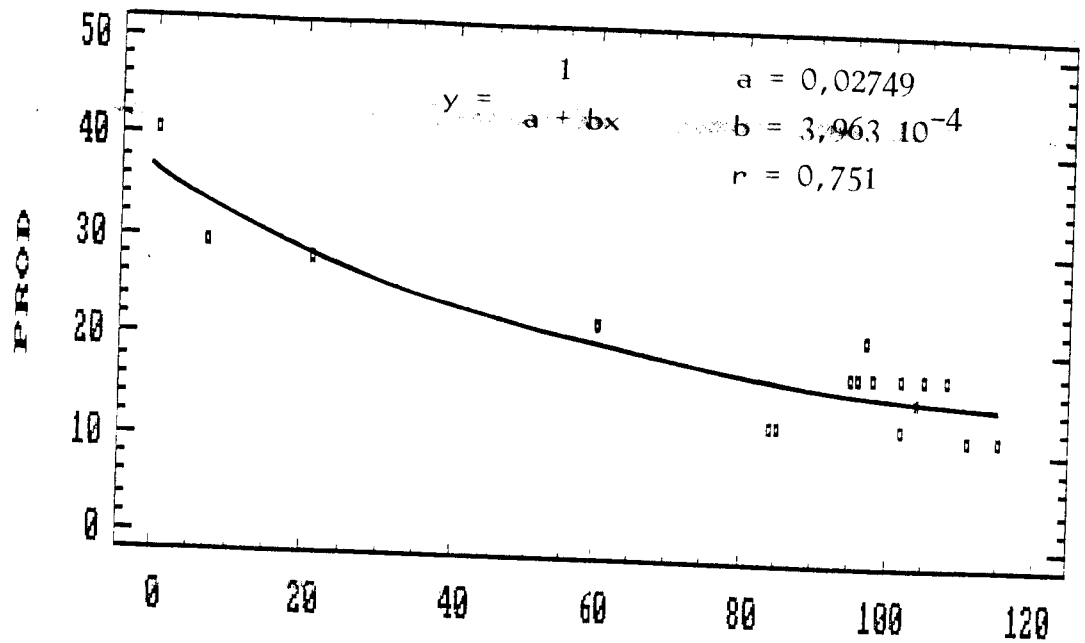


Figure 5 : Evolution de la production annuelle en Kjoules en fonction du pourcentage de volume consommé.

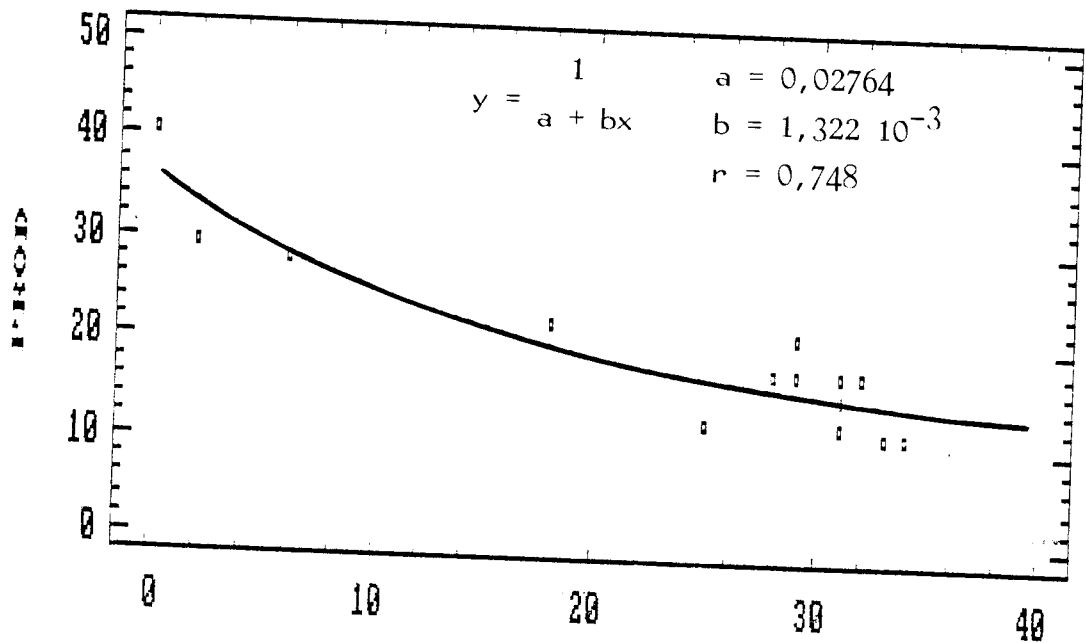


Figure 6 : Evolution de la production annuelle en Kjoules en fonction du pourcentage de volume assimilé.

Cette approche mérite d'être réalisée dans d'autres écosystèmes exploités par l'huître Crassostrea gigas (claires à huîtres, bassin de Thau, Arcachon, etc...) afin de vérifier si la même loi est obtenue.

Pour fixer les biomasses à cultiver et les rendements à obtenir il ne faut pas oublier que ce ne sont pas uniquement des critères biologiques mais aussi des critères socio-économiques qui déterminent les optima de gestion de ces bassins exploités.

BIBLIOGRAPHIE CITEE

- Anonyme, 1987. Bilan énergétique chez les mollusques bivalves, méthodologie expérimentale sur les activités métaboliques et les bilans énergétiques. Hors série n° 7, 68 p.
- Bacher C., 1987. Modélisation de la croissance des huîtres dans le bassin de Marennes-Oléron. Rapport MRS 86-50051, octobre 1987, 12 p.
- Carver C.E.A., Mallet A.L., 1988. Assessing the carrying capacity of a coastal inlet in terms of mussel culture. Sous presse.
- Dame R.F., 1976. Energy flow in an intertidal oyster population. Est. Coast. Mar. Sc., 4 : 243-253.
- Deslous-Paoli J.M., 1980. Contribution à l'étude de la biologie de l'huître Crassostrea gigas Thunberg dans le bassin et les claires de Marennes-Oléron. Thèse de 3ème cycle, Université d'Aix-Marseille II, 121 p.
- Deslous-Paoli J.M. et Héral M., 1984. Transferts énergétiques entre la nourriture potentielle disponible dans l'eau d'un bassin ostréicole et l'huître Crassostrea gigas âgée de un an. Haliotis 14 : 79-90.
- Deslous-Paoli J.M. and Héral M., 1988. Proximate biochemical composition and energy value of Crassostrea gigas (Thunberg) cultured in the bay of Marennes-Oléron. Aquatic Living Ressources, sous presse.
- Fraga F. and Vives F., 1961. Retencion de particulas organicos par el mejillon en los viveros flotantes. Réunion sobre Productividad y Pesquerias (Barcelona) 4 : 71-73.
- Héral M., 1985. Evaluation of the carrying capacity of the molluscan shellfish ecosystems. Shellfish culture Development and Management, Aquaculture. International Seminar in La Rochelle 4-9 mars 1985 IFREMER edit. Brest : 297-318.
- Héral M., Deslous-Paoli J.M., Prou J., 1986. Dynamique des productions et des biomasses des huîtres creuses cultivées (Crassostrea angulata et Crassostrea gigas) dans le bassin de Marennes-Oléron depuis un siècle. Note au CIEM, CM 1986/F : 41.
- Héral M., Deslous-Paoli J.M., 1983. Valeur énergétique de la chair de l'huître Crassostrea gigas estimée par mesures microcalorimétriques et par dosages biochimiques. Océanol. Acta, 6, 2 : 193-199.
- Héral M., Deslous-Paoli J.M., Sornin J.M., 1983. Transferts énergétiques entre l'huître Crassostrea gigas et la nourriture potentielle disponible dans un bassin ostréicole : premières approches. Océanis, 9, 3 : 169-194.
- Incze L.S., Lutz R.A. and True E., 1981. Modeling carrying capacities for bivalve molluscs in open, suspended-culture systems. J. World Maricult. Soc. 12 (1) : 143-155.
- Mason J., 1976. Cultivation. In B.L. Bayne ed. Marine Mussels : their ecology and physiology pages 385-413, Cambridge University Press.
- Rosenberg R. and Loo L., 1983. Energy flow in a Mytilus edulis culture in western Sweden. Aquaculture 35 : 151-161.
- Widdows J., Fieth P. and Worrall M., 1979. Relationships between seston, available food and feeding activity in the common mussel Mytilus edulis. Marin. Biology, 50 : 195-207.

