

Contrat de Plan Etat - Région 2008 - 2013
DEVELOPPEMENT DURABLE DES PERTUIS CHARENTAIS

LER PC La Tremblade
Patrick Soletchnik



Saisonnalité de ponte de *Crassostrea gigas* et *Crassostrea angulata* dans le bassin de Marennes – Oléron. Un demi siècle de résultats : 1950-2000.



La différence dans la saison de ponte reflète-t-elle une différence entre taxons ou l'évolution climatique ?

FEVRIER 2008



Saisonnalité de ponte de *Crassostrea gigas* et
Crassostrea angulata dans le bassin de Marennes
– Oléron. Un demi siècle de résultats : 1950-2000.

La différence dans la saison de ponte au fil des décennies,
reflète-t-elle : (1) une différence entre les taxons qui se
sont succédés dans le Bassin de Marennes Oléron ou (2)
le réchauffement climatique qui marque cette période ?

RESUME	4
1. INTRODUCTION	5
2. MATERIEL ET METHODES	9
3. RESULTATS	14
3.1. Etude descriptive comparée de la saison de ponte des 2 espèces <i>C. angulata</i> et <i>C.gigas</i> dans le bassin de Marennes – Oléron	14
3.2. Saison de ponte de l'huître et évolution climatologique ?	22
4. DISCUSSION – CONCLUSION	27
5. REFERENCES	33
6. FIGURES ET TABLEAUX	35

Résumé

Cette étude produite à la fin du 2^{ème} millénaire traite de la reproduction de l'huître *Crassostrea gigas* dans le Bassin de Marennes Oléron.

Le bassin de Marennes-Oléron sur la cote atlantique est un haut lieu de l'ostréiculture française. 40 000 tonnes d'huîtres creuses y sont produites chaque année. Les deux taxons *Crassostrea angulata* et *Crassostrea gigas* s'y sont succédés au cours du siècle dernier. Depuis 1950 des pêches de larves sont effectuées entre juin et septembre au sud du bassin, à l'embouchure de la rivière Seudre, zone traditionnelle de captage du naissain d'huîtres. Cette base de données historiques montre que les fréquences de captures de larves s'articule autour de 3-4 pics d'émission pour *Crassostrea angulata* et seulement 2 pics d'émissions pour *Crassostrea gigas* au cours d'une saison. 17 années de données sur *Crassostrea angulata* entre 1950 et 1969 et 27 années sur *Crassostrea gigas* entre 1972 et 2000 permettent de constater que le début de saison de ponte a lieu en moyenne en mi juin pour *Crassostrea angulata* et en fin juin pour *Crassostrea gigas*. 50 % des émissions sont atteinte durant la première quinzaine de juillet pour *Crassostrea angulata* et durant la deuxième quinzaine de juillet pour *Crassostrea gigas*.

Si la différence dans la fréquence des émissions peut être de nature phénotypique, le décalage de 15 jours dans la saison de ponte des 2 taxons, ne va pas dans le sens des différences de patrons de maturation mis en évidence entre les deux taxons. A la lumière de l'évolution climatique de cette fin du 20ème siècle, cette étude montre que l' "avance" de 15 jours dans la saison de ponte moyenne n'est sans doute pas liée au changement de taxon. Une étude conduite en 2000 avec les deux taxons montre au contraire une ponte plus tardive pour *C.angulata* comparé à *C.gigas*. La hausse sensible de température de plus de 1°C en 25 ans, la diminution de 10-15% de l'insolation moyenne sur le bassin, ainsi que l'augmentation significative de la pluviométrie printanière, agissent sur la chaîne trophique alimentaire de l'écosystème estuarien et sur la saisonnalité d'abondance de la ressource alimentaire disponible pour l'huître. Le retard dans l'avènement des blooms phytoplanctoniques peut induire le retard de ponte observé depuis les 3 dernières décades.

1. Introduction¹

Le bassin de Marennes-Oléron (Figure 1) se situe sur la côte atlantique française, entre la Rochelle et Marennes. Ses 150 km² de superficie sont limitées au Nord par l'estuaire de la Charente, au Sud par celui de la Seudre, à l'Est par le continent, et à l'Ouest par l'île d'Oléron. Sa hauteur d'eau moyenne est de 3,19 m. Deux fleuve et rivière se jettent dans le bassin. Au Nord, la Charente possède un débit de 10 à 400 m³ s⁻¹, contre 0 à 40 m³ s⁻¹ seulement pour la Seudre, dans le Sud du bassin. Le bassin de Marennes-Oléron est une zone ostréicole d'intense activité. Le stock d'huîtres creuses (*Crassostrea gigas*) y atteint fréquemment les 110 000 tonnes. La production annuelle, de près de 40 000 tonnes (25 % de la production nationale) le place au premier rang des bassins ostréicoles européens. Site de maturation, ponte et captage de jeunes huîtres, la valeur ajoutée de cette activité de production représente une donnée économique importante pour la région.

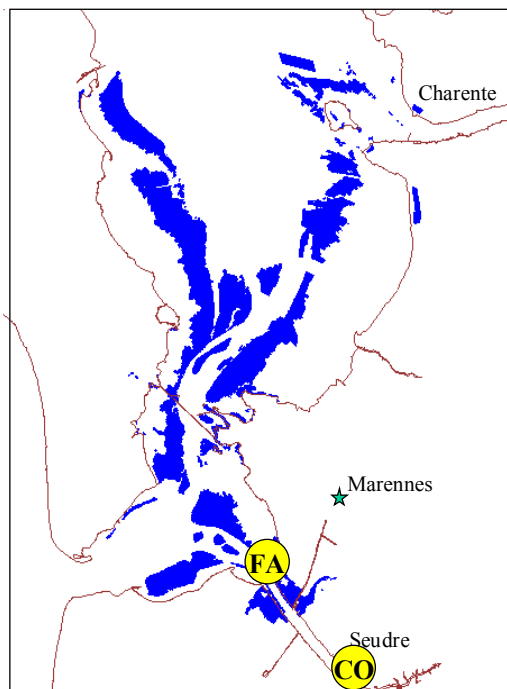


Figure 1. Bassin de Marennes Oléron sur la cote Atlantique française. Sites de pêches expérimentales de larves en rivière Seudre aux sites de Faulx (FA) et des Coux (CO).

Le Bassin de Marennes Oléron connaît une succession d'espèces d'huîtres entre 1950 et nos jours (Figure 2). Entre 1966 et 1973 la disparition de l'huître portugaise: *Crassostrea angulata* constitue une des plus fortes crises ostréicoles de l'histoire du bassin de Marennes – Oléron. Au

¹ Cette étude à été réalisée au Laboratoire Conchylicole de Poitou – Charente (LCPC) en 2001-2002. Elle est présentée ici sous forme de rapport afin d'"actualiser" la connaissance "régionale" dans le cadre d' un projet de recherche financé par la Région Poitou-Charente (CPER 2008-2012)

19ème siècle, l'espèce endémique est *Ostrea edulis*. La première espèce de cette étude (*Crassostrea angulata*), est importée "accidentellement" par le "Morlaisien" dans l'estuaire de la Gironde en 1865 et fait l'objet d'un commerce important. Cette espèce supplante alors *Ostrea edulis* dans l'écosystème estuarien. Par la suite, *Crassostrea angulata* disparaît entre 1968 et 1971 suite à une épizootie par un iridovirus provoquant la "maladie des branchies" (Grizel, Heral, 1991), Entre 1969 et 1971, le gouvernement français décide d'importer l'espèce *Crassostrea gigas* en provenance du Japon et de la Colombie Britannique (Canada). Des gisements sont répartis en 4 sites du bassin (2 en Seudre, et 2 dans le nord du bassin) (Gras, et al., 1971). De bonnes performances de croissance et le succès du captage sur la côte atlantique française traduisent la réussite de l'implantation de cette espèce dont la production atteint 80 000 tonnes en 1976.

A l'intérieur du genre *Crassostrea*, une vingtaine d'espèces ont été décrites dont l'huître creuse "Portugaise" *Crassostrea angulata* (Lamarck, 1819) et l'huître creuse "Japonaise" *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793). De nombreuses études (e.g. Ris, 1972, (Boudry, et al., 1998); O'Foighil et al., 1998 ; (Leitao, et al., 1999)b) ont montré les grandes homologues biologiques entre *C. gigas* et *C. angulata* et ont conduit à les regrouper en une seule et même espèce (Menzel, 1974). (Huvet, et al., 2001) dans une revue comparative préfère parler d'écotypes ou de taxons. Peu d'informations existent sur la reproduction comparée de ces deux taxons. Dans des études menées sur les deux écotypes et leurs hybrides, (Huvet, et al., 2001) constate des patrons de maturation sous influence génétique de la mère. Des différences phénotypiques entre les 2 taxons avaient déjà été mises en évidence (Bougrier, et al., 1986. Renault, 1999; Huvet, et al., 2001).

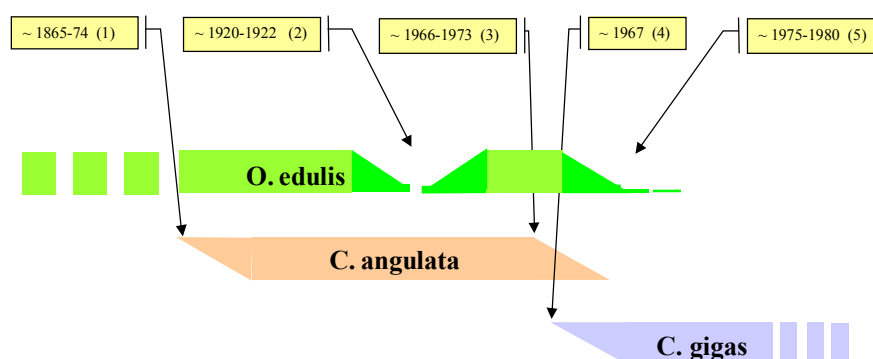


Figure 2. Succession des espèces d'huîtres dans le bassin de Marennes – Oléron : (1) 1865 : *C. angulata* est importée accidentellement en Gironde, et en 1874, elle atteint le bassin de Marennes – Oléron. (2) 1920-1922 : Mortalité massive d'origine inconnue de *Ostrea edulis*. (3) 1966-1973 La "maladie des branchies" décime *C. angulata*. (4) 1967 Début d'importation de *C. gigas*. (5) : 1975-1980 Parasitoses à *Martelia* et *Bonamia*.

Les zones traditionnelles de captage sont peu nombreuses sur le littoral Français. Dans le contexte actuel de réchauffement planétaire "effet de serre", de plus en plus de sites septentrionaux (eg sites Breton et Normand) captent du naissain d'huîtres. La présence de gisements naturels dans ces régions confirme le captage. Toutefois, l'activité de production de naissain doit être régulière pour être rentable. Des sites de captage traditionnels existent dans le bassin d'Arcachon, les estuaires externes et internes de la Gironde et Charente, et en rivière Seudre. Sur ces sites euryhalins, les huîtres adultes peuvent se reproduire (maturation, ponte et embryogenèse). Ces processus sont également sous le contrôle de la température. Les diagrammes "températures salinité" (diagrammes T-S) présentent à la fois les conditions optimales, mais aussi les conditions limites à la survie larvaire (Marteil & Barrau, 1972). Zone d'estuaire, le bassin de Marennes – Oléron est également soumis à des pressions hydrodynamiques naturelles (Dechambenoy, et al., 1977, Castaing, Allen, 1981, Ravail, 1993). Les rejets urbains et les apports fluviaux constituent tour à tour un apport fertilisant (nitrates, phosphates et silicates) bénéfique à l'écosystème ou peuvent au contraire représenter une source de pollution et de danger potentiel pour les larves (Aminot et Guillaud, 1990 ; Guillaud, et al., 1992 ; Menesguen, 1992 ; Menesguen, 1997). Les risques d'eutrophisation augmentent dans la partie sud est du bassin (rivière Seudre) (Soletchnik, et al., 1999) où les larves se concentrent en période de reproduction. En 1999, l'absence de captage de *Crassostrea gigas* a grandement alarmé les professionnels de la conchyliculture du bassin d'Arcachon sur la partie sud du littoral atlantique.

Les pêches de larves dans le Bassin de Marennes Oléron sont effectuées depuis 1950 par les autorités scientifiques (ISTPM, puis IFREMER). Le premier objectif de ces pêches était alors de prévenir les professionnels des dates de captage du naissain et de prévoir ainsi la pose des collecteurs dans les différents secteurs du bassin. Les questions posées par cette étude concernent l'évolution de la saison de ponte des deux taxons : *Crassostrea gigas* et *Crassostrea angulata* (Huvet, et al., 2001) dans le Bassin de Marennes Oléron en fonction de l'évolution climatique de ce dernier demi – siècle. Ces changements climatiques ont surtout marqué les deux dernières décennies et contribuent à faire évoluer les écosystèmes estuariens tel que le bassin de Marennes – Oléron (Soletchnik, et al., 1999). Les larves sont très sensibles aux modifications de l'environnement, et l'économie de cette région ostréicole (Charentes Maritimes) repose en grande partie sur sa capacité à produire du naissain d'huîtres. Ainsi doivent être compris et expliqués des évènements atypiques comme la baisse anormale et inexpliquée du captage en 1998 dans le Bassin de Marennes Oléron, et la situation critique d'absence de captage cette même année dans le bassin d'Arcachon. Cette étude se situe également dans un contexte de réflexion sur la "phylogéographie" des deux taxons (Huvet, et al., 2001) et sur leurs aptitudes zootechniques (Gouletquer, et al., 1999) et physiologiques (Haure et al., 2003) à s'adapter aux conditions trophiques limitantes du Bassin. Des équipes de généticiens et physiologistes travaillent également sur la sélection d'espèces, variétés ou hybrides d'huîtres

présentant un meilleur potentiel pour l'ostréiculture de demain dans le bassin de Marennes – Oléron.

2. Matériel et méthodes

❖ Site d'échantillonnage des larves d'huîtres

La rivière Seudre au Sud Est du Bassin de Marennes Oléron est une zone géographique naturelle de concentration des larves d'huîtres. La station de Coux, à quelques kilomètres en amont de la Seudre, et la station de Faux, à son embouchure, constituent les deux sites de prélèvements échantillonnés sans interruption depuis 1950 (Figure 1).

❖ Méthode de pêche

Les pêches systématiques de larves ont lieu tout les (2-4) jours entre juin et septembre. La mesure de "base" est la quantité de larves pêchée par "trait" de chalut "Bongo". A 2 heures au "jusant", en Seudre, deux filets de prélèvement : surface et fond (1 m) sont largués puis tractés pendant 5 minutes à une vitesse constante et approximative de 3 nœuds, échantillonnant ainsi un volume de 15 m³ (Figure 3). La technique de pêche est mise au point par Boury (1928), et adaptée par Trochon (1955) puis Gras (Gras, et al., 1971).

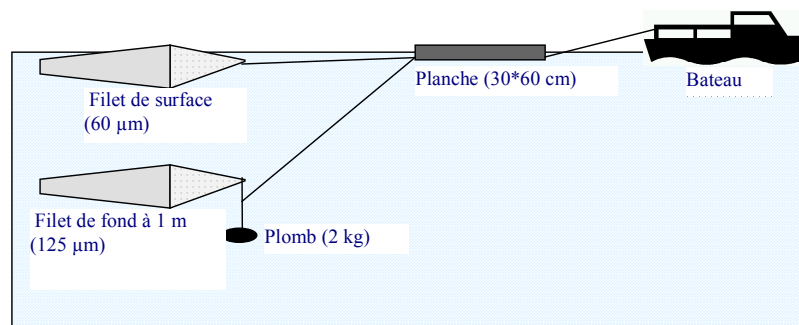


Figure 3. Engin de pêche de larves (*Crassostrea gigas*) à deux hauteurs de la colonne d'eau.

30 à 40 pêches sont effectuées entre juin et septembre pour *Crassostrea gigas*. Pour chaque point de prélèvement, température et salinité sont mesurées in situ à l'aide d'un thermo-salinomètre de marque WTW n°LF196

❖ Les larves

Les échantillons de plancton sont formolés au laboratoire et homogénéisés en flacon de 250 ml. Un prélèvement de 1 ml du mélange est effectué à l'aide d'une pipette (pendant l'agitation). L'observation et la détermination des stades larvaires est faite sur cellule de numération de 1 ml de marque Graticules®, au microscope Olympus IMT2. Les larves d'huîtres sont classées en fonction de leur taille et quatre stades larvaires sont identifiés (Tableau 1) (Figure 4).

Tableau 1 : classes de larves pêchées

 PETITES (P) : < 105 μm ~ 1 – 4 jours*

 PETITES EVOLUEES (PE) : \geq 105 μm ~ 5 – 8 jours*

 MOYENNES (M) : \geq 150 μm ~ 9 – 15 jours*

 GROSSES (G) : \geq 235 μm ~ 16 – 20 jours*

* L'age dépend des conditions environnementales de température en particulier....

Après avoir effectué le comptage des larves (pour 1 ml), on mesure le volume total de l'échantillon pour obtenir le nombre de larves par flacon. Le nombre de larves est ensuite calculé par la formule de Boury (1928), et le résultat de numération est ensuite ramené aux 15 m³ échantillonnés lors de la pêche.

Formule de Boury : $N = n \times (15/T)$, avec : N = nombre de larves pour un coup de filet théorique de 15 mn ; n = nombre de larves observées à la loupe binoculaire ; 15 = temps de pêche théorique de 15 mn ; T = temps réel de pêche (ici, T = 5 mn).

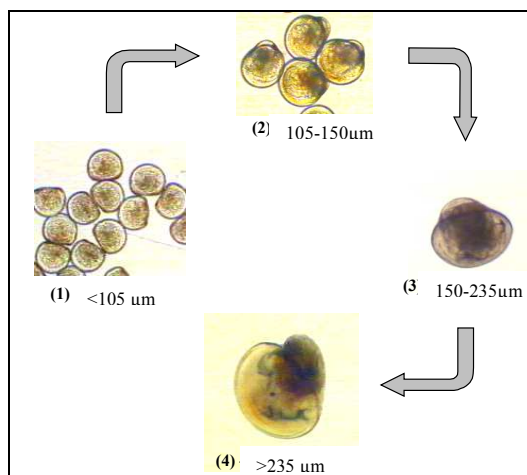


Figure 4. Les stades larvaires identifiés par comptage et mensuration au microscope optique. (1) <105 μm pour des larves de 1 à 4 jours; (2) 105-150 μm pour des larves de 5 à 8 jours; (3) 150-235 μm pour des larves de 9 à 15 jours; (4) > 235 μm pour des larves de 16 à 20 jours.

Comme l'anatomie des huîtres portugaises et japonaises sont rigoureusement identiques (Ranson, 1967, d'après Huvet, 2001), les années de "transition" entre les 2 taxons (1970-1971) sont éliminés de l'analyse. L'étude de la saison de ponte s'effectue donc entre 1950 et 1969 pour *Crassostrea angulata* et entre 1972 à 2000 pour *Crassostrea gigas*. Les séries historiques sont finalement constituées de 17 années pour le taxon *Crassostrea angulata*, et 27 pour *Crassostrea gigas*.

❖ Les paramètres de l'étude

Les profils annuels de pêche de larves de 0-4 jours, permettent de caractériser la saison de ponte (Figure 5).

- ❖ la date de première ponte (DP) est la 1^{ère} semaine au cours de laquelle les captures atteignent 5 % des captures de la saison. La semaine est comprise entre "61" (première semaine de juin) et "94" (4^{ème} semaine de septembre) (Tableau 2).
- ❖ PP représente le plus fort effectif de larves pêchées sur une année et dPP la date de la pêche la plus abondante sur une année.
- ❖ NP représente le nombre de pontes (pics d'émission) de larves durant la saison (eg Figure 6 , NP =2).
- ❖ EP est l'étalement de la ponte; calculé en nombre de semaines entre la première et la dernière pêche de larves significative².

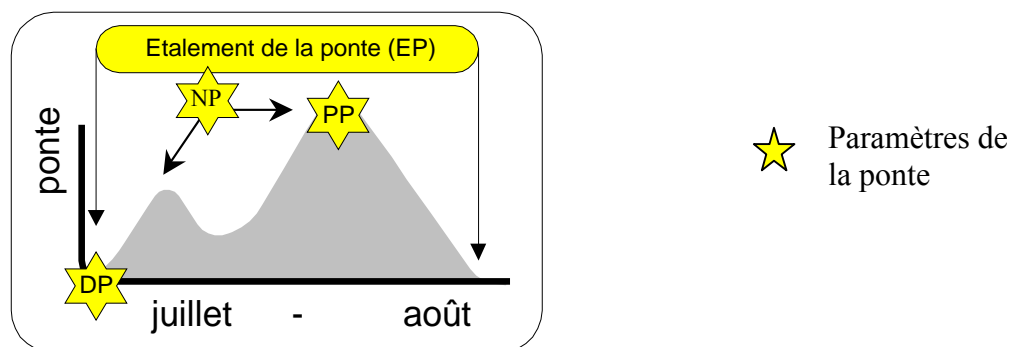


Figure 5. Indice d'abondance larvaire (%) (courbe grisée) et paramètres de la ponte : date de première ponte (DP), étalement de la ponte (EP), principale ponte (PP) et nombre de ponte (NP)

- ❖ S représente une sortie de pêche de larves, et NS : nombre de sorties.
- ❖ n est l'effectif de larves pêchées par trait de chalut (abondance par unité d'effort de pêche).
- ❖ dP50 représente la date (semaine) au cours de laquelle la pêche de larves atteint 50% du total de la saison.
- ❖ l'indice de ponte (IP) est un effectif de larves de 0-4 jours (1^{ère} classe) pêchée durant la saison (Tableau 1).
- ❖ L'indice d'abondance (IA) est le rapport de IP ou IR par le nombre de sorties (nS) effectuées à l'année.

Le pas de temps d'analyse est la semaine. L'effort de pêche est calculé comme un effort de pêche moyen entre les deux stations de Coux et de Faux. L'échelle de temps est une échelle

² Une pêche de larve est considérée dans l'analyse si elle représente au moins 5% des captures de l'année

ordinales de 1 à 16 (Tableau 2). La première valeur ("1") représente la première semaine du mois de juin ("61"), et la 16ème, la quatrième semaine du mois de septembre ("94").

Tableau 2. Correspondance entre les semaines de la saison et l'échelle ordinale utilisée dans les analyses.

Semaine de l'année	Réf 1	Réf 2
1 ^{ère} semaine de juin	61	1
2 ^{ème} semaine de juin	62	2
3 ^{ème} semaine de juin	63	3
4 ^{ème} semaine de juin	64	4
1 ^{ère} semaine de juillet	71	5
2 ^{ème} semaine de juillet	72	6
3 ^{ème} semaine de juillet	73	7
4 ^{ème} semaine de juillet	74	8
1 ^{ère} semaine d'août	81	9
2 ^{ème} semaine d'août	82	10
3 ^{ème} semaine d'août	83	11
4 ^{ème} semaine d'août	84	12
1 ^{ère} semaine de septembre	91	13
2 ^{ème} semaine de septembre	92	14
3 ^{ème} semaine de septembre	93	15
4 ^{ème} semaine de septembre	94	16

Les données météorologiques de température, salinité et insolation sont fournies par la station Météo France de La Rochelle. La décomposition des séries chronologiques de température et pluviométrie conduit à définir 3 descripteurs : L'indice saisonnier, la tendance et les résidus.

❖ Traitements et analyses des données

La base météorologique de Météo France La Rochelle permet d'analyser les données à partir des premières collectes de larves de *Crassostrea gigas* dans le bassin de Marennes – Oléron en 1973. La base de données hydrologiques du bassin de Marennes – Oléron commence en 1977.

Matrices de corrélation et régressions multi linéaires sont les principaux outils statistiques mis en œuvre dans cette étude (Statgraphic, V5 1).

Les variables non paramétriques tels que le jour de ponte (1...n) sont présentés par des diagrammes "boîtes à moustaches" (médiane et quartiles). Les tests de Kruskal Wallis sont utilisés pour comparer les modalités.

Le modèle de décomposition saisonnière de type Census II est appliqué aux séries chronologiques repris dans le logiciel "statgraphic" version 3 (Shiskin, 1957, Bethoux, et al., 1980) :

$$\text{Descripteur} = (\text{Indice saisonnier}) \times (\text{Tendance}) \times (\text{Résidu})$$

La tendance est calculée comme une moyenne mobile du descripteur sur une période de 12 mois, et constitue ainsi une représentation désaisonnalisée du descripteur. La tendance est exprimée dans la même unité que le descripteur. L'indice saisonnier est calculé à partir de la saisonnalité:

$$\text{Saisonnalité (S)} = (\text{Descripteur} / \text{Tendance}) \times 100$$

L'indice saisonnier est une moyenne de la saisonnalité sur le nombre d'années de mesure du descripteur. Le résidu constitue le troisième terme de l'équation, déduit du modèle. L'ajustement du modèle est vérifié si le périodogramme: (tendance x résidu) ne présente pas de pic à la période de 12 mois. La cohérence ("crosscorrélation") doit être faible au pas de temps 12 entre le descripteur et le modèle : (tendance x résidu).

Des tests non paramétriques de Kruskal – Wallis ainsi que des analyses de variance avec tests multiples suivant la méthode des moindres carrés LSD ("Least Significant Difference" in Cochran et Cox, 1957) ont été effectués grâce au logiciel Statgraphics V 5.1.

3. Résultats

3.1. Etude descriptive comparée de la saison de ponte des 2 espèces *C. angulata* et *C.gigas* dans le bassin de Marennes – Oléron

❖ Indice d'abondance (IA)

Les deux périodes considérées sont de 20 et 26 ans, respectivement pour *Crassostrea angulata* et *Crassostrea gigas*. Les indices d'abondance moyen des captures (IA) sont respectivement de $9,4 \cdot 10^3$ larves par sortie pour *Crassostrea angulata* et de $16,7 \cdot 10^3$ larves par sortie pour *Crassostrea gigas* (Tableau 3), soit près du double pour cette seconde espèce. En absence d'informations précises sur l'évolution annuelle des stocks d'huîtres dans le bassin de Marennes – Oléron au cours des différentes périodes, plusieurs hypothèses peuvent être émises :

- Soit le stock de *Crassostrea gigas* a été "globalement" plus important que celui de *Crassostrea angulata* sur les périodes étudiées.
- Soit la capacité de reproduction *Crassostrea gigas* est supérieure à celle de *Crassostrea angulata*.

Tableau 3. Pêches de *Crassostrea gigas* et *Crassostrea angulata*

espèce	<i>C. angulata</i>	<i>C. gigas</i>
périodes	1949-1970	1973-1998
effort de pêche (nombre de sorties)	1377	1050
larves (1-4 jours)	$12,9 \cdot 10^6$	$17,5 \cdot 10^6$
Indice d'abondance (IA)	$9,4 \cdot 10^3$	$16,7 \cdot 10^3$

❖ Effort de pêche entre 1949 et 1998

Ainsi, en 4 mois pour *Crassostrea angulata* et 2 pour *Crassostrea gigas*, l'effort de pêche en "pleine saison" (99,7% des captures de *C.gigas* se réalisent entre juillet et août) est d'environ 8 sorties par mois entre 1949 et 1998, exception faite des années 1949, 1959, 1960 et 1961 (Tableau 4).

Tableau 4. Echantillonnage de *Crassostrea angulata* (juin - septembre) et *Crassostrea gigas* (juillet – août) sur les sites de Coux (CO) et Faux (FA) dans la rivière Seudre au sud du bassin de Marennes - Oléron

<i>Crassostrea angula</i>			<i>Crassostrea gigas</i>		
ans	CO	FA	ans	CO	FA
1949	13	13	1973	17	17
1950	23	23	1974	19	17
1951	31	31	1975	18	18
1952	33	33	1976	17	17
1953	27	27	1977	18	18
1954	34	43	1978	22	22
1955	32	36	1979	22	22
1956	36	37	1980	16	16
1957	32	34	1981	17	17
1958	34	35	1982	15	14
1959	12	15	1983	14	14
1960	8	9	1984	15	16
1961	18	21	1985	16	16
1962	30	29	1986	17	17
1963	32	32	1987	17	17
1964	35	35	1988	12	12
1965	0	0	1989	15	15
1966	34	34	1990	14	15
1967	33	33	1991	16	16
1968	33	34	1992	15	15
1969	35	35	1993	16	16
1970	33	33	1994	17	17
			1995	12	14
			1996		17
			1997	17	17
			1998	18	18

L'effectif de larves de 1-4 jours pêchées dépasse $2 \cdot 10^6$ larves de *Crassostrea angulata* en 1962 et 1969 et $3,5 \cdot 10^6$ larves de *Crassostrea gigas* en 1983 et 1991 (Figure 6).

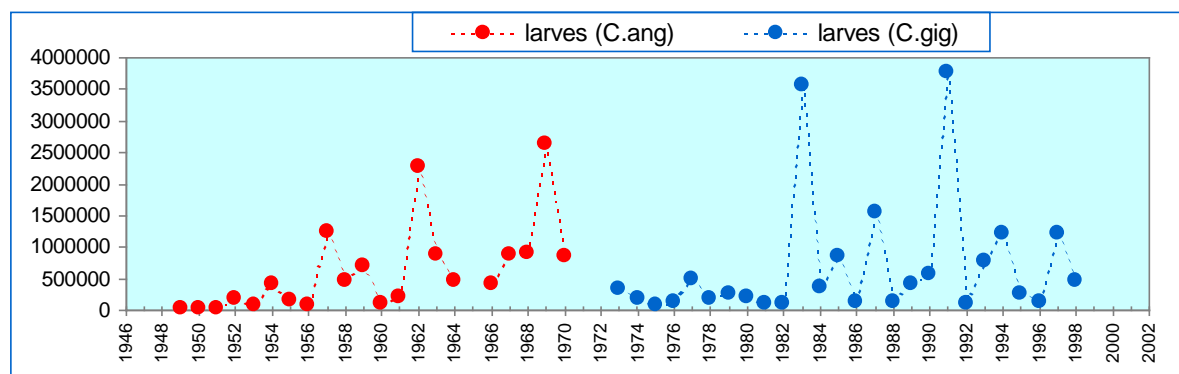


Figure 6. Effectif de larves de 1-4 jours de *Crassostrea angulata*(rouge) et *Crassostrea gigas* (bleu) pêchées entre 1949 et 1999.

Les indices d'abondances sont calculés à partir des sorties ayant donné lieu à une pêche de larves de 1-4 jours, non nulle (méthode développée afin de permettre une comparaison entre les 2 espèces dont les captures ont lieu à plus de 99 % sur 2 mois dans le cas de *Crassostrea gigas* et sur 4 mois dans le cas de *Crassostrea angulata*) (Figure 7).

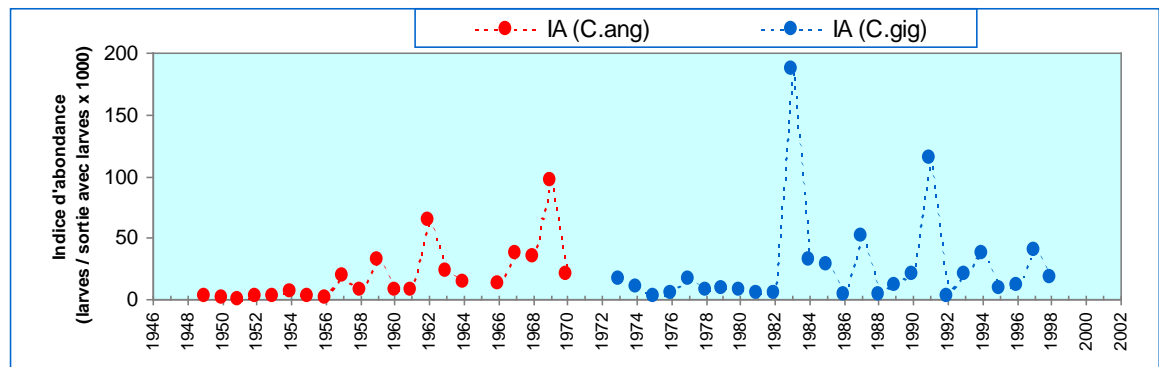


Figure 7. Effectifs de larves de 1-4 jours de *Crassostrea angulata* et *Crassostrea gigas* pêchées entre 1949 et 1999.

❖ Saisonnalité de captures

La saison de ponte de *Crassostrea angulata* est de 5 mois, comprise entre la 2^{ème} semaine de mai et la 2^{ème} semaine d'octobre. Pour *Crassostrea gigas*, la saison de ponte est de 3 mois seulement, entre la 2^{ème} semaine de juin et la 3^{ème} semaine de septembre (Tableau 5, Figure 8). Fin juillet, plus de 75 % des pontes de *Crassostrea angulata* ont eu lieu, contre seulement 25 % pour *Crassostrea gigas*. Deux semaines plus tard, soit à la mi août, le volume des larves de gigas est supérieur à 90 % de la collecte saisonnière (Tableau 5).

Ainsi, les deux espèces présentent des saisons de ponte décalées d'une quinzaine de jours environ, avec 35 % des pontes la 4^{ème} semaine de juillet pour *Crassostrea angulata*, et près de 60 % des pontes durant la deuxième quinzaine de mois d'août pour *Crassostrea gigas*.

Tableau 5. Saisonnalité de captures de larves de 1-4 jours des 2 espèces présentes dans le bassin de Marennes – Oléron depuis 1949 (*C. gigas* entre 1949 et 1970; *C. angulata* entre 1973 et 1998).

date	<i>C. angulata</i>		<i>C. gigas</i>	
	IA	IA (%)	IA	IA (%)
mai-01	0.0	0.0		0.0
mai-02	0.1	0.0		0.0
mai-03	0.0	0.0		0.0
mai-04	0.0	0.0		0.0
juin-01	0.8	0.5	0.0	0.0
juin-02	2.0	1.4	0.0	0.0
juin-03	3.2	2.2	0.1	0.0
juin-04	5.9	4.0	0.9	0.5
juil-01	13.2	9.0	4.0	2.3
juil-02	10.3	7.1	6.2	3.7
juil-03	22.0	15.1	10.5	6.2
juil-04	52.4	35.9	21.6	12.7
août-01	5.8	4.0	12.9	7.6
août-02	16.2	11.1	101.1	59.5
août-03	5.6	3.8	7.5	4.4
août-04	3.2	2.2	4.3	2.5
sept-01	1.3	0.9	0.2	0.1
sept-02	0.7	0.5	0.5	0.3
sept-03	1.6	1.1	0.1	0.1
sept-04	0.8	0.5	0.0	0.0
oct-01	0.0	0.0		0.0
oct-02	0.9	0.6		0.0
oct-03	0.0	0.0		0.0
total	145.7	100.0	170.0	100.0

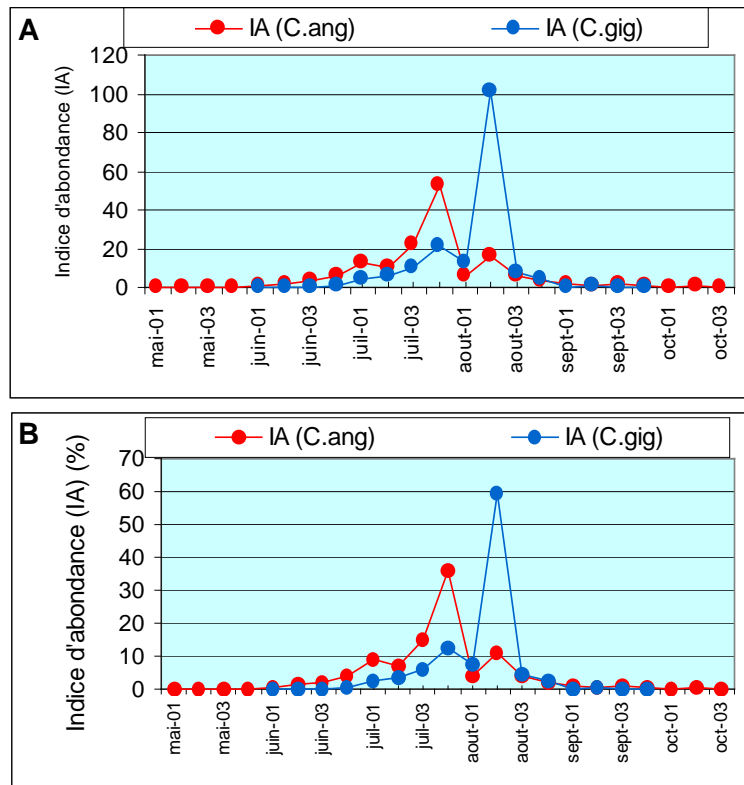


Figure 8. Indices d'abondance hebdomadaires moyens de *C. angulata* (1949 – 1970) et de *C. gigas* (1973 et 1998) dans le bassin de Marennes – Oléron (A). En pourcentage sur la saison de pêches de larves (B).

Ainsi, pour *Crassostrea angulata*, moins de 20 % des pontes ont lieu entre juin 01 et juillet 01; ~ 20 % entre août 02 et septembre 04, et 60 % entre juillet 02 et août 01. Pour *Crassostrea gigas*, 25 % de la ponte a lieu entre juin 04 et juillet 04, et 75 % entre août 01 et septembre 01 (Tableau 6, Figure 9).

Tableau 6. Pics de ponte des deux espèces successives du bassin de Marennes – Oléron (*) juillet 01= première semaine de juillet.

	juillet 01 (*)	juillet 04	août 02
<i>Crassostrea angulata</i>	(16-18) %	(60-65) %	(19-21) %
<i>Crassostrea gigas</i>		~ 25 %	~ 75 %

Ainsi, au seuil de 2‰ 3, la période de ponte (EP - Figure 5) de *Crassostrea angulata* est de 16 semaines, et celle de *Crassostrea gigas*, de 9 semaines, soit près du double pour *Crassostrea angulata*. Durant ces périodes, $1,29 \cdot 10^6$ larves de *Crassostrea angulata* sont capturées en 775 sorties (20 ans) et $1,76 \cdot 10^6$ larves de *Crassostrea gigas* en 645 sorties seulement (26 ans). Dans ces conditions, la production de *Crassostrea gigas* est d'environ 1/3 supérieure à celle de

3 si l'effectif capturé est inférieur à 2‰ la semaine n'est pas prise en compte dans l'analyse

Crassostrea angulata, avec un investissement en "sorties" d'environ 20% de moins. Le rendement par pêche, de 27 000 larves de *Crassostrea gigas* contre 17 000 larves de *Crassostrea angulata*, traduit soit une fécondité plus faible de cette deuxième espèce par rapport à la première, soit une population moyenne de *Crassostrea angulata* entre 1949 et 1970, inférieure à la population moyenne de *Crassostrea gigas* entre 1973 et 1998 (dernière hypothèse contredite par Héral et al, 1985).

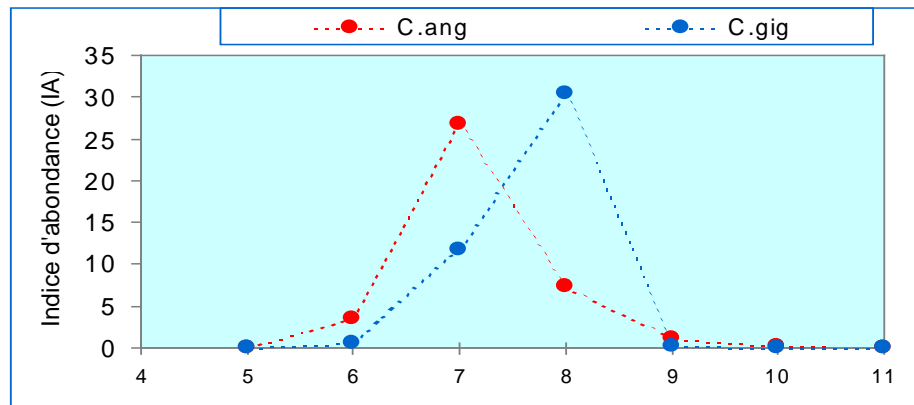


Figure 9. Saisonnalité des indices d'abondance (IA) des 2 espèces de bivalves: *C. gigas* et *C. angulata*. dans le Bassin de Marennes Oléron

❖ Comparaison de la saison de ponte des 2 taxons *Crassostrea angulata* et *Crassostrea gigas*.

L'abondance de larves est un indicateur de l'effort de reproduction des 2 taxons *Crassostrea angulata* et *Crassostrea gigas*. La saisonnalité de ponte des 2 taxons *Crassostrea angulata* et *Crassostrea gigas* présente une grande variabilité temporelle en terme d'étalement (EP), d'intensité des pics (PP) et de la saisonnalité de ponte (Figure 10 A). Le cumul des fréquences de captures de larves tout au long de la saison, met bien en évidence cette variabilité interannuelle (Figure 10 B).

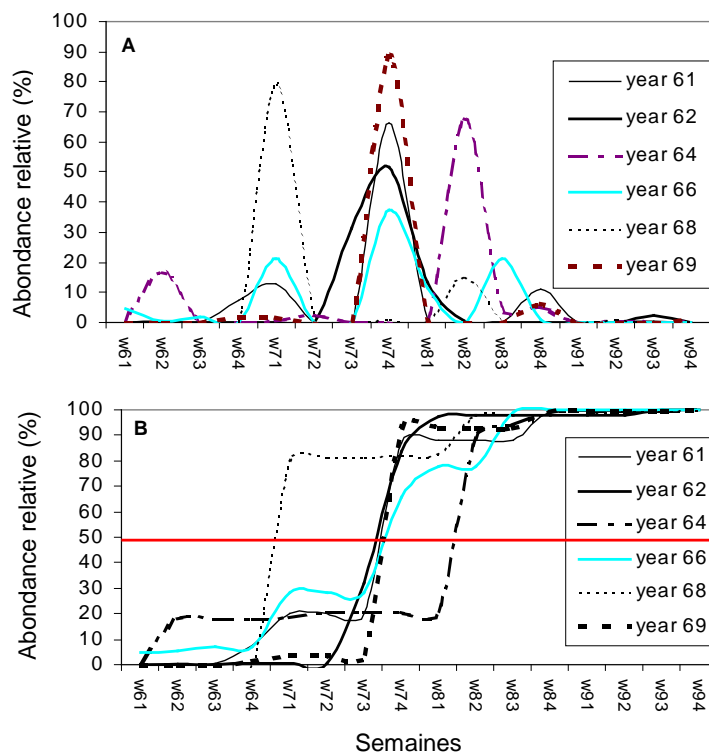


Figure 10. Détermination des descripteurs de ponte à partir des captures de larves. Fréquence relative des rendement par unité d'effort de pêche. A : distribution de fréquence ; B : fréquence cumulée. Exemple de quelques années. (eg. "s61" = première semaine de juin).

Le nombre de pontes (pics d'émissions de larves = NP) durant la saison est compris entre 1 et 4 pour les deux taxons (Figure 11). Si le mode est à 2 pour *Crassostrea gigas*, le taxon *Crassostrea angulata* présente plutôt 3 et 4 pontes principales dans la saison. La différence entre les taxons est significative au seuil de 5 % ($p = 0,0388$) (Tableau 7).

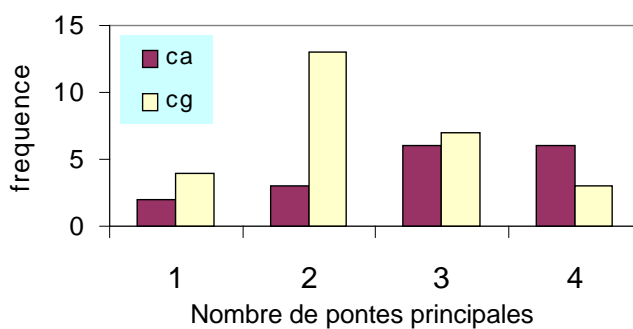


Figure 11. Nombre de "saisons" de ponte annuelles (NP) de *Crassostrea angulata* (ca) et *Crassostrea gigas* (cg) dans le Bassin de Marennes Oléron entre 1950 et 2000.

La saison de ponte (DP) commence dès la deuxième semaine de juin pour *Crassostrea angulata*, et jamais avant fin juin pour *Crassostrea gigas* (Figure 12). Le mode pour *Crassostrea angulata* est centré sur fin juin. Il est décalé de 15 jours pour *Crassostrea gigas*. Cette différence est significative au seuil de 1% ($p = 0,0031$) (Tableau 7).

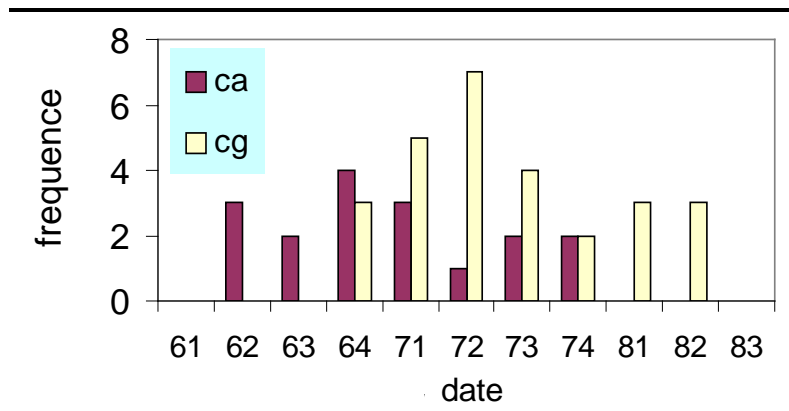


Figure 12. Début de la saison de ponte (dP1) chez *Crassostrea angulata* (ca) et *Crassostrea gigas* (cg) dans le Bassin de Marennes Oléron entre 1950 et 2000 (e.g "61" = 1ère semaine de juin).

Tableau 7. Comparaison de la saison de ponte entre *Crassostrea angulata* (17 années) et *Crassostrea gigas* (20 années) dans le Bassin de Marennes Oléron. Test de Kruskal – Wallis associé à chaque descripteur (DP date de première ponte; NP nombre de pontes ("pics"); PP amplitude maximale de ponte; dPP date de la ponte maximale; dP50 date à laquelle 50% de la production est atteinte).

Descripteurs		DP	NP	PP	dPP	dP50
Test de Kruskal-Wallis	KW	15,35	4,26	3,14	3,96	12,25
	P	0,0031 (***)	0,0388 (*)	0,0762 (NS)	0,0463 (*)	0,0004 (***)
Médiane	Ca	4 ^{ème} semaine de juin	3	40 %	4 ^{ème} semaine de juillet	3 ^{ème} semaine de juillet
	Cg	2 ^{ème} semaine de juillet	2	66 %	1 ^{ère} semaine d'août	4 ^{ème} semaine de juillet

Enfin, pour 13 années de mesures (sur 17 au total), 50 % des captures de jeunes larves de (0-4) jours, est réalisé durant la 3ème semaine de juillet pour *Crassostrea angulata* (Figure 13). Le mode est fin juillet pour *Crassostrea gigas*. La différence est hautement significative ($p =$

0,0004) (Tableau 7). Par contre, l'amplitude de la ponte principale (PP) n'est pas significativement différente entre les deux taxons *Crassostrea angulata* et *Crassostrea gigas* bien que la valeur de la médiane soit à 40 % pour *Crassostrea angulata* et 66 % pour *Crassostrea gigas* (Tableau 7).

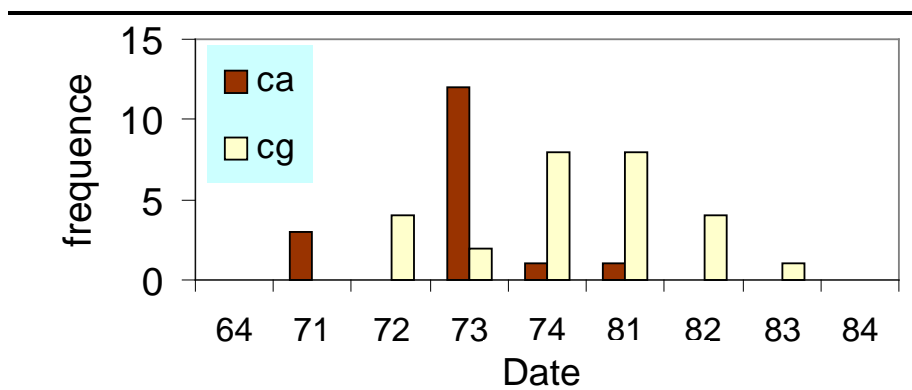


Figure 13. Semaine au cours de la quelle 50% des émissions d'œufs est atteint (dP50) pour *Crassostrea angulata* (ca) et *Crassostrea gigas* (cg) dans le Bassin de Marennes Oléron entre 1950 et 2000 (e.g "61" = 1ère semaine de juin).

3.2. Saison de ponte de l'huître et évolution climatologique ?

❖ Quelles sont les tendances météorologiques entre 1950 et 2000 dans le Bassin de Marennes Oléron ?

La tendance de la mesure de température augmente de 12,3 °C à 12,5 °C entre 1950 et le milieu des années 80 (~ 1985), puis, de 12,5 à 13, 7 °C entre 1985 et 2000 (Figure 14). Les fluctuations inter annuelles sont assez marquées. L'augmentation de température à peine significative en 35 ans, devient très forte durant les 15 dernières années du millénaire.

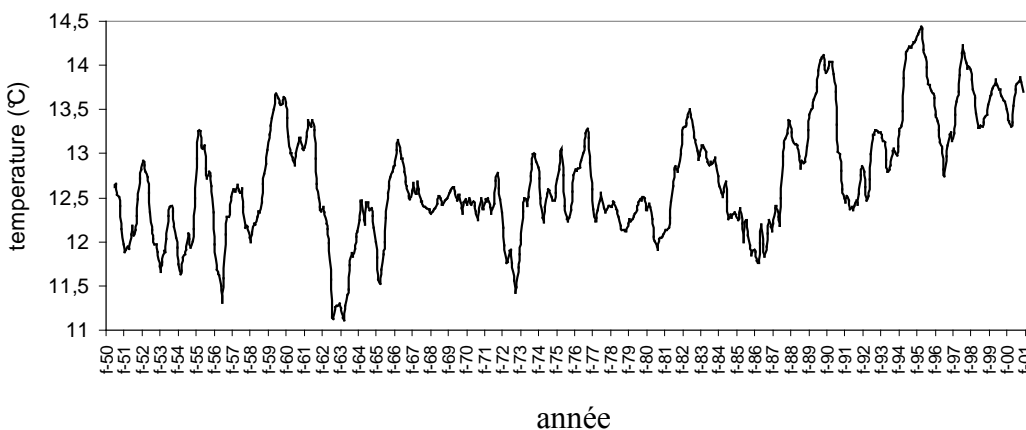


Figure 14. Valeurs mensuelles de la tendance de la température (°C) entre 1950 et 2000 (d'après Météo – France).

La tendance des précipitations est plus "chaotique" et ne présente pas de fonction "croissante" ou "décroissante" durant le demi siècle (Figure 15). Les années 53, 76, 87 et 90 sont marquées par des périodes au cours desquelles les précipitations mensuelles ne dépassent pas 4cm, et d'autres (1960, 66, 77, 88, 94 et 99) où elles atteignent 9cm.

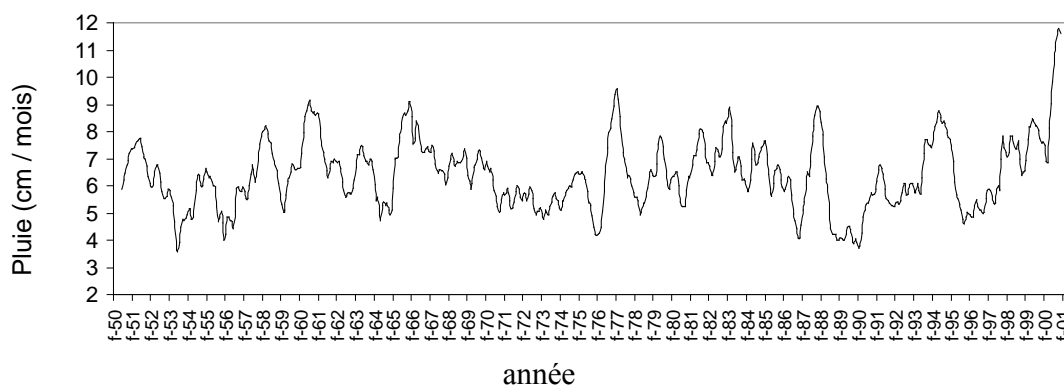


Figure 15. Valeurs mensuelles de la tendance de la pluviométrie annuelle à la station météo de la Rochelle entre 1950 et 2000

Des années où la pluviométrie annuelle n'atteint pas 60 cm (1953, 56, 64 et 89) alternent avec des années où la précipitation dépasse 90 cm (1951, 58, 60, 66, 79, 82, 85 94, 98 et 99). Par contre, la saisonnalité de la pluviométrie évolue au cours des décennies (Figure 16). En particulier, une saison des pluies se met en place progressivement au cours du printemps (avril – mai) depuis les 2 dernières décennies.

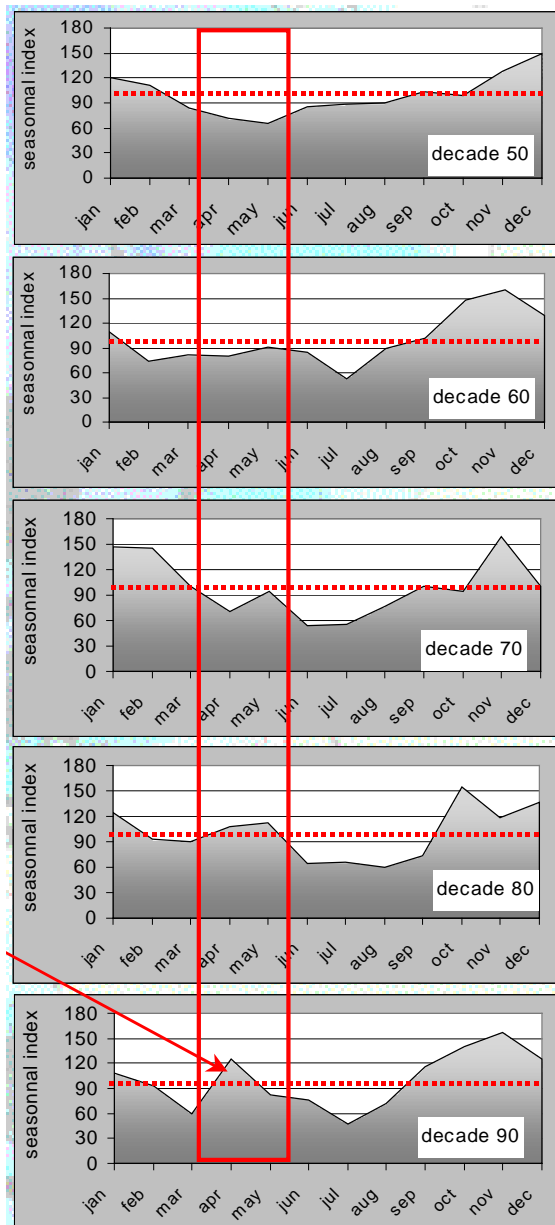


Figure 16. Evolution des indices saisonniers de pluviométrie au cours de 5 décades entre 1950 et 2000. La valeur "100" (lignes horizontales rouges) indique le niveau moyen de la saisonnalité, au dessus duquel le descripteur est "saisonnement" en concentration plus importante (la moyenne des indices = 100). Le cadre rouge souligne l'émergence de la "saison" de pluie printanière

Parmi les résultats météorologiques, la tendance de l'insolation moyenne diminue de 200 heures à 170 heures par mois durant ce dernier demi siècle (Figure 17).

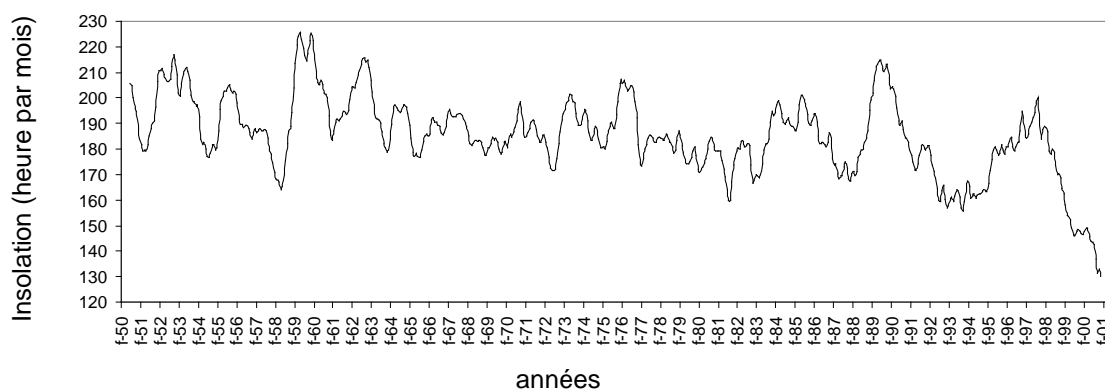


Figure 17. Tendence de l'insolation (heures par mois) et lissage selon un ordre 51 entre 1950 et 2000

❖ Mise en relation des descripteurs de la ponte de l'huître et de l'évolution climatiques. Analyse décade par décade de 1950 à 2000.

L'analyse des descripteurs de première ponte (DP) et de 50% de captures de larves (dp50), montre que la saisonnalité de la ponte change au cours des décennies (Figure 18A et B). 50 % des captures de *Crassostrea* ont lieu vers la 2ème – 3ème semaine de juillet dans les années 50 et 60, et autour de la 4ème semaine de juillet durant les 3 décennies suivantes. Le début de la saison de ponte se situe fin juin dans les années 50. A raison d'une semaine de progression par décennie, la saison de ponte débute au cours de la 3ème semaine de juillet dans les années 80. Aucune progression n'apparaît ensuite dans les années 90. La progression de la saison de ponte en 3 décades est ainsi de moins de deux semaines pour le descripteur dp50 (50 % de ponte), et de 3 semaines pour le début de la saison de ponte (dp1). Une analyse de variance du descripteur "dP50" selon les décennies est significative au seuil de 5% ($p = 0,0106$). Le test de rang LSD, (d'après Cochran et Cox, 1957) montre que les décennies 50 et 60 forment un groupe A, significativement différent d'un groupe C constitué par les 3 autres décennies de mesures (Tableau 8). Même si une petite tendance au "décalage" de la saison de ponte apparaît entre les années 50 et 60, une forte rupture apparaît entre les années 60 et les années 70 (Figure 18 A).

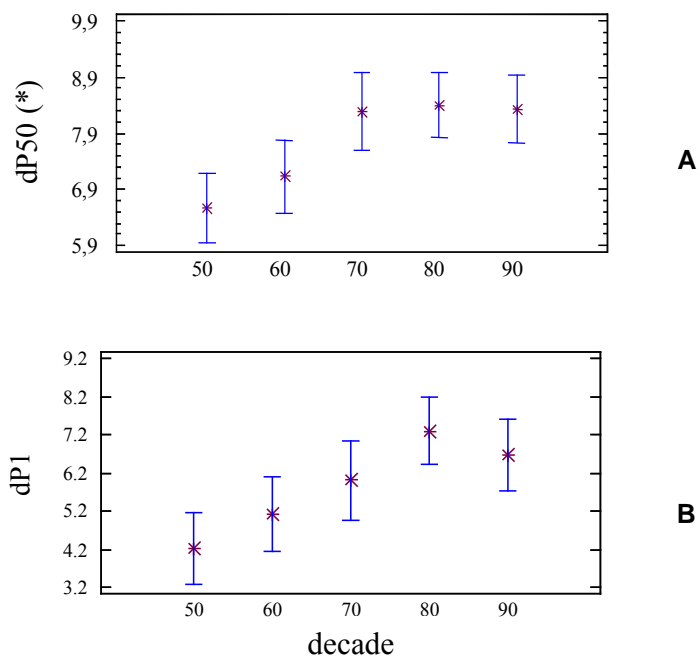


Figure 18. Evolution du "dP50"(A) et du "DP" (B) selon les décades [(*)]. Echelle ordinale de 1 à 16. "1": première semaine de juin, et "16" : dernière semaine de septembre].

Tableau 8. Analyse de variance de dp50 et test de rang (LSD, d'après Cochran et Cox 1957)

Décennies	n	Valeur	Test de rang	
		moyenne	de LSD	de LSD
		dP50	dP50	dP1
50	9	6,55	x	4,22
60	8	7,12	x x	5,12
70	7	8,28	x x	6,00
90	9	8,33	x x	6,67
80	10	8,40	x	7,13

4. Discussion – Conclusion

Dans le Bassin de Marennes Oléron la date de plus forte intensité de ponte de *Crassostrea* se décale d'une semaine et demi entre les années 50 et les années 70-90. La décennie 70 correspond également au changement de "taxon" en élevage dans le Bassin de Marennes-Oléron, de *C. angulata* à *C. gigas*. Ce décalage de la saison de ponte, enregistré au cours de ce demi siècle, est – il du fait du changement d'élevage de *Crassostrea angulata* vers *Crassostrea gigas* ?

A l'intérieur du genre *Crassostrea*, une vingtaine d'espèces ont été décrites dont l'huître creuse "Portugaise" *Crassostrea angulata* (Lamarck, 1819) et l'huître creuse "Japonaise" *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793). De nombreuses études ont montré les grandes homologues biologiques entre *C. gigas* et *C. angulata* et ont conduit à les regrouper en une seule et même espèce (Menzel, 1974). (Huvet, et al., 2001) (2001) dans une revue comparative de l'ensemble des connaissances acquises préfère parler d'écotypes ou de taxons. Dans des études menées sur ces deux écotypes et leurs hybrides, (Huvet, et al., 2001) (2001) constate des patrons de maturation sous influence génétique de la mère. Des différences phénotypiques entre les 2 taxons avaient déjà été mises en évidence (Bougrier, et al., 1986), (Huvet, et al., 2001).

Au cours d'expérimentations menées en 2000 sur l'étude de la maturation sexuelle et de la ponte des deux taxons dans le Bassin de Marennes Oléron, *Crassostrea angulata* présente une ponte plus tardive de 15 jours environ par rapport à celle de *Crassostrea gigas* (Soletchnik, et al., 2002) (Figure 19). La ponte de *Crassostrea gigas* est alors centrée sur la 3ème semaine de juillet et celle de *Crassostrea angulata* sur la 1ère semaine d'août. Ces résultats laissent à penser que le décalage au fil des décades, observé sur la saison de ponte de *Crassostrea* dans le Bassin de Marennes-Oléron, est plus lié à l'évolution climatique qu'à une réelle différence phénotypique entre les deux taxons. Si une différence existe, l'état actuel des connaissances laisse à penser que la ponte naturelle de *Crassostrea angulata* serait plus tardive que celle de *Crassostrea gigas*.

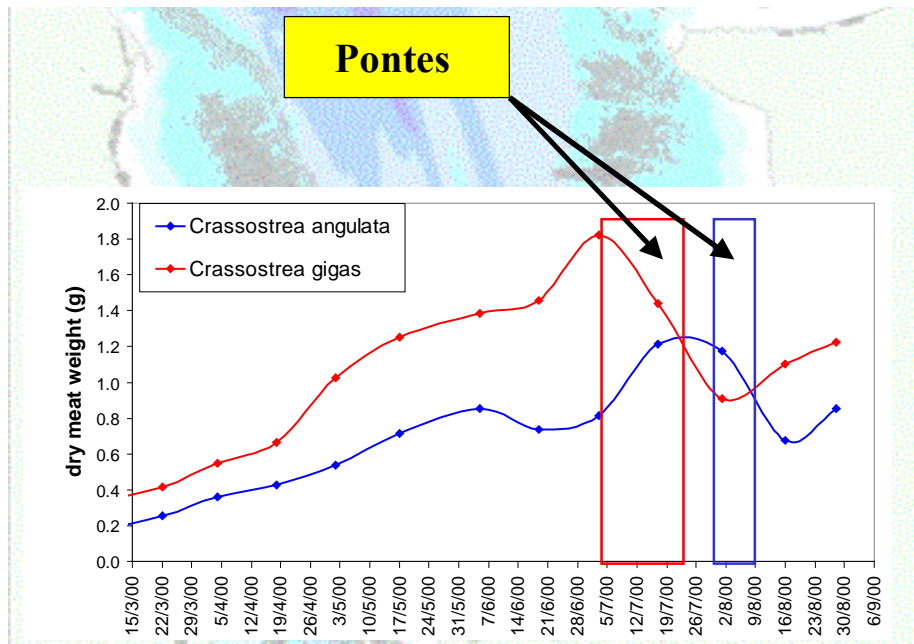


Figure 19. Perte de poids sec associée à la ponte des deux taxons : *C. gigas* et *C. angulata* en élevage dans le Bassin de Marennes Oléron en 2000

La réalité d'un véritable changement climatique lié aux rejets anthropiques (CO₂ et aérosols) se précise depuis quelques années (Cariolle, 1999); (André, Royer, 1999); (Bakan, Fennig, 2000)). L'analyse des conditions météorologiques sur le secteur du Bassin de Marennes-Oléron, au cours des 50 dernières années, montre une augmentation significative du réchauffement de la température de l'air sous abris depuis le milieu des années 80, alors que l'augmentation de la température était insignifiante depuis 35 ans (Soletchnik, 2001). Jones et Wigley, (1988), parlent de hausse significative de la température depuis 1975. (Koutsikopoulos, et al., 1998) confirment cette tendance avec l'étude de la SST (température de surface de la mer). Pingree, (1994; in (Koutsikopoulos, et al., 1998) montre l'augmentation de température de la mer de 1,4°C entre 1972 et 1993 sur la cote sud espagnole. Si les volumes annuels des précipitations, très variables d'une année sur l'autre, ne semblent pas en réelle augmentation sur le dernier demi siècle (analyse des tendances), l'étude de la saisonnalité montre la "mise en place" progressivement depuis 50 ans d'une saison de pluie printanière, marquée durant les 2 dernières décennies (Soletchnik, 2001). Des observations proches ont été faites en Irlande, où le mois de mars connaît 50% de précipitations en plus entre les deux périodes : 1950-75 et 1975-2000 (Kiely, 1999).

Cette modification de la pluviométrie entraîne de fait un décalage dans la saisonnalité des flux entrants de sels nutritifs dans le Bassin de Marennes-Oléron et les répercussions de cette évolution se font sentir tout au long de la chaîne alimentaire tant à l'échelon I^{aire} que II^{aire}.

A l'échelon I^{aire}, la saisonnalité d'apparition des blooms phytoplanktoniques dans le bassin se trouve décalée depuis quelques années d'un mois environ par rapport à la situation des années 80 (Figure 20).

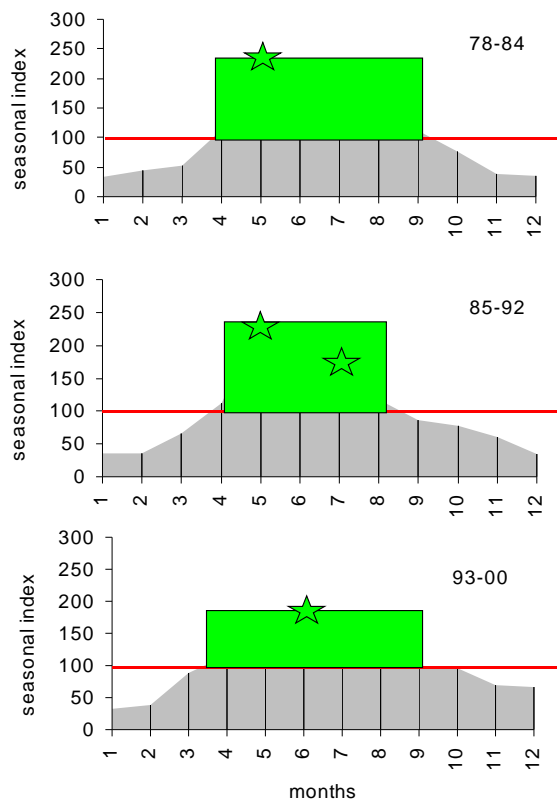


Figure 20. Evolution des indices saisonniers de chlorophylle a entre 1978 et 2000 (en 3 périodes de 7 années). La valeur "100" indique le niveau moyen de la saisonnalité, au dessus duquel le descripteur est "saisonnement" en concentration plus importante (la moyenne des indices = 100).

Si la température augmente au fil des décennies, l'insolation a tendance à baisser de façon sensible entre 1950 et 2000. Ce déficit en lumière, cette augmentation de température, cette évolution dans la saisonnalité des apports d'eau douce, ont peut-être contribué à modifier l'équilibre des espèces phytoplanctoniques en présence dans le Bassin. Même si la tendance de l'indicateur de ressource alimentaire, la chlorophylle a, a peu évolué en 25 ans (Soletchnik, et al., 1999), le changement a pu être qualitatif; une abondance de blooms de phytoflagellés n'a pas la valeur nutritive des diatomés pour satisfaire les besoins de *Crassostrea gigas*.

Aussi, est-il possible que le retard (décalage) du démarrage la saison de ponte de *C.gigas* en début d'été, dans les pertuis charentais (Figure 18 B), soit en fait un des reflets de l'évolution de l'écosystème estuarien du Bassin de Marennes Oléron, et de l'écosystème conchylicole en particulier !....

Les répercussions se manifestent également à l'échelon Ilair de l'écosystème. Température et ressource alimentaire interviennent conjointement à tous les stades du cycle biologique de l'huître creuse *Crassostrea gigas*. Plusieurs réponses biologiques issues d'études menées sur *C. gigas* peuvent être interprétées à la lumière de l'évolution climatique et hydrobiologique de ces deux dernières décades (Soletchnik, PIGB). L' analyse des cycles biochimiques de la chair

de l'huître (expérimentations conduites en 2000) montre que les évolutions météorologiques à moyen terme agissent sur la chaîne alimentaire et induisent des dysfonctionnements de la maturation de *Crassostrea gigas* (Soletchnik, 2001 PIGB). Ainsi, les cycles biochimiques de la chair de l'huître seraient modifiés par rapport au cycle habituel rencontré chez cette espèce (Maurer, Borel, 1986). La "désaisonnalisation" des apports alimentaires dans le milieu, produisant une alternance dans les supports énergétiques de la gamétogénèse, pourrait révéler un dysfonctionnement dans le cycle de maturation de l'huître. La température en hausse et le retard dans l'accès à la ressource trophique printanière produisent des effets antagonistes sur les processus de gamétogénèse. Dans ce contexte de "sur-densité" d'élevage et de rejets anthropiques dans le sud du Bassin de Marennes-Oléron (Soletchnik, et al., 1998), la tentation est grande de faire le rapprochement avec les mortalités estivales de *C. gigas*, de plus en plus fortes ces dernières années. La température augmente également les besoins énergétiques mis en œuvre pour les fonctions de filtration et de respiration (Bougrier, et al., 1995). Tout concourt donc à une plus grande fragilisation de l'espèce et probablement à augmenter les risques de mortalités. Alors que les études épidémiologiques effectuées sur la mortalité de *C. gigas* ne parviennent pas à mettre en évidence des effets de polluants ou d'autre toxicité (Maurer, Comps, 1986), (Soletchnik, et al., 1999), (Gouletquer, et al., 1998), ces mortalités sévissent principalement dans les parties hautes des cycles thermiques saisonniers, et très souvent également en période de maturation avancée des cheptels (Koganezawa, 1975); (Glude, 1975), Beattie et al., 1980 (Beattie, et al., 1980); (Cheney, et al., 2000). Une plus grande sensibilité semble également marquer le naissain lors de sa première année d'existence, qui est également une première année de maturation.

Si une production maximale de 40 000 tonnes est atteinte dans le bassin avec 130 000 tonnes de *C. angulata*, il faut seulement 80 000 tonnes de *C. gigas* pour parvenir au même résultat (Héral et al., 1984). La modification d'un paramètre physique tel que la température n'est pas sans conséquence sur cette gestion. Une élévation de température de 1,5 degré en 18 ans, dans le contexte d'une évolution climatique à grande échelle temporelle, exerce une pression supplémentaire sur l'environnement....

La température contrôle grand nombre de processus biologiques dont la vitesse de gamétogénèse des huîtres. Ainsi, en laboratoire, la température peut permettre d'avancer de plus de 3 mois la date de ponte. Les résultats de cette étude sur l'évolution climatique à l'échelle régionale, montrent que température et insolation exercent donc des effets contraires.

Sur le plan physiologique, la température accélère les processus de gamétogénèse et l'activité de filtration en particulier. La demande énergétique se trouve donc accrue. La réduction

d'insolation freine la productivité primaire, en décale la saisonnalité et réduit donc la ressource alimentaire nécessaire à la maturation des produits génitaux.

De plus, l'évolution climatique fait apparaître une "saison des pluies" printanière au mois d'avril – mai. La baisse d'insolation de 11 %, et l'augmentation de la pluviométrie printanière de 30 % en 50 ans sont très probablement responsables du déplacement progressif de la saison de plus forte occurrence des blooms phytoplanctoniques, du mois de mai au mois de juin. Ce retard d'avènement des blooms phytoplanctoniques associé à l'augmentation de la température de l'eau, sont très probablement des causes environnementales responsables des dysfonctionnements physiologiques observés dans cette étude sur les huîtres en élevage.

Ainsi, l'évolution des conditions météorologiques au cours des 50 dernières années, fait apparaître une augmentation significative du réchauffement de la température de l'air sous abris depuis le milieu des années 80, alors que l'augmentation de la température était insignifiante depuis 35 ans. Cette augmentation de température d'environ 1,5 °C semble simultanée à la "mise en place" progressivement depuis 50 ans d'une saison de pluie printanière, nettement marquée durant les 2 dernières décennies. Les volumes annuels des précipitations, très variables d'une année sur l'autre, ne semblent pas en réelle augmentation sur le dernier demi siècle. L'analyse effectuée laisse à penser que cette modification de saisonnalité de la pluviométrie, correspond en fait à une distribution différente du régime de précipitations tout au long de l'année.

Le réchauffement climatique des 20 dernières années, et ce changement dans la saisonnalité des précipitations sont probablement les conséquences de l'activité humaine. La baisse progressive de l'insolation de 13 % en 50 ans, semble trop importante pour être reliée à une évolution géoclimatique du type glaciation !.....Quelle est alors la cause de cette évolution ?

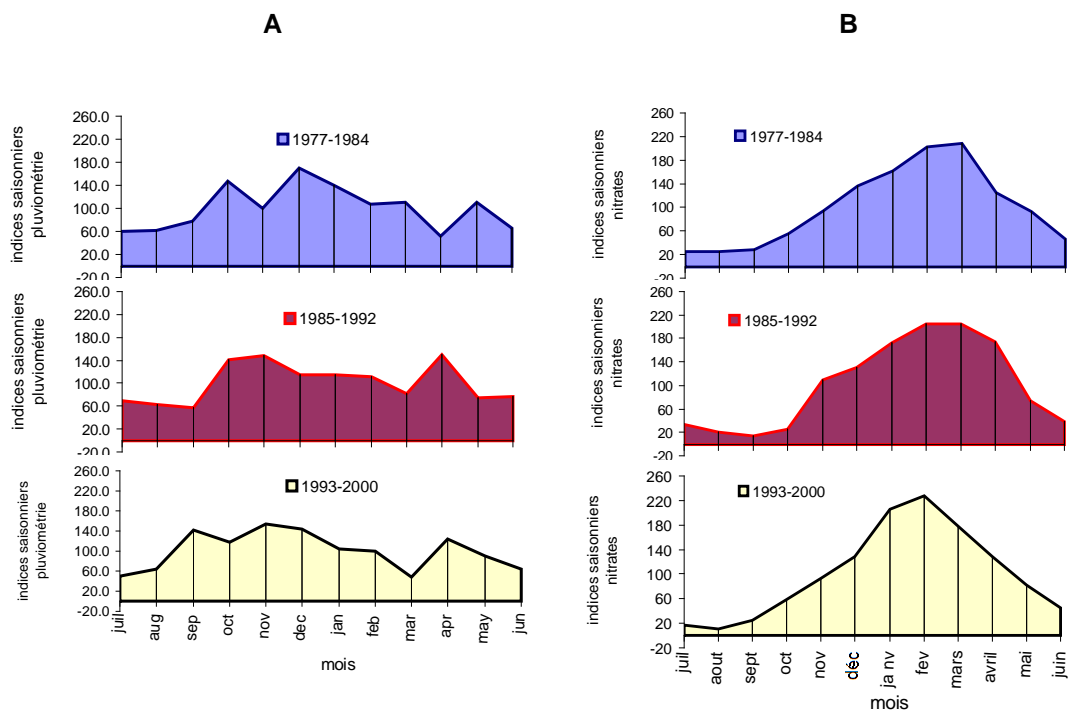


Figure 21. Evolution des indices saisonniers de pluviométrie (A) et de nitrates (B) entre 3 périodes successives : 1977-1984; 1985-1992; 1993-2000.

5. Références

- Aminot, A., Guillaud, J. F. 1991. Apports en matière organique et en sels nutritifs par les stations d'épuration., Actes de colloques: La mer et les rejets urbains. Bendor. France. IFREMER, AC 11, 11-26.
- André, J.C., Royer, J.F., 1999. Les fluctuations à court terme du climat et l'interprétation des observations récentes en terme d'effet de serre. C. R. Acad. Sci. Sciences de la terre et des planètes 328, 261-272.
- Bakan, S.V., Fennig, J.K., 2000. Satellite Derived Water Balance Climatology for the North Atlantic: First Résultats. Phys. Chem. Earth. 25, 121-128.
- Beattie, J.H., Chew, K.K., Hershberger, W.K., 1980. Differential survival of selected strains of Pacific oysters *C. gigas* during summer mortality. Proc. Nat. Shellfish Assoc 70, 119-125.
- Bethoux, N., Etienne, M., Ibanez, F., Rapaire, J.L., 1980. Hydrologic specificities of littoral areas. Time analysis by the method 'Cencus 2' and evaluation of ocean-atmosphere exchanges off Villefranche-sur-Mer. Ann. Inst. Oceanogr. Paris 56, 81-95.
- Boudry, P., Heurtebise, S., Collet, B., Cornette, F., Gerard, A., 1998. Differentiation between populations of the Portuguese oyster, *Crassostrea angulata* (Lamarck) and the Pacific oyster, *Crassostrea gigas* (Thunberg), revealed by mt-DNA RFLP analysis. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 226, 279-291.
- Bougrier, S., Ragueneas, G., Bachere, E., Tige, G., Grizel, H., 1986. Breeding trials with *Crassostrea angulata* in France. Resistance to Tributyl tin (TBT) and behaviour of the hybrids *C. angulata*, *C. gigas*. ICES, Copenhag Denmark.
- Bougrier, S., Geairon, P., Deslous-Paoli, J.M., Bacher, C., Jonquieres, G., 1995. Allometric relationships and effects of temperature on clearance and oxygen consumption rates of *Crassostrea gigas* (Thunberg). Aquaculture 134, 143-154.
- Boury, M., 1928. Etude sur la reproduction des huîtres. Revue des travaux de l'office Scientifique et Technique des Pêches Maritimes I, 2, 1-87.
- Cariolle, C., 1999. La régionalisation des scénarios d'évolution climatique: vers les études d'impacts. C. R. Acad. Sci. Sciences de la terre et des planètes 328, 249-259.
- Castaing, P., Allen, G.P., 1981. Mechanisms controlling seaward escape of suspended sediment from the Gironde: a macrotidal estuary in France. Mar. Geol. 40, 101-118.
- Cheney, D.P., Elston, R.A., MacDonald, B.F., Cherr, G.N., Hamdoun, A.M., Jacobsen, J.L., 2000. An update on the ongoing oyster summer mortality study: Mortality of the pacific oyster, *Crassostrea gigas*: Health screening, environmental links and management options. J. Shellfish Res. 19.
- Dechambenoy, C., Pontier, L., Sirou, F., Vouve, J., 1977. Apport de la thermographie infrarouge aéroportée à la connaissance de la dynamique superficielle des estuaires (système Charente, Seudre, Anse de l'Aiguillon). C. R. Acad. Sci., Paris 184, 1269-1272.
- Glude, J.B., 1975. A summary report of Pacific coast oyster mortality investigations 1965-1972, the Third U.S.-Japan Meeting on Aquaculture, Tokyo, Japan, pp. 1-28.
- Gouletquer, P., Wolowicz, M., Latala, A., Geairon, P., Huvet, A., Boudry, P., 1999. Comparative analysis of oxygen consumption rates between cupped oyster spat of *Crassostrea gigas* of French, Japanese, Spanish and Taiwanese origins. Aquat. Living Resour. 12, 271-277.
- Gouletquer, P., Soletchnik, P., Le Moine, O., Razet, D., Geairon, P., Faury, N., Taillade, S., 1998. Summer mortality of the Pacific cupped oyster *Crassostrea gigas* in the Bay of Marennes-Oleron (France). ICES, Copenhagen (Denmark).
- Gras, P., Comps, M., Davis, A., Baron, G., 1971. Preliminary observations on the oyster reproduction in the Basin of Marennes-Oleron during 1971. Sci. Peche Bull. Inst. Tech. Peches Marit 207, 1-16.
- Grizel, H., Heral, M., 1991. Introduction into France of the Japanese oyster (*Crassostrea gigas*). J. Cons. Ciém. 47, 399-403.
- Guillaud, J.F., Aminot, A., Menesguen, A., 1992. Urban wastewater disposal and eutrophication risk assessment in the coastal zone, 77-86 pp.

- Haure, J., Huvet, A., Palvadeau, H., Nourry, M., Penisson, C., Martin, J.L.Y., Boudry, P., 2003. Feeding and respiratory time activities in the cupped oysters *Crassostrea gigas*, *Crassostrea angulata* and their hybrids. *Aquaculture* 218, 1-4.
- Héral, M., D. Razet, J. M. Deslous Paoli, F. Manaud, I. Truquet & J. Garnier, 1984. Hydrobiologie du Bassin de Marennes - Oléron. Résultats du réseau national d'observation de 1977 à 1981. *Ann. Soc. Sci. Nat. Char. mar.* 7, 259-277.
- Héral, M., Deslous-Paoli, J.M., Prou, J., 1985. Influence of climate on recruitment and production of cultivated oysters *Crassostrea angulata* et *Crassostrea gigas* in the Marennes-Oleron Bay (France). ICES, Copenhag Denmark.
- Huvet, A., Balabaud, K., Bierne, N., Boudry, P., 2001. Microsatellite Analysis of 6-Hour-Old Embryos Reveals No Preferential Intraspecific Fertilization Between Cupped Oysters *Crassostrea gigas* and *Crassostrea angulata*. *Mar. Biotechnol.* 3, 448-453.
- Kiely, G., 1999. Climate change in Ireland from precipitation and streamflow observations. *Advances in Water Resources* 23, 141-151.
- Koganezawa, A., 1975. Present status of studies on the mass mortality of cultured oysters in Japan and its prevention, Proceedings of the Third U.S.-Japan Meeting on Aquaculture, Tokyo, Japan, pp. 29-34.
- Koutsikopoulos, C., Beillois, P., Leroy, C., Taillefer, F., 1998. Temporal trends and spatial structures of the sea surface temperature in the Bay of Biscay. *Oceanol. Acta.* 21, 335-344.
- Leitao, A., Boudry, P., Labat, J.P., Thiriou-Quievreux, C., 1999. Comparative karyological study of cupped oyster species. *Malacologia* 41, 175-186.
- Maurer, D., Borel, M., 1986. Croissance, engraissement et cycle sexuel de *Crassostrea gigas* dans le Bassin d'Arcachon: comparaison des huîtres âgées de 1 et 2 ans. *Haliotis* 15, 125-134.
- Maurer, D., Comps, M., 1986. Summer mortalities of oysters *Crassostrea gigas* in the Bay of Arcachon: Environmental, biochemical, and histological aspects, 29-42 pp.
- Menesguen, A., 1992. Modelling coastal eutrophication: The case of French *Ulva* mass blooms, 979-992 pp.
- Menesguen, A. 1997., Présentation du phénomène d'eutrophisation littorale. Actes de colloques: La mer et les rejets urbains. Bendor. France. IFREMER, AC 11: 35-52.
- Menzel, R.W., 1974. Portuguese and Japanese oysters are the same species. *J. Fish. Res. Board Can* 31, 453-456.
- Ravail, B., 1993. Incidence du débit de la Charente sur la capacité biotique du bassin ostréicole de Marennes Oléron. Faculté des Sciences et Techniques de Nantes, Nantes, pp. 171.
- Soletchnik, P., 2001. Impact of the climatic change on an estuarian ecosystem: the Marennes Oléron Bay. *French IGBP-WCRP news letter* 12, 37-41.
- Soletchnik, P., Faury, N., Razet, D., Gouletquer, P., 1998. Hydrobiology of the Marennes-Oleron Bay. Seasonal indices and analysis of trends from 1978 to 1995. *Hydrobiologia [Hydrobiologia]* 386, 131-146.
- Soletchnik, P., Le Moine, O., Faury, N., Razet, D., Geairon, P., Gouletquer, P., 1999. Summer mortality of the oyster in the Bay Marennes-Oleron: Spatial variability of environment and biology using a geographical information system (GIS). *Aquat. Living Resour.* 12, 131-143.
- Soletchnik, P., Huvet, A., Le Moine, O., Razet, D., Geairon, P., Faury, N., Gouletquer, P., Boudry, P., 2002. A comparative field study of growth, survival and reproduction of *Crassostrea gigas*, *C. angulata* and their hybrids. *Aquat. Living Resour.* 15, 243-250.
- Trochon, P., 1955. Observations sur la répartition en profondeur des larves de *Gryphaea angulata* (Lmk) dans les eaux de la région de Marennes. *Revue des Travaux de l'Institut des Pêches maritimes* 19: 363-378.

6. FIGURES ET TABLEAUX

❖ Figures

- Figure 1. Bassin de Marennes Oléron sur la cote Atlantique française. Sites de pêches expérimentales de larves en rivière Seudre aux sites de Faulx (FA) et des Coux (CO). 5
- Figure 2. Succession des espèces d'huîtres dans le bassin de Marennes – Oléron : (1) 1865 : *C. angulata* est importée accidentellement en Gironde, et en 1874, elle atteint le bassin de Marennes – Oléron. (2) 1920-1922 : Mortalité massive d'origine inconnue de *Ostrea edulis*. (3) 1966-1973 La "maladie des branchies" décime *C. angulata*. (4) 1967 Début d'importation de *C. gigas*. (5) : 1975-1980 Parasitoses à *Martelia* et *Bonamia*. 6
- Figure 3. Engin de pêche de larves (*Crassostrea gigas*) à deux hauteurs de la colonne d'eau. 9
- Figure 4. Les stades larvaires identifiés par comptage et mensuration au microscope optique. (1) <105 µm pour des larves de 1 à 4 jours; (2) 105-150 µm pour des larves de 5 à 8 jours; (3) 150-235 µm pour des larves de 9 à 15 jours; (4) > 235 µm pour des larves de 16 à 20 jours. 10
- Figure 5. Indice d'abondance larvaire (%) (courbe grisée) et paramètres de la ponte : date de première ponte (DP), étalement de la ponte (EP), principale ponte (PP) et nombre de ponte (NP) 11
- Figure 6. Effectif de larves de 1-4 jours de *Crassostrea angulata* (rouge) et *Crassostrea gigas* (bleu) pêchées entre 1949 et 1999. 15
- Figure 7. Effectifs de larves de 1-4 jours de *Crassostrea angulata* et *Crassostrea gigas* pêchées entre 1949 et 1999. 16
- Figure 8. Indices d'abondance hebdomadaires moyens de *C. angulata* (1949 – 1970) et de *C. gigas* (1973 et 1998) dans le bassin de Marennes – Oléron (A). En pourcentage sur la saison de pêches de larves (B). 18
- Figure 9. Saisonnalité des indices d'abondance des 2 espèces de bivalves: *C. gigas* et *C. angulata*. dans le Bassin de Marennes Oléron 19
- Figure 10. Détermination des descripteurs de ponte à partir des captures de larves. Fréquence relative des rendement par unité d'effort de pêche. A : distribution de fréquence ; B : fréquence cumulée. Exemple de quelques années. (eg. "s61" = première semaine de juin). 20
- Figure 11. Nombre de "saisons" de ponte annuelles (NP) de *Crassostrea angulata* (ca) et *Crassostrea gigas* (cg) dans le Bassin de Marennes Oléron entre 1950 et 2000. 20

- Figure 12. Début de la saison de ponte (DP) chez *Crassostrea angulata* (ca) et *Crassostrea gigas* (cg) dans le Bassin de Marennes Oléron entre 1950 et 2000 (e.g "61" = 1ère semaine de juin). 21
- Figure 13. Semaine au cours de laquelle 50% des émissions d'œufs est atteint pour *Crassostrea angulata* (ca) et *Crassostrea gigas* (cg) dans le Bassin de Marennes Oléron entre 1950 et 2000 (e.g "61" = 1ère semaine de juin). 22
- Figure 14. Valeurs mensuelles de la tendance de la température (°C) entre 1950 et 2000 (d'après Météo – France). 22
- Figure 15. Valeurs mensuelles de la tendance de la pluviométrie annuelle à la station météo de la Rochelle entre 1950 et 2000 23
- Figure 16. Evolution des indices saisonniers de pluviométrie au cours de 5 décades entre 1950 et 2000. La valeur "100" (lignes horizontales rouges) indique le niveau moyen de la saisonnalité, au dessus duquel le descripteur est "saisonnier" en concentration plus importante (la moyenne des indices = 100). Le cadre rouge souligne l'émergence de la "saison" de pluie printanière 24
- Figure 17. Tendance de l'insolation (heures par mois) et lissage selon un ordre 51 entre 1950 et 2000 25
- Figure 18. Evolution du "dP50"(A) et du "DP" (B) selon les décades [(*)]. Echelle ordinale de 1 à 16. "1": première semaine de juin, et "16" : dernière semaine de septembre]. 26
- Figure 19. Perte de poids sec associée à la ponte des deux taxons : *C. gigas* et *C. angulata* en élevage dans le Bassin de Marennes Oléron en 2000 28
- Figure 20. Evolution des indices saisonniers de chlorophylle a entre 1978 et 2000 (en 3 périodes de 7 années). La valeur "100" indique le niveau moyen de la saisonnalité, au dessus duquel le descripteur est "saisonnier" en concentration plus importante (la moyenne des indices = 100). 29
- Figure 21. Evolution des indices saisonniers de pluviométrie (A) et de nitrates (B) entre 3 périodes successives : 1977-1984; 1985-1992; 1993-2000. 32

❖ Tableaux

Tableau 1 : classes de larves pêchées	10
Tableau 2. Correspondance entre les semaines de la saison et l'échelle ordinale utilisée dans les analyses.....	12
Tableau 3. Pêches de <i>Crassostrea gigas</i> et <i>Crassostrea angulata</i>	14
Tableau 4. Echantillonnage de <i>Crassostrea angulata</i> (juin - septembre) et <i>Crassostrea gigas</i> (juillet – août) sur les sites de Coux (CO) et Faux (FA) dans la rivière Seudre au sud du bassin de Marennes - Oléron	15
Tableau 5. Saisonnalité de captures de larves de 1-4 jours des 2 espèces présentes dans le bassin de Marennes – Oléron depuis 1949 (<i>C. gigas</i> entre 1949 et 1970; <i>C. angulata</i> entre 1973 et 1998).	17
Tableau 6. Pics de ponte des deux espèces successives du bassin de Marennes – Oléron (*) juillet 01= première semaine de juillet.	18
Tableau 7. Comparaison de la saison de ponte entre <i>Crassostrea angulata</i> (17 années) et <i>Crassostrea gigas</i> (20 années) dans le Bassin de Marennes Oléron. Test de Kruskal – Wallis associé à chaque descripteur (DP date de première ponte; NP nombre de pontes ("pics"); PP amplitude maximale de ponte; dPP date de la ponte maximale; dP50 date à laquelle 50% de la production est atteinte).	21
Tableau 8. Analyse de variance de dp50 et test de rang (LSD, d'après Cochran et Cox 1957)26	