

Cah. O.R.S.T.O.M., série Océanogr., vol. V, n° 2, 1967.

MÉTHODE NOUVELLE D'APPLICATION DU MODÈLE DE SCHAEFER AUX POPULATIONS EXPLOITÉES D'ALBACORES DANS L'ATLANTIQUE

par J.-C. LE GUEN¹ et J.-P. WISE²

RÉSUMÉ

Le modèle mathématique de Schaefer, appliqué à l'étude d'une population de poissons soumise à la pêche, permet d'estimer la droite d'équilibre $U = a + bF$ dans laquelle U représente la prise par unité d'effort et F l'effort de pêche. Nous décrivons une nouvelle méthode d'approche de cette droite d'équilibre faisant intervenir le facteur temps dt de l'équation :

$$\frac{dP}{dt} = k_1 P(L-P) - k_2 PF$$

Appliquée aux pêcheries de flétans (halibut) et d'albacores (yellowfin) du Pacifique, cette méthode nous a conduit à des résultats presque identiques à ceux obtenus par Schaefer (1954, 1957). Nous avons de la même façon étudié la pêcherie d'albacores de l'Atlantique, exploitée par les palangriers japonais de 1956 à 1963. Les meilleures conditions d'équilibre seraient obtenues avec un effort de pêche de l'ordre de 15 millions d'hameçons.

SUMMARY

The mathematical model of Schaefer, applied to the study of fish population under exploitation by a fishery, allows to estimate the equation of the line of equilibrium conditions $U = a + bF$ in which

(1) LE GUEN (J. C.), Chargé de Recherches, O.R.S.T.O.M., Pointe-Noire.

(2) WISE (J. P.), Fisheries biologist, Bureau of commercial fisheries (T.A.B.L.), Miami.

U is the catch per unit effort and F the fishing effort. We describe here a new method of approach which includes the time factor dt of the equation:

$$\frac{dP}{dt} = k_1 P(L-P) - k_2 PF$$

Applied to the halibut and yellowfin Pacific fisheries this method has led us to results almost identical with those of Schaefer (1954, 1957). We have studied the Japanese long line fishery in the Tropical Atlantic from 1956 to 1963. Maximum equilibrium catch for Yellowfin would be obtained by fishing effort of about 15 millions hooks.

Le modèle mathématique employé par M. B. Schaefer (1954) pour étudier la dynamique des populations de Poissons soumises à une pêche commerciale, est comparable au modèle utilisé pour analyser les relations prédateurs-proies (Gause, 1934 ; Lotka, 1925). Il suppose que tous les facteurs d'environnement, excepté la prédation par l'homme c'est-à-dire l'intensité de la pêche, varient de façon aléatoire et peuvent être considérés comme constants, quelle que soit la taille de la population considérée. L'équation de base du modèle de Schaefer est alors l'équation logistique de Verhulst-Pearl

$$\frac{dP}{dt} = k_1 P(L - P) \quad (1)$$

dans laquelle $\frac{dP}{dt}$ représente le taux naturel instantané d'accroissement du stock en l'absence de pêche, P le stock c'est-à-dire l'effectif ou le poids total de la population étudiée, L le stock maximal compatible avec l'espace vital et la quantité de nourriture disponible dans le milieu, et k_1 un coefficient constant. Cette équation logistique a été utilisée avec succès pour décrire la croissance d'une variété considérable d'organismes allant de la mouche des fruits aux humains (Pearl, 1925).

La prise moyenne par unité d'effort de pêche U est proportionnelle à la taille moyenne de la population

$$U = k_2 P \quad (2)$$

et en appelant F l'effort de pêche, $UF = k_2 PF$ représente la prédation par l'homme. A chaque instant la croissance de la population pêchée est égale à la croissance naturelle moins la prédation due à la pêche.

$$\frac{dP}{dt} = k_1 P(L - P) - k_2 PF \quad (3)$$

On admet en outre que les changements dans l'intensité de la pêche obéissent à la loi suivante

$$\frac{dF}{dt} = k_3 F(P - b) \quad (4)$$

Dans cette équation, k_3 est une constante et b représente le « niveau économique du stock » tel que le coût des opérations de pêche soit égal aux bénéfices ; dF ayant le signe de $(P - b)$, quand le stock diminue au point de dépasser son niveau économique, dF devient négatif c'est-à-dire que l'effort de pêche décroît : les pêcheurs n'étant plus intéressés tendent à désertter les lieux de pêche.

En l'absence de toute régulation imposée par l'homme, la relation entre P et F est obtenue en divisant l'une par l'autre les équations (3) et (4)

$$\frac{dP}{dF} = \frac{k_1 P(L - P) - k_2 PF}{k_3 F(P - b)} \quad (5)$$

D'après Lotka (1923), la courbe représentative de $P = \psi(F)$ est alors une spirale qui s'enroule autour d'un pôle asymptotique ayant pour coordonnées

$$F = \frac{k_1}{k_2} (L - b) \text{ et } P = b \quad (\text{Fig 1.})$$

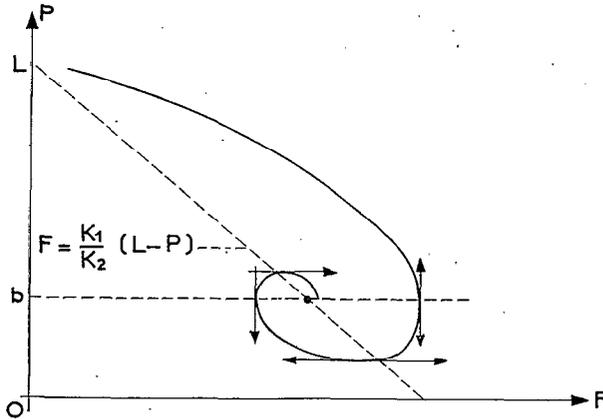


Fig. 1. — Relation entre le stock P, en ordonnées, et l'effort de pêche F, en abscisses. En traits interrompus, lieu des tangentes horizontales et verticales.

Le lieu des tangentes horizontales est défini par l'équation $\frac{dP}{dF} = 0$, c'est donc la droite

$$F = \frac{k_1}{k_2} (L - P)$$

Le lieu des tangentes verticales est défini par l'équation $\frac{dP}{dF} = \infty$, c'est donc la droite horizontale

$$P = b$$

P oscille au-dessus et au-dessous du niveau $P = b$, les oscillations devenant de plus en plus amorties. F oscille de façon semblable autour de la valeur $F = \frac{k_1}{k_2} (L - b)$. Mais en réalité le niveau économique pouvant varier d'année en année, le lieu des tangentes verticales n'est pas fixe. Par contre la droite lieu des tangentes horizontales, est indépendante de la valeur de b . Cette droite définie par l'équation $F = \frac{k_1}{k_2} (L - P)$ sera appelée « droite d'équilibre » (line of equilibrium conditions de Schaefer). En effet, lorsque la régulation par l'homme s'effectue en imposant une valeur donnée à l'effort de pêche F, elle représente le lieu des conditions d'équilibre entre F et P.

Dans la pratique, il est intéressant de faire apparaître la prise par unité d'effort U. Pour cela il suffit de remplacer P par $\frac{U}{k_2}$. L'équation de la droite d'équilibre devient alors

$$F = \frac{k_1}{k_2} (L_u - U) \quad (6)$$

dans laquelle $L_u = k_2 L$ est la prise par unité d'effort correspondant au stock maximal L. Dans la suite de l'exposé, le niveau du stock sera défini par la valeur U et non plus par P.

Le but de la dynamique des populations est de déterminer l'équation (6) de la droite d'équilibre. Schaefer a décrit pour cela deux méthodes. La première (Schaefer, 1954) nécessite la connaissance du coefficient k_2 , obtenu par une étude préliminaire de la mortalité f due à la pêche. On a en effet

$$f = 1 - e^{-Fk_2} \quad (\text{Gulland, 1964})$$

La seconde méthode (Schaefer, 1957) est basée sur l'étude des variations $\Delta \bar{U}_i$ de la prise par unité d'effort durant l'année i , variations estimées égales à

$$\Delta \bar{U}_i = \frac{\bar{U}_{i+1} - \bar{U}_{i-1}}{2}$$

Cette méthode plus approximative que la première ne fait pas intervenir le facteur constant k_2 . L'équation de la droite d'équilibre est estimée à partir des statistiques annuelles de débarquements des pêcheries, en calculant pour chaque année l'effort total de pêche F et la prise moyenne par unité d'effort \bar{U} .

Nous nous proposons de décrire une troisième méthode d'estimation de l'équation de la droite d'équilibre à partir des mêmes statistiques de débarquements, c'est-à-dire à partir des valeurs annuelles de F et \bar{U} , en faisant intervenir le facteur temps qui disparaît dans l'équation générale (5) de Schaefer obtenue en divisant $\frac{dU}{dt}$ par $\frac{dF}{dt}$. Nous supposons que l'effort de pêche F , appliqué pendant une année à une population U , entraîne une variation ΔU conduisant à un état d'équilibre entre F et U au bout d'un temps Δt . Cet état d'équilibre peut être atteint soit l'année même où l'effort de pêche F est appliqué, soit au cours des années suivantes. Ne disposant que des valeurs annuelles pour U et F , il nous est impossible de connaître les valeurs exactes de ΔU et Δt et nous pouvons seulement calculer les variations $\Delta \bar{U}_n$ observées au bout d'un nombre entier d'années, $\Delta t = 0, 1, 2, 3, \dots$ etc.

Supposons que la variation ΔU se fasse sentir l'année même où l'effort F est appliqué. Quelle que soit l'année n , on aura toujours $\Delta \bar{U}_n \simeq 0$. L'ensemble des points (\bar{U}_n, F_n) se trouvera donc au voisinage de la droite d'équilibre pour laquelle $\frac{dU}{dt} = 0$. Toute droite d'ajustement représentant l'ensemble des points (\bar{U}_n, F_n) pourra être considérée comme une estimation de la droite d'équilibre cherchée.

Si, par contre, la variation se fait seulement sentir dans le courant de la x ième année suivant l'application de l'effort F , la valeur la plus proche de celle du stock $\bar{U}_n + \Delta \bar{U}_n$ que nous puissions connaître sera \bar{U}_{n+x} . D'où

$$\Delta \bar{U}_n = \bar{U}_{n+x} - \bar{U}_n$$

Dans ce cas, ce sont les points (\bar{U}_{n+x}, F_n) qui sont les plus voisins de la droite d'équilibre et toute droite d'ajustement représentant l'ensemble de ces points pourra être considérée comme une estimation de la droite d'équilibre cherchée.

Si l'on connaissait x , on pourrait obtenir une première estimation à partir de l'ensemble des valeurs annuelles \bar{U}_n et F_n en associant, pour chaque valeur de n , \bar{U}_{n+x} et F_n . Mais en général x est inconnu ; tout ce que nous pouvons dire c'est que, si notre hypothèse de travail est fondée et notre méthode valable, les points (\bar{U}_{n+x}, F_n) seront plus près de la position d'équilibre, c'est-à-dire mieux alignés que les points (\bar{U}_n, F_n) , (\bar{U}_{n+1}, F_n) , etc.

On calculera donc les différents coefficients de corrélation entre les groupes successifs de variables

$$\begin{array}{l} \overline{U}_n \quad \text{et } F_n \\ \overline{U}_{n+1} \quad \text{et } F_n \\ \dots\dots\dots \\ \overline{U}_{n+x} \quad \text{et } F_n \\ \dots\dots\dots \end{array}$$

et on cherchera pour quelle valeur de x on obtient la meilleure corrélation c'est-à-dire le meilleur alignement. Enfin on remarquera que \overline{U}_0 , prise maximale par unité d'effort au début de l'exploitation du stock, n'est autre que l'ordonnée du point où la droite d'équilibre coupe l'axe des U . En effet, l'équation (6) montre que si $F = 0$, on a alors $\overline{U}_0 = L_u$. L'estimation de la droite d'équilibre devra donc passer au voisinage du point $(\overline{U}_0, 0)$. La figure 2 montre la position des points théoriques pour les quatre cas où Δt prend les valeurs entières 0, 1, 2 et 3. On voit immédiatement que les points (\overline{U}_n, F_n) sont d'autant plus éloignés de la position d'équilibre que Δt est plus grand. On note également que si $\Delta t = x$, on a $\overline{U}_0 = \overline{U}_1 = \overline{U}_2 \dots = \overline{U}_x$, c'est-à-dire que les prises par unité d'effort restent stables à leur niveau maximal durant les x premières années d'exploitation du stock.

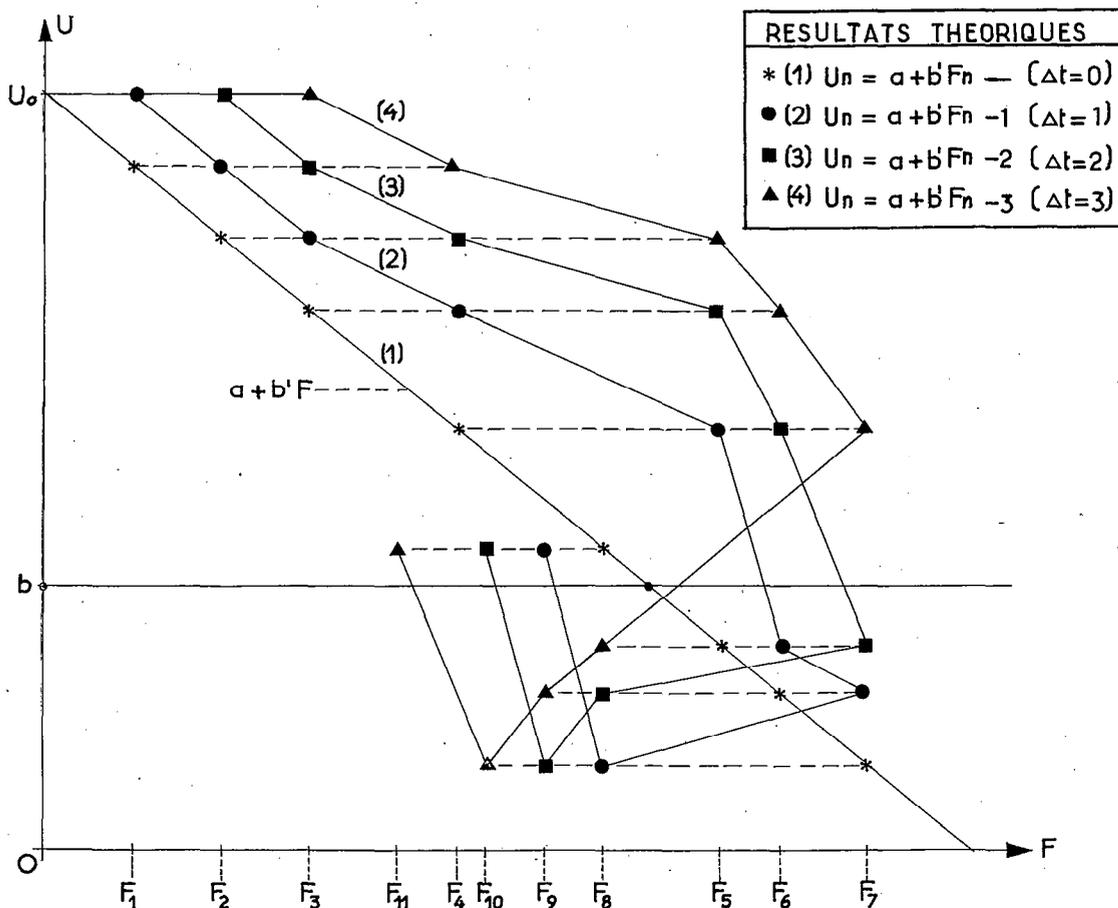


Fig. 2. — Situation des points (U, F) lorsque $\Delta t = 0, 1, 2, 3$. U , en ordonnées, représente le stock; F_1, \dots, F_{11} , en abscisses, représentent les efforts de pêche de 11 années successives.

EXEMPLE 1. — Schaefer (1954) a étudié la population de flétans (halibut) du Pacifique (*Hippoglossus stenolepis*) dans la région sud du Cap Spencer. L'effort de pêche était exprimé en paniers (skates) et la prise par unité d'effort en livres (pounds) et l'équation de la droite d'équilibre, obtenue à partir de la détermination préalable de k_2 était : $U = 156,1 - 0,00021 F$.

Reprenant les mêmes données et les mêmes unités, nous avons calculé les équations des droites de régression de U en F, à partir des points $(\overline{U}_{n+x}, F_n)$ pour x variant de 0 à 4. A la suite de chaque équation, nous donnons le nombre N de points utilisés, le coefficient de corrélation R entre F et U et l'écart-type SD obtenu à partir de la meilleure estimation de la variance liée (1).

Les résultats suivants ont été obtenus :

x	Droite de régression	N	R	SD
0	$U = 146,3 - 0,00019 F$	33	-0,795	11,8
1	$U = 133,3 - 0,00016 F$	32	-0,795	10,7
2	$U = 125,3 - 0,00014 F$	31	-0,835	8,4
3	$U = 115,3 - 0,00012 F$	30	-0,690	11,1
4	$U = 96,4 - 0,00008 F$	29	-0,478	12,5

Nous savons que dans les débuts de la pêcherie la prise par unité d'effort était nettement supérieure à 146,3. Les valeurs de U_0 figurant dans les équations des droites de régression pour $x = 1, 2, 3, 4$ sont donc trop faibles, et nous sommes conduits à choisir comme estimation de la droite d'équilibre la droite de régression correspondant à $x = 0$. Son équation est

$$U = 146,3 - 0,00019 F$$

cette équation étant très voisine de celle trouvée par Schaefer

$$U = 156,1 - 0,00021 F$$

EXEMPLE 2. — Schaefer (1957) a étudié la population d'albacores ou yellowfin (*Thunnus macropterus*) du Pacifique Tropical Est, à partir des statistiques de débarquements, sans faire intervenir cette fois le coefficient k_2 . L'unité d'effort de pêche était égale à quatre jours standard de pêche et la prise par unité d'effort était exprimée en livres. L'équation obtenue était :

$$U = 11\ 246 - 0,16384 F$$

Reprenant les mêmes données et les mêmes unités, nous avons obtenu les résultats suivants :

x	Droite de régression	N	R	SD
0	$11\ 356 - 0,16586 F$	22	-0,775	1347
1	$10\ 853 - 0,14026 F$	21	-0,689	1544
2	$10\ 627 - 0,13529 F$	20	-0,675	1573
3	$10\ 703 - 0,16102 F$	19	-0,725	1468
4	$10\ 699 - 0,18362 F$	18	-0,757	1390
5	$10\ 469 - 0,17534 F$	17	-0,725	1467

(1) La droite de régression de U en F est telle que la somme des carrés des distances des points observés à la droite, Σd^2 , soit minimale. Cette valeur minimale est égale à $N\sigma_F^2(1-R^2)$, avec 2 degrés de liberté. La meilleure estimation de la variance correspondante, dite variance liée, est donc $\frac{N\sigma_F^2(1-R^2)}{N-2}$.

Dans les données dont nous disposions, la meilleure prise moyenne annuelle \bar{U} était de 11 571 livres en 1936. Ici encore nous choisirons comme estimation de la droite d'équilibre la droite de régression obtenue pour $x = 0$ et dont l'équation est

$$U = 11\,356 - 0,16586 F$$

très voisine de celle trouvée par Schaefer.

Il est à remarquer que les droites de régression obtenues pour $x = 1, 2, \dots, 5$ sont toutes très voisines les unes des autres et que les coefficients de corrélation sont tous très élevés. Ceci permet de comprendre les résultats auxquels était arrivé J. A. Gulland (1961) dans un travail sur la pêche en Islande. Cet auteur avait, pour la première fois, émis l'hypothèse d'une relation entre l'état d'une pêcherie une année donnée et l'effort de pêche durant les trois années précédentes. Pour voir s'il en est bien ainsi pour la pêcherie d'albacores du Pacifique, nous avons étudié la corrélation entre \bar{U}_n et $F' = \frac{F_n + F_{n-1} + F_{n-2}}{3}$. La droite de régression a pour équation :

$$U = 11\,229 - 0,16783 F'$$

avec $N = 20$, $R = -0,761$ et $SD = 1383$.

Nous avons de même étudié la corrélation entre \bar{U}_n et $F' = \frac{F_{n-1} + F_{n-2} + F_{n-3}}{3}$. L'équation de la droite de régression est :

$$U = 11\,019 - 0,16489 F'$$

avec $N = 20$, $R = -0,726$ et $SD = 1484$.

Entre \bar{U}_n et $F' = \frac{F_{n-2} + F_{n-3} + F_{n-4}}{3}$ l'équation de la droite de régression est :

$$U = 10\,844 - 0,17302 F'$$

avec $N = 20$, $R = -0,722$ et $SD = 1465$.

Ces dernières équations sont très voisines et très semblables à l'équation de la droite d'équilibre obtenue précédemment.

Les données utilisées par Schaefer en 1957 et que nous avons reprises intégralement, couvraient la période 1935-1954. Or nous disposons actuellement des données couvrant la période 1954-1965 (1). A partir de l'ensemble de ces données, et si l'on admet $\Delta t = 0$ comme plus haut, la droite de régression des points (\bar{U}_n, F_n) a pour équation :

$$U = 11\,254 - 0,16645 F$$

avec $N = 32$, $R = -0,858$ et $SD = 1267$. Le coefficient de corrélation est encore plus élevé que tous ceux trouvés précédemment et la droite de régression est extrêmement voisine de la droite d'équilibre estimée par Schaefer et qui avait pour équation $U = 11\,246 - 0,16384 F$.

Notre méthode d'estimation de la droite d'équilibre qui tient compte de la meilleure corrélation et de la meilleure évaluation de U_0 , conduit donc à des résultats équivalents à ceux obtenus par la méthode de Schaefer. Elle doit se montrer particulièrement précise pour l'étude d'une pêcherie à ses débuts, comme c'est le cas dans l'exemple suivant, car on possède alors une meilleure connaissance de la vraie valeur de U_0 .

(1) Ces données sont disponibles à l'Inter-American Tropical Tuna Commission.

EXEMPLE 3. — Étude de la pêche de l'albacore de l'Atlantique (*Thunnus albacares*) par les palangriers japonais. Cette pêche a débuté après une première campagne de prospection effectuée au large de l'Amérique du Sud en décembre 1955 et de nombreuses campagnes fructueuses dans tout l'Atlantique tropical en 1956. Mais la pêcherie industrielle ne s'est réellement installée qu'en 1957 (Shomura, 1966). Des statistiques détaillées ont été récemment publiées par Shiohama, Myojin et Sakamoto (1965) ainsi que par la « Fisheries Agency of Japan » (1966). Ces statistiques ne couvrent pas toutes les marées effectuées, comme on peut le constater dans le tableau suivant :

Année	Nombre total de marées	Nombre de marées couvertes par les statistiques
1956	4	4 soit 100 %
1957	60	52 — 87 %
1958	131	51 — 39 %
1959	189	96 — 51 %
1960	243	181 — 74 %
1961	258	204 — 79 %
1962	331	196 — 59 %
1963	368	230 — 63 %

Dans la suite, nous admettrons que les données dont nous disposons, effort, prise et distribution géographique, sont représentatives pour toute la flotte de pêche.

Dans un travail présenté au Symposium sur l'Océanographie et les ressources halieutiques de l'Atlantique tropical, tenu à Abidjan en octobre 1966, nous avons divisé l'Atlantique tropical en dix aires, tenant compte dans la mesure du possible des facteurs écologiques et des différentes

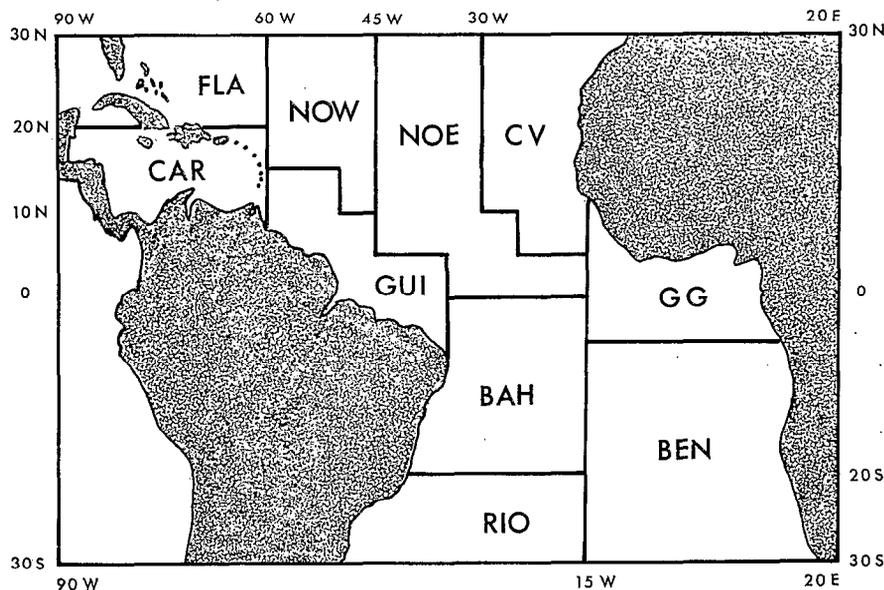


Fig. 3. — Limites des aires de pêche utilisées dans l'étude de la pêche de l'albacore.

concentrations de l'effort de pêche. Les noms de ces aires, dont les limites sont représentées sur la figure 3, ont été abrégés de la façon suivante :

Floride.....	FLA	Guyanes.....	GUI
Zone océanique Nord-Ouest.....	NOW	Golfe de Guinée.....	GG
Zone océanique Nord-Est.....	NOE	Bahia.....	BAH
Cap-Vert.....	CV	Benguela.....	BEN
Caraïbes.....	CAR	Rio de Janeiro.....	RIO

D'une étude d'ensemble de la pêche par les palangriers (Wise et Le Guen, 1966), il ressort que six de ces aires, GG, CV, NOE, NOW, GUI et CAR, peuvent être considérées comme des aires de pêche à l'albacore. La capture de ce poisson y est en effet l'objectif essentiel des pêcheurs et les prises d'autres espèces peuvent y être considérées comme occasionnelles. Dans les deux aires BAH et BEN, la pêcherie est mixte, les navires passant au cours de l'année des concentrations d'albacores à celles de germons. Enfin dans les deux dernières aires, FLA et RIO, l'albacore constitue une partie négligeable des prises.

L'étude qui suit se borne à l'ensemble des 6 aires à albacores précédemment définies. Pour chacune d'elles, nous disposons des valeurs des efforts de pêche annuels en milliers d'hameçons et des prises moyennes annuelles par unité d'effort en nombre de poissons pris pour 1000 hameçons (voir annexes, tables 1 et 2). En plus des 6 aires précédentes prises isolément, nous avons également considéré les groupements de 2 ou 3 aires contiguës ainsi que la totalité des 6 aires. Pour ces 7 nouvelles aires (GUI+CAR), (NOE+NOW), (GG+CV), (GG+CV+NOE), (NOE+GUI), (CV+NOE) et (GUI+CAR+NOE+NOW+GG+CV), les efforts de pêche annuels peuvent être directement tirés de la table 1. Quant aux prises moyennes annuelles par unité d'effort, elles figurent en annexe (table 3).

Pour chacune des 6 aires prises isolément et pour les 7 nouvelles aires définies précédemment nous avons calculé les coefficients de corrélation entre \bar{U} , prise moyenne annuelle par unité d'effort, et F_x , effort de pêche x années plus tôt ($x = 0, 1, 2, 3, 4$). Les résultats sont groupés dans le tableau suivant :

AIRES	COEFFICIENTS DE CORRÉLATION				
	U-F	U-F ₋₁	U-F ₋₂	U-F ₋₃	U-F ₋₄
GG.....	-0,72	-0,83	-0,87	-0,89	-0,91
GUI.....	-0,40	-0,71	-0,60	-0,81	-0,68
NOE.....	-0,82	-0,71	-0,90	-0,90	-0,78
CV.....	-0,77	-0,90	-0,97	-0,84	-0,67
CAR.....	-0,22	-0,27	-0,83	-0,54	-0,32
NOW.....	-0,67	-0,60	-0,82	-0,78	-0,65
GUI+CAR.....	-0,30	-0,61	-0,69	-0,84	-0,63
NOE+NOW.....	-0,81	-0,71	-0,90	-0,90	-0,80
GG+CV.....	-0,81	-0,93	-0,94	-0,91	-0,85
GG+CV+NOE.....	-0,91	-0,91	-0,96	-0,95	-0,87
NOE+GUI.....	-0,69	-0,72	-0,81	-0,85	-0,84
CV+NOE.....	-0,87	-0,84	-0,96	-0,90	-0,76
Ensemble des 6 aires...	-0,90	-0,87	-0,95	-0,97	-0,89

On constate que les meilleures corrélations sont celles entre U et F_{-2} ou F_{-3} . D'ailleurs les tables 2 et 3 figurant en annexe montrent aussi que le déclin de la pêcherie n'est observable que la troisième ou la quatrième année suivant le début de son exploitation. Nous admettrons donc que Δt est compris entre 2 et 3. A titre de vérification nous avons également calculé les coefficients de corrélation entre U et $F' = \frac{F_{-x} + F_{-(x+1)}}{2}$ et entre U et $F'' = \frac{F_{-x} + F_{-(x+1)} + F_{-(x+2)}}{3}$ pour $x = 0, 1, 2$ et 3 .

Les meilleures corrélations sont obtenues entre U et $\frac{F_{-2} + F_{-3}}{2}$ d'une part et entre U et $\frac{F_{-1} + F_{-2} + F_{-3}}{3}$ d'autre part.

En fait, l'ensemble des données que nous possédons actuellement sur la pêche à l'albacore dans l'Atlantique tropical nous a conduit à grouper les six aires en trois zones seulement, une zone ouest (GUI+CAR), une zone centrale (NOE+NOW) et une zone est (CV+GG). Pour chacune de ces zones nous choisirons entre les deux droites de régression de U en F_{-2} et F_{-3} celle qui correspond au meilleur coefficient de corrélation. La droite ainsi choisie sera considérée comme la droite d'équilibre $U = a + bF$.

La prise équilibrée, en nombre de poissons, sera alors :

$$C = F.U = aF + bF^2$$

et la prise maximale équilibrée C_m est obtenue lorsque $F_m = -\frac{a}{2b}$ en milliers d'hameçons.

Pour la zone ouest (GUI+CAR), la droite d'équilibre estimée, $U = a + bF_{-3}$, a pour équation :

$$U = 64,4615 - 0,011892 F$$

avec $N = 8$, $R = -0,843$ et $SD = 12,0385$.

$F_{mO} = 2710 \pm 506$ et $C_{mO} = 87343 \pm 16308$.

Pour la zone est (GG+CV), la droite d'équilibre estimée, $U = a + bF_{-2}$ a pour équation :

$$U = 100,4063 - 0,0067995 F$$

avec $N = 7$, $R = -0,945$ et $SD = 12,0025$.

$F_{mE} = 7383 \pm 882$ et $C_{mE} = 370648 \pm 44279$.

Pour la zone centrale (NOE+NOW), nous avons deux droites d'équilibre estimées possibles, $U = a + bF_{-2}$ et $U = a + bF_{-3}$, ayant pour équations :

$$U = 84,2790 - 0,020966 F$$

avec $N = 8$, $R = -0,908$ et $SD = 14,4499$.

$$U = 77,0879 - 0,020262 F$$

avec $N = 8$, $R = -0,908$ et $SD = 14,4431$.

Comme estimation de l'effort de pêche F_{mC} correspondant à la prise maximale équilibrée, nous prendrons la moyenne des deux efforts calculés à partir de chacune des droites précédentes ; nous ferons de même pour C_{mC} . On trouve : $F_{mC} = 1955 \pm 350$ et $C_{mC} = 78994 \pm 14119$.

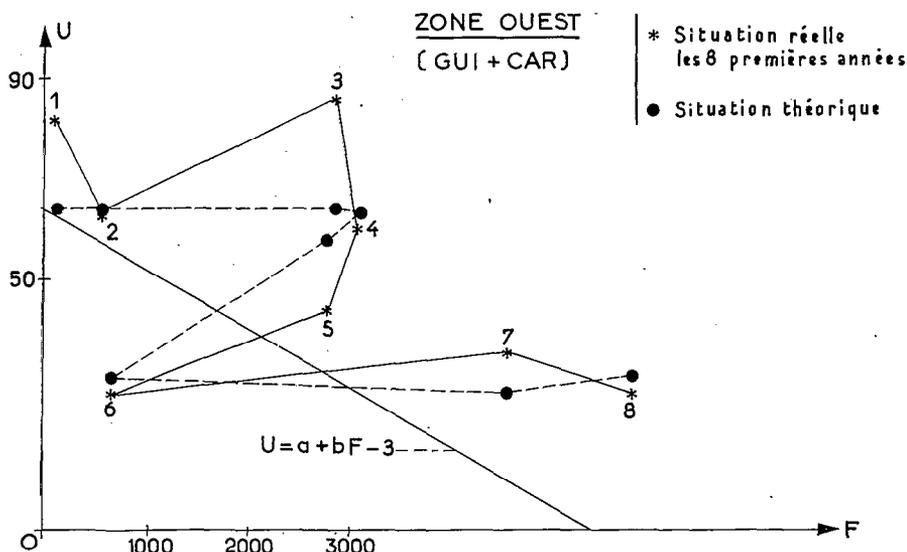


Fig. 4. — Évolution de la pêcherie au cours des 8 premières années. En ordonnées, nombres de poissons pour 1 000 hameçons ; en abscisses, efforts de pêche en milliers d'hameçons.

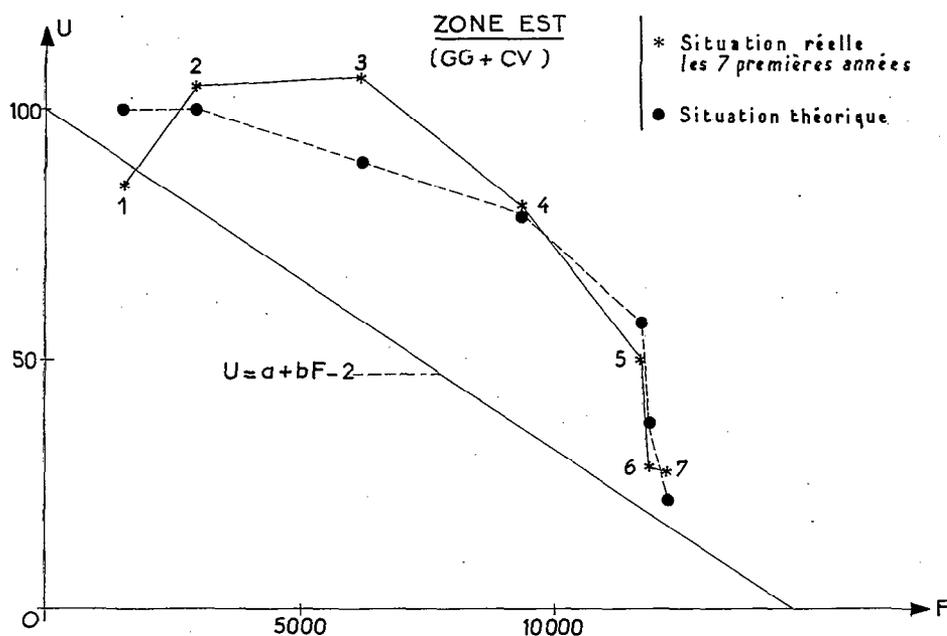


Fig. 5. — Évolution de la pêcherie au cours des 7 premières années. En ordonnées, nombres de poissons pour 1 000 hameçons ; en abscisses, efforts de pêche en milliers d'hameçons.

Les figures 4 et 5 représentent l'évolution de la pêcherie dans les zones ouest et est. Les points théoriques obtenus à partir des lois $U = a + bF - 3$ pour la zone ouest et $U = a + bF - 2$ pour la zone est, ont été portés sur ces figures, ainsi que les droites d'équilibre. Les points observés sont suffisamment voisins des points théoriques pour que l'on admette la validité des lois de corrélation précédentes.

Pour l'ensemble des 6 aires à albacores on obtient :

$$F_m = F_{mO} + F_{mE} + F_{mC} = 12048 \pm 1738$$

$$C_m = C_{mO} + C_{mE} + C_{mC} = 536985 \pm 74706.$$

Sachant que Δt est compris entre 2 et 3, on peut espérer obtenir un résultat voisin du précédent en considérant l'ensemble des 6 aires et en prenant comme estimation de la droite d'équilibre la droite de régression

$$U = a + b \frac{F_{-1} + F_{-2} + F_{-3}}{3}$$

Cette méthode, qui est celle de Gulland, conduit aux résultats suivants :

$$U = 92,5398 - 0,003892 F$$

avec $N = 8$, $R = -0,957$ et $SD = 9,2019$.

$F_m = 11888 \pm 1182$ et $C_m = 550056 \pm 54691$.

En première approximation, on peut donc penser que l'effort de pêche, pour les aires à albacores, devrait être maintenu aux environs de 12 millions d'hameçons, ce qui donnerait une prise maximale équilibrée de l'ordre de 550 000 poissons.

Les prises dans les aires BEN et BAH, dont nous n'avons pas tenu compte jusqu'à présent, ont représenté, de 1957 à 1963, 16 % du total capturé dans les 6 aires à albacores. En 1963, ce pourcentage atteignait 23 %. Les prises dans les zones FLA et RIO ont toujours été minimales. Si l'on estime à 23 % la partie du stock extérieure aux 6 aires à albacores, les valeurs de F_m et C_m précédemment trouvées sont à multiplier par 1,3 pour avoir une idée des conditions optimales d'équilibre entre l'effort de pêche et la prise annuelle pour l'ensemble du stock d'albacores de l'Atlantique tropical. Pour un effort de l'ordre de 15 millions d'hameçons, on aurait alors une prise maximale équilibrée de l'ordre de 715 000 poissons.

CONCLUSIONS

On sait que la pêche modifie le stock par prélèvements de poissons. Mais à cet effet qui se fait sentir à court terme dans une pêcherie peut s'ajouter une diminution observable à plus long terme et explicable de deux manières :

— plus l'intensité de pêche est forte une année donnée et plus la longueur moyenne et le poids des poissons capturés sont faibles (Beverton et Holt, 1957) ; les poissons prélevés auraient pu donner leur rendement maximal en poids x années plus tard ;

— s'il existe une relation entre l'état du stock reproducteur et le recrutement, il est possible qu'une forte diminution du stock une année donnée entraîne une importante diminution du recrutement dans la pêcherie x années plus tard.

Suivant l'importance relative de l'effet à court ou à long terme, on obtient pour Δt une valeur proche de 0 ou de x .

Dans l'étude des albacores de l'Atlantique, la prise par unité d'effort a été exprimée en nombre de poissons. Du fait que Δt a été trouvé compris entre 2 et 3, on peut déduire que l'effet à long terme est prépondérant. On ne peut l'expliquer que par une diminution du stock par le recrutement : les prélèvements importants effectués sur le stock encore inexploité se sont traduits par une diminution du recrutement x années plus tard.

Considérant uniquement les premières années d'exploitation de la pêcherie, il était très intéressant de calculer les coefficients de corrélation entre la prise moyenne annuelle par unité d'effort et la prise effectuée les années précédentes. Les résultats figurent dans le tableau suivant :

AIRES	COEFFICIENTS DE CORRÉLATION				
	$\bar{U}-C$	$\bar{U}-C_{-1}$	$\bar{U}-C_{-2}$	$\bar{U}-C_{-3}$	$\bar{U}-C_{-4}$
GG.....	-0,19	-0,46	-0,88	-0,93	-0,90
CV.....	-0,27	-0,42	-0,85	-0,87	-0,65
GUI.....	-0,23	-0,45	-0,47	-0,73	-0,62
NOE.....	-0,38	-0,55	-0,73	-0,91	-0,83
CAR.....	-0,14	-0,11	-0,61	-0,51	-0,39
NOW.....	-0,34	-0,62	-0,54	-0,77	-0,63
GUI+CAR.....	-0,08	-0,45	-0,59	-0,78	-0,58
GG+CV+NOE.....	-0,19	-0,58	-0,89	-0,97	-0,87
Ensemble des 6 aires...	-0,24	-0,56	-0,84	-0,97	-0,89

Les bonnes corrélations trouvées plus haut entre \bar{U} et F_{-2} ou F_{-3} sont confirmées par celles obtenues entre \bar{U} et C_{-2} et surtout \bar{U} et C_{-3} .

Les valeurs Δt obtenues pour les albacores du Pacifique et de l'Atlantique diffèrent pour de multiples raisons. Les méthodes de pêche, appât vivant dans un cas, palangres dans l'autre, entraînent un âge au recrutement différent. De plus les prises par unité d'effort sont exprimées dans le premier cas en poids et dans le second en nombre de poissons. Enfin le stade d'évolution des pêcheries n'est pas le même. Les premières données dans le Pacifique ont été récoltées alors que la pêcherie existait depuis longtemps déjà : ces données traduisent une situation où les oscillations $\Delta\bar{U}$ et ΔF sont relativement amorties. Les variations $\Delta\bar{U}_n$ sont difficilement discernables et les points (F_n, U_n) , (F_{n-x}, U_n) voisins les uns des autres sont également voisins de la droite d'équilibre.

Dans l'Atlantique au contraire, les données récoltées à la naissance de la pêcherie ne couvrent que ses huit premières années d'existence. Les variations $\Delta\bar{U}$ et ΔF sont alors maximales et les points (F_n, U_n) très éloignés de la droite d'équilibre. Dans ces conditions les pêcheurs obtiennent des résultats largement supérieurs à ceux compatibles avec les conditions d'équilibre.

La prise maximale équilibrée C_m que nous avons estimée dans l'Atlantique pour les albacores est la prise maximale en nombre de poissons. La valeur F_m correspondante n'aboutirait pas forcément à une prise maximale équilibrée en poids. Toutefois les conclusions de cette étude sont telles que toute régulation aurait pour but de diminuer l'effort de pêche consacré à l'albacore. Une telle diminution entraînerait forcément une augmentation de la longueur moyenne des captures et se traduirait finalement par un gain en poids.

Remerciements

Nous tenons à remercier MM. M. B. Schaefer, professeur à la Scripps Institution of Oceanography, La Jolla et J. Daget, directeur de Recherches à l'O.R.S.T.O.M., Paris, pour l'aide qu'ils nous ont apportée dans la rédaction de ce travail. Nous remercions également G. Ranallo et J. Schilz qui nous ont assistés dans le dépouillement et la présentation des données.

ANNEXE

TABLE 1

Efforts de pêche annuels en milliers d'hameçons

ANNÉE	GG	GUI	NOE	CV	CAR	NOW
1956	0	82	31	0	0	0
1957	1327	515	1218	234	5	1
1958	1799	2633	1627	1228	288	25
1959	2985	2822	3362	3293	257	91
1960	5004	2465	2914	4444	332	142
1961	7486	550	2102	4238	91	89
1962	5966	3231	9007	5834	1363	1780
1963	6476	3303	8059	5728	2553	3135

TABLE 2

Prise par unité d'effort (moyennes annuelles) en nombre de poissons pour 1 000 hameçons.

ANNÉE	GG	GUI	NOE	CV	CAR	NOW
1956	—	97	101	—	—	—
1957	86	66	73	80	—	—
1958	120	93	88	82	127	45
1959	122	59	62	95	72	55
1960	99	48	47	62	17	55
1961	64	34	29	27	19	9
1962	38	40	19	21	26	19
1963	33	20	17	23	39	5

TABLE 3

Prise par unité d'effort (moyennes annuelles) en nombre de poissons pour 1 000 hameçons

ANNÉE	GUI+CAR	NOE+NOW	GG+CV	GG+CV +NOE	NOE+GUI	CV+NOE	Ensemble des 6 aires
1956	97	101	—	101	98	101	98
1957	64	73	85	80	70	74	77
1958	87	87	105	99	85	85	94
1959	60	62	107	91	60	78	84
1960	43	48	81	73	47	56	68
1961	27	28	50	47	29	27	46
1962	36	19	29	25	24	19	26
1963	28	14	28	24	18	19	23

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANON., 1966. — Annual report of effort and catch statistics by area on Japanese tuna long line fishery, 1963. *Res. Div. Fish. Agency of Japan*, 322 p.
- BEVERTON (R. J. H.) et HOLT (S. J.), 1957. — On the Dynamics of exploited fish populations. *U. K. Min. Agr. and Fish., Fish. Invest.*, sér. 2, 19, 533 p.
- GULLAND (J. A.), 1961. — Fishing and the stocks of fish at Iceland. *U. K. Min. Agr. and Fish., Fish. Invest.*, ser. 2, 23, n° 4.
- , 1964. — Manual of methods of fish population analysis. *Bull. Techn. Peches F.A.O.*, 40, 64 p.
- LOTKA (A. J.), 1923. — Contribution to quantitative parasitology. *J. Wash. Acad. Sc.*, 13, n° 8, pp. 152-158.
- , 1925. — Elements of physical biology. *Baltimore*, Williams and Wilkins Co, 460 p.
- PEARL (R.), 1925. — The biology of population growth. *New York*, Alfred A. Knopf, 260 p.
- SCHAEFER (M. B.), 1954. — Some aspects of the dynamics of populations important to the management of the commercial marine fisheries. *Bull. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm.*, I, n° 2, pp. 26-56.
- , 1957. — A study of the dynamics of the fishery for Yellowfin Tuna in the Eastern Tropical Pacific Ocean. *Bull. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm.*, 2, n° 6, pp. 247-285.
- SHIOHAMA (T.), MYOJIN (M.) et SAKAMOTO (H.), 1965. — The catch statistics data for the Japanese Tuna long-line fishery in the Atlantic Ocean and some simple considerations on it. *Rep. Nankai Reg. Fish. Labor.*, n° 21, 131 p.
- SHOMURA (R. S.), 1966. — The Atlantic tuna fisheries, 1963. *Comm. Fish. Rev.*, 28, (5), pp. 1-11.
- WISE (J. P.) et LE GUEN (J. C.), 1966. — The Japanese Atlantic long-line fishery, 1956-1963. Contribution n° 35, *Bur. Comm. Fish., Miami*, 37 p.