

CHAPITRE 11

L'IMPACT DES FLUCTUATIONS CLIMATIQUES SUR LA DYNAMIQUE DES STOCKS DE POISSONS PÉLAGIQUES CÔTIERS

Philippe Cury¹

*Centre de recherches océanographiques de
Dakar-Thiaroye (CRODT)
C.P. 2241
Dakar, Sénégal*

11.1 INTRODUCTION

Comme on l'a vu aux chapitres précédents, la dynamique des populations «classique» néglige l'effet des variations environnementales sur les stocks exploités. Lorsque l'on applique les modèles de dynamique (modèles globaux, modèles analytiques), le fait que les facteurs environnementaux ne sont pas pris en considération explique souvent les nombreux échecs observés dans l'analyse de l'évolution des stocks pélagiques côtiers qui, par nature, sont instables car très sensibles aux fluctuations climatiques. Pour se persuader de l'importance de l'action des upwellings sur les individus il suffit de considérer, par exemple, la plasticité des facteurs de conditions des poissons pélagiques durant les périodes d'enrichissement des eaux causés par les upwellings saisonniers ou bien les fluctuations interannuelles de ces facteurs de conditions entre les années de faibles ou de forts enrichissements (figure 11.1). À des saisons d'upwelling marquées ou à des années de forts upwellings correspondent des niveaux trophiques plus importants et ceci se traduit par des accroissements significatifs du poids des individus. Les réponses des individus ne sont pas les seules qui semblent affecter la dynamique des espèces.

Des exemples maintenant très étudiés montrent à quel point les variations des prises peuvent être importantes pour les stocks pélagiques. La dynamique des stocks de sardines du Japon ou de l'anchois du Pérou et du Chili montrent combien ces ressources sont susceptibles de fluctuer (figure 11.2). Pour ces deux exemples, il est aujourd'hui reconnu que si l'action de la pêche est prépondérante sur la dynamique de ces espèces l'action de phénomènes océanographiques (par exemple, le courant du Kuroshio pour le Japon ou de EL Niño pour le Pérou et le Chili) joue cependant un rôle important sur les fluctuations quantitatives de ces stocks (figure 11.2). Ainsi, la plupart des hypothèses faites dans les modèles de dynamique des populations, telles celles d'un recrutement constant, de mortalité naturelle ou de taux de croissance des individus constants d'une année à l'autre, ne sont pas valides pour ces stocks.

Les upwellings des côtes de l'ouest de l'Afrique sont saisonniers ou permanents et leur intensité est variable. L'enrichissement des milieux dans lesquels évoluent les stocks de poissons pélagiques est donc soumis à une variabilité climatique importante à court terme (de l'ordre de la semaine), à moyen terme (de l'ordre de l'année) et à long terme (de l'ordre de la décennie). Le présent chapitre traite de l'impact de cette variabilité sur les fluctuations d'abondance des stocks. Les exemples qui l'illustrent sont issus des

¹Rattaché à ORSTOM.

zones d'upwelling de l'ouest de l'Afrique où se produisent d'importantes remontées d'eaux profondes riches en sels minéraux.

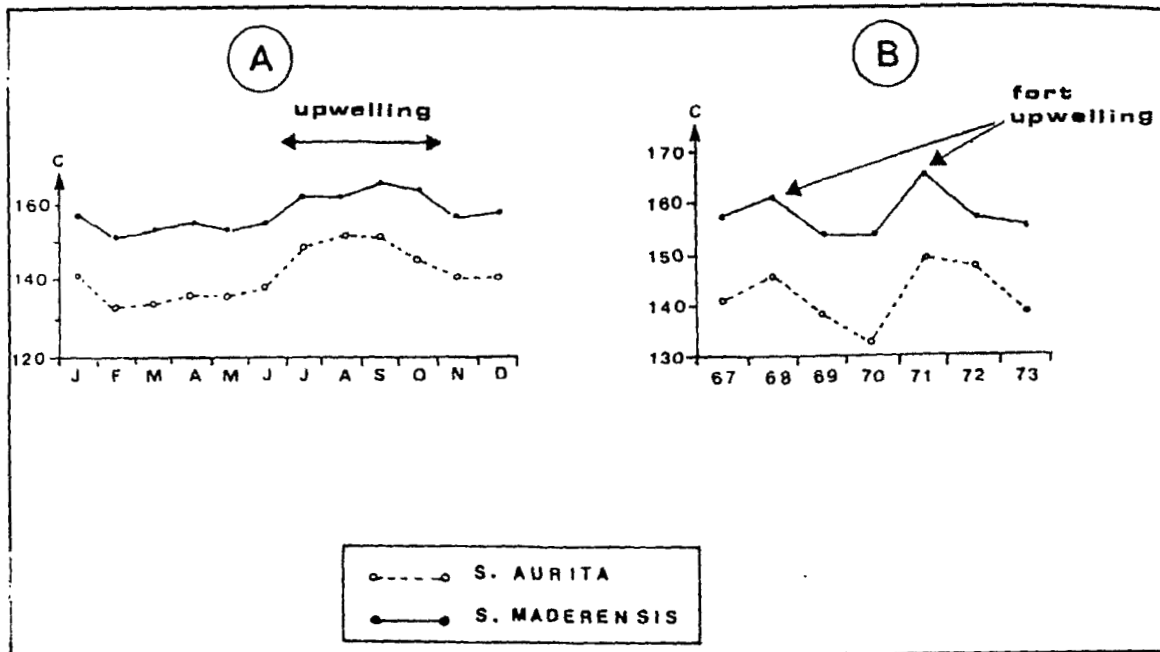


Figure 11.1 Fluctuations mensuelles et interannuelles du facteur de condition chez deux espèces de sardinelles du Congo (Fontana, 1981).

Ainsi, nous verrons comment étudier les relations pêche-climat à partir des statistiques de pêche classiques (prises, effort, PUE), en prenant certains exemples parmi les pêcheries marocaine, sénégalaise, ivoirienne et ghanéenne de clupéidés qui sont des espèces spécialement sensibles aux fluctuations climatiques du fait qu'elles dépendent, à tous les stades et directement, des fluctuations de la productivité primaire.

Nous nous interrogerons sur les strates de temps à définir pour l'étude des relations pêche-climat, la sensibilité des stocks aux fluctuations climatiques et la nature des relations en jeu. Le présent chapitre ne prétend pas épuiser un si vaste sujet, mais il vise à mettre en lumière certaines réflexions ou méthodes d'approche qui nous sont apparues comme étant importantes.

Lorsque l'on veut modéliser la production halieutique d'un écosystème d'upwelling côtier, il est difficile de choisir les variables les plus représentatives et d'estimer correctement leurs fluctuations. Généralement, les principales variables couramment mesurées sont successivement: la vitesse (et la direction) des vents, la température de l'eau, les teneurs en sels minéraux, le phytoplancton, le zooplancton et les poissons pélagiques. Un schéma montre qu'au cours de l'évolution de l'écosystème, la variabilité dans l'espace des différents maillons augmente, tandis que la variabilité dans le temps (pour une région donnée) diminue (figure 11.3). Il est nécessaire d'avoir ce schéma à l'esprit lorsque l'on veut relier la variabilité biologique à une variabilité environnementale: il faut définir correctement les strates spatio-temporelles d'étude.

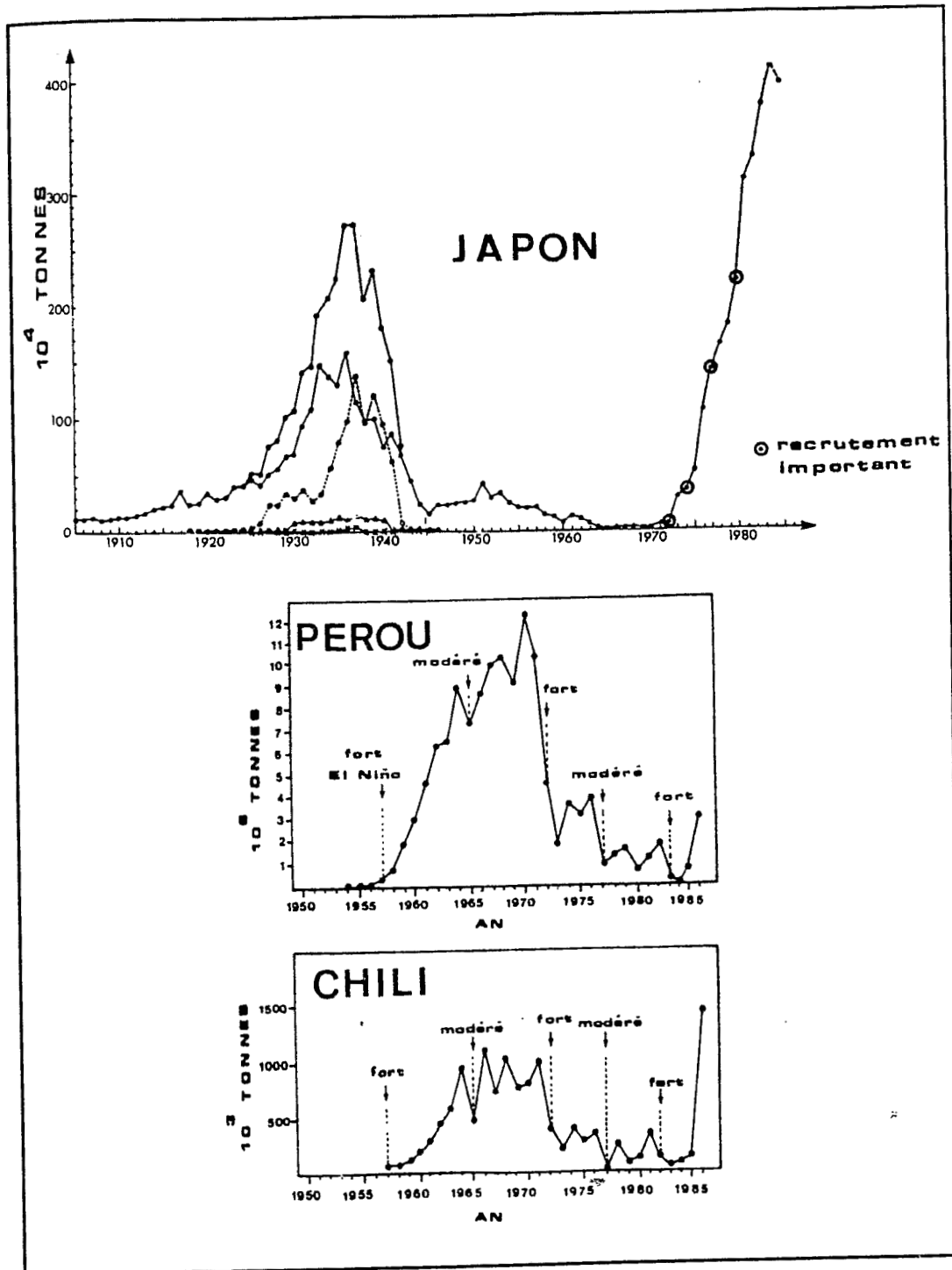


Figure 11.2 Exemples de fluctuations importantes des prises de deux grands stocks mondiaux de poissons pélagiques: la sardine du Japon et l'anchois du Pérou et du Chili.

Les tendances des taux de capture observés au cours du temps sont en réalité la juxtaposition d'un certain nombre de courbes oscillantes. Le «bruit» à haute fréquence est sans doute dû à des changements à court terme de la capturabilité tandis que les oscillations à basse fréquence sont plus vraisemblablement causées par des changements de productivité associés aux changements climatiques. Les évolutions à très basse fréquence sont, quant à elles, vraisemblablement causées par des changements de l'environnement à très long terme (tendances climatiques, par exemple). L'importance que revêtent ces fluctuations pour la gestion est évidente. Il peut être utile de considérer les variations à haute fréquence pour les prédictions à court terme des captures, tandis que celles à basses fréquences faciliteront une estimation fiable des potentiels à moyen et à long termes. Trois strates temporelles seront étudiées:

- le court terme: l'échelle de temps est alors de l'ordre de la semaine ou de la quinzaine. Les fluctuations de PUE seront supposées refléter, dans l'exemple traité, les fluctuations de capturabilité.
- le moyen terme: l'échelle de temps est annuelle. Les fluctuations de PUE refléteront, pour l'exemple considéré, les fluctuations d'abondance du stock.
- le long terme: l'échelle de temps est la décennie, voire le siècle. Les changements à long terme reflètent alors des modifications dans la nature des relations stock-environnement au sens large (changements climatiques à long terme, compétition entre les stocks, etc.)

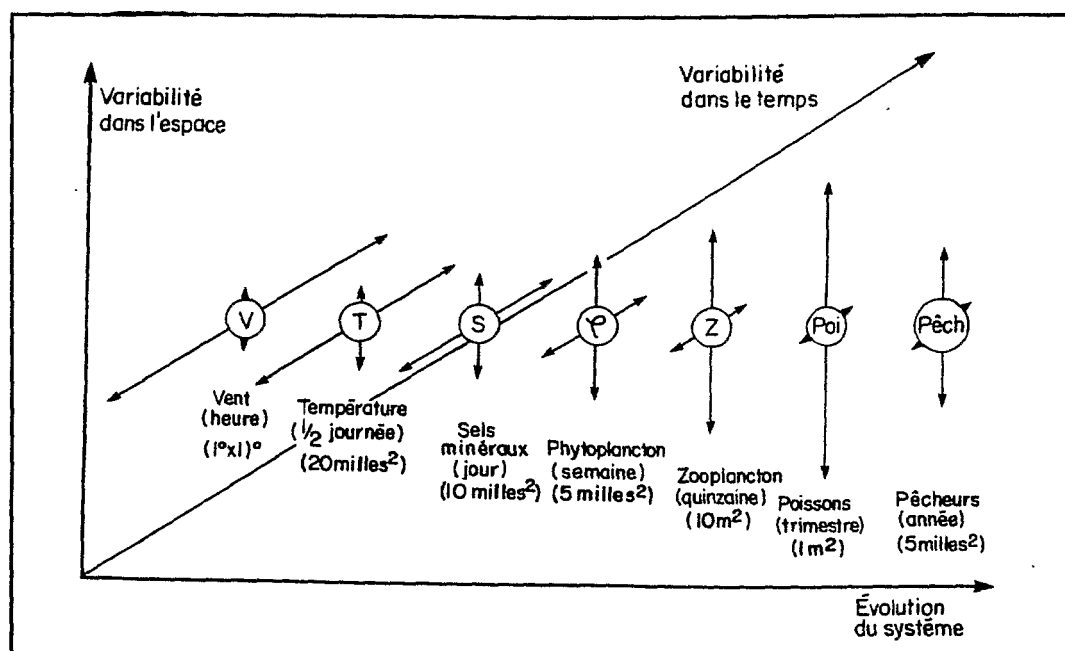


Figure 11.3 Schématisation de la variabilité des différents maillons d'un système de production dans une région d'upwelling côtier (Fréon, 1986).

11.2 RELATION PÊCHE-CLIMAT À COURT TERME

Avec une échelle de temps courte, de l'ordre de la semaine ou de la quinzaine, on s'intéresse plus particulièrement à la disponibilité et à la capturabilité du poisson, c'est-à-dire à sa présence dans une zone de pêche. C'est essentiellement par le jeu des déplacements horizontaux et verticaux des concentrations que le poisson est rendu disponible. La liaison pêche-climat apparaît de façon simple:

l'individu recherche certaines conditions de milieu (hydrologiques, alimentaires ou de reproduction) qui lui conviennent. L'analyse multivariée des séries temporelles peut être intéressante pour tenter de comprendre la dynamique de ces fluctuations à court terme. L'intérêt d'une telle analyse est de pouvoir tenir compte d'une certaine «mémoire» contenue dans les séries chronologiques. On peut ainsi rendre partiellement compte du fait que la disponibilité du poisson au temps t peut être due à des événements biologiques ou climatiques passés, par exemple une ou deux quinzaines auparavant ($t-1$, $t-2$, etc.) Une façon d'aborder l'analyse multivariée des séries temporelles est d'utiliser la classe des modèles ARMA (modèles autorégressifs à moyennes mobiles). La première étape dans ce type d'analyse est d'identifier les lags (décalages) qui doivent être inclus dans le modèle et de déterminer lequel, du modèle autorégressif (AR), de la moyenne mobile (MA) ou du modèle ARMA, est le plus approprié. On peut le faire en examinant les matrices de corrélations croisées et en calculant les matrices de corrélations partielles. Des techniques statistiques permettent d'identifier, à partir de ces matrices, le modèle le plus indiqué. Ces modèles permettent donc de prédire au temps t la valeur de la PUE en utilisant les valeurs de PUE (ou de température, de salinité) observées dans le passé (temps $t-1$, $t-2$ ou $t-24$, par exemple). Cette technique permet donc d'identifier empiriquement certaines séquences climatiques ou biologiques expliquant une partie de la variabilité contenue dans les séries à expliquer.

Exemple n° 1: Étude de la disponibilité des poissons pélagiques en Côte-d'Ivoire en relation avec les conditions environnementales (Mendelsohn et Cury, 1987).

Dans cet exemple, la problématique posée est la suivante: existe-t-il un lien entre une série temporelle de PUE bimensuelles allant de 1966 à 1982 (figure 11.4A) et celle de l'évolution des températures de surface (SST) observées dans les mêmes strates spatio-temporelles (figure 11.4B). L'analyse multivariée des séries temporelles permet d'identifier, à partir des matrices de corrélations croisées et de corrélations partielles, un modèle empirique autorégressif de la forme:

$$\ln PUE(t) = 0,248 \ln PUE(t-1) + 0,254 \ln PUE(t-2) + 0,162 \ln PUE(t-4) + 0,143 \ln PUE(t-24) - 0,143 SST(t-1) + 0,112 SST(t-2) + 0,044(t-17) \quad [11.1]$$

$$\ln PUE = \log(PUE - 0,05)$$

Les valeurs prédites par ce modèle sont présentées en pointillés à la figure 11.4C. Une interprétation biologique de ces paramètres peut être fournie. Ainsi les décalages $t-1$, $t-2$, $t-4$ (avec la PUE) suggèrent que lorsque le poisson est disponible dans la zone de pêche, il est disponible durant un certain temps: il y a une persistance de la présence du poisson (ou inversement de son absence). Le décalage $t-24$ est dû au fait qu'il existe un cycle annuel. Les décalages $t-1$ et $t-2$ (avec la SST) suggèrent que lorsque l'eau est relativement chaude deux quinzaines avant et subit un refroidissement la quinzaine suivante, alors on observe un accroissement de la PUE après une quinzaine. Ce résultat va dans le même sens que les travaux réalisés sur la dynamique du zooplancton, selon lesquels, lorsque l'on observe un refroidissement, au cours d'une quinzaine, il se produit un accroissement significatif du nombre de copépodes la quinzaine suivante. On peut ainsi mieux comprendre les fluctuations de disponibilité en relation avec la dynamique des masses d'eau et les processus d'enrichissement tropique. Le modèle peut donc servir à la prédiction à court terme des PUE (figure 11.4D).

On souligne également le fait que les relations pêche-climat ne sont pas linéaires (voir la transformation Log de l'équation 11.1). Ainsi il est très facile d'imaginer que pour une espèce un accroissement de la température du milieu de 1 °C n'aura pas le même effet sur l'accroissement (ou la diminution) de la PUE si celle-ci est faible ou forte. Lorsque l'on utilise un log, un changement de 1 °C produit un changement proportionnel à la valeur de la PUE (et non pas une valeur absolue). Ces «non-linéarités» qui existent dans la réponse fonctionnelle de tout organisme vivant sont importantes, car elles peuvent fréquemment occulter des relations qui existent entre la dynamique des populations et le climat.

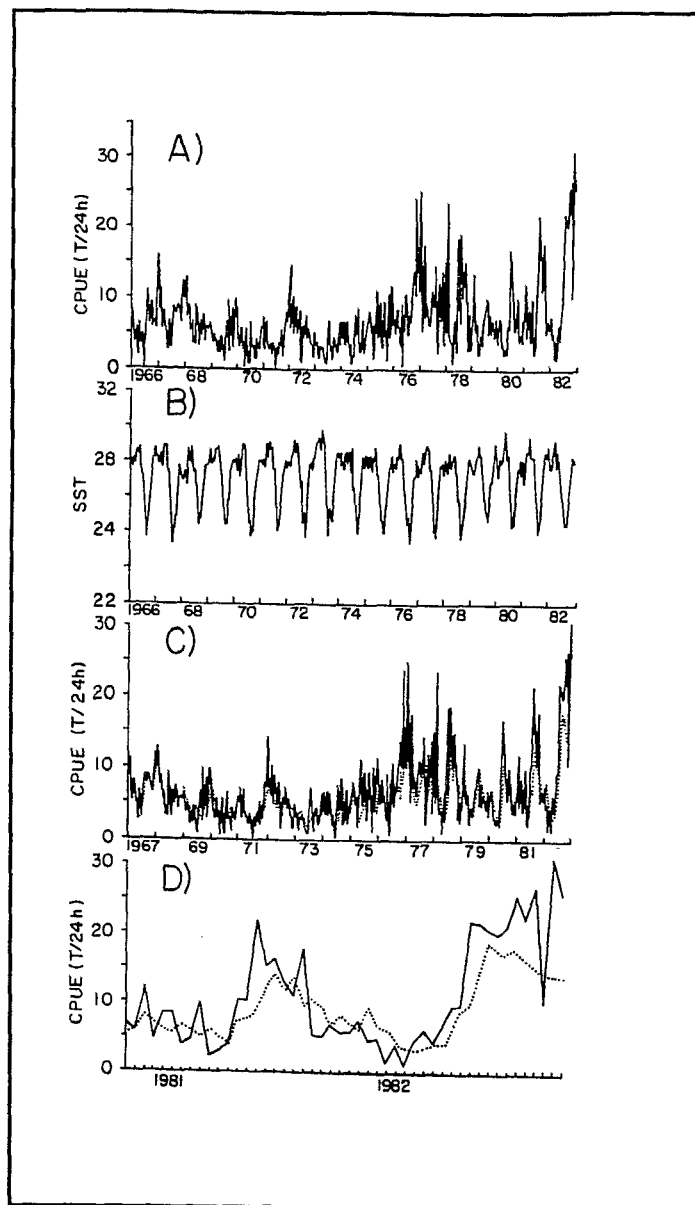


Figure 11.4 Évolution temporelle de 1966 à 1981, par quinzaine, des PUE de petits poissons pélagiques devant la Côte-d'Ivoire (A) des SST, (B) ajustement des données observés aux valeurs prédites (en pointillés), (C) prédictions pour 1981 et 1982 (les paramètres du modèle étant réestimés sur la période 1966-1980), (D) (Mendelssohn et Cury, 1987).

11.3 RELATION PÊCHE-CLIMAT À MOYEN TERME

Les fluctuations interannuelles de l'abondance des stocks constituent un deuxième niveau d'étude de la dynamique des populations. Que le poisson soit plus ou moins abondant une année est, pour les espèces à faible durée de vie, essentiellement dû au bon recrutement dans la pêcherie et à la survie et à la croissance des individus. La survie des larves (qui assurent le recrutement) semble très liée à la nature et à la dynamique des upwellings (Cushing, 1982; Cury et Roy, 1989). De même, l'intensité des upwellings

agit de façon significative sur la croissance et la survie des adultes. D'une année à l'autre, l'abondance du stock est plus ou moins importante et la pêche sera donc plus ou moins bonne. La difficulté résulte ici dans le choix de mesures environnementales représentatives permettant de caractériser un niveau d'enrichissement du milieu. Ainsi, pour des upwellings au sens d'Ekman (générés par les vents), un indice permettant de caractériser l'intensité des upwellings peut être calculé à partir des vents: c'est le cas, par exemple, du Maroc, de la Mauritanie ou du Sénégal (Fréon, 1986). En Côte-d'Ivoire, au Ghana et au Congo, la dynamique des upwellings est d'une autre nature: ils sont générés non seulement par les vents locaux mais aussi par des ondes internes transocéaniques. Dans ce cas, la variabilité de la tension des vents ne caractérise pas bien la dynamique de l'upwelling et il vaut mieux prendre les températures de surface à la côte. On peut ainsi créer, à partir des mesures de vents ou de températures, des indices d'upwelling calculés à partir d'anomalies par rapport à un cycle moyen annuel durant la période d'upwelling (voir exemple n° 2). L'exemple de la relation existant entre les prises de sardines au Maroc et l'intensité de l'upwelling montre l'effet déterminant de la variable climatique sur ce stock (figure 11.5). L'introduction de variables climatiques dans les modèles de production (Fréon, 1983; Cury et Roy, 1987) permet d'analyser l'impact de la variabilité climatique ainsi que celui de l'effort de pêche sur les PUE annuelles ou les prises. Avec les modèles globaux classiques, il existe pour une valeur de l'effort une seule valeur théorique de la PUE équilibrée. Lorsque l'on introduit des variables climatiques dans ces modèles, on a alors des valeurs différentes de PUE pour un même niveau d'effort de pêche. À des situations climatiques favorables correspondent des valeurs de PUE plus importantes que pour des conditions climatiques défavorables. En d'autres termes, à l'équilibre, la capacité biotique du milieu dépend des conditions environnementales et du niveau d'enrichissement de l'écosystème. Ceci conduit au concept de PME comme une variable dépendante du climat.

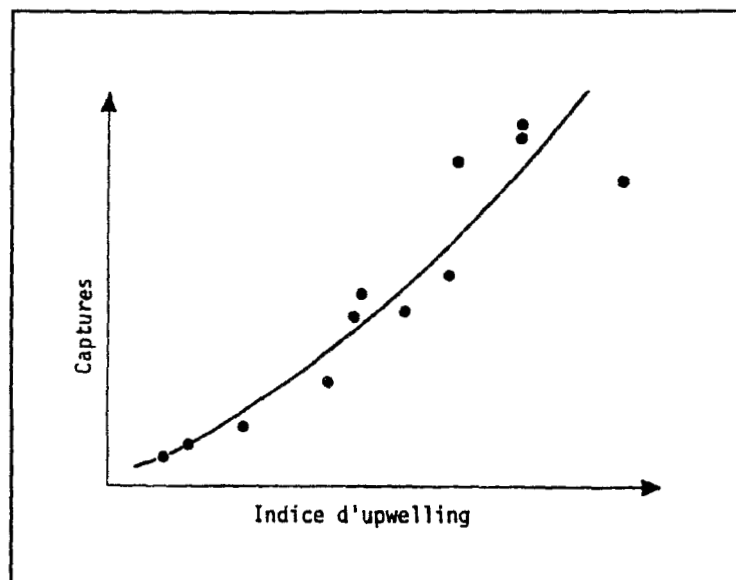


Figure 11.5 Captures de sardines et upwelling au Maroc (Belvèze et Erzini, 1983).

Exemple n° 2: Upwelling et pêche des espèces pélagiques côtières de Côte-d'Ivoire: une approche globale (Cury et Roy, 1987).

Pour les espèces pélagiques de la Côte-d'Ivoire, il apparaît difficile de relier la PUE et l'effort de pêche (figures 11.6A et 11.6D1). Les fluctuations interannuelles de l'upwelling ont été mesurées en calculant les anomalies de températures par rapport à un cycle moyen, durant la période d'upwelling.

D'une année à l'autre, ces indices d'upwelling fluctuent beaucoup (figure 11.6B). Un modèle global prenant en compte l'effort de pêche et les indices d'upwelling est proposé (figure 11.6C) afin d'expliquer les fluctuations des PUE des espèces pélagiques côtières de Côte-d'Ivoire entre 1966 et 1981 (figure 11.6A). Les contributions respectives des upwellings de l'année en cours et de l'année précédant celle de la pêche sont analysées (figure 11.6D2); le climat semble notamment influencer fortement les recrutements (contribution de l'indice de l'année précédant celle de la pêche), mais aussi jouer sur la disponibilité ou la survie et la croissance des jeunes (contribution de l'indice d'upwelling de l'année de la pêche). Un bon ajustement peut être fait lorsque l'on considère simultanément l'action de la pêche ainsi que l'action de l'upwelling sur le stock (figure 11.6D3).

11.4 RELATION PÊCHE-CLIMAT À LONG TERME

Les exemples de bouleversement écologique avec apparition ou disparition d'une espèce sont fréquents et importants pour les pêcheries. Ce sont très souvent de véritables catastrophes écologiques qui peuvent perturber tout un écosystème (pensons, par exemple au baliste dans le golfe de Guinée, ou à la bécasse de mer au Maroc). Comment prévoir de telles fluctuations à long terme, c'est-à-dire sur des échelles de temps de l'ordre de la décade ou du siècle? Une première approche consiste à considérer les grands changements climatiques qui ont eu lieu dans la zone d'étude et qui sont parfois importants (figure 11.7). La comparaison de ces profondes variations climatiques avec les modifications à long terme des populations de poissons montre que ces variables ne sont pas toujours reliées. Il est souvent assez difficile d'identifier des facteurs climatiques simples susceptibles d'expliquer les changements à long terme des populations. Cela veut dire, que les espèces ne sont pas des pièces interchangeables dont la dépendance aux fluctuations climatiques serait directe, lorsque l'on considère le long terme.

À long terme, les fluctuations d'abondance observées sont probablement le résultat de la confrontation de la stratégie démographique développée par l'espèce et de ses relations avec le milieu (Cury, 1988).

11.5 CONCLUSION SUR LA RELATION PÊCHE-CLIMAT

L'étude des relations pêche-climat nécessite de longues séries de données climatiques et de données de pêche. Il est parfois utile d'avoir 10, 20 années d'observations avant de pouvoir identifier un mécanisme d'action du climat sur les stocks. Vaut-il mieux abandonner ce type de recherche? Pour l'étude des petits pélagiques côtiers, la réponse est assurément négative. Il est aujourd'hui reconnu que l'action de l'hydroclimat est essentielle pour comprendre la dynamique des populations des petits pélagiques côtiers (Sharp et Csirke, 1983). Les résultats obtenus ces dernières années sont suffisamment encourageants pour inciter la poursuite de ce type de recherche afin de mieux comprendre et gérer ces stocks. Il faut, à ce titre, féliciter les pays africains qui ont su développer depuis les années 1960 des relevés climatiques et des relevés de pêche en continu qui s'avèrent aujourd'hui extrêmement précieux pour aménager ces ressources instables.

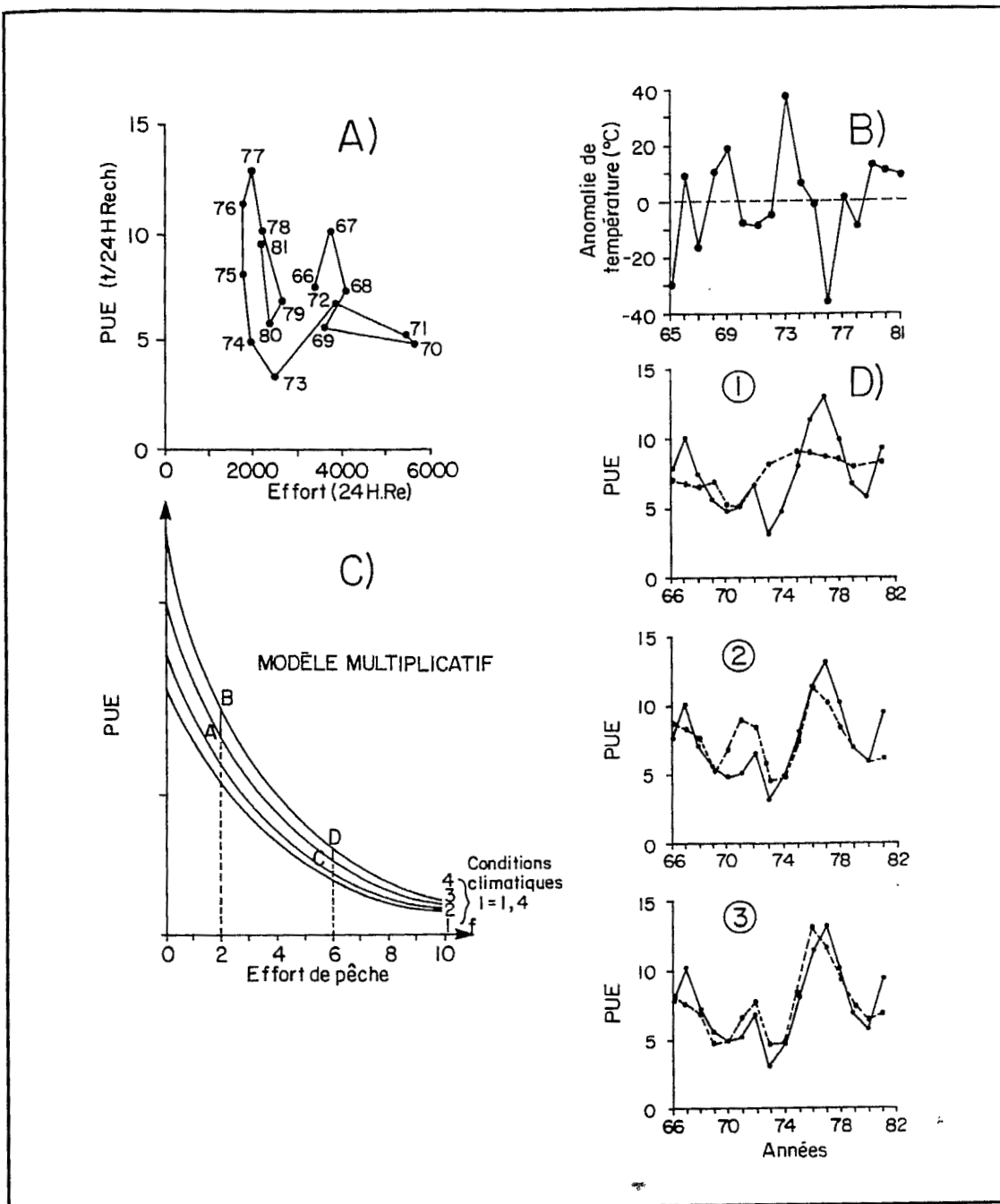


Figure 11.6 Modèle de production avec introduction de variables climatiques.

Relation PUE-effort pour les espèces pélagiques de Côte d'Ivoire de 1966 à 1981

(A) Anomalies de température (B) Modèle multiplicatif (C) Ajustement des PUE (D) avec:

- (1) un modèle exponentiel tenant compte de l'effort seul; (2) les indices d'upwelling des années i et $i+1$;
 (3) les indices d'upwelling et l'effort de pêche.

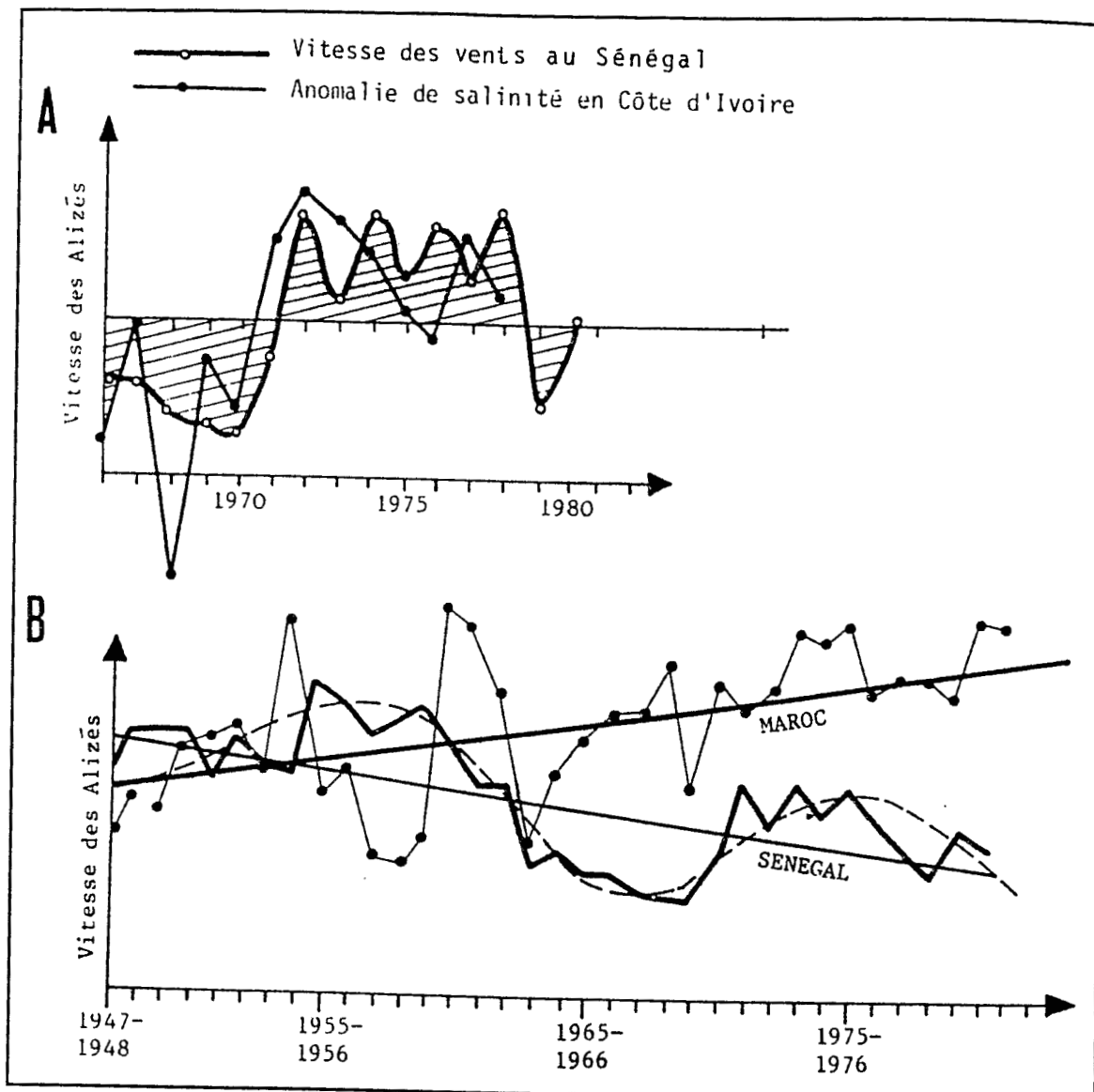


Figure 11.7 Variations hydroclimatiques en Afrique de l'ouest:
(A) Anomalie des salinités à Abidjan et vitesse des alizés au Sénégal (Fréon, 1983);
(B) Indice d'upwelling au Maroc (zone B) (Belvèze, 1984)
et vitesse des vents au Sénégal (Fréon, 1983).

11.6 RÉFÉRENCES

- Belvèze, H., 1984. *Biologie et dynamique des populations de sardine *Sardina pilchardus* peuplant les côtes atlantiques marocaines et proposition pour un aménagement des pêcheries*. Thèse de doctorat d'État, Université de Bretagne occidentale, Brest, France: 532 p.
- Belvèze, H. et K. Erzini, 1983. (voir Sharp et Csirke, 1983).
- Binet, D., 1982. Influence des variations climatiques sur la pêche de *Sardinella aurita* ivoiro-ghanéennes: relation sécheresse-surpêche. *Oceanologica Acta* 5 (4): 443-52.
- Blaxter, J.H.S. et J.R. Hunter, 1982. The biology of the Clupeoid fishes. *Adv. mar. Biol.* 20: 1-223.
- Cushing, D.H., 1982. *Climate and fisheries*. Academic Press, London: 373 p.
- Cury, P., 1988. Pressions sélectives et nouveautés évolutives: une hypothèse pour comprendre certains aspects des fluctuations à long terme des poissons pélagiques côtiers. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 45 (6): 1077-1107.
- Cury, P. et C. Roy, 1987. Upwelling et pêche des espèces pélagiques côtières de la Côte-d'Ivoire: une approche globale. *Oceanologica Acta* 10 (3): 347-357.
- Cury, P. et C. Roy, 1989. Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 4 (4): 670-680.
- Fontana, A. (éd.), 1981. Milieu marin et ressources halieutiques de la république populaire du Congo. *Trav. et Doc. de l'ORSTOM* 138: 339 p.
- Fréon, P., 1983. Production models as applied to substocks depending on upwelling fluctuations. *FAO Fish. Rep.* 292 (3): 1047-1066.
- Fréon, P., 1986. *Réponses et adaptation des stocks de clupéidés d'Afrique de l'Ouest à la variabilité du milieu et de l'exploitation. Analyse et réflexion à partir d'exemple du Sénégal*. Thèse doctorat d'État, Université d'Aix Marseille II, pagination multiple.
- Mendelsohn R. et P. Cury, 1987. Fluctuations of a fortnightly abundance index of the Ivoirian Coastal Pelagic species and associated environmental conditions. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 44: 408-421.
- Sharp, G. et J. Csirke, 1983. Proceedings of the Expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources. Costa-Rica, 18-29 April 1983. *FAO Fish. Rep.* 292, Vol. 1,2,3: 1224 p.

11.7 EXERCICE - MODÈLE GLOBAL AVEC INTRODUCTION DE VARIABLES CLIMATIQUES

Étude des fluctuations interannuelles de l'abondance de *Sardinella aurita*, espèce recrutée au bout d'un an et exploitée sur deux ou trois classes d'âge. L'intensité des vents au cours de la saison des alizés et les températures de surface durant la saison d'upwelling au Sénégal sont présentées, comme les statistiques de pêche, de 1966 à 1983.

- Tracez, sur le même graphe, l'évolution de la vitesse moyenne des vents et celle des températures. Y a-t-il un lien entre ces deux paramètres (tracer les températures en fonction des vents)?
- La tension du vent peut-elle être retenue et constituer un indice d'upwelling au Sénégal? Commentez sur cette évolution temporelle et sur son effet possible sur la dynamique des stocks.
- On dispose d'une série de PUE et d'efforts de pêche des flottilles sénégalaises pour des périodes s'échelonnant entre 1966 et 1983 (tableau 11.1): tracer un modèle de production (courbe $PUE = f[\text{effort}]$). Est-il légitime d'ajuster un modèle avec ces données; si oui, lequel vous semble le plus indiqué et pourquoi?
- Interprétez les écarts au modèle de production (linéaire ou exponentiel) en utilisant les indices d'upwelling et discutez les résultats. (On tracera les résidus en fonction des indices d'upwelling).
- Si vous disposez d'un ordinateur équipé d'un logiciel statistique (STATGRAPHICS, par exemple): choisissez un modèle global dans lequel vous introduirez des variables climatiques (indices d'upwelling de l'année de la pêche et de l'année précédente, la pondération de ces deux indices sera égale à 0,5). Ajuster ce modèle en vous servant de votre logiciel si l'ajustement est non linéaire. Discutez cet ajustement.

Tableau 11.1 Évolution, entre 1965 et 1983, des PUE (tonnes par 10 heures de pêche d'un sardinier standard), des efforts de pêche (10 heures de pêche), de l'intensité moyenne des vents durant la période d'alizé (m/sec.) des températures de surface (°C) durant cette même période (Fréon, 1986).

Année	PUE	Effort	Intensité des vents	Température
1965	-	-	5,06	-
1966	20,3	1 443	4,90	19,2
1967	17,7	1 490	4,66	19,2
1968	15,8	1 808	4,46	17,5
1969	14,3	2 324	4,37	19,2
1970	11,3	2 498	4,29	19,6
1971	13,2	2 324	5,01	18,6
1972	20,9	2 570	6,00	17,5
1973	16,3	3 678	5,30	18,4
1974	15,9	4 356	5,99	17,8
1975	12,5	4 903	5,5	17,7

Année	PUE	Effort	Intensité des vents	Température
1976	14,7	5 506	5,93	17,8
1977	14,8	5 242	5,61	18,0
1978	12,7	6 016	5,01	18,6
1979	10,7	6 500	4,53	19,2
1980	11,7	6 003	5,21	19,0
1981	10,1	7 808	5,03	19,0
1982	7,7	8 675	4,77	19,9
1983	5,2	13 840	4,51	19,8

11.8 CORRIGÉ DE L'EXERCICE

- a) Au Sénégal, la dynamique de l'upwelling est créée par la tension zonale des vents parallèles à la côte. C'est un upwelling au sens d'Ekman. Les vents parallèles à la côte provoquent un déplacement des masses d'eau de surface vers le large. Celles-ci sont remplacées par des eaux profondes riches en sels minéraux qui viennent en surface. Les eaux de résurgence ou d'upwellings sont froides et riches. Dans ce type d'upwelling, dont le moteur est le vent, il existe donc une corrélation négative entre vitesse des vents et la température de surface (figure 11.8). On remarquera que la relation linéaire décroissante existant entre températures de surface et vitesse moyenne des vents est bonne, sauf pour la valeur observée en 1968 (figure 11.9). Cette anomalie des températures n'a d'ailleurs jamais très clairement été expliquée (erreur de mesure, remontées d'eaux non provoquées par la tension des vents, etc.).
- b) D'après ce que nous venons de voir sur la dynamique de l'upwelling sénégalais, il apparaît que la vitesse moyenne des vents durant la période d'upwelling peut représenter un indice permettant de caractériser les variations interannuelles de l'intensité relative de l'upwelling. Cependant, on remarquera l'autocorrélation des vents durant différentes périodes. On observe des périodes de vents faibles (de 1966 à 1970 et de 1978 à 1983) et une période de vents forts (de 1971 à 1977). Les problèmes statistiques liés à l'autocorrélation de cette variable proviennent du fait qu'une période de fort ou de faible upwelling devient en réalité un degré de liberté (une observation!).

L'upwelling agissant *a priori* sur le recrutement et la survie ainsi que sur la croissance des individus (qui sont exploités au bout d'un an et sur deux classes d'âge) justifient qu'il faille prendre en considération l'indice d'upwelling de l'année en cours et celui de l'année précédente.

- c) La relation PUE-effort est négative (figure 11.10). Il apparaît difficile, à l'aide de données présentées, de dire si un modèle exponentiel est plus apte qu'un modèle linéaire à décrire la relation entre les PUE et l'effort de pêche. On pourrait cependant penser qu'un modèle exponentiel serait mieux adapté *a priori*, car il est vraisemblable que pour une valeur très importante de l'effort de pêche on puisse éteindre le stock. Cette considération biologique montre comment la connaissance écologique peut aider à mieux identifier un modèle (ce qui s'avère toujours difficile en ne considérant que les données). Ici, on ne retiendra que le modèle linéaire. La relation est de la forme:

$$PUE = a - b(\text{effort})$$

- d) Les écarts au modèle linéaire sont calculés en faisant la différence valeur observée moins valeur prédite par le modèle (figure 11.11). Durant les périodes de faibles upwellings, les PUE sont en dessous de la valeur prédite par le modèle et inversement pour les forts upwellings. Ces écarts (ou résidus) sont ainsi corrélés positivement avec les indices d'upwelling ($r=0,63$). Ceci montre bien qu'il existe une relation entre PUE et upwelling. D'après la section précédente, il apparaît que deux variables explicatives semblent jouer un rôle sur les variations des PUE observées: l'effort de pêche et l'upwelling.
- e) Si l'on retient un modèle exponentiel de la forme:

$$\text{où: } PUE = \text{Parm}(1) + e^{(-\text{Parm}(2) \cdot \text{effort})} + \text{Parm}(3) \cdot \text{vent}$$

PUE = prise par unité d'effort (tableau 11.1)

effort = effort de pêche (tableau 11.1)

vent = indice d'upwelling égal à la somme de l'intensité des vents de l'année et de l'année précédente divisée par 2 (calculée à partir du tableau 11.1)

Parm(1), Parm(2) et Parm(3) les trois paramètres de cette équation non linéaire à estimer.

L'estimation des paramètres à l'aide d'ajustement non linéaire de type Marquardt (voir le logiciel STATGRAPHICS) donne comme valeur:

$$\text{Parm}(1) = 6,00$$

$$\text{Parm}(2) = 0,00024$$

$$\text{Parm}(3) = 0,586$$

L'ajustement des valeurs observées aux valeurs prédites par ce modèle est assez bon (les valeurs prédites sont proches des valeurs réelles; comme en témoigne la figure 11.12).

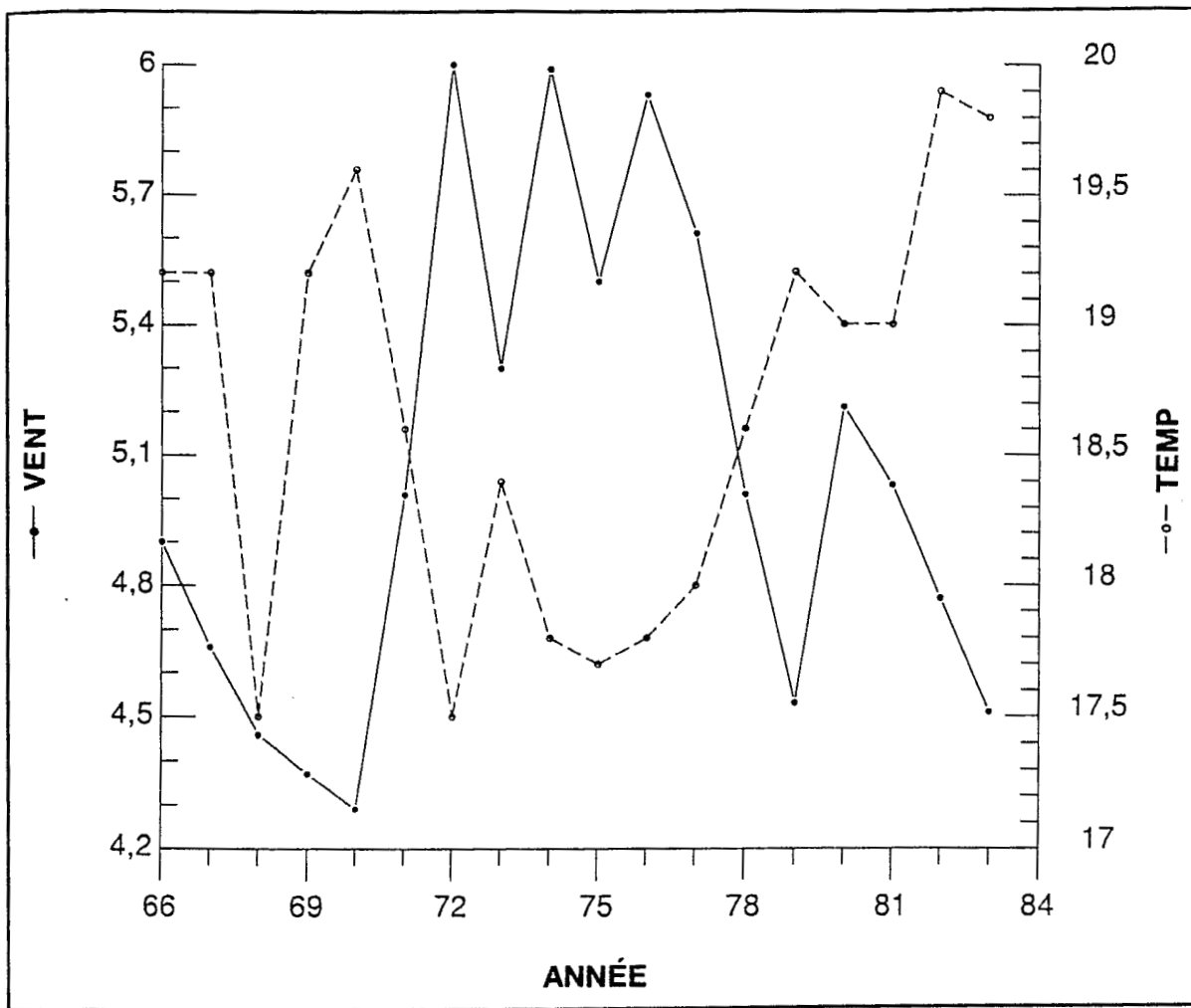


Figure 11.8 Variation de la température (°C) des eaux de surface et de la vitesse du vent (cm/s) au large du Sénégal, pour la période s'échelonnant de 1966 à 1984.

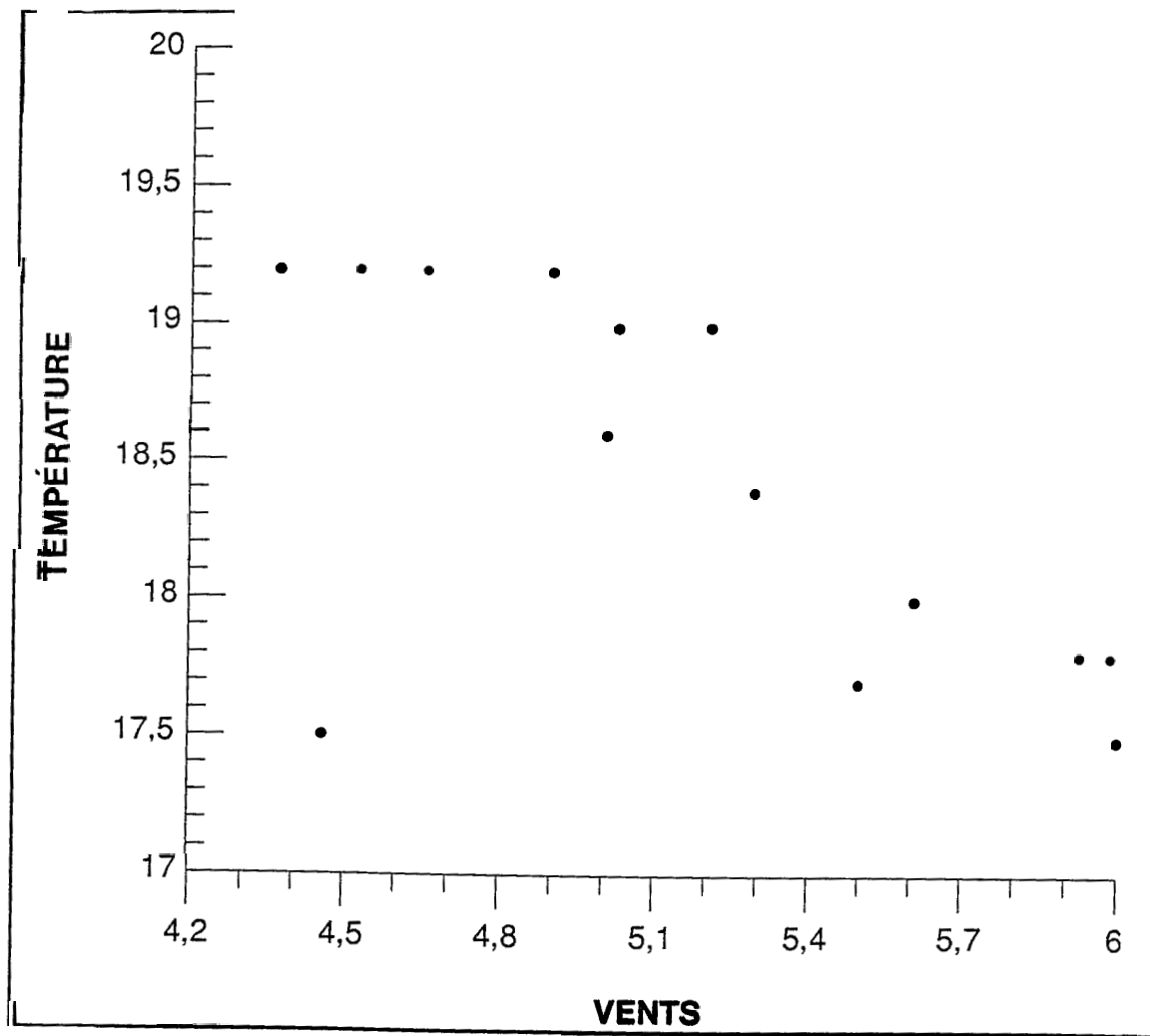


Figure 11.9 Relation entre la température (°C) et la vitesse du vent (cm/s) au large du Sénégal.

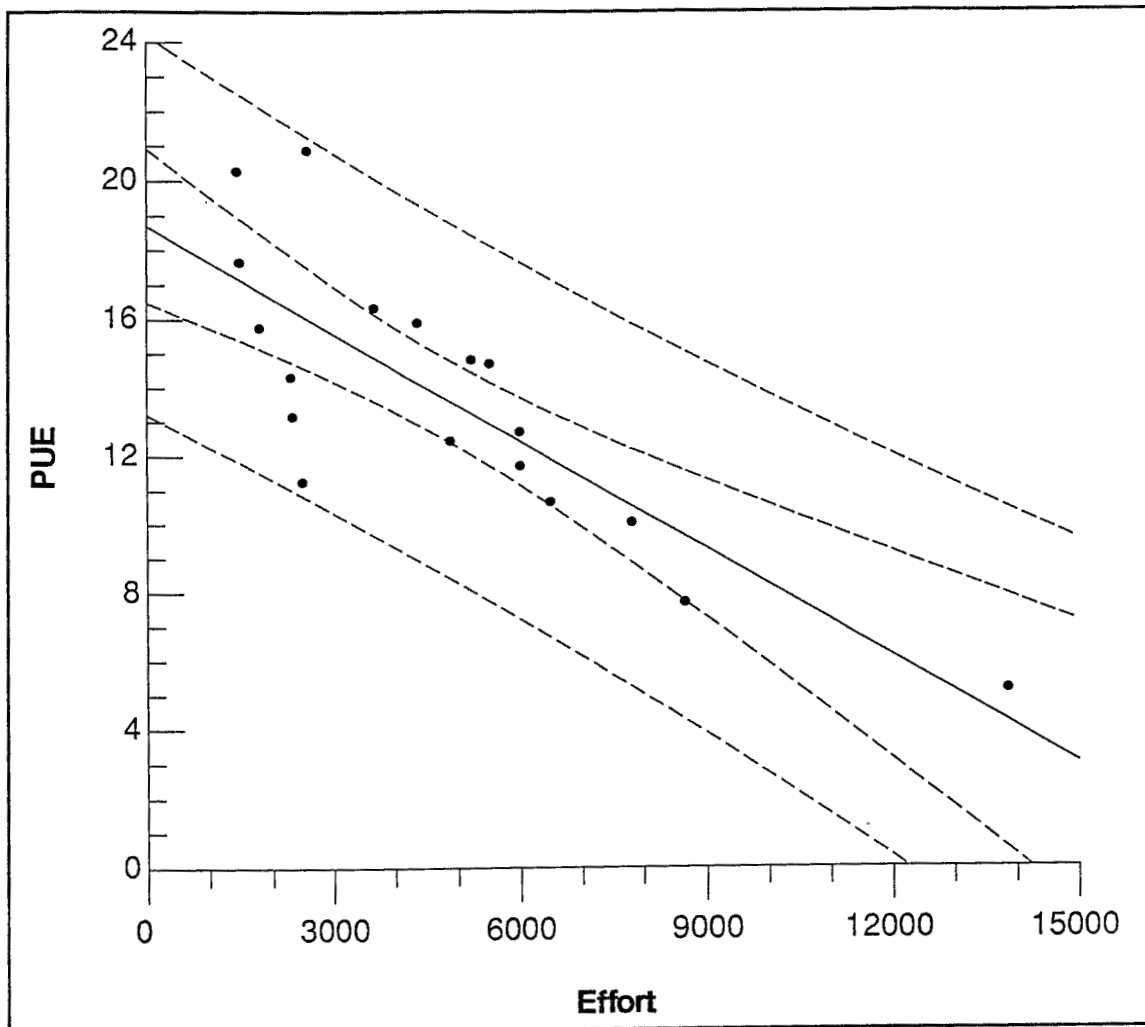


Figure 11.10 Relation entre la PUE (t/10 heures de pêche) et l'effort de pêche (10 heures de pêche) pour la pêche à la sardinelle sénégalaise.

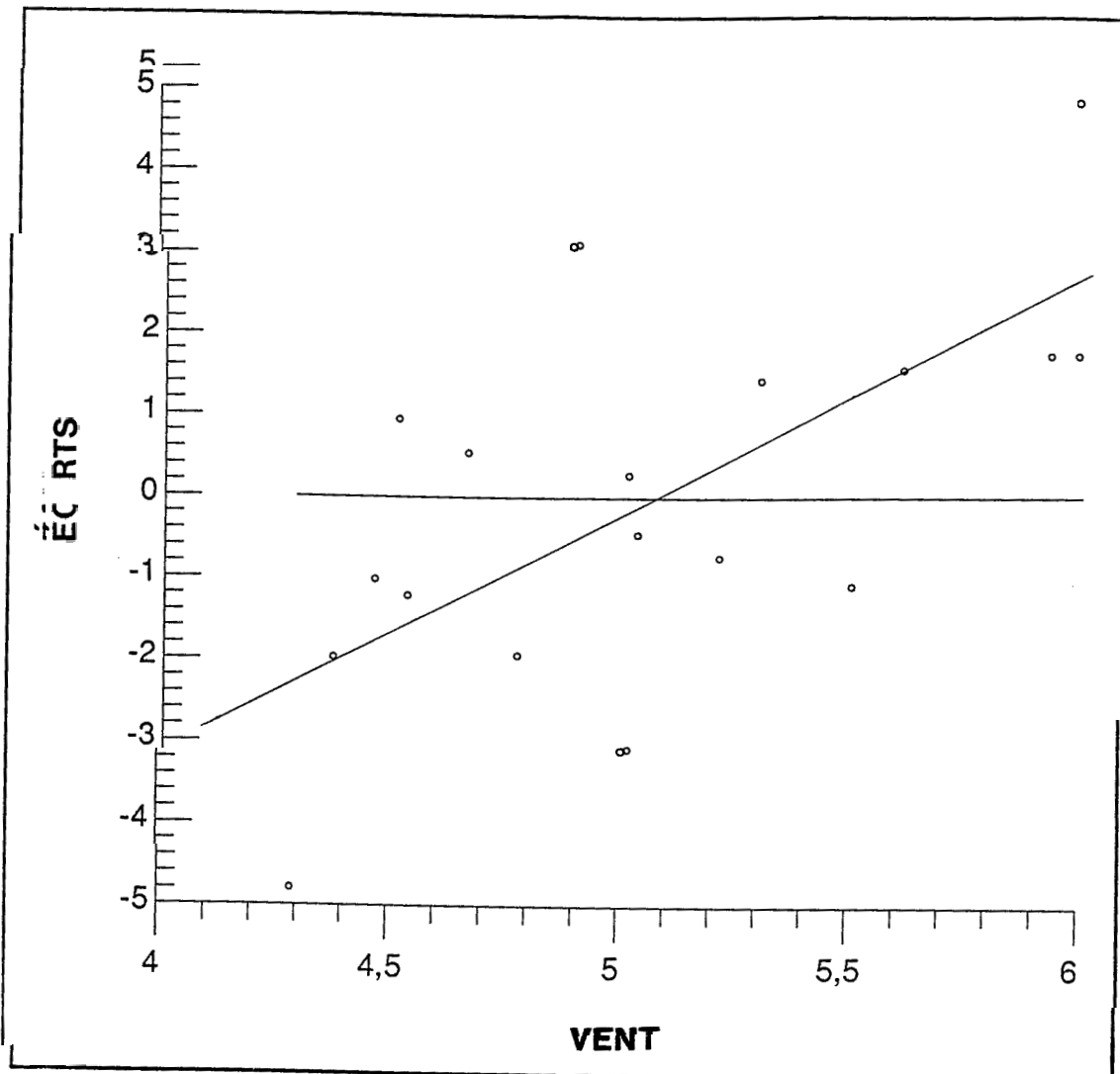


Figure 11.11 Relation entre les écarts autour de la droite de régression PUE-effort et la vitesse du vent.

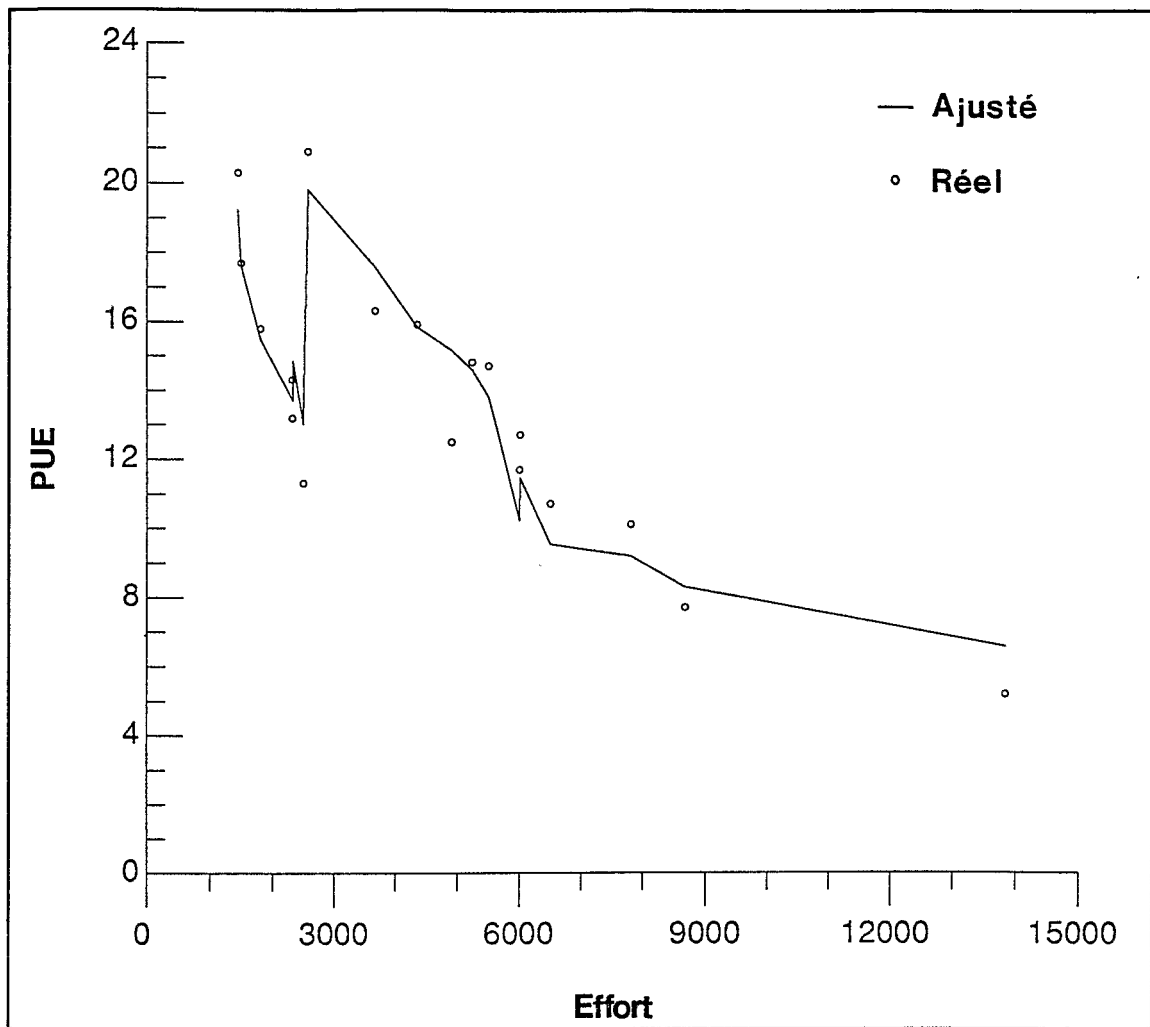
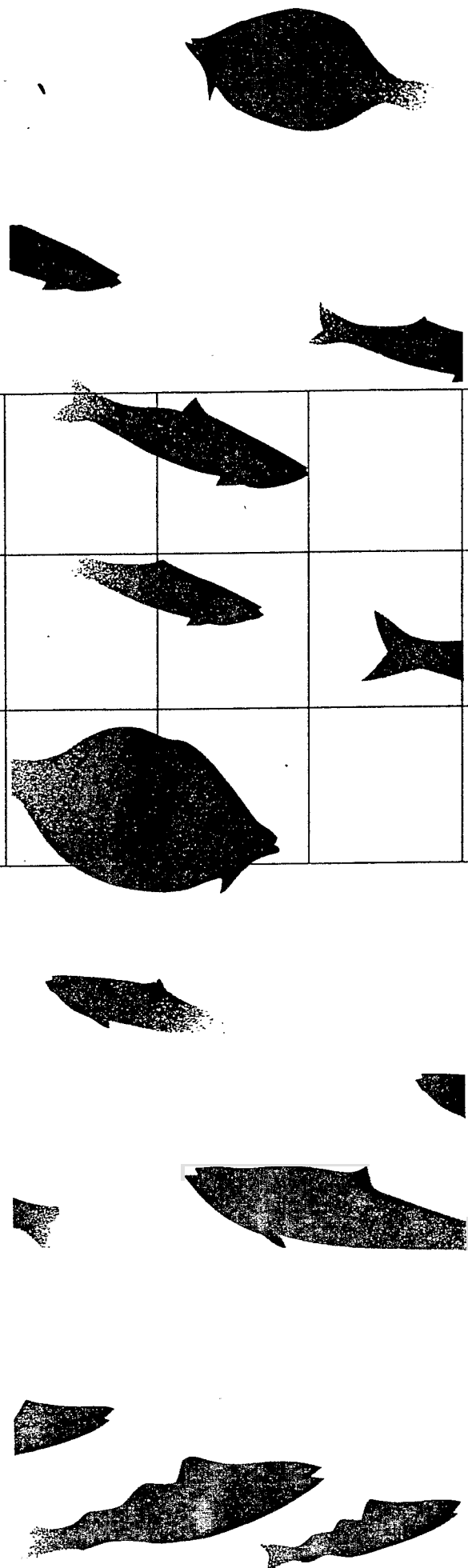


Figure 11.12 Relation entre la PUE et l'effort de pêche pour la sardinelle sénégalaise, ajustée par rapport à la vitesse du vent selon un modèle non linéaire.



Centre international d'exploitation des océans
International Centre for Ocean Development

The cover features several black silhouettes of fish of various species, scattered across the page. Some are positioned within a grid, while others are outside it. The fish are shown in various orientations, some swimming towards the left and others towards the right.

Méthodes d'évaluation des stocks halieutiques

(Volume I)

J.-C. Brêthes
et R. N. O'Boyle
(Éditeurs)

B 37887, ex 1

Centre international d'exploitation des océans (Canada)

**MÉTHODES D'ÉVALUATION DES
STOCKS HALIEUTIQUES**
(Volume I)

Édité par

Jean-Claude Brêthes¹

*Centre international d'exploitation des océans
5670, Chemin Spring Garden, 9^{ème} Étage
Halifax, Nouvelle-Écosse
Canada B3J 1H6*

et

Robert N. O'Boyle

*Division des poissons de mer
Ministère des Pêches et des Océans du Canada
Institut océanographique de Bedford
C.P. 1006
Dartmouth, Nouvelle-Écosse
Canada B2Y 4A2*

Avec la collaboration de

**Maryama Barry-Gérard, Michael Chadwick, Ghislain Chouinard,
Lynn Cleary, Philippe Cury, Abdelouahed Idelhaj, Mustapha Kébé,
Francis Laloë, Jean-Jacques Lévénéz, Ian Mcquinn,
Jose Pereiro, Djiby Thiam.**

¹ - Adresse actuelle: Université du Québec à Rimouski, 300, Allée des Ursulines, Rimouski, Québec, Canada G5L 3A1.