

REMARQUES SUR L'INTERPRÉTATION DES MODÈLES LINÉAIRES ET EXPONENTIELS DE PRODUCTION ÉQUILBRÉE D'UN STOCK DE POISSONS

J. DAGET et J. C. LE GUEN

Océanographes biologistes de l'O.R.S.T.O.M.

RÉSUMÉ

Les Auteurs montrent l'intérêt d'introduire dans un modèle de production équilibrée les notions de niveau potentiel et de niveau économique du stock exploité. Une définition de la surexploitation biologique est proposée, celle-ci correspondrait théoriquement au passage d'une relation linéaire à une relation exponentielle entre la prise par unité d'effort U et l'effort total de pêche f . Certaines interprétations sont facilitées par l'emploi de deux modèles de Schaefer successifs au lieu d'un seul modèle de Fox.

ABSTRACT

The Authors point to the interest of introducing in an equilibrated yield model the notions of potential level and economical level for the exploited population size. A definition of the biological overfishing is proposed which theoretically would correspond to the passage of a linear relationship to an exponential one between catch per unit U and fishing effort f . Some interpretations are more easy, considering two successive linear models of Schaefer instead of a single exponential model of Fox.

Parmi les modèles de production équilibrée applicables aux stocks de Poissons, deux sont actuellement d'un usage courant :

— le modèle de Schaefer pour lequel on admet une relation statistiquement linéaire, de la forme $U = a - bf$, entre l'effort total de pêche f et la prise par unité d'effort U ;

— le modèle de Fox pour lequel on admet une relation exponentielle de la forme $\text{Log } U = a - b'f$, c'est-à-dire $U = a'e^{-b'f}$.

En remarquant que U doit prendre sa valeur maximale U_M pour $f = 0$ (cas d'un stock vierge en

début d'exploitation) les relations précédentes s'écrivent respectivement $U = U_M - bf$ et $U = U_M e^{-b'f}$. Pour certaines interprétations, il est préférable de faire apparaître le stock S à partir de la relation $U = qS$ qui définit le coefficient instantané de mortalité due à la pêche par unité d'effort q . On a alors $S = S_M - \frac{b}{q}f$ et $S = S_M e^{-b'f}$.

Un modèle de Schaefer est entièrement déterminé par la droite $U = U_M - bf$ dite droite de rendement équilibré ou droite d'équilibre. La courbe des prises équilibrées est donnée par l'équation $Y = Uf = U_M f - bf^2$. On reconnaît là l'équation d'une parabole.

La méthode la plus simple pour déterminer un modèle de Schaefer relatif à une pêcherie ou un stock donné, consistera donc à calculer l'équation de la droite d'ajustement qui représente au mieux l'ensemble des points annuels de coordonnées (U_n, f_n) et qui se trouvent plus ou moins dispersés autour de la droite d'équilibre. Il arrive assez souvent que l'effort de pêche auquel un stock est soumis une année déterminée, influence le recrutement et par conséquent les rendements une ou deux années plus tard. Dans ce cas, on obtient un meilleur ajustement à une droite en associant les couples de valeurs U_n et f_{n-1} ou f_{n-2} ou mieux encore U_n et $f = \frac{1}{2}(f_n + f_{n-1})$ ou $f = \frac{1}{3}(f_n + f_{n-1} + f_{n-2})$. Cette droite étant déterminée, il est facile de calculer la prise équilibrée maximale ainsi que l'effort de pêche correspondant. Il suffit de calculer les coordonnées du sommet de la parabole des prises équilibrées : $f = \frac{U_M}{2b}$ et $Y = \frac{U_M^2}{4b}$.

Un modèle de Fox se détermine de la même façon en calculant l'équation de la droite d'ajustement entre $\log U$ et f , la relation $U = U_M e^{-b'f}$ étant équivalente à $\log U = \log U_M - b'f \log e$. La courbe des prises équilibrées a pour équation $Y = U_M f e^{-b'f}$. On obtient la prise équilibrée maximale en calculant les coordonnées du sommet de cette courbe. On trouve $f = \frac{1}{b'}$ et $Y = \frac{U_M}{b'e}$.

Fox (1970) a montré les différences qui existent entre ces deux modèles, notamment en ce qui concerne la position du sommet et l'allure de la branche descendante de la courbe des prises équilibrées, ainsi que les conclusions à tirer lorsque l'effort total de pêche dépasse la valeur correspondant à la prise équilibrée maximale. Nous nous proposons d'attirer ici l'attention sur quelques points importants concernant l'interprétation de ces deux types de modèles et le domaine probable d'application de chacun d'eux. Pour cela deux éléments sont à considérer : le niveau économique et le niveau potentiel du stock.

Niveau économique.

Quel que soit le modèle, il existe sur la droite ou la courbe de rendement équilibré un point remarquable dit point de surexploitation économique. Au-delà de ce point, le rendement à l'unité d'effort devient trop faible pour que la poursuite de la pêche soit rentable : il y a surexploitation économique. En d'autres termes, si l'effort total de pêche est plus élevé que l'abscisse de ce point, le rendement à l'unité d'effort tombe au-dessous de son seuil de rentabilité et les pêcheurs sont obligés de renoncer à leur activité.

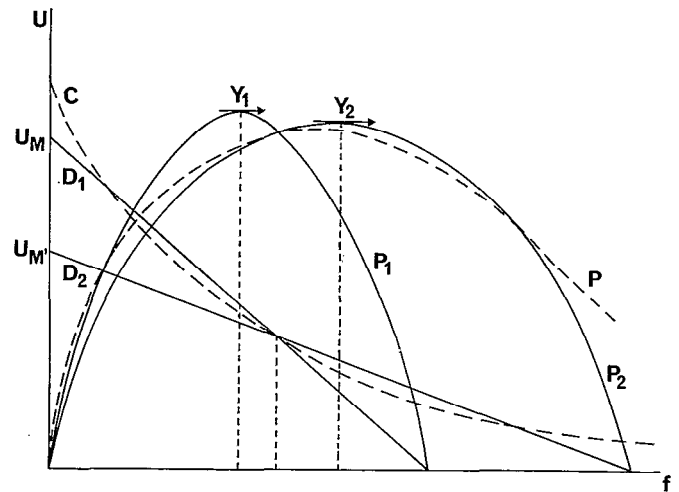


Fig. 1. — Cas schématisé d'une pêcherie sans surexploitation biologique (droite d'équilibre D_1 et parabole de prises équilibrées P_1) ou soumise à une surexploitation biologique, le niveau potentiel n'étant que 60 % du niveau potentiel maximal (droite d'équilibre D_2 et parabole de prises équilibrées P_2). Les prises équilibrées maximales sont respectivement Y_1 et Y_2 . Le modèle de Fox unique serait constitué par l'exponentielle C et la courbe de prises équilibrées P.

L'effort diminue alors et le rendement remonte. Il en résulte que les valeurs de f et de U réellement observées fluctuent autour des valeurs correspondant au niveau économique du stock. Ce dernier reste fixe tant que la conjoncture économique (cours du poisson, coût de l'armement, efficacité des engins de capture, technique de recherche du poisson, etc.) reste stable. Mais lorsque cette conjoncture varie, le niveau économique du stock monte ou descend. L'expérience montre que si le niveau économique varie peu autour de sa valeur moyenne durant une certaine période, il n'y a pas lieu d'utiliser un modèle exponentiel : le modèle linéaire plus simple est préférable. En première approximation, on adoptera comme valeur du niveau économique celle correspondant à l'effort de pêche moyen f_{m1} durant la période considérée.

En revanche, si après être resté relativement stable autour d'une valeur moyenne correspondant à f_{m1} le niveau économique varie et se stabilise autour d'une autre valeur moyenne correspondant à f_{m2} , notablement différent de f_{m1} , deux cas peuvent se présenter :

— la nouvelle droite d'équilibre calculée pour la période où l'effort de pêche fluctue autour de f_{m2} ne diffère pas significativement de la première et le modèle linéaire précédent reste valable;

— la nouvelle droite d'équilibre diffère significativement de la première et il y a lieu d'utiliser un

second modèle linéaire différent du premier ou un modèle exponentiel ajusté à l'ensemble des deux périodes. Les deux solutions (ensemble de deux modèles linéaires ou modèle exponentiel unique) peuvent rendre compte des données observées de façon aussi adéquate et conduire à des estimations de rendement maximal équilibré et d'effort de pêche optimal correspondant pratiquement équivalentes. Mais les interprétations subséquentes diffèrent dans la mesure où l'on fait intervenir le niveau potentiel du stock.

Niveau potentiel.

Nous appelons niveau potentiel le niveau auquel un stock exploité est susceptible de revenir immédiatement si toute exploitation cessait c'est à dire si f devenait nul. A ce niveau correspond donc le point où l'axe des ordonnées est coupé par la droite d'équilibre dans un modèle linéaire ou par la courbe d'équilibre dans un modèle exponentiel. Avant que ne débute l'exploitation, il est clair que le niveau potentiel est maximal et égal au stock réellement existant. Ce niveau potentiel maximal est fonction de l'environnement (autres espèces présentes, espace et nourriture disponibles dans l'écosystème, etc.). Il est en réalité sujet à fluctuations d'une année à l'autre, comme le recrutement auquel il est approximativement proportionnel, mais par hypothèse ces fluctuations sont considérées comme aléatoires autour d'une valeur moyenne qui est seule prise en considération dans les modèles de production équilibrée qui sont des modèles déterministes.

Tant que l'exploitation reste modérée (valeurs faibles de f) et bien que la capture de géniteurs diminue d'autant la fécondité du stock, nous admettons que le nombre d'œufs pondus par les femelles matures et fécondés reste suffisant pour maintenir le recrutement à son taux initial. Ceci revient à dire que si la pêche était arrêtée, le stock reviendrait immédiatement à son niveau maximal antérieur. Ce type de situation où le recrutement n'est pas affecté par la baisse de fécondité s'observe chez les espèces dites à forte résilience ou peu exploitées. Lorsque l'exploitation s'intensifie, il arrive un moment où le recrutement lui-même est affecté et commence à diminuer. Il devient insuffisant pour assurer un retour immédiat au niveau potentiel maximal compatible avec l'environnement écologique en cas d'arrêt total de la pêche. Le stock est en situation de surexploitation biologique et tout se passe comme si le niveau potentiel avait baissé de S_M à $S_{M'}$, $S_{M'}$ étant d'autant plus bas que f est plus élevé et le stock plus intensément exploité. L'utilisation de plusieurs modèles linéaires correspondant aux divers niveaux économiques successivement atteints

permet de suivre cette évolution du stock car à chaque droite d'équilibre, de moins en moins inclinée sur l'axe des abscisses, correspond une ordonnée à l'origine c'est à dire un niveau potentiel plus bas. Si l'on utilise un modèle exponentiel, il faudrait admettre que le niveau potentiel est représenté par l'ordonnée à l'origine de la tangente à la courbe d'équilibre et que la surexploitation biologique commence dans tous les cas avec l'exploitation, ce qui semble une vue théorique peu conforme à l'expérience et de plus incompatible avec la notion même de résilience.

On notera qu'un début de surexploitation biologique n'est pas forcément alarmant car le rendement équilibré diminue assez lentement après son maximum. En outre la situation demeure en général réversible et il suffit de diminuer l'effort total de pêche pour que le recrutement s'améliore et que le niveau potentiel du stock remonte, non pas immédiatement, mais progressivement en quelques années. C'est ce qui s'est produit pour le flétan du Pacifique (*Hypoglossus stenolepis*) au début de la seconde guerre mondiale. Mais plus le stock diminue, plus il devient vulnérable aux conditions adverses. En outre, il peut arriver que la place laissée vide ou du moins partiellement occupée dans l'écosystème soit prise par une espèce concurrente. La situation peut alors évoluer très vite et devenir irréversible comme cela s'est produit pour la sardine du Pacifique (*Sardinops caerulea*) remplacée par un anchois (*Engraulis mordax*).

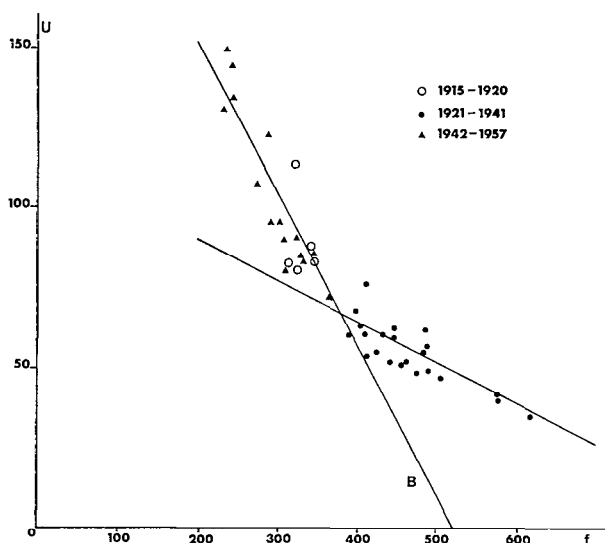


Fig. 2. — Efforts de pêche en milliers de paniers et prises par unité d'effort en millions de livres pour le Flétan du Pacifique de 1915 à 1957. La droite d'équilibre A a été ajustée pour la période 1921-1941, la droite B pour la période 1942-1957. Les points correspondants à la période 1915-1920 sont voisins de la droite B.

En résumé, si l'on considère l'évolution d'une pêcherie depuis le début de l'exploitation, deux cas peuvent se présenter :

— l'effort de pêche correspondant au niveau économique f_m est inférieur à la valeur correspondant au seuil de surexploitation biologique et le niveau potentiel du stock reste constant;

— l'effort de pêche f_m est supérieur au seuil de surexploitation biologique et le niveau potentiel du stock varie. Il est d'autant plus bas que f_m est plus élevé. Dans le premier cas un modèle linéaire unique et dans le second cas plusieurs modèles linéaires permettent d'apprécier le niveau potentiel mieux qu'un modèle exponentiel. L'observation seule permettrait de dire, pour une espèce ou une pêcherie donnée, où se situe le point à partir duquel commence la surexploitation biologique. Au point de vue pratique, la position exacte de ce point importe peu. Ce qui intéresse le biologiste c'est de savoir si un niveau économique donné se trouve ou non dans la zone de surexploitation biologique et si le niveau potentiel correspondant est ou non sensiblement inférieur au niveau potentiel maximal. Enfin on notera la conclusion suivante : lorsque durant une période déterminée la relation entre U et f est correctement représentée par une droite, on ne doit pas s'attendre à trouver une corrélation significative entre l'intensité de la pêche ou la fécondité du stock et le recrutement. En revanche, lorsque la relation entre U et f est nettement curvilinéaire, on doit s'attendre à observer une corrélation significative entre l'intensité de la pêche ou la fécondité du stock et le recrutement.

Pour illustrer les notions théoriques exposées plus haut, nous avons choisi comme exemple la pêche au flétan (*Hypoglossus stenolepis* Schmidt) dans la zone 2 du Pacifique, de 1915 à 1957. Dans le tableau I sont portés par année : la prise totale Y_n en millions de livres, l'effort total de pêche f_n en milliers de paniers d'hameçons et la prise par unité d'effort U_n en livres par panier (données empruntées à M. B. SCHAEFER 1954, D. G. CHAPMAN, R. J. MYHRE et G. M. SOUTHWARD 1962). Au vu de ce tableau, il est impossible de dire exactement où se situe le niveau économique pour une période donnée. Néanmoins on peut à ce point de vue distinguer trois périodes qui sont d'ailleurs en étroite relation avec les deux dernières guerres mondiales : de 1915 à 1920 l'effort total de pêche varie de 265,4 à 387,1 (moyenne 338,9), de 1921 à 1941 il varie de 363,0 à 617,2 (moyenne 469,4) et de 1942 à 1957 il varie de 219,9 à 378,2 (moyenne 295,7). Pendant la première période, le taux d'exploitation du stock était relativement modéré. Il s'est notablement accru entre les deux guerres, puis a considérablement baissé

TABLEAU I

Année	Y_n	f_n	U_n	$\log U_n$	$f = \frac{1}{2}(f_n + f_{n-1})$
1915	44,0	374,7	117,5	2,070	—
1916	30,3	265,4	114,1	2,057	320,05
1917	30,8	378,9	81,3	1,910	322,15
1918	26,3	301,9	87,0	1,940	340,40
1919	26,6	325,2	81,8	1,913	313,55
1920	32,4	387,1	83,6	1,922	356,15
1921	36,6	478,7	76,4	1,883	432,90
1922	30,5	488,5	62,1	1,793	483,60
1923	28,0	494,0	56,7	1,754	491,25
1924	26,2	473,0	55,3	1,743	483,50
1925	22,7	441,3	51,3	1,710	457,15
1926	24,7	478,0	51,7	1,713	459,65
1927	22,9	469,0	48,9	1,689	473,50
1928	25,4	537,3	47,3	1,675	503,15
1929	24,6	617,2	39,8	1,600	577,25
1930	21,4	616,3	34,7	1,540	616,15
1931	21,6	534,0	40,5	1,607	575,15
1932	22,0	445,1	49,4	1,694	489,55
1933	22,5	437,5	51,5	1,712	441,30
1934	22,6	410,9	55,1	1,741	424,20
1935	22,8	365,6	62,4	1,795	388,25
1936	24,9	458,8	54,3	1,735	412,20
1937	26,0	430,9	60,4	1,781	444,85
1938	25,0	363,0	68,8	1,838	396,95
1939	27,4	452,1	60,5	1,782	407,55
1940	27,6	440,4	62,7	1,797	446,25
1941	26,0	425,6	61,1	1,786	433,00
1942	24,3	378,2	64,3	1,808	401,90
1943	25,3	345,8	73,2	1,865	362,00
1944	26,5	314,2	84,4	1,926	330,00
1945	24,4	302,8	80,5	1,906	308,50
1946	29,7	351,2	84,5	1,927	327,00
1947	28,7	333,6	85,9	1,934	342,40
1948	28,4	312,2	91,0	1,959	322,90
1949	26,9	299,0	90,0	1,954	305,60
1950	27,0	281,7	95,8	1,981	290,35
1951	30,6	320,8	95,4	1,980	301,25
1952	30,8	251,8	122,3	2,087	286,30
1953	33,0	228,6	144,4	2,160	240,20
1954	36,7	244,2	150,3	2,177	236,40
1955	28,7	219,9	130,5	2,116	232,05
1956	35,4	263,2	134,5	2,129	241,55
1957	30,6	283,6	107,9	2,033	273,40

pour revenir à une valeur inférieure à celle de la première période. En première approximation on retiendra donc trois niveaux économiques auxquels les efforts de pêche ajustés étaient respectivement de l'ordre de 340,470 et 300 milliers de paniers d'hameçons.

On a d'abord calculé les coefficients de corrélation entre U_n et f_n , f_{n-1} , f_{n-2} , etc. La première période est trop courte pour que les valeurs trouvées aient une signification quelconque. Pour les deux autres

périodes on obtient un coefficient de corrélation élevé entre U_n et f_n ainsi qu'entre U_n et f_{n-1} . Les coefficients de corrélation tombent ensuite à des valeurs nettement plus faibles. Pour déterminer les modèles de production équilibrée il est donc indiqué de partir des droites d'ajustement entre U_n ou $\log U_n$ et $f = \frac{1}{2}(f_n + f_{n-1})$. On remarque en outre que durant la seconde période où l'exploitation du stock était intense, donc l'âge moyen des captures assez faible, c'est avec f_{n-1} que la corrélation est la meilleure. En revanche durant la troisième période où l'exploitation était beaucoup plus modérée, donc l'âge moyen des captures plus élevé c'est avec f_n que la corrélation est la meilleure.

Période	f_n	f_{n-1}	f_{n-2}	f_{n-3}	f_{n-4}	$f = \frac{1}{2}(f_n + f_{n-1})$
1921-1941	- 0,700	- 0,749	- 0,706	- 0,628	- 0,359	- 0,799
1942-1957	- 0,910	- 0,855	- 0,742	- 0,360	- 0,676	- 0,926

Si l'on considère l'ensemble des trois périodes et en prenant comme droite d'ajustement la droite de régression de U_n ou $\log U_n$ en f , on obtient pour le modèle de Schaefer la droite d'équation $U = 177,1 - 0,270 f$ et pour le modèle de Fox la droite d'équation $\log U = 2,503 - 0,00353 f \log e$. Cette dernière relation est équivalente à $U = 318,5 e^{-0,00353 f}$. Pour la première relation le coefficient de corrélation linéaire est égal à $-0,89$ et pour la seconde à $-0,91$. Sur le graphique, on voit que le modèle de Fox s'ajuste mieux aux données que le modèle de Schaefer. En effet dans l'intervalle de variation de f , les valeurs les plus faibles et les plus fortes c'est à dire celles situées aux deux extrémités de l'intervalle donnent des points situés au-dessus de la droite d'équilibre alors que les valeurs intermédiaires donnent le plus souvent des points situés au-dessous. Une telle disposition ne peut être attribuée au hasard et indique que la relation entre U et f n'est pas linéaire dans l'intervalle considéré. Entre 1915 et 1957, il y aurait donc eu surexploitation biologique et de 1921 à 1941 la fécondité du stock serait devenue insuffisante pour assurer un recrutement correspondant au stock potentiel maximal.

Si l'on cherche les droites d'équilibre ajustées pour chaque période, on trouve les équations suivantes :

- de 1915 à 1920 $U = 152,9 - 0,193 f$ ($r = -0,24$)
- de 1921 à 1941 $U = 115,8 - 0,130 f$ ($r = -0,80$)
- de 1942 à 1957 $U = 249,5 - 0,491 f$ ($r = -0,90$)

On constate que le niveau potentiel a varié en raison inverse du niveau économique et que de 1921 à

1941 il était tombé à 46 % de sa valeur atteinte durant la période 1942-1957. Toutefois, rien ne permet d'affirmer que la valeur de U correspondante (249,5) soit la valeur maximale car on ne possède malheureusement aucun renseignement sur les rendements à l'unité d'effort pour des efforts de pêche très faibles, inférieurs à 220 milliers de paniers d'hameçons. En d'autres termes, rien ne permet d'affirmer que la surexploitation biologique, manifeste entre les deux guerres, ait totalement disparu à partir de 1942.

Un point important à signaler est le suivant : si le niveau économique s'était maintenu au voisinage de la valeur qu'il avait durant la période 1921-1941, on aurait été conduit à adopter le modèle de Schaefer $U = 115,8 - 0,130 f$ qui donne comme

$$\text{rendement équilibré maximal } Y = \frac{(115,8)^2}{4,0,130} = 25\ 800$$

$$\text{milliers de livres pour un effort } f = \frac{115,8}{2,0,130} = 445,4$$

milliers de paniers d'hameçons. Le modèle de Fox, calculé à partir des mêmes données aurait été déterminé par la droite de régression $\log U = 2,265 - 0,00262 f \log e$ ($r = 0,84$) d'où $U = 184,1 e^{-0,00262 f}$. Ce modèle donne comme rendement

$$\text{équilibré maximal } Y = \frac{184,1}{0,00262 e} = 25\ 600 \text{ milliers}$$

$$\text{de livres pour un effort } f = \frac{1}{0,00262} = 381,7 \text{ milliers}$$

de paniers d'hameçons. Or durant la période considérée le rendement moyen a été de 25 300 milliers de livres pour un effort moyen de 469,4. On aurait donc conclu à une exploitation du stock telle qu'une diminution de l'effort total aurait légèrement relevé le rendement à l'unité d'effort sans augmenter de façon sensible le tonnage capturé. Rien n'aurait permis de prévoir qu'en réduisant f , le niveau potentiel remonterait et le rendement équilibré maximal également. La valeur prédictive d'un modèle n'est en effet assurée que dans l'intervalle de valeurs pour lequel il a été ajusté et l'exemple du flétan du Pacifique montre que toute extrapolation risque d'être contournée et de se trouver un jour infirmée par les faits.

En réalité, il a fallu que la seconde guerre mondiale oblige à réduire l'effort de pêche pour que l'on s'aperçoive qu'il y avait auparavant surexploitation biologique et que le niveau potentiel du stock indiqué par le modèle ajusté aux données de la période 1921-1941 était susceptible de remonter rapidement. En effet le modèle ajusté aux données de la période 1942-1957 donne un rendement équilibré maximal

$$Y = \frac{(249,5)^2}{4,0,491} = 31\ 700 \text{ milliers de livres pour un}$$

$$\text{effort } f = \frac{249,5}{2,0,491} = 254,1 \text{ milliers de paniers d'ha-}$$

meçons. La réduction de l'effort de pêche annuel moyen de 469,4 à 295,7 s'est donc traduite par un relèvement du tonnage annuel moyen débarqué de 25,3 à 29,2 millions de livres alors que le modèle de Schaefer indique un relèvement maximal possible de 25,8 à 31,7 millions de livres pour une réduction de l'effort à 254,1 milliers de paniers d'hameçons. Il semble bien d'ailleurs qu'à partir de 1951 on se soit tenu très près de ces dernières valeurs puisque, pour les sept dernières années, les moyennes sont de 30,4 et 258,9.

Conclusions.

1) Si les interprétations proposées concernant les niveaux potentiels et économiques sont valables et confirmées par des recherches ultérieures, il en résulte qu'au début de l'exploration d'une pêcherie, la relation entre U et f devrait être linéaire et ne prendre une allure exponentielle qu'à partir du moment où les effets d'une surexploitation biologique commencent à se faire sentir.

2) Si l'on ne possède aucune donnée sur le début de l'exploitation d'un stock et si celles dont on dispose correspondent à une période où le niveau économique a peu varié, il est souvent impossible de décider qu'il y a ou non surexploitation biologique et de

prédire ce que deviendrait le rendement équilibré si le niveau économique changeait notablement.

3) Les modèles de Schaefer et de Fox ne doivent être considérés comme valables que dans l'intervalle de variation des données auxquelles ils ont été ajustés. Toute extrapolation risque de conduire à des prévisions erronées à moins que l'on ne sache où commence la surexploitation biologique et quelle relation existe entre le recrutement et la fécondité du stock.

4) Enfin en ce qui concerne la préférence à accorder aux modèles de Schaefer ou aux modèles de Fox, nous proposons la règle pratique suivante : si une droite s'ajuste aussi bien qu'une exponentielle aux points (U , f), on doit choisir le modèle de Schaefer, plus facile à établir et théoriquement meilleur lorsqu'il n'y a pas de surexploitation biologique; si l'exponentielle s'ajuste mieux, on peut adopter le modèle de Fox qui schématise de façon simple l'ensemble des données ou plusieurs modèles de Schaefer qui permettent des interprétations plus précises en faisant intervenir divers niveaux économiques et potentiels moyens successifs.

Manuscrit reçu au S.C.D. le 27 décembre 1973.

BIBLIOGRAPHIE

- CHAPMAN (D. G.), MYHRE (R. J.) et SOUTHWARD (G. M.), 1962 — Utilization of Pacific halibut stocks : estimation of maximum sustainable yield, 1960. — *Rept. intern. Pacific halibut Comm.*, 31 : 1-33.
- FOX (W. W.), 1970 — An exponential surplus-yield model for optimizing exploited fish populations. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 99, 1 : 80-88.
- GULLAND (J. A.), 1971 — Ecological aspects of fishery research, in : *Advances in ecological research* (ed. J. B. Cragg), London and New York, Academic Press, 7 : 115-176.
- LE GUEN (J. C.) et WISE (J. P.) 1967 — Méthode nouvelle d'application du modèle de Schaefer aux populations exploitées d'albacores dans l'Atlantique. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.*, 5, 2 : 79-93.
- SCHAEFER (M. B.), 1954 — Some aspects of the dynamics of populations important to the management of commercial marine fisheries. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm. Bull.*, 1 : 25-56.