

PROGRAMME DE SIMULATION DE LA PÊCHERIE D'ALBACORES (*THUNNUS ALBACARES*) DE L'ATLANTIQUE

A. FONTENEAU

Océanographe biologiste de l'O.R.S.T.O.M.
Centre de Recherches Océanographiques
B.P. V 18 - Abidjan (Côte d'Ivoire)

RÉSUMÉ

Un programme de simulation de la pêcherie d'albacores de l'Atlantique de l'est -SIMU-, basé sur un modèle de Ricker à engins multiples pêchant simultanément sur une population d'albacores, a été mis au point. Le recrutement annuel et les valeurs des coefficients q de mortalité due à la pêche (catchability coefficient de Ricker ou coefficient de possibilité de capture) (1) par âge et par engin, nécessaires à cette simulation, sont obtenus d'après les résultats de l'analyse des cohortes. Le programme SIMU calcule en fonction de l'effort trimestriel des différents engins la prise en nombre et en poids, la prise par unité d'effort par engin et la fécondité du stock. Tous ces résultats sont calculés dans la situation instantanée de l'année de pêche et en situation d'équilibre en supposant que l'effort des différents engins reste constant.

La simulation de la pêcherie (incluant les palangriers) a été réalisée de 1956 à 1973; les résultats concordent de façon satisfaisante avec les données observées. Des prévisions sur les évolutions possibles de la pêcherie sont effectuées en fonction des tendances prévisibles de l'effort des différents engins.

ABSTRACT

A simulation model for the eastern atlantic yellowfin population (SIMU) has been developed. This simulation is based on a Ricker analytical model with several gears fishing independently a common population.

Estimates of the number of recruits and the values of the age specific catchability coefficients for each gear are obtained from cohort analysis.

The program, given quarterly efforts for each gear, computes the catch (in number and in weight), and the catch per unit of effort for each gear. The yearly fecundity of the stock is also estimated. Results are obtained under both equilibrium and non-equilibrium conditions, assuming constant effort and recruitment for equilibrium.

A simulation, including the longliners, has been conducted from 1956 to 1973. The simulated results are in good agreement with the observed data. Some predictions on the possible evolutions of the catches and catch per unit of effort are made according several hypothesis on the effort of each gear.

(1) Quelquefois appelé coefficient de capturabilité.

REMERCIEMENTS

Je remercie vivement SOISSON Patrick, océanographe biologiste et SLEPOUKHA Michel, technicien au C.R.O. pour les conseils et l'aide apportée lors de la réalisation de ce travail.

INTRODUCTION.

La pêcherie d'albacores dans l'Atlantique est très complexe, principalement parce que plusieurs engins différents, qui travaillent chacun préférentiellement sur certaines tailles de poisson, exploitent simultanément cette population; par ailleurs, la proportion des différents engins a considérablement évolué depuis 1955, année du début de la pêcherie thonière dans l'Atlantique.

En raison de sa complexité, cette pêcherie peut difficilement être décrite de façon satisfaisante par les modèles classiques de production. Ceux-ci nécessitent en effet une standardisation de l'effort de pêche qui néglige le fait fondamental que chaque engin capture une taille différente de poissons.

LENARZ (1974) a mis au point un modèle (MGEAR) adaptant la méthode de Ricker au cas d'un stock exploité par plusieurs engins. Les rendements par recrue y sont calculés en introduisant les valeurs, pour chaque engin, des coefficients de mortalité due à la pêche F en fonction de l'âge du poisson. Le présent programme SIMU est basé sur le même principe de k « vecteurs » de mortalités par pêche provoqués par k engins pêchant simultanément une population ayant un recrutement par an. Il suppose connues les valeurs du coefficient de mortalité par unité d'effort par âge et par engin (q) ainsi que l'effort des différents engins. Le programme SIMU a été écrit par A. FONTENEAU en FORTRAN IV pour ordinateur IBM 360-40 ou 370-145. Des copies du programme sont disponibles au CRO d'Abidjan. Le programme effectue une simulation de la pêcherie en calculant les résultats instantanés de l'année en ce qui concerne la prise, la prise par unité d'effort, le poids moyen par engin et par âge, ainsi que l'évolution année par année vers la situation d'équilibre pour chaque engin, si l'effort des différents engins reste le même. La fécondité instantanée du stock et celle en état d'équilibre sont aussi estimées par le programme à partir de la structure démographique du stock et des indices de fécondité d'Hayasi (1972).

MÉTHODE DE CALCUL.

1° Description.

Les annexes 1 et 2 représentent sous forme d'organigramme la logique des calculs effectués.

— Indices et paramètres employés :

(a) Indices :

- k désigne l'engin (de 1 à n)
- i désigne l'âge (de 1 à m)
- t désigne l'intervalle trimestriel (de 1 à 4)
- T désigne les bornes des intervalles trimestriels (de 1 à 5)

(b) Paramètres :

- R recrutement annuel
- $q_{i,k,t}$ coefficients « de possibilité de capture »
- $f_{k,t}$ effort de pêche
- $F_{i,k,t}$ taux instantané de mortalité par pêche
- $M_{i,t}$ taux instantané de mortalité naturelle
- $N_{i,T}$ nombres d'individus dans la population aux bornes des intervalles de temps
- $N_{i,t}$ population moyenne de l'intervalle
- $C_{i,k,t}$ prise en nombre d'individus
- $W_{i,k,t}$ prise en poids
- $\bar{w}_{i,t}$ poids moyen observé
- $FE_{i,t}$ indice de fécondité par âge
- FT indice de fécondité du stock (moyenne annuelle)

MÉTHODE :

Le programme simule l'existence d'une population sous jacente composée de 8 cohortes qui ont été recrutées au 1^{er} janvier de chaque année pendant 8 années successives et subissant chacune trimestriellement une mortalité naturelle et une mortalité par pêche selon la formule (1) :

$$(1) \quad N_{i,T+1} = N_{i,T} \cdot e^{-\left(M_{i,t} + \sum_{k=1}^n q_{i,k,t} \cdot f_{k,t}\right)}$$

La mortalité par pêche totale appliquée dans chaque intervalle est égale à la somme des mortalités par pêche appliquées séparément par chaque engin. La mortalité par pêche due à chaque engin est spécifique par âge et par trimestre.

Le nombre d'individus capturés par engin dans un intervalle de temps est donné par la formule (2)

$$(2) \quad C_{i,k,t} = \frac{N_{i,T} \cdot F_{i,k,t} \cdot \left(1 - e^{-\left(\sum_{k=1}^n F_{i,k,t} + M_{i,t}\right)}\right)}{\sum_{k=1}^n F_{i,k,t} + M_{i,t}}$$

$$\text{ou : } F_{i,k,t} = q_{i,k,t} \cdot f_{k,t}$$

. La prise en poids est obtenue à partir des poids moyens observés (par âge et par trimestre) : formule (3)

$$(3) \quad W_{i,k,t} = C_{i,k,t} \cdot \bar{w}_{i,t}$$

. La prise par unité d'effort est obtenue par division du poids des captures par l'effort de pêche correspondant de chaque engin : formule (4)

$$(4) \quad pue_{i,k,t} = W_{i,k,t} / f_{k,t}$$

. La fécondité moyenne annuelle du stock est estimée à partir de la composition en âge de la population sous jacente et d'indices de fécondité (trimestriels) par âge : formule (5)

$$(5) \quad FT = \left(\sum_{i=1}^m \sum_{T=1}^5 N_{i,t} \cdot FE_{i,T} \right) / 5$$

Le modèle, outre ces valeurs de $q_{i,k,t}$ et $f_{k,t}$ nécessite la connaissance :

— de la valeur du coefficient de mortalité naturelle M . Cette valeur est supposée constante par manque d'information. Le programme pourrait aisément

être modifié pour introduire un coefficient M variable avec l'âge.

— du recrutement annuel en nombre d'individus

— des indices de fécondité permettant de relier la biomasse ou le nombre d'individus par âge à la fécondité potentielle du stock.

2° Données utilisées.

2.1. — Le recrutement et les valeurs du coefficient q par engin ont été calculés d'après les résultats de l'analyse des cohortes en utilisant la moyenne des deux hypothèses concernant un effort maximum et un effort minimum (FONTENEAU et LENARZ, 1973). Les valeurs des coefficients q sont trimestrielles, le trimestre étant l'intervalle de temps le plus petit actuellement utilisable. Les données trimestrielles tiennent compte à la fois des variations saisonnières de la disponibilité du stock et du caractère progressif du recrutement pour chaque engin. Les valeurs de q utilisées dans cette étude sont représentées fig. 1. Elles ont été calculées sur les années 1969 et 1970 et doivent être considérées comme provisoires.

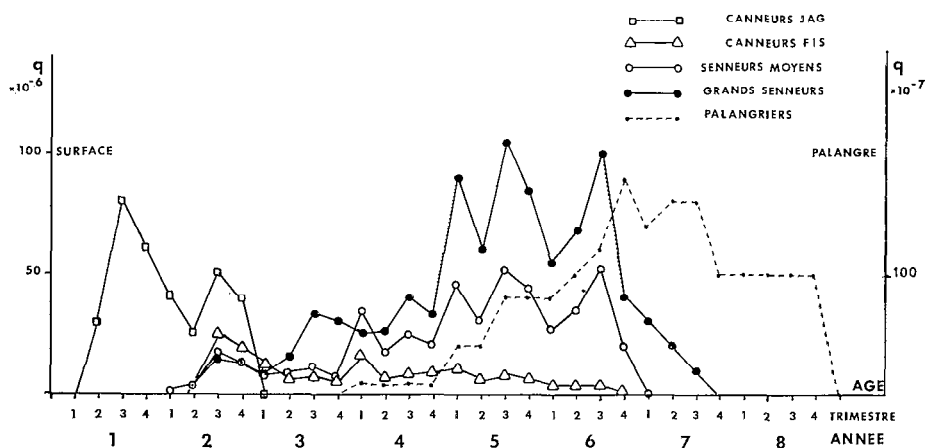


Fig. 1. — Facteur « q » par âge pour les 5 engins.

2.2. — La croissance en poids utilisée (tableau 5) est basée sur un tableau de correspondances taille-poids observées et non sur une courbe de croissance théorique.

De nouvelles études de la croissance basées sur les poids modaux devront être effectuées à partir des données actuelles afin d'améliorer ces données, qui, comme les coefficients q , doivent être considérées comme provisoires. Le modèle de simulation actuel admet 8 classes d'âge qui sont à l'origine soit non exploitées (dans le cas d'un stock initial vierge),

soit exploitées et dans ce cas la structure démographique estimée du stock (au 1^{er} janvier) est alors lue par le programme d'après les résultats antérieurs (analyse des cohortes ou simulation antérieure).

2.3. LES ENGINS SUIVANTS ONT ÉTÉ DISTINGUÉS DANS L'ÉTUDE ACTUELLE :

. canneurs JAG (Japon, Amérique, Ghana) : cette flottille qui est basée à Tema et à Freetown est très importante depuis 1972 et 1973. La pêche

de ces bateaux se caractérise depuis 1970 par des captures importantes de très petits albacores mélangés à des listaos. De 1963 à 1968 les distributions de fréquences de longueurs des poissons capturés par les canneurs japonais et français étaient très semblables. Les mensurations effectuées en 1973 et 1974 au Fishery Research Unit de Tema ont permis d'estimer les coefficients q de cette flottille.

canneurs de type FIS (bateaux français, ivoiriens et sénégalais). Regroupe les canneurs glacières, les canneurs congélateurs FIS et les canneurs espagnols. L'unité d'effort de ce type est le jour de mer du canneur congélateur FIS : l'effort total est calculé connaissant la prise totale de la catégorie selon la relation classique :

$$\text{Effort total} = \frac{\text{prise totale}}{\text{prise par unité d'effort FIS}}$$

La prise par unité d'effort est la moyenne des canneurs de catégories 2 et 3 (50 et 90 tonnes de capacité) telle qu'elle est calculée dans l'étude de FONTENEAU et SOISSON (1974).

Senneurs moyens : cette catégorie réunit des bateaux FIS japonais et espagnols. L'unité d'effort de ce type est le jour de mer du senneur moyen FIS. La prise par unité d'effort est calculée comme la moyenne non pondérée des senneurs FIS de catégorie 3 et 4, c'est-à-dire de 100 et 200 tonnes de capacité de transport.

Grands senneurs : réunit des bateaux FIS, espagnols, américains, ainsi que de divers pays. L'unité d'effort est le jour de mer du grand senneur FIS de catégorie 5 (400 tonnes de capacité), l'effort des autres senneurs étant calculé d'après leur prise. Ces trois engins ont leur effort standardisé en unité FIS par suite de l'homogénéité de cette flottille, de sa permanence et de son effort toujours orienté principalement sur l'albacore.

Palangriers : comprend des bateaux japonais, panaméens, de Taiwan, du Venezuela et de Cuba. L'unité d'effort est en réalité une intensité de pêche qui correspond à la pose par un palangrier japonais de 1.000 hameçons par carré statistique de 5° de latitude et de longitude (HONMA, 1973).

2.4. LE RECRUTEMENT ANNUEL est soit constant soit variable selon les simulations. Nous faisons l'hypothèse d'un recrutement unique pour l'ensemble de l'Atlantique de l'est. En effet, les plus récentes observations sur l'identité des stocks semblent indiquer que la ponte est synchrone de janvier à avril dans les deux secteurs de ponte principaux. Le premier secteur va du Ghana aux îles du golfe de Guinée (Annobon, Sao Thomé) et le second se

situe au large du Liberia. Les albacores pêchés dans le secteur de Dakar, qui sont nés en juillet dans une zone mal délimitée, sont relativement peu abondants dans les captures actuelles. Si les captures sur cette population se développent, le modèle devra alors tenir compte de l'existence de deux cohortes annuelles, comme on l'observe dans le Pacifique.

3° Discussion.

En ce qui concerne la validité des résultats obtenus, il faut distinguer a priori les problèmes liés à la méthode elle-même, et ceux liés aux données actuelles.

3.1. LA MÉTHODE : elle est limitée surtout par la variabilité des facteurs q qui peut être de plusieurs types.

3.1.1. Augmentation du coefficient q moyen :

L'effort de pêche est actuellement mesuré en jours de pêche ou en jours de mer ; dans le cas de cette pêcherie, on constate que cette unité d'effort néglige un certain nombre de paramètres susceptibles d'avoir accru la mortalité par pêche générée par l'engin tels que :

- une meilleure connaissance des zones de pêche, des tactiques de prospection en groupe améliorées
- la recherche aérienne
- la recherche des épaves
- la vitesse accrue des bateaux
- l'amélioration des techniques de pêche proprement dites (sennes, bateaux).

3.1.2. Coefficient q dépendant de l'abondance du stock :

La vulnérabilité du poisson à l'engin de pêche peut diminuer ou augmenter selon le niveau d'abondance du stock.

Cette variation peut aussi être différente selon l'âge : on peut par exemple envisager que la baisse globale du stock d'albacores augmente la disponibilité des jeunes par suite d'une concentration dans une zone limitée, et diminue celle des adultes moins grégaires par suite d'une plus grande dilution des individus.

Le modèle SIMU peut potentiellement être modifié pour tenir compte de ces phénomènes que malheureusement aucune donnée actuelle ne permet d'estimer.

3.1.3. Variation du coefficient q pour un âge donné :

Les facteurs q d'un engin sur un âge donné peuvent avoir une tendance marquée à augmenter ou diminuer, indépendamment des variations cycli-

ques à courte période qui sont volontairement négligées.

Diverses causes peuvent être envisagées :

— causes économiques : variations des prix d'achat des différentes tailles, limites de tailles ou influence de la teneur en mercure sur la commercialisation de certaines tailles

— causes psychologiques liées à une évolution progressive des habitudes de pêche.

— Exploitation de secteurs différents qui peut augmenter la vulnérabilité de certaines tailles de poissons.

— Interaction entre espèces : la pêche sur le listao pouvant par exemple augmenter la mortalité des jeunes albacores.

3.2. LES CALCULS ACTUELS SONT LIMITÉS ESSENTIELLEMENT PAR :

— l'imprécision dans le calcul des coefficients q par âge et par engin; le calcul actuel a été effectué sur peu d'années et pendant une période où les flottilles ont beaucoup évolué. Seuls les ordres de grandeur des coefficients q par âge sont vraisemblables.

— La zone de l'étude : la zone étudiée est l'Atlantique de l'est limité à 30° W selon HONMA (1972). FONTENEAU et LENARZ (1973) avaient utilisé cette même zone dans leur analyse des cohortes. Les mélanges éventuels qui sont probables fausseraient plus ou moins les analyses actuelles selon leur importance.

Il est envisageable de prévoir, quand les données statistiques le permettront, une simulation de deux systèmes Atlantique est et ouest ayant des recrutements, des facteurs q et des efforts indépendants. Ces deux systèmes pourraient avoir entre eux un certain taux de mélange par âge et dans les directions est/ouest et ouest/est.

3.2.1. L'hétérogénéité d'emploi de certains engins similaires :

Les grands senneurs mériteraient par exemple d'être séparés par nationalité par suite de différences dans les habitudes de pêche.

3.2.2. La relation réelle entre la taille (le poids) et l'âge des albacores :

Les données analysées sont insuffisantes pour les albacores de plus de 3 à 4 ans. Dès lors que les poissons atteignent une taille voisine de la valeur asymptotique L_{∞} , il est difficile par la méthode de Petersen actuellement utilisée, de leur attribuer autre chose qu'un âge minimum. Dans ces conditions l'âge est souvent sous-estimé ce qui conduit à

surestimer les valeurs de q pour les poissons âgés. (LENARZ *et al.*, 1974).

3.2.3. La valeur réelle du coefficient de mortalité naturelle M :

La valeur moyenne de M est généralement estimée pour l'albacore comme étant comprise entre 0,6 et 0,8. Aucune information n'existe sur les variations de M avec l'âge, bien que ces variations soient vraisemblables. Toutes les simulations de cette étude ont été réalisées avec M constant égal à 0,8.

Les analyses précédemment effectuées sur les rendements par recrue avec M constant égal à 0,6 (LENARZ *et al.*, 1974) ont donné des résultats voisins, de ceux obtenus avec $M = 0,8$.

S'il existe une variation marquée de M avec l'âge (accroissement, diminution?), les résultats seraient certainement très différents. Par exemple les conséquences de la pêche JAG peuvent être sous-estimées ou surestimées selon que la mortalité naturelle des jeunes poissons est plus faible ou plus forte que 0,8.

RÉSULTATS.

1° Simulation de la pêche avec des engins isolés.

Les divers engins pêchant l'albacore à des âges très différents, on doit s'attendre à ce que le rendement par recrue donc la production de la pêche, soit différent selon les engins. La figure 2 montre les courbes théoriques de production équilibrée obtenues par le modèle de simulation avec un recrutement constant pour les différents engins pêchant isolément (ces courbes sont donc équivalentes à des courbes de rendement par recrue). Les courbes des production sont chacune voisines des courbes du modèle de production exponentielle (modèle de Fox).

La production maximale théorique équilibrée de chaque engin isolé et l'effort correspondant sont indiqués dans le tableau suivant

	PRISE MAXIMALE ÉQUILIBRÉE	EFFORT CORRESPONDANT
Canneurs J A G.....	25 000	35 000
Canneurs F I S.....	43 000	55 000
Senneurs moyens.....	55 000	37 500
Grands senneurs.....	60 000	27 500
Palangriers.....	63 000	18 000

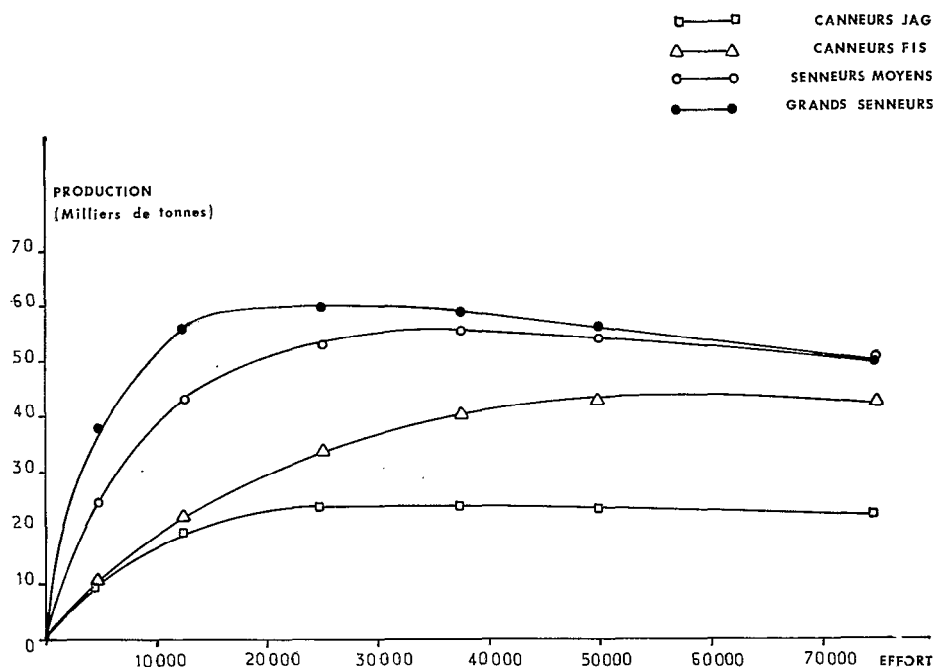


Fig. 2. — Production équilibrée en fonction de l'effort pour les engins pêchant isolément.

On note dès à présent les différences importantes qui existent entre les productions maximales des différents engins et donc l'importance de la proportion des différents engins pour déterminer le niveau de production de la pêcherie.

celles de FONTENEAU et SOISSON (1974) pour la période 1966-1973. Les variations trimestrielles de l'effort ont été négligées par suite du manque d'informations. L'effort trimestriel a donc été fixé au quart de l'effort annuel.

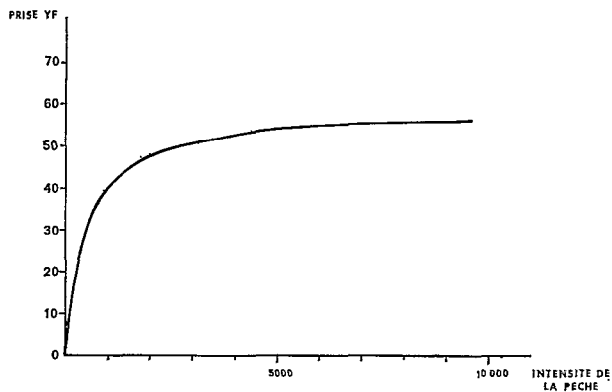


Fig. 3. — Production équilibrée théorique palangre seule.

2° Simulation de l'histoire de la pêcherie.

L'effort des différents engins (tableau I) a été estimé pour la période 1955 à 1965 d'après les données de FONTENEAU et CAVERIVIERE et d'après

3° Résultats.

Les figures 4 à 8 (a) montrent pour les cinq engins de la pêcherie et pour l'ensemble de la pêcherie de surface les prises observées et celles simulées par le programme. Les figures 4 à 8 (b) les prises simulées instantanées et équilibrées correspondant aux conditions d'effort par engin de l'année.

On constate que l'accord est généralement satisfaisant pour les engins de surface entre la prise observée et la prise simulée. On vérifie également que par suite de l'effort de pêche croissant de la pêcherie, la prise théorique simulée a presque toujours été supérieure à la prise théorique d'équilibre.

Pour la pêche à la palangre l'effort dans l'Atlantique de l'est a été estimé à 45 % de l'effort total pour toute la période 1956 à 1973. L'accord entre les valeurs simulées et celles observées (fig. 7 b) est médiocre bien qu'il soit impossible actuellement d'estimer réellement les tonnages capturés dans l'Atlantique de l'est (fig. 7 a).

Il semble toutefois certain que les captures des palangriers de la période initiale, sont systématiquement

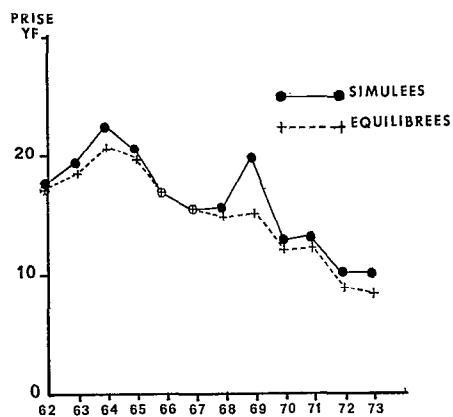


Fig. 4 a. — Prises simulées et équilibrées canneurs F I S.

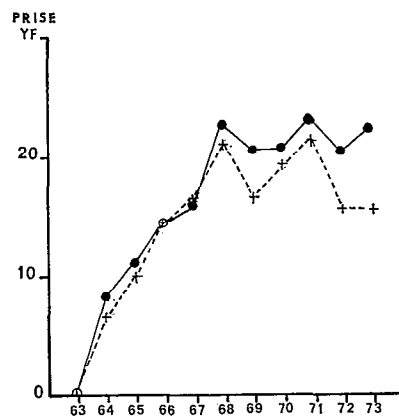


Fig. 5 a. — Prises simulées et équilibrées senneurs moyens.

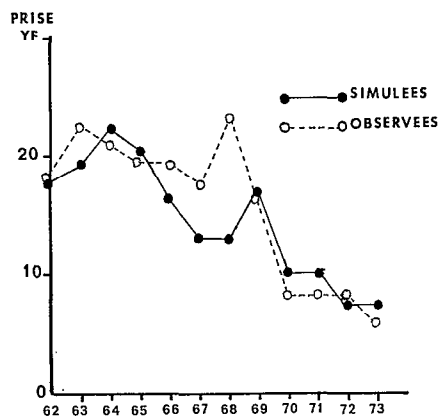


Fig. 4 b. — Prises simulées et observées canneurs F I S.

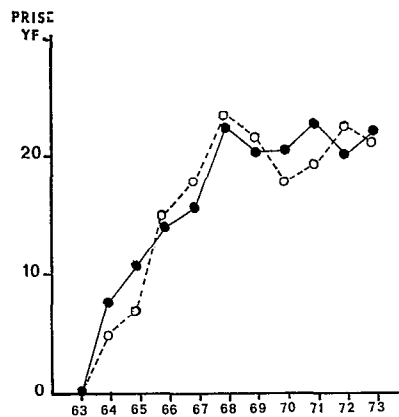


Fig. 5 b. — Prises simulées et observées senneurs moyens.

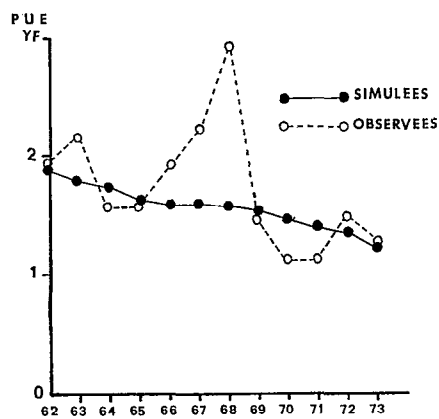


Fig. 4 c. — P U E simulées et observées canneurs F I S.

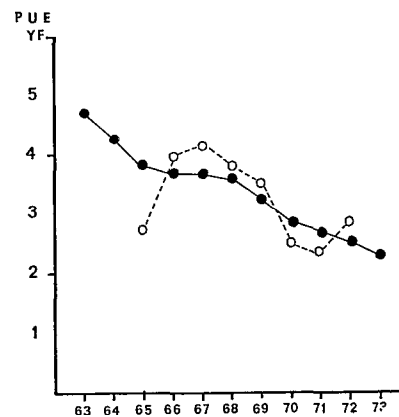


Fig. 5 c. — Prises simulées et observées senneurs moyens.

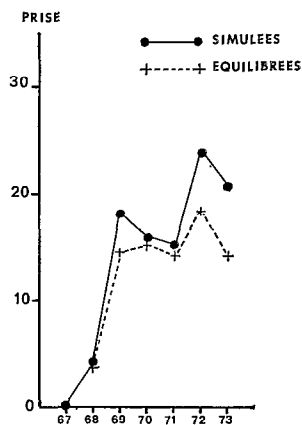


Fig. 6 a. — Prises simulées et équilibrées des grands senners.

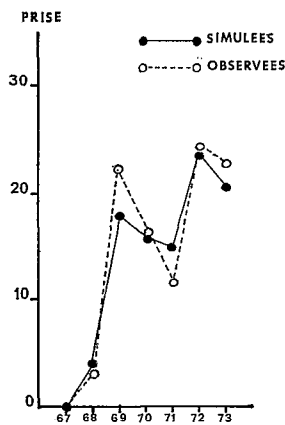


Fig. 6 b. — Prises simulées et observées des grands senners.

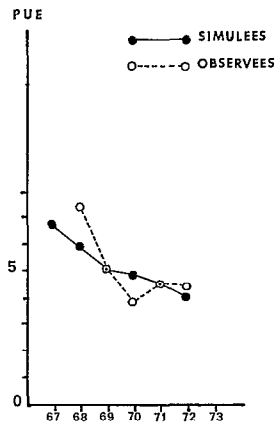


Fig. 6 c. — P U E simulées et observées des grands senners.

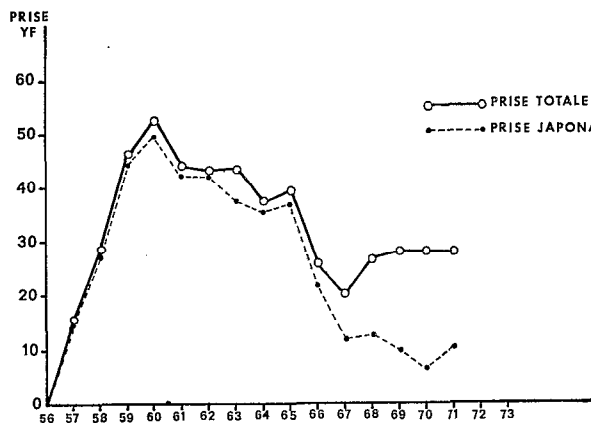


Fig. 7 a. — Prise totale et japonaise - palangre.

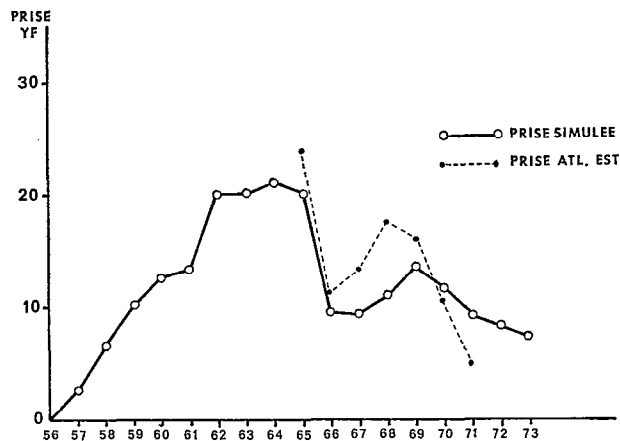


Fig. 7 b. — Prises simulées et prises observées dans l'Atlantique est pour les palangriers (d'après zones de pêche japonaises).

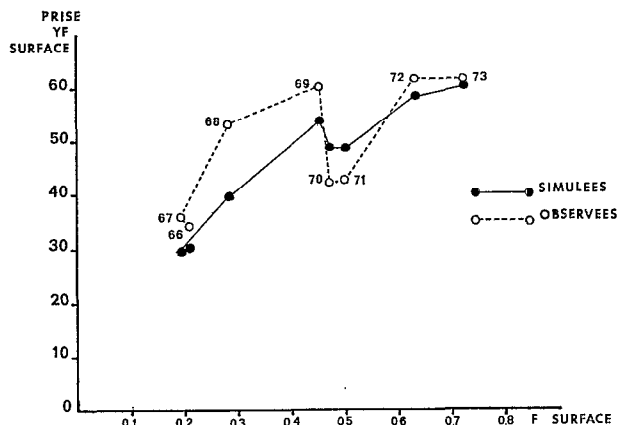


Fig. 8 a. — Prises simulées et observées YF de surface 1966-1973 avec recrutement constant.

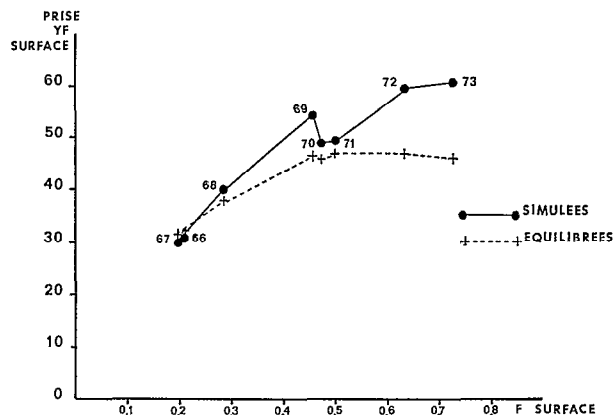


Fig. 8 b. — Prises simulées et équilibrées YF de surface 1966-1973 avec recrutement constant.

quement sous estimées par le modèle. Ceci suggère une baisse importante du facteur q moyen (ou de certains âges) pour cet engin, car une baisse de recrutement semble peu probable d'après les résultats des pêcheries de surface.

On peut émettre plusieurs hypothèses afin d'expliquer cette baisse :

— le changement des pays pêchant à la palangre : les palangriers japonais ont actuellement des rendements très significativement supérieurs à ceux de Taïwan. Le remplacement progressif des bateaux japonais par ceux d'autres pays a pu ainsi entraîner une baisse des facteurs q moyens.

— Un artéfact dû aux mélanges des populations est et ouest, aggravé par l'ignorance des captures réellement effectuées dans l'Atlantique de l'est.

— Un biais de la méthode lié à l'imprécision sur la structure en âge des vieux individus et à l'imprécision des valeurs des coefficients q pour les palangriers.

— L'hypothèse du « learning removal » a également été émise. Cette hypothèse fait intervenir une baisse de la vulnérabilité de l'espèce liée à l'acquisition progressive d'une meilleure défense contre l'engin de pêche.

Tout ceci a pour conséquence que peu d'importance sera prêtée, provisoirement, aux résultats des palangriers en l'état actuel des données.

4° Simulation de la période récente 1966-1973.

La période la mieux connue statistiquement et aussi la plus intéressante de la pêcherie est la période récente pendant laquelle l'effort de pêche a beaucoup évolué qualitativement et quantitativement, la production y ayant, semble-t-il, atteint son maximum.

4.1. RECRUTEMENT CONSTANT :

Le modèle de simulation avec recrutement constant suggère que la courbe théorique de production équilibrée dont le maximum était situé vers 47 000 tonnes de 1969 à 1971 est descendu à 45 000 tonnes en 1973 pour la pêcherie de surface. Cette baisse est due essentiellement à l'action des canneurs JAG, leurs effets négatifs devant théoriquement se faire sentir plus ou moins rapidement selon les engins. La figure 9 montre l'évolution des rendements pour les différents engins en supposant constant l'effort et les paramètres biologiques (recrutement en particulier). En l'absence des canneurs JAG la prise théorique équilibrée de 1973 aurait atteint 52 000 tonnes.

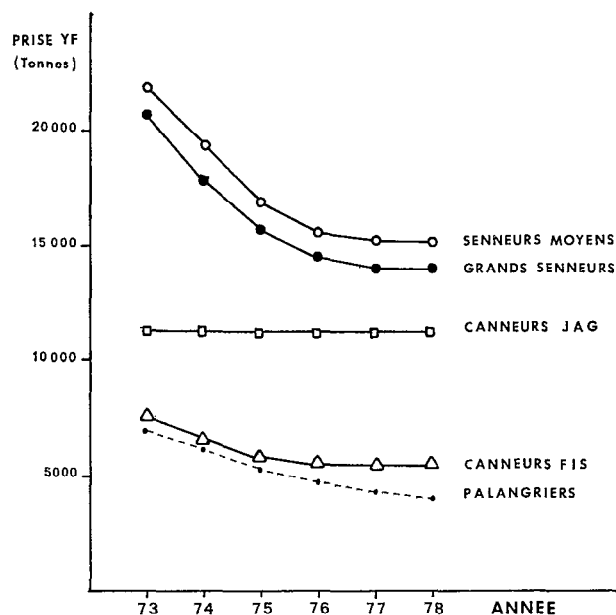


Fig. 9. — Évolution vers la situation d'équilibre des différents engins (efforts 1973 constants).

Cette progression de la production équilibrée de 47 000 tonnes à 52 000 tonnes prévue par le modèle traduit vraisemblablement le passage (FONTENEAU et CAVERIVIERE, 1973) d'une courbe de production du type canneur à une courbe de type grand senneur.

Cette analyse rend logique la meilleure corrélation statistique entre les points observés et le modèle de production hyperbolique (Fox, 1973). Elle suggère que malgré cette bonne corrélation, le modèle hyperbolique ne devait s'appliquer à l'évolution future de la pêcherie que provisoirement pendant la phase de disparition des canneurs.

Par ailleurs, on remarque que les faibles prises de 1970 et 1971 attribuées généralement à la mauvaise classe 1968 étaient partiellement prévisibles par le modèle de simulation à recrutement constant, ceci par suite du ralentissement dans la croissance de l'effort de pêche, la prise de l'année se rapprochant alors de la situation d'équilibre.

4.2. RECRUTEMENT VARIABLE :

L'analyse des cohortes (FONTENEAU et LENARZ, 1973) et les variations de la prise par unité d'effort de la classe recrutée (PIANET, 1974) donnent des estimations concordantes sur les variations du recrutement.

L'analyse de PIANET (1974) permet d'estimer que le recrutement des classes 1966 à 1972 a pu varier selon les deux hypothèses suivantes (tableau 4):

TABLEAU 4

Hypothèses sur les variations du recrutement de 1966 à 1973
(en millions d'individus)

	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973
Hypothèse a.....	30,1	35,3	25,0	62,7	33,3	33,9	32,6	33,0
Hypothèse b.....	30,1	35,3	20,0	45,7	33,3	33,9	32,6	33,0

La production de la pêcherie de surface a été simulée avec ces conditions de recrutement variable (fig. 10). Dans l'hypothèse a, l'accord avec les points observés est sensiblement moins bon qu'avec un recrutement et identique dans l'hypothèse b. Ceci

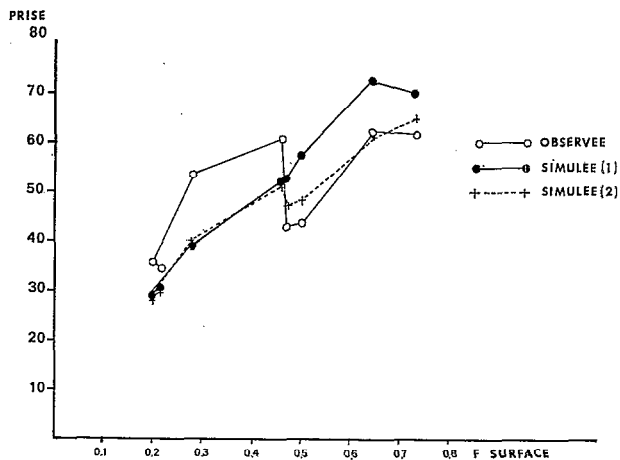


Fig. 10. — Production YF, surface, avec recrutement variable (1) et (2).

suggère que le recrutement a été vraisemblablement beaucoup plus constant que ne l'indique la première estimation. (On doit toutefois toujours considérer la classe 1968 comme une classe médiocre et celle de 1969 comme une bonne classe).

5° Fécondité du stock.

La fécondité théorique du stock a été calculée d'après la structure en âge de la population en utilisant les deux indices de fécondité d'Hayasi, repris en valeurs trimestrielles (tableau 4) par FONTENAU et LENARZ (1973).

Les valeurs absolues de ces deux indices sont très différentes, toutefois le rapport de la fécondité

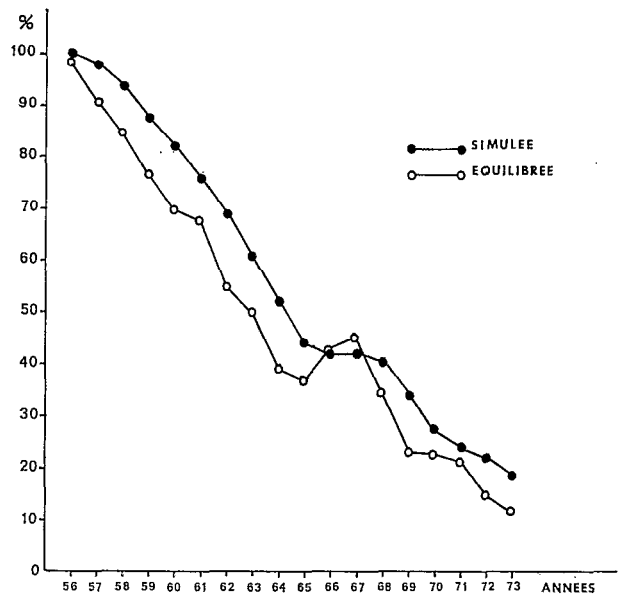


Fig. 11 a. — Fécondité indice (1) simulée et équilibrée (% fécondité de l'année/fécondité initiale).

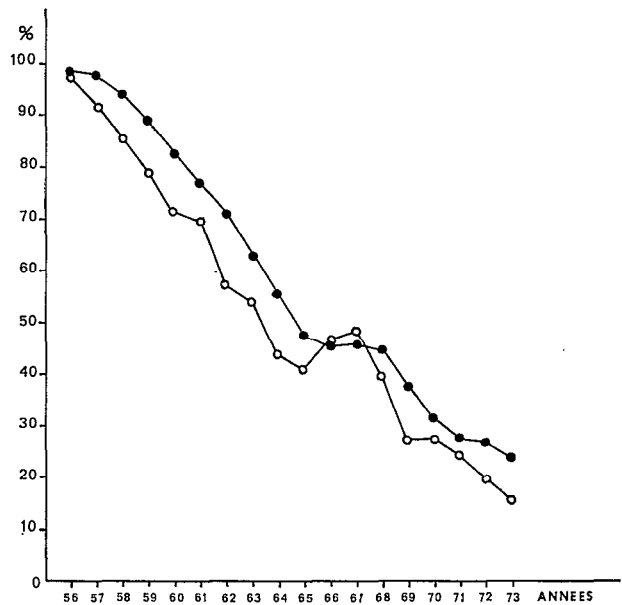


Fig. 11 b. — Fécondité indice (2) simulée et équilibrée.

du stock exploité à celle du stock vierge est lui peu variable pour les deux indices (fig. 11). Sans qu'on sache actuellement quel est le niveau critique de ce rapport pour la reproduction de l'albacore, il est très intéressant d'estimer :

- d'abord la tendance de cet indice
- ensuite la fécondité du stock d'une année donnée par rapport à celle du stock correspondant

équilibré. La figure 11 montre que la fécondité a diminué régulièrement de 1955 à 1973. Fin 1973 elle atteint 19 et 24 % de la fécondité initiale avec les indices 1 et 2 de HAYASI (1972), tendant pour un stock équilibré à 12 et 16 %. La flottille JAG semble avoir provoqué cette baisse théorique de la fécondité du stock équilibré; sans cette flottille cette fécondité serait estimée pour 1973 à 18 et 23 % de la fécondité initiale.

6° Simulation de situations hypothétiques et prévisions sur l'évolution future de la pêche.

Un certain nombre de situations hypothétiques ont été testées avec le modèle SIMU en fonction de l'évolution possible de l'effort de pêche des différents engins.

6.1. ESTIMATIONS DE L'ÉVOLUTION DE L'EFFORT DE PÊCHE :

On peut attribuer à chaque engin certaines tendances probables, sans qu'on puisse présumer actuellement des secteurs de pêche exploités, ni des espèces qui seront recherchées.

Canneurs JAG.

Une sensible augmentation est prévisible pour cette flottille pêchant principalement le listao. Ces canneurs peuvent toutefois être amenés à se transformer par suite de leurs captures très importantes d'albacores de moins de 3,2 kg, captures interdites théoriquement depuis juillet 1973 à l'initiative de l'ICCAT.

Canneurs de type FIS.

La principale flottille, celle des canneurs FIS est en voie de disparition.

Senneurs moyens.

Le nombre des bateaux doit rester stationnaire. Les anciennes unités de 100 tonnes de capacité sont toutefois remplacées progressivement par des thoniers de 200 tonnes dont le rendement est sensiblement supérieur (FONTENEAU et SOISSON, 1974).

Grands senneurs.

Un développement considérable est prévisible au moins jusqu'en 1976-1977 en l'absence de régulation économique ou réglementaire.

Le nombre de grands senneurs devant pêcher dans l'Atlantique pourrait presque doubler d'ici 1977 si on considère les commandes prévues par la France, la Côte d'Ivoire, le Sénégal, Cuba, l'Espagne.

Palangriers.

Le rendement « toutes espèces » est actuellement meilleur dans l'Atlantique comparé à celui obtenu

dans les autres océans. En conséquence une augmentation sensible de leur effort est à prévoir.

6.2. HYPOTHÈSES ENVISAGÉES ET RÉSULTATS :

Il faut se rappeler que la validité de ces résultats est limitée par les incertitudes liées aux données actuelles et à l'évolution des facteurs q des différents engins. Ils ne s'appliquent d'autre part que dans l'aire actuelle de pêche, toute expansion future de cette aire pouvant, comme on l'a vu dans le Pacifique, accroître la population exploitée et faire passer la production à un niveau supérieur.

Toutes les simulations actuelles ont été effectuées avec un recrutement constant, aucun élément ne permettant actuellement de prévoir le recrutement. L'apparition de bonnes ou de mauvaises classes d'âge dans les années à venir modifierait naturellement les résultats.

6.2.1. Hypothèse (1) :

Les efforts de la période 1974-1978 sont ceux indiqués dans le tableau (6) :

TABLEAU 6

Évolution (en %) de l'effort de pêche de 1974 à 1978 dans l'hypothèse (1)

	1973	1974	1975	1976	1977	1978
Canneurs J A G.....	100	100	100	100	100	100
Canneurs F I S.....	100	90	80	70	60	50
Senneurs moyens.....	100	110	120	120	120	100
Grands senneurs.....	100	120	140	160	180	100
Palangriers.....	100	110	110	110	110	100

L'effort des canneurs JAG est stabilisé à son niveau de 1973. L'effort des canneurs de type FIS décroît de 10 % par an. Celui des senneurs moyens augmente de 10 % en 1974 et 1975, puis se stabilise. L'effort des grands senneurs augmente de 20 % tous les ans par rapport à la situation de 1973. L'effort des palangriers se développe de 10 % en 1974 puis se stabilise.

En 1978, l'effort de tous les engins est ramené à son niveau de 1973 sauf l'effort des canneurs de type FIS.

Dans les conditions de cette hypothèse les résultats sont les suivants :

— La prise de surface (fig. 12) décroît de 1974 à 1977 de 58 000 à 50 000 tonnes. La prise équilibrée reste stable à environ 48 000 tonnes. La simulation d'une baisse de l'effort en 1978 au niveau de 73

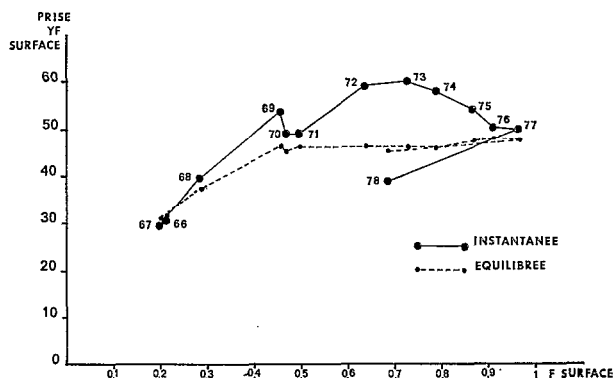


Fig. 12. — Production yellowfin de surface, hypothèse 1.

fait tomber la production à 40 000 tonnes. La prise des palangriers décroît jusqu'à 3 000 tonnes en 1977.

— Les rendements (fig. 16 et 17) diminuent régulièrement, ceux des senneurs moyens tombent à 1,35 tonne par jour de mer en 1967 et ceux des grands senneurs à 2,2 tonnes par jour de mer.

— La fécondité du stock (fig. 19) tombe à 10 et 13 % de celle du stock vierge en 1977 et pour le stock équilibré à 9 et 12 %.

6.2.2. Hypothèse (2) :

Les efforts sont ceux indiqués dans le tableau (7). Les conditions sont identiques à celle de l'hypothèse 1 exception faite de la flottille JAG qui augmente de 20 % par an.

TABLEAU 7

Évolution (en %) de l'effort de pêche de 1974 à 1978 dans l'hypothèse (2)

	1973	1974	1975	1976	1977	1978
Canneurs J A G.....	100	120	140	160	180	100
Canneurs F I S.....	100	90	80	70	60	50
Senneurs moyens.....	100	110	120	120	120	100
Grands senneurs.....	100	120	140	160	180	100
Palangriers.....	100	110	110	110	110	100

Les résultats sont les suivants :

— La prise de surface (fig. 13) décroît de la même façon que dans l'hypothèse 1 pour atteindre 50 000 tonnes en 1977. La prise équilibrée se situe en 1977 à un niveau plus bas : 43 500 tonnes. La prise des palangriers est de 3 000 tonnes en 1977.

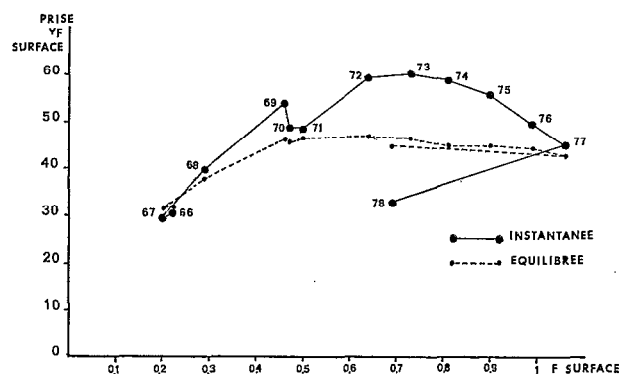


Fig. 13. — Production yellowfin de surface, hypothèse 2.

— Les rendements (fig. 16 et 17) sont stables pour les canneurs JAG; ceux des senneurs, moyens et grands décroissent respectivement à 1,2 tonnes et 2,3 tonnes par jour de mer. Le rendement en situation d'équilibre est alors de 1,0 et 1,8 tonnes par jour de mer.

— La fécondité du stock (fig. 19) atteint en 1977, un niveau égal à 9 et 11 % de celle du stock vierge pour 6 et 9 % en situation d'équilibre.

6.2.3. Hypothèse (3) :

Les conditions d'effort sont les mêmes que celles de l'hypothèse 1, exception faite de l'effort des canneurs JAG qui devient nul en 1974 (Tableau 8).

TABLEAU 8

Évolution (en %) de l'effort de pêche de 1974 à 1978 dans l'hypothèse (3)

	1973	1974	1975	1976	1977	1978
Canneurs J A G.....	100	0	0	0	0	0
Canneurs F I S.....	100	90	80	70	60	50
Senneurs moyens.....	100	110	120	120	120	100
Grands senneurs.....	100	120	140	160	180	100
Palangriers.....	100	110	110	110	110	100

— La prise de surface de 1974 (fig. 14) tombe provisoirement à 47 000 tonnes mais la production équilibrée monte à 53 000 tonnes. La prise augmente ensuite régulièrement pour atteindre 56 000 tonnes en 1977 (situation équilibrée). La prise des palangriers est de 4 000 tonnes en 1977, niveau légèrement inférieur à l'équilibre.

— Les rendements de senneurs, moyens et grands, sont stationnaires au niveau de 1975, soit respectivement 1,8 et 3,2 tonnes par jour de mer.

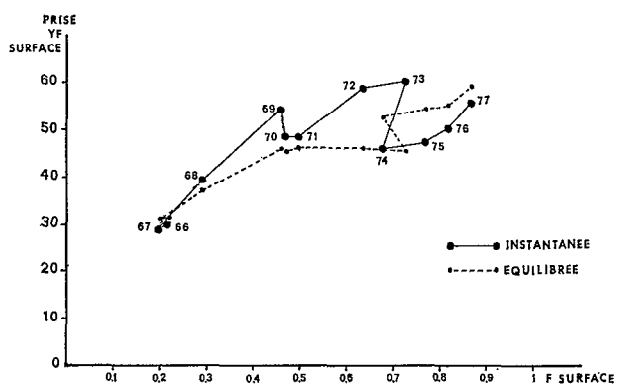


Fig. 14. — Production yellowfin de surface, hypothèse 3.

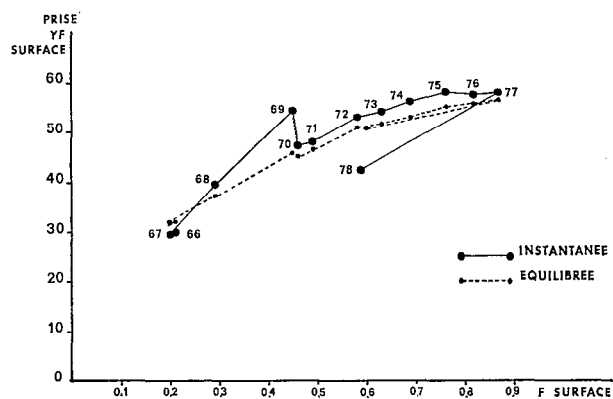


Fig. 15. — Production yellowfin de surface, hypothèse 4.

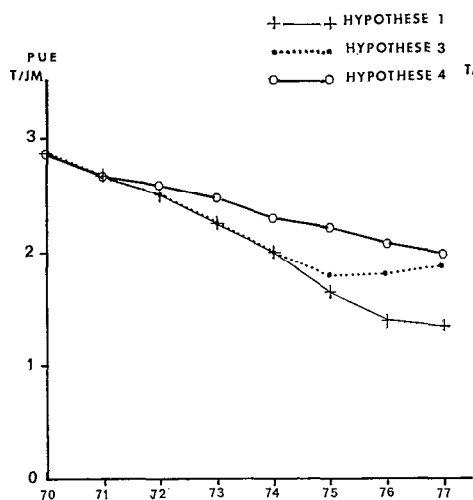


Fig. 16 a.

P U E simulées senneurs moyens.

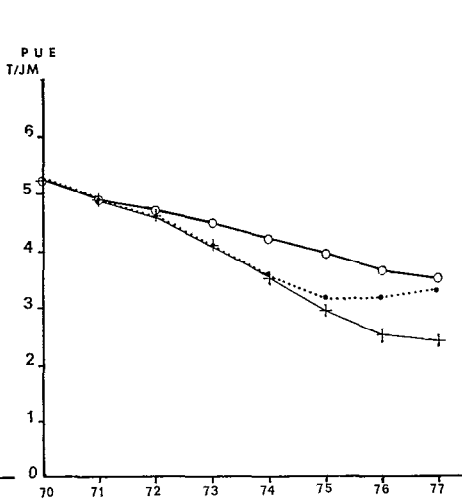


Fig. 17 a.

P U E simulées grands senneurs.

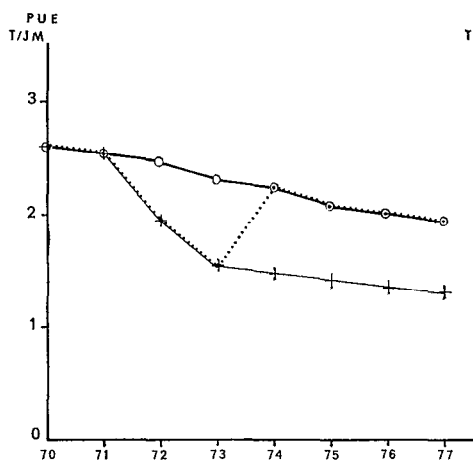


Fig. 16 b.

P U E équilibrées senneurs moyens.

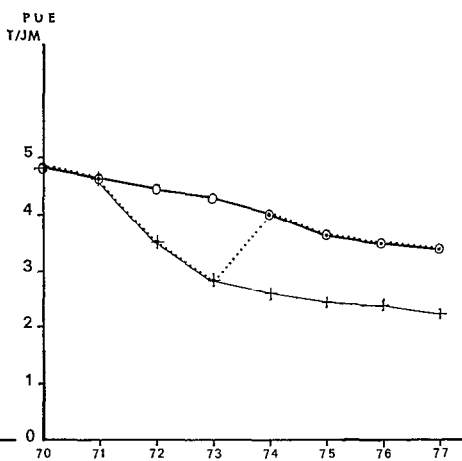


Fig. 17 b.

P U E équilibrées grands senneurs.

Fig. 16 a, 16 b, 17 a, 17 b : comparaison des P U E simulées et équilibrées dans les hypothèses 1, 3, 4 pour les senneurs moyens et grands senneurs.

— La fécondité du stock tend vers sa situation d'équilibre à 13-18 % de celle du stock vierge.

6.2.4. Hypothèse (4) :

TABLEAU 9

Évolution (en %) de l'effort de pêche de 1974 à 1978 dans l'hypothèse (4)

	1970	1971	1972	1973	1974	1978
Canneurs J A G.....	0	0	0	0		
Canneurs F I S.....	137	143	111	100		
Senneurs moyens.....	75	88	81	100		
Grands senneurs.....	63	61	105	100		
Palangriers.....	102	100	100	100		

IDEM
TABLEAU 8

Hypothèse fictive qui consiste à simuler la pêcherie de 1974 à 1977 de l'hypothèse 3, la flottille JAG n'ayant pas pêché de 1970 à 1973 (tableau 9).

Cette simulation permet d'évaluer les conséquences théoriques de cette flottille sur l'évolution de la pêcherie :

— La prise de surface est régulièrement croissante (fig. 15) et atteint 58 000 tonnes en 1977 pour une prise équilibrée de 56 000 tonnes.

— Les rendements simulés et équilibrés (fig. 16 et 17) décroissent régulièrement pour les senneurs moyens de 2,5 tonnes par jour de mer en 1973, à 2,0 tonnes en 1977. Ceux des grands senneurs de 4,2 tonnes en 1973, à 3,4 tonnes en 1977.

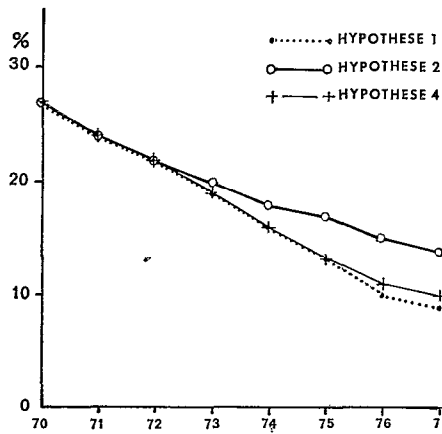


Fig. 18 a.

Fécondité instantanée du stock, indice 1 (en % fécondité stock vierge pour les hypothèses 1, 2, 4).

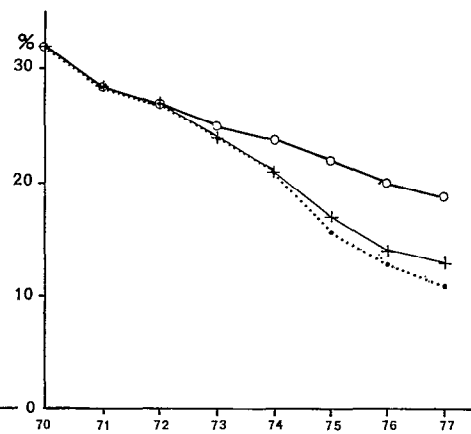


Fig. 19 a.

Fécondité instantanée du stock, indice 2.

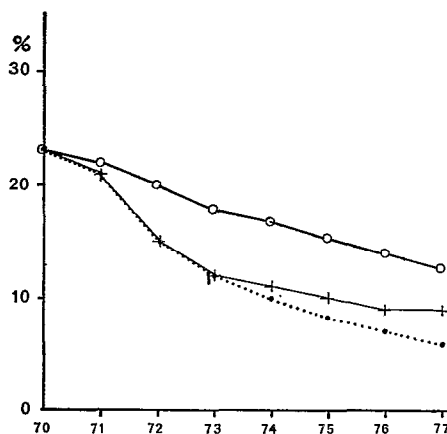


Fig. 18 b.

Fécondité équilibrée du stock, indice 1.

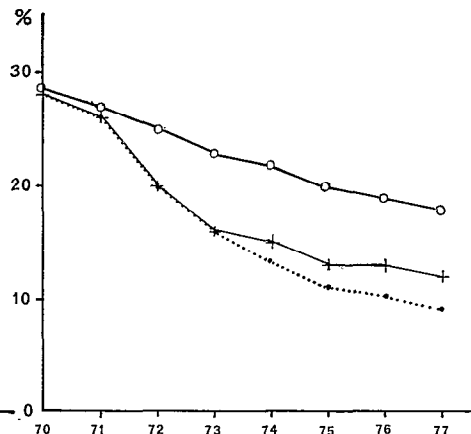


Fig. 19 b.

Fécondité équilibrée du stock.

Comparaison des fécondités instantanées (a) et équilibrées (b) dans les hypothèses 1, 2, 4 (en % de la fécondité du stock vierge) pour l'indice 1 (fig. 18) et 2 (fig. 19).

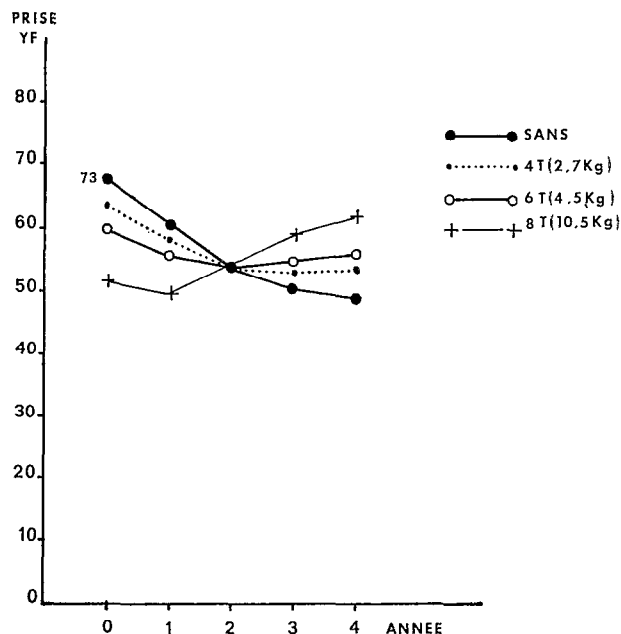


Fig. 20. — Effets théoriques des limites d'âge à la première capture sur la production totale avec l'effort de 1973.

7° Hypothèses sur les effets d'une limite de l'âge à la première capture.

Le modèle permet de simuler les conséquences théoriques instantanées et en situation d'équilibre, sur chaque engin, d'une limite de l'âge à la première capture (en négligeant les rejets éventuels). Les possibilités matérielles exactes de cette mesure, qui est sensiblement différente d'une limite de taille n'ont pas été analysées.

On sait cependant, d'après les observations sur les flottilles JAG et FIS que les jeunes cohortes sont souvent groupées pendant leurs deux premières années. Par ailleurs, l'étalement dans le temps des dates de naissance et la croissance plus ou moins rapide selon les individus fait que les poissons d'une même cohorte ont toujours des tailles variées. En conséquence ces poissons peuvent se trouver séparés en deux groupes artificiels par une limite de poids, ce qui ne serait pas le cas d'une limite d'âge.

Le modèle SIMU permet aussi de calculer la fécondité théorique du stock à partir des variations conjointes de l'effort et de l'âge à la première capture.

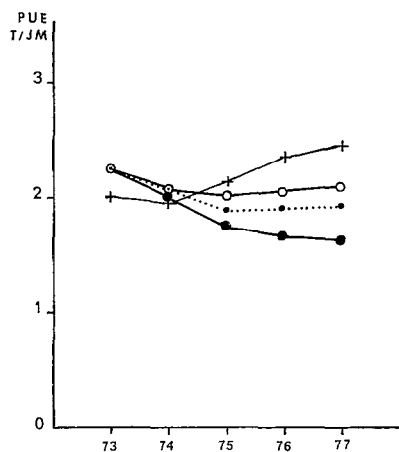


Fig. 21 a. — Canneurs J A G.

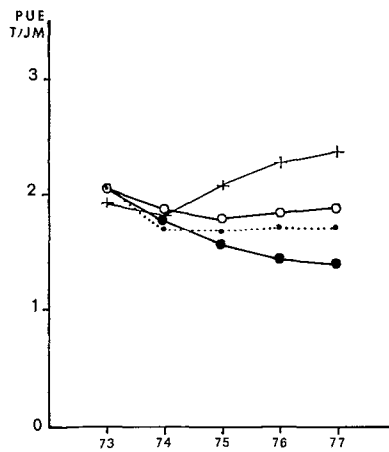


Fig. 21 c. — Senneurs moyens.

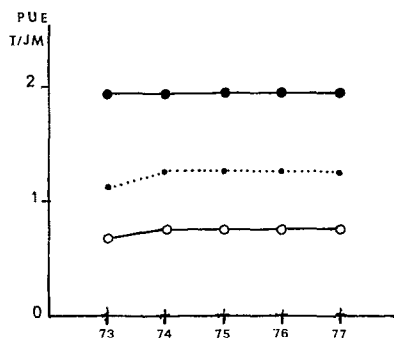


Fig. 21 b. — Canneurs F 15.

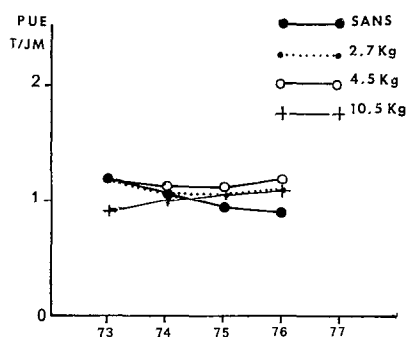


Fig. 21 d. — Grands senneurs.

Fig. 21 a, b, c, d : effets théoriques des limites d'âge à la première capture sur les rendements des engins de surface.

7.1. HYPOTHÈSE (5) :

Les conditions d'effort de l'année 1973 sont utilisées. Trois limites d'âge 4, 6 et 8 trimestres correspondant à un poids modal de 2,7-4,5-10,5 kg ont été testées. La figure 21 montre l'évolution de la prise totale dans les conditions d'effort de 1973 avec et sans limite d'âge.

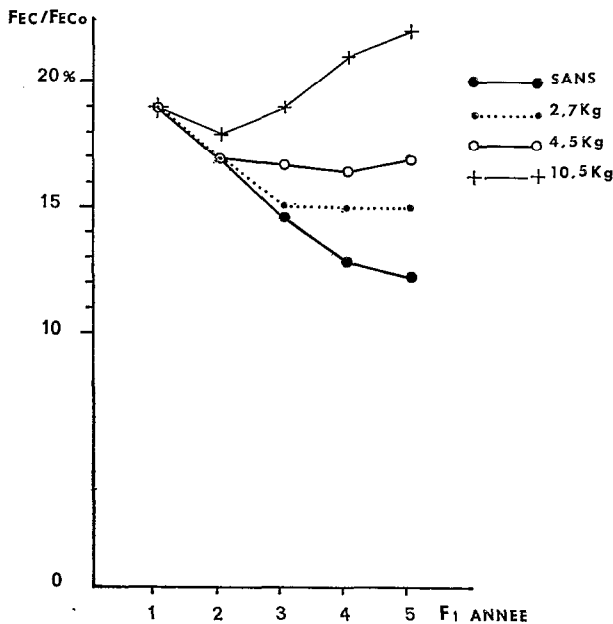


Fig. 22. — Effets des limites d'âge à la première capture sur la fécondité du stock (indice 1), effort de 1973.

Les rendements des engins de surface sont représentés (fig. 22). Ceux des canneurs JAG diminuent de moitié pour une limite d'âge à un an pour devenir nuls à deux ans. Les rendements des canneurs FIS sont peu modifiés par rapport à la situation actuelle. Les rendements des senneurs sont tous améliorés : ceux des senneurs moyens passent après 4 ans de 1,6 tonnes sans réglementation à 2,4 tonnes par jour de mer avec une limite à 2 ans. Ceux des grands senneurs de 2,8 à 4,7 tonnes par jour de mer. Ces rendements sont bien sûr théoriques ; ils sont probablement surestimés car ils sous-estiment les mortalités accidentelles par pêche qui seraient dues à des mélanges entre tailles et entre espèces différentes. Ils donnent cependant une indication sur le bénéfice maximum à espérer d'une limite d'âge.

La fécondité équilibrée du stock (fig. 23) est aussi améliorée et atteinte en 4-5 ans où elle passe de 12 % de celle du stock vierge en l'absence de limitation de taille minimum à 22 % avec une limite de 2 ans.

CONCLUSION.

Ce programme de simulation s'inspire du modèle de LENARZ « MGEAR » et du modèle TUNPOP de simulation de la pêcherie d'albacore du Pacifique réalisé par l'IATTC.

Contrairement aux modèles de production qui ne considèrent que les données de prise et d'effort, il utilise pratiquement toute l'information disponible sur la pêcherie en particulier celle liée à la taille des poissons capturés.

Ce modèle de simulation est limité dans ses prévisions par un certain nombre d'hypothèses relatives par exemple aux valeurs futures du recrutement.

La qualité de la concordance entre les données observées et les résultats simulés est difficile à déterminer. En outre, il faut se rappeler que cette concordance n'a pas de signification statistique réelle dans la mesure où la simulation utilise de façon inverse l'information obtenue par l'analyse des cohortes. Il faut aussi noter qu'il est possible d'obtenir un même accord statistique entre observations et simulations, en employant différentes combinaisons de paramètres ayant la même concordance avec les données passées mais donnant des prévisions différentes pour la période future.

On peut toutefois espérer en se basant sur la description satisfaisante obtenue pour les années antérieures que, malgré l'imprécision de certaines données, les prévisions effectuées indiquent bien à court terme et à moyen terme les ordres de grandeur des résultats possibles dans les zones de pêche actuelles. Il faut toujours garder en mémoire le fait que toutes les analyses portent dans l'aire exploitée actuellement sur la population actuellement exploitée. Une extension des zones de pêche pourrait augmenter la production et changerait les résultats dans la mesure où une population plus importante serait exploitée. A ce sujet l'existence de populations exploitables par des pêcheries de surface dans l'Atlantique central et de l'ouest est probable. Divers indices montrent toutefois que :

1° ces populations sont certainement moins importantes que celles du golfe de Guinée.

2° que les conditions d'exploitation climatiques et océaniques risquent d'y être en moyenne moins favorables pour des pêcheries de surface.

Dans la zone actuelle de pêche, la simulation a l'avantage sur les modèles de production de ne pas nécessiter le choix beaucoup trop arbitraire du coefficient m du modèle de production généralisée, lié soit à l'optimisme du chercheur soit à une bonne corrélation accidentelle sans signification biologique. Par ailleurs le choix de m est déterminant pour effectuer des prévisions car de légères variations de

ce coefficient peuvent entraîner des grandes différences dans les estimations de la production pour des efforts croissants.

Ce modèle « SIMU » tient compte également des modifications de l'effort des différents engins, modifications très importantes dans cette pêcherie.

Les modèles de simulation d'une pêcherie sont en général, et spécialement dans le cas complexe de l'albacore atlantique, des outils potentiellement en mesure de répondre à la plupart des questions posées par les administrateurs :

— écarts entre les rendements actuels et les rendements équilibrés ?

— prévisions des conséquences de l'augmentation ou de la diminution de l'effort d'un engin donné ?

— effet d'une limite de taille instantanément et en situation d'équilibre pour les rendements des différents engins ?

— effets d'une saison de pêche de durée limitée ?

— effet d'un quota de prise ou d'effort par engin ?

— effets d'un mauvais recrutement selon le niveau de l'effort de pêche ?

— conséquences des différentes hypothèses sur la fécondité du stock ?

Des réponses à ces questions sont toutes données par le modèle; la précision des résultats sera fonction de la qualité des paramètres utilisés.

Il importe donc désormais :

1° De tester la sensibilité des prévisions du modèle aux variations des différents paramètres.

2° D'améliorer les paramètres actuellement utilisés, principalement ceux qui se révèlent être les plus importants pour la sensibilité du modèle.

Les résultats de cette étude doivent donc être considérés seulement comme provisoires. Les progrès importants dans les statistiques thonnières notés récemment doivent permettre d'obtenir de bien meilleures estimations des paramètres dans l'avenir, du moins nous l'espérons.

Manuscrit reçu au S.C.D. le 13 février 1975.

BIBLIOGRAPHIE

- AMON (J. B. K.), FONTENEAU (A.), 1974. — L'échantillonnage des fréquences de tailles d'albacore (*Thunnus albacares*) de la flotille thonnière franco-ivoiro-sénégalaise. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanographie (sous presse)*.
- CAVERIVIÈRE (A.), FONTENEAU (A.), 1974. — Étude du recrutement des albacores par la flotille franco-ivoiro-sénégalaise dans l'Atlantique de 1969 à 1973. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr. (sous presse)*.
- FONTENEAU (A.), CAVERIVIÈRE (A.), 1973. — Application des modèles de Schaefer et dérivés aux populations d'albacores (*Thunnus albacares*) de l'Atlantique. Document ICCAT SCRS/73/13 - in ICCAT Recueil de Documents Scientifiques, vol. II (SCRS-1973) : 94-110.
- FONTENEAU (A.), LENARZ (W.), 1973. — Cohort analysis of the eastern Atlantic fishery for yellowfin tuna. Document SCRS/73/64 - in ICCAT Recueil de Documents Scientifiques, vol. II (SCRS-1973) : 57-77.
- FONTENEAU (A.), SOISSON (P.), 1974. — La notion d'effort de pêche et de prise par unité d'effort dans la flotille Franco-Ivoiro-Sénégalaise. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanographie (sous presse)*.
- FOX (W.), LENARZ (W.), 1973. — A production model analysis of the status of Atlantic yellowfin tuna. Document SCRS/73/61 ; in ICCAT Recueil de Documents Scientifiques, vol. II (SCRS-1973) : 78-93.
- FOX (W.) Jr., 1974. — A general life history exploited population simulator with Pandalid shrimp as an example. *Fishery Bulletin*, vol. 71, n° 4, 1973.
- FRANCIS (R. C.), 1974. — TUNPOP, a computer simulation model of the yellowfin tuna population and the surface tuna fishery of the eastern pacific ocean. *Bull. Inter. Amer. Trop. Tuna Comm.* 16 (3) : 235-279.
- HAYASI (S.), 1972. — Biological views for conservations of yellowfin tuna in the Atlantic ocean, based on information obtained up to October 1972. Document ICCAT-SCRS/72/21, 16 p.
- IATTC, 1973. — Annual report of the Inter American Tropical Tuna Commission, 1972, 166 p.
- LE GUEN (J. C.), SAKAGAWA (G.), 1973. — Apparent growth of yellowfin tuna from the eastern Atlantic ocean. *Fishery Bulletin*, vol. 7, n° 1.
- LENARZ (W.), FOX (W.), SAKAGAWA (G.), ROTHSCHILD (B.), 1974. — An examination on the yield per recruit basis for a minimum size regulation for Atlantic yellowfin tuna (*Thunnus albacares*). *Fishery Bulletin*, vol. 72, n° 1.
- PELLA (J.), TOMLINSON (P.), 1969. — A generalized stock production model. *Bull. IATTC*, vol. 13, n° 3.
- PIANET (R.), 1974. — Le recrutement des albacores dans la région de Pointe Noire. Documents du Centre O.R.S.T.O.M. de Pointe-Noire (sous presse).
- RICKER (W. E.), 1958. — Handbook of computations for biological statistics of fish populations. *Fish. Res. Board. Can., Bull.* 119, 300 p.
- SCHAEFFER (M. B.), 1957. — A study of the dynamics of the fishery for yellowfin tuna in the eastern tropical Pacific ocean. *IATTC Bull.* 2, 6 : 247-285.
- WALTERS (C. J.), 1969. — A generalized computer simulation model for fish population studies. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 98 : 505-512.

TABLEAU 1

Prises d'albacore de 1956 à 1973 par engin dans l'Atlantique Est

Années	Canneurs JAG	Canneurs Type FIS	Senneurs Moyens	Grands Senneurs
1956	0	2 550	0	0
1957	0	7 200	0	0
1958	0	7 850	0	0
1959	0	6 300	0	0
1960	0	16 200	0	0
1961	0	17 300	0	0
1962	0	18 800	0	0
1963	0	22 700	600	0
1964	0	20 700	4 900	0
1965	0	19 500	7 000	0
1966	0	19 300	15 250	0
1967	0	17 700	18 100	0
1968	0	23 000	23 700	6 200
1969	0	16 000	21 800	22 750
1970	1 000	8 100	18 000	16 300
1971	2 500	8 400	19 600	11 750
1972	6 200	8 400	22 600	24 500
1973	11 500	6 200	21 200	22 700

TABLEAU 2

Effort de pêche sur le yellowfin de 1956 à 1973 par engin dans l'Atlantique Est

* En jours de mer pour les 4 engins de surface.

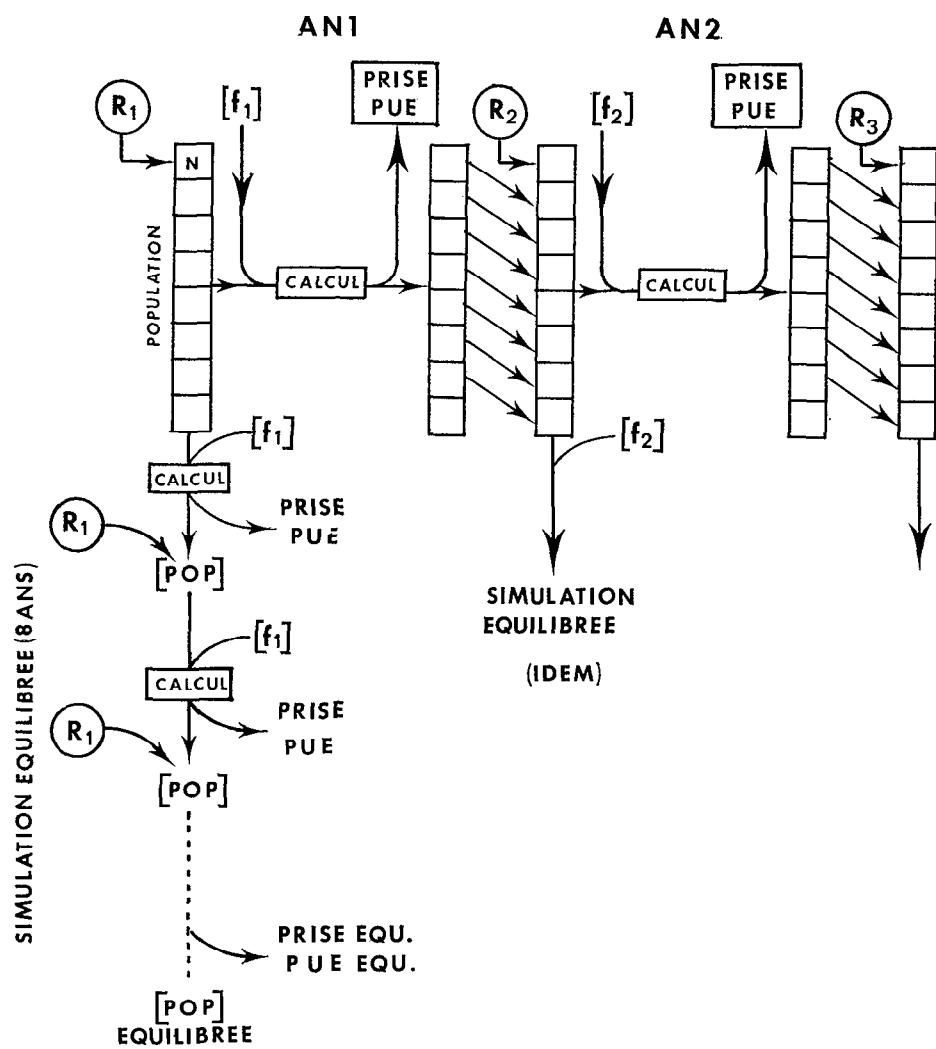
* En 1.000 hameçons /5°×5° pour les palangriers.

Années	Canneurs JAG	Canneurs type FIS	Senneurs moyens	Grands senneurs	Palangriers
1956	0	600	0	0	
1957	0	1 760	0	0	22
1958	0	2 500	0	0	58
1959	0	4 000	0	0	94
1960	0	5 800	0	0	130
1961	0	6 200	0	0	150
1962	0	9 500	0	0	250
1963	0	10 440	296	0	300
1964	0	12 700	1 800	0	380
1965	0	11 900	2 848	0	435
1966	0	9 948	3 841	0	200
1967	0	7 822	4 229	0	205
1968	0	7 787	6 237	620	265
1969	0	10 900	6 229	2 978	415
1970	400	6 900	7 285	3 152	460
1971	1 100	7 190	8 533	3 069	450
1972	3 000	5 587	7 908	5 268	450
1973	5 000	5 024	9 711	5 000	450

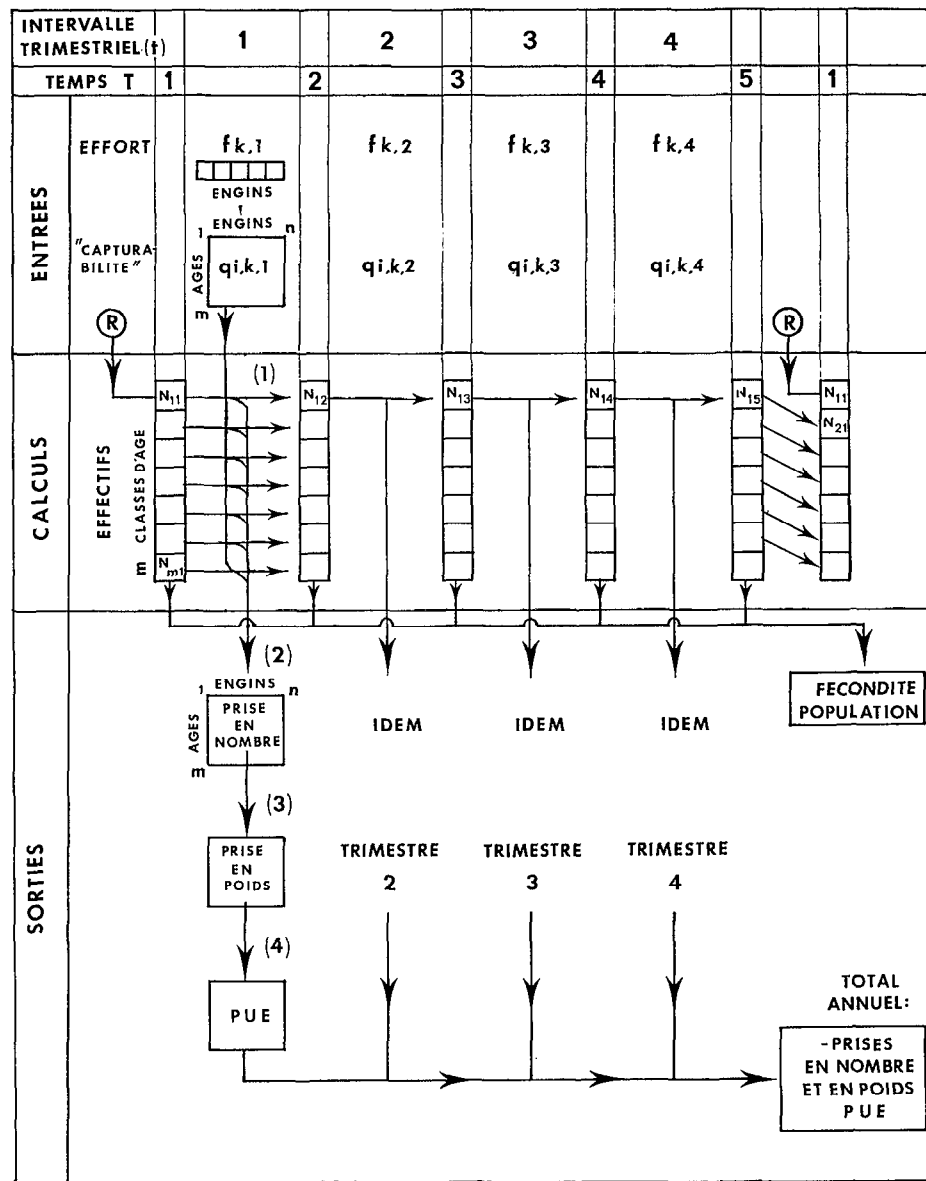
TABLEAU 5

Poids modal et indices de fécondité 1 et 2, par âge

Age en années	Age en trimestre	Poids modal	Indice de fécondité 1	Indice de fécondité 2
1	1		0	0
	2	1,3	0	0
	3	1,5	0	0
	4	1,8	0	0
2	1	2,7	0	0
	2	3,3	0	0
	3	4,5	0	0
	4	5,5	0,04	0
3	1	10,5	0,10	0,10
	2	16,2	0,20	0,20
	3	20,0	0,35	0,35
	4	25	0,50	0,50
4	1	30	0,60	0,60
	2	35	0,75	0,75
	3	40	0,90	0,90
	4	45	1,10	1,00
5	1	50	1,35	1,10
	2	58	2,00	1,25
	3	65	2,30	1,35
	4	70	2,60	1,45
6	1	76	2,75	1,60
	2	82	3,50	1,75
	3	88	3,80	1,85
	4	94	4,20	1,95
7	1	99	4,70	2,10
	2	100	5,00	2,20
	3	100	5,00	2,30
	4	100	5,00	2,60
8	1	100	5,00	2,60
	2	100	5,00	2,60
	3	100	5,00	2,60
	4	100	5,00	2,60



ANNEXE 1. — Organigramme de « SIMU » — logique générale.



ANNEXE 2. — Organigramme de « SIMU » — détail des calculs.