

SIMULATION MODEL OF THE ALBACORE FISHERY  
(THUNNUS ALBACARES) IN THE ATLANTIC

MODELE DE SIMULATION DE LA PECHERIE  
D'ALBACORES(THUNNUS ALBACARES) DE L'ATLANTIQUE

A. Fonteneau

CRO

Abidjan, Côte d'Ivoire

Original in French- Translation by NMFS.

Original en Français-Traduit par le N. M. F. S.

Original en francés - Traducido por el N. M. F. S.

SIMULATION MODEL OF THE ALBACORE FISHERY  
(THUNNUS ALBACORES) IN THE ATLANTIC

-----  
By A. FONTENEAU

Oceanographic Biologist ORSTOM  
Oceanographic Research Center - ABIDJAN  
-----

ABSTRACT

A simulation program--SIMU--of the eastern Atlantic albacore fishery, based on Ricker's model for multiple vessels simultaneously fishing a single albacore population has been completed. The annual recruitment and the values of the coefficients  $q$  of mortality owing to the fishery (Ricker's catchability coefficient) by age and by vessel, necessary to this simulation are estimated from the results of analysis by the cohorts. The SIMU program calculates as a function of the quarterly efforts of the various vessels in number and in weight, the catch by unit of effort by vessel and the fecundity of the stock. All of these results are calculated in the report of the year of the fishery and in equilibrium situation, assuming that the effort of the various vessels remains constant.

The simulation of the fishery (including the longliners) was made from 1956 to 1973; the results concur satisfactorily with observed data. Predictions on the possible development of the fishery are made as a function of the predicatable tendencies of the efforts of the various vessels.

Introduction

The albacore fishery in the Atlantic is very complex, principally because several very different vessels, each working preferentially a certain size of fish, are simultaneously exploiting this population; otherwise, the proportion of the various crafts was in a state of extraordinary development since 1955, the year of the beginning of the tuna fishery in the Atlantic.

The complexity of this fishery makes it difficult to describe satisfactorily by the classical production models, thus necessitating a standardization of the fishery effort which neglects the fundamental fact that each craft works on its given size of fish.

LENARZ (1974) recently made a model (MGEAR) adapting Ricker's method to several vessels. The yields by recruit are calculated introducing the values, for each vessel, of the coefficients of mortality owing to the fishery  $F$  in function of the age of the fish. The present model --SIMU--is based on the same principal of  $n$  vectors of mortalities by fisheries provoked by  $m$  vessels simultaneously fishing one population having a recruitment by year. It supposes known the values of the coefficient of mortality by unit of effort by age and by vessel ( $q$ ) as well as the effort of the various vessels. The SIMU program was written by A. FONTENEAU in FORTRAN IV for directive IBM 360-40 or 370-45. Copies of the program are available at the CRO of Abidjan. The program makes a simulation of the fishery calculating the results of the same year which concerns the catch, the catch by unit of effort, the average weight by craft and by age, as well as the development year by year towards the situation of equilibrium for each vessel, if the effort of the various crafts remains the same. The instant fecundity of the stock and those in state of equilibrium are also estimated by the program apart from the demographic structure of the stock and of the fecundity indices of HAYASI (1972).

METHOD OF CALCULATION

1st--Description:

The base equation is that of Ricker where the mortality by fishery is variable according to age. The coefficient of instant mortality by fishery in each interval of time is written:

$$F_i = \sum_j^M q_{ijk} \cdot f_{ik}$$

where  $q_{i,j,k}$  is the coefficient of "capturability" in the interval  $i$  for the age  $j$  and the craft  $k$  and  $f_{i,k}$  is the effort of catch of the vessel  $j$  in the interval of time.

The model, in addition to these values of  $q_{ijk}$  and  $f_{ik}$ , requires knowledge of:

--the value of the coefficient of natural mortality  $M$ . This value is supposed constant for lack of information. The program could be easily modified by introducing a coefficient  $M$  variable with the age.

--the annual recruitment and number of individuals.

--the indices of fecundity permit the biomass by age to be linked to the potential fecundity of the stock.

2nd--Data utilized:

2.1--The recruitment and the values of the coefficient  $q$  by vessel have been calculated after the results of the analysis of the cohorts using the average of the two hypotheses concerning a maximum effort and a minimum effort (FONTENEAU & LENARZ, 1973). The values of the coefficients  $q$  are quarterly, the quarter being the smallest usable interval of time. The quarterly data may take into account the seasonal variations of the availability of the stock and of the characteristic progression of the recruitment for each vessel. The values of  $q$  used in the study are represented in Fig. 1. They were calculated in the years 1969 & 1970 and should be considered as provisional.

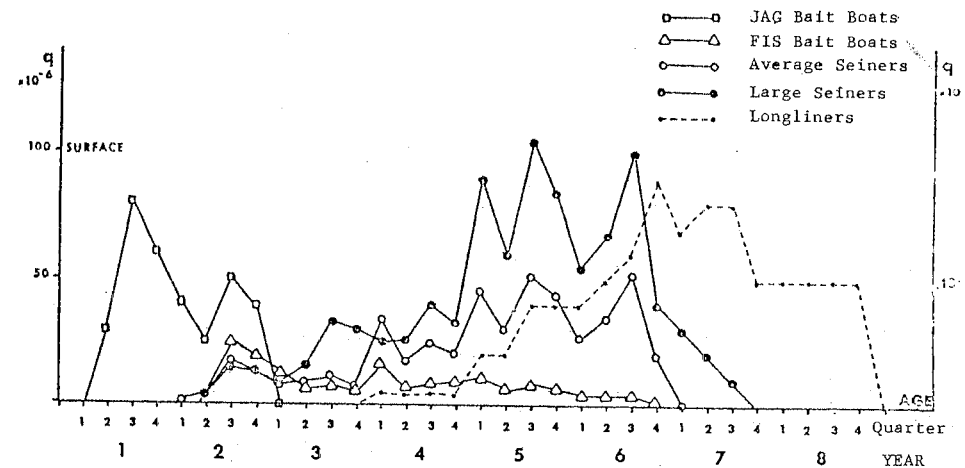


Fig1: "q" FACTORS BY AGE FOR THE 5 VESSELS

2.2.--The growth curve used (Table 5) is based on the model weights and not on the theoretical values. New studies of the growth based on the model weights ought to be made from current data in order to ameliorate these data, which like the coefficients  $q$  ought to be considered as provisional. The simulation model at hand works on 8 classes of age which at the beginning might be non-exploited (in the case of an initial virgin stock), or might be exploited and in this case the estimated demographic structure for the stock (the 1st of January) is then read by the program from the previous results (analysis of the cohorts or previous simulation).

2.3.--The following vessels were distinguished in the current study:

JAG Bait boats (Japanese, U.S., Ghanean): This fleet which is based at Tema and at Freetown is very important since 1972 and 1973. The catch of these boats is characterised since 1970 by important catches of very small albacore mixed with skipjack. From 1963 to 1968 the distributions of frequencies of lengths of the fish caught by the bait boats of France and Japan were very similar. The measurement made in 1973 and 1974 at the Fishery Research Unit at Tema permitted the estimate of the coefficients  $q$  for this fleet.

Bait boats of type FIS (French, Ivory Coast, and Senegalese boats). Regroup the ice bait boats, the freezer bait boats of FIS, and the Spanish bait boats. The unit of effort of this type is the day-at-sea [jour de mer] of the FIS freezer bait boat; the total is calculated knowing the total catch of the following categories according to the classical relationship:

$$\text{Total effort} = \frac{\text{Total catch}}{\text{Catch by FIS unit of effort}}$$

The catch by unit of effort is the average of the bait boats of categories 2 and 3 (50 and 90 ton capacity) just as it is calculated in the study of FONTENEAU & SOISSON (1974).

Average [purse] seiners:

This category includes the FIS boats and the Spanish boats. The unit of effort of this type is the day-at-sea of the average FIS seiner. The catch by unit of effort is calculated as the non-balanced average of the FIS seiners of categories 3 & 4, that is to say of 100 and 200 ton transport capacities.

Large seiners:

Includes FIS, Spanish, American boats as well as vessels of several other countries. The unit of effort is the day-at-sea of the large FIS seiner of category 5 (400 ton capacity), the effort of the other seiners are calculated from their catches. These three vessels standardized their effort in FIS unit, consequently the homogeneity of this fleet, its permanence, and its effort always principally oriented to albacore.

Longliners:

Understand these to be Japanese, Panamanian, Taiwanese, Venezuelan, and Cuban boats. The unit of effort is in reality an intensity of catch which corresponds to the putting in by a Japanese longliner of 1,000 hooks by statistical quadrant of  $5^{\circ}$  latitude by  $5^{\circ}$  longitude (HONMA, 1973).

2.4.--The annual recruitment is either constant or variable according to the simulations. We are making the hypothesis of a single recruitment for the whole of the eastern Atlantic. In effect the most recent observations on the identity of the stocks seems to indicate that spawning is synchronous from January to April in the two principal sectors of spawning. The first sector goes from Ghana to the islands of the gulf of Guinea (Annobon, Sao Thome') and the second is situated off of Liberia. The albacore caught in the Dakar sector, which are hatched in July in an undelineated zone, are relatively scarce in the current catches. If the catches of this population develop, the model ought then to take into account the existence of two annual cohorts, as is observed in the Pacific.

3rd--Discussion:

Concerning the validity of the obtained results, it is necessary to first distinguish the problems linked to the method itself, and those linked to the current data.

3.1.--The method:

It is limited throughout by the variability of the factors q which perhaps are of two types.

3.1.1.--Augmentation [increase] of the average coefficient q:

This increase is linked to the amelioration of research thanks to a better knowledge of the zones of catch to the prospecting tactics of the ameliorating group, to the aerial research, to research of wrecks, to the increased speed of the boats, etc., and to the amelioration of the techniques of the catch properly (seines, boats).

3.1.2.--Variation of the coefficient q for a given age:

The factors q of a vessel for a given age could have a marked tendency to increase or diminish, independently of the short period cyclical variations which are purposely neglected.

Several causes could be seen:

--Economic causes: variation of the purchase price of the different sizes, the mercury problem, size limit.

--Psychological causes linked to a progressive development of the fishing practices.

--Exploitation of different sectors which could increase the vulnerability of certain sizes of fish.

--Interaction among species: the fishing of the skipjack could for example increase the mortality of the young albacore.

3.2.--The current calculations are limited essentially by:

--The imprecision in the calculation of the coefficients  $q$  by age and by vessel: the current calculation was made over only a few years and during a period when the fleets were greatly developed. Only the order of the extent [ordres de grandeur] of the coefficients  $q$  by age are probable.

--The zone of the study:

The zone studied is the eastern Atlantic bounded by  $30^{\circ}$  W after HONNA (1972). FONTENEAU & LENARZ (1973) had used this same zone in their analysis of the cohorts. The eventual combinations which are probable more or less altered the current analyses according to their importance.

It is possible to predict, when these statistical data permit, a simulation of two systems east Atlantic and west Atlantic, having the recruitments, the factors  $q$  and the independent efforts. These two systems could have had a certain rate of mixture by age and in the directions east/west and west/east.

3.2.1.--The heterogeneity of employment of certain similar vessels:

The large seiners deserve for example to be separated by nationality as a consequence of differences in the fishing practices.

3.2.2.--The actual relationship between the size (weight) and the age of albacore:

The analyzed data are insufficient for albacore of more than 3 or 4 years. Since the fish attain a size approaching the asymptotic value  $L_{\infty}$ , it is difficult by Peterson's method currently used, to attribute to them anything but a minimum age. In these conditions age is often under-estimated which leads to over-estimation of the values of  $q$  for the aged fish. (LENARZ, et. al. 1974)

3.2.3.--The real value of the coefficient of natural mortality  $M$ :

The average value of  $M$  is generally estimated for albacore as being between 0.6 and 0.8. No information exists on the variations of  $M$  with age, although these variations are probable. All the simulations of this study have been done with a constant  $M$  equal to 0.8.

The analyses previously done on the yield per recruit with a constant  $M$  equal to 0.6 (LENARZ et. al. 1974) have given comparable results.

If a marked variation does exist of  $M$  with age (increase? decrease?) the results would certainly be very different. For example the consequences of the JAG fishery could be under-estimated or over-estimated according to whether the natural mortality of the young fish is less than or greater than 0.8.

#### RESULTS

1st--Simulation of the fishery with isolated vessels:

With the various vessels fishing albacore of very different ages, one should anticipate that the yield per recruit and therefore the production of the fishery, would be different according to the vessels. Figure 2 shows the theoretical curves of production in equilibrium which would be obtained by the various vessels fishing alone with a constant recruitment (average 66-72). The curves of production are each approximating the curves of the model of exponential production (Fox's Model).

The theoretical maximal production in equilibrium of each single vessel and the corresponding effort are indicated in the following table.

	Maximum Catch Equilibrium	Effort Corresponding
JAG Bait Boats	25 000	35 000
Bait Boats	43 000	55 000
Average Seiners	55 000	37 500
Large Seiners	60 000	27 500
Longliners	63 000	4 500

JAG Bait Boats	□—○	CANNEURS JAG
FIS " "	△—△	CANNEURS FIS
Average Seiners	○—○	SENNEURS MOYENS
Large Seiners	●—●	GRANDS SENNEURS

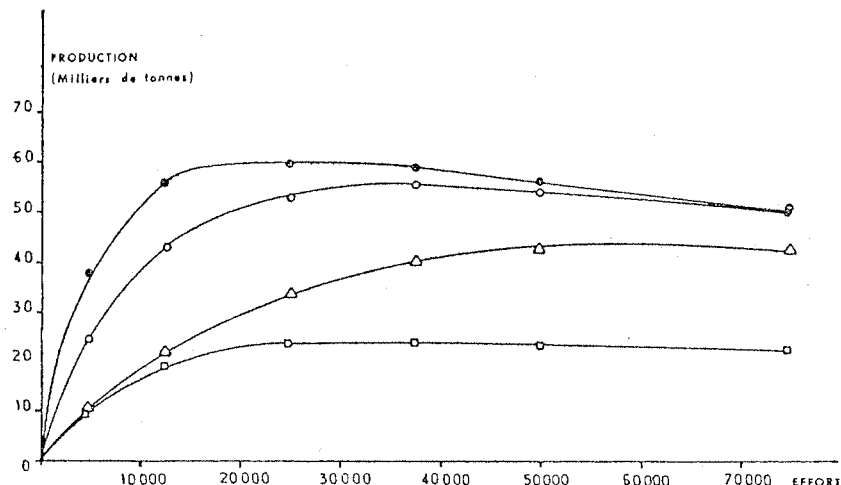


Fig 2: EQUILIBRIUM PRODUCTION AS A FUNCTION OF THE EFFORT FOR THE VESSELS FISHING INDIVIDUALLY

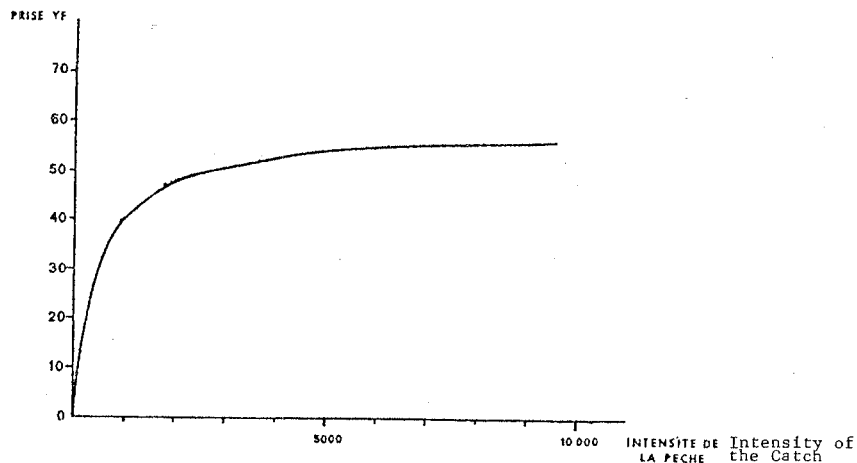


Fig 3: PRODUCTION EQUILIBREE THEORIQUE PALANGRE SEULE  
THEORETIC EQUILIBRIUM PRODUCTION INDIVIDUAL LONGLINE

One already notes the important differences that exist between the maximal productions of the various vessels and therefore the importance of the proportion of the various vessels to determine the level of production of the fishery.

2nd--Simulation of the history of the fishery:

The effort of the various vessels (Table 1) was estimated for the period 1955 to 1965 from the data of FONTENEAU & CAVERIEVIERE and from those of FONTENEAU & SOISSON (1974) for the period 1966-1973. The quarterly variations of the effort have been neglected due to a lack of information. The quarterly effort has then been fixed as a quarter of the annual effort.

3rd--Results:

Figures 4 to 8 (a) show for the 5 vessels of the fishery and for the group of the surface fishery the observed catches and calculations by SIMU. Figures 4 to 8 (b) the instant catches and catches in equilibrium corresponding to the conditions of effort by vessel for the year.

One ascertains that the agreement is generally satisfactory for the surface vessels between the observed catch and the catch calculated by SIMU. One also verifies that consequently the increasing effort of catch of the fishery, the theoretical simulated catch was almost always greater than the theoretical catch in equilibrium.

For the catch of the longline, the effort in the eastern Atlantic was estimated at 45% of the total effort for all of the period 1956 to 1973. The agreement between the theoretical values and those observed (Fig. 7b) is mediocre although it would now be impossible to realistically estimate the tonages caught in the eastern Atlantic (Fig. 7a).

It seems nevertheless certain that the catches of the longliners of the initial period are systematically under-estimated by the model. This suggests an important decrease of the average factor q (or of certain ages) for this vessel, as a decrease of the recruitment seems improbable from the results of the surface fisheries.

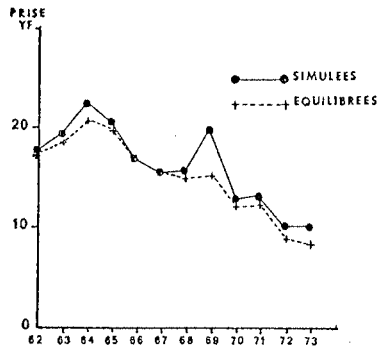


Fig 4a: Simulated Catches & Equilibrium FIS Bait Boats

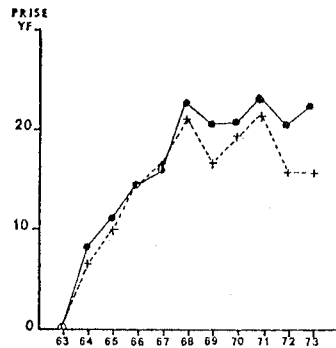


Fig 5a: Simulated Catches & Equilibrium Average Seiners

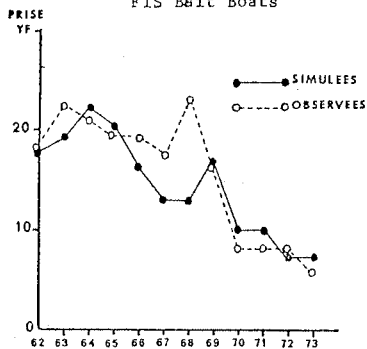


Fig 4b: Simulated and Observed Catches FIS Bait Boats

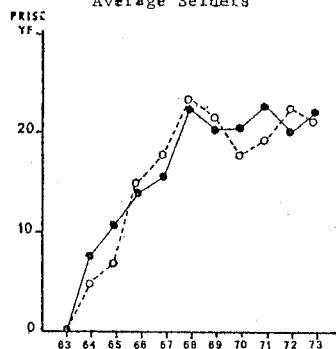


Fig 5b: Simulated and Observed Catches Average Seiners

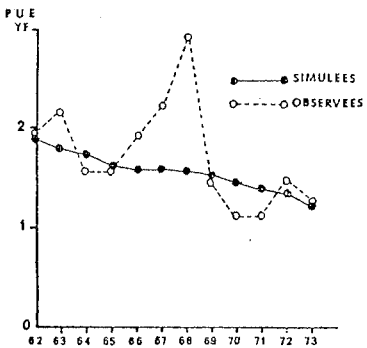


Fig 4c: Catch per Effort (PUE) Simulated & Observed FIS Bait Boats

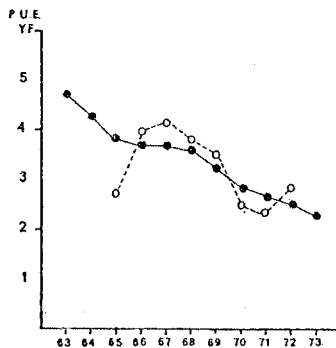


Fig 5c: Simulated & Observed PUE Average Seiners

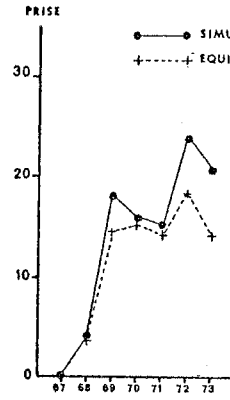


Fig 6a

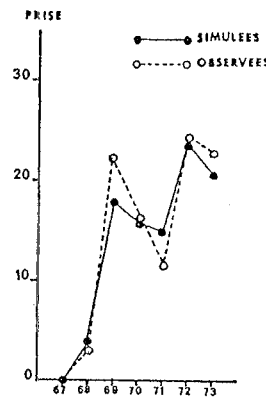


Fig 6b

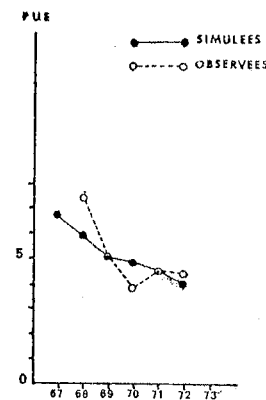


Fig 6c

CATCHES SIMULEES & EQUILIBRIUM OF THE Large Seiners

Fig 6a: PRISES SIMULEES ET EQUILIBREES DES GRANDS SENNEURS

Fig 6b: PRISES SIMULEES ET OBSERVEES DES GRANDS SENNEURS

Fig 6c: PUE SIMULEES ET OBSERVEES DES GRANDS SENNEURS

One can express several hypotheses to explain this decrease.

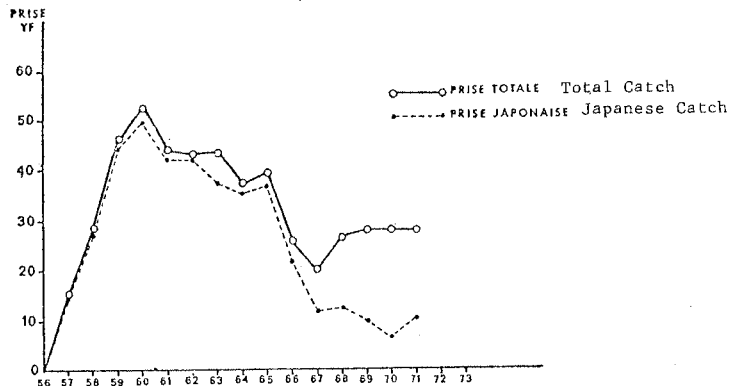
--The change of the countries fishing with long-lines: the Japanese longliners currently have yields very significantly superior to those of Taiwan. The progressive replacement of the Japanese boats by those of other countries could thus bring about a decrease of the average factors  $q$ .

--An artifact due to the mix of populations east and west, aggravated by ignorance of the actual catches made in the eastern Atlantic.

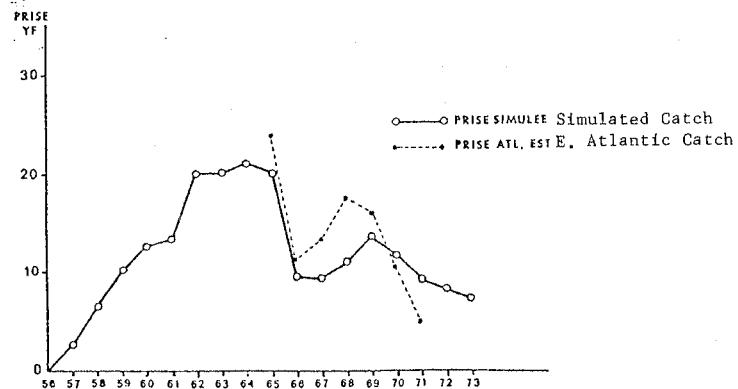
--A bias in the method linked to the imprecision of the structure in age of the old individuals and to the imprecision of the value of the coefficients  $q$  for the longliners.

--The hypothesis of "learning removal" has also been offered.

All this consequently means that little of importance will be imparted provisionally to the results of the longliners in the current state of the data.



TOTAL CATCH & JAPANESE CATCH LONGLINE YF  
Fig 7a: PRISE TOTALE ET JAPONAISE YF-PALANGRE



CATCHES SIMULATED AND OBSERVED IN THE E. ATLANTIC  
FOR LONGLINERS (From Japanese Catch Zones)  
Fig 7b: PRISES SIMULEES ET PRISES OBSERVEES DANS  
L'ATLANTIQUE EST POUR LES PALANGRIERS  
(D APRES ZONES DE PECHE JAPONAISES)

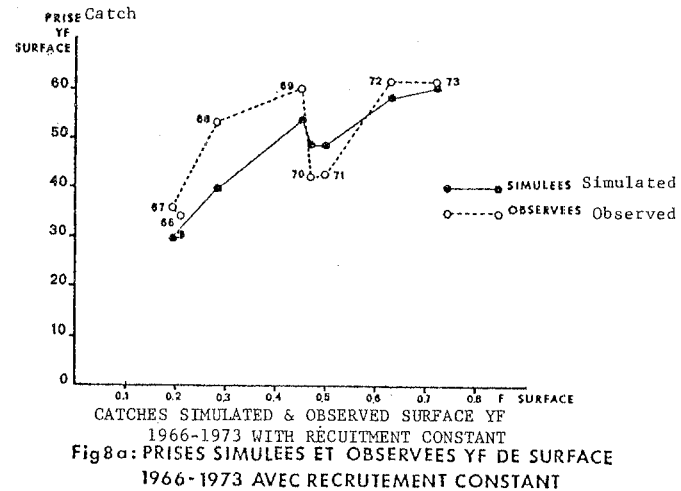
#### 4th--Simulation of the recent period 1966-1973:

The best known period statistically and also the most interesting for this fishery is the recent period during which the effort of catch has greatly developed qualitatively and quantitatively, production having seemingly reached its maximum.

##### 4.1.--Recruitment constant:

The simulation model with constant recruitment suggests that for the theoretic curve of production in equilibrium the maximum had situated around 47,000 tons from 1969 to 1971 and decreased to 45,000 tons in 1973 for the surface fishery. This slant is essentially due to the actions of the JAG bait boats, their previous negative effects theoretically felt more or less rapidly according to the vessels. Figure 9 shows the evolution of the yields for the various vessels supposing the effort and the biological parameters (recruitment in particular) to be constant. In the absence of the JAG bait boats the theoretical catch in equilibrium of 1973 would have reached 52,000 tons.

This progression of the balanced production of 47,000 tons to 52,000 tons predicted by the model probably explains the passage (FONTENEAU & CAVERIVIERE, 1973) of a curve of production of the bait boat type to a curve of the large seiner type.



CATCHES SIMULATED & OBSERVED SURFACE YF  
1966-1973 WITH RECRUITMENT CONSTANT  
Fig 8a: PRISES SIMULEES ET OBSERVEES YF DE SURFACE  
1966-1973 AVEC RECRUTEMENT CONSTANT

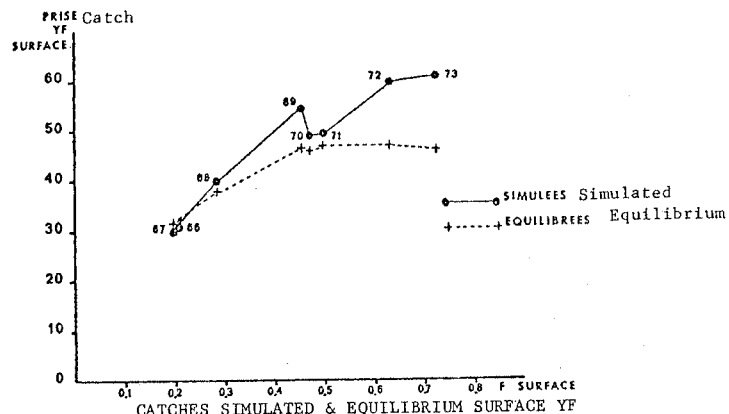


Fig 8 b: PRISES SIMULEES ET EQUILIBREES YF DE SURFACE 1966-1973 AVEC RECRUTEMENT CONSTANT

This analysis renders logical the greatest statistical correlation between the observed points and the model of hyperbolic production (FOX, 1973). It suggests that despite this close correlation, the hyperbolic model should not be applied except provisionally to the future development of the fishery pending the phase of disappearance of the bait boats.

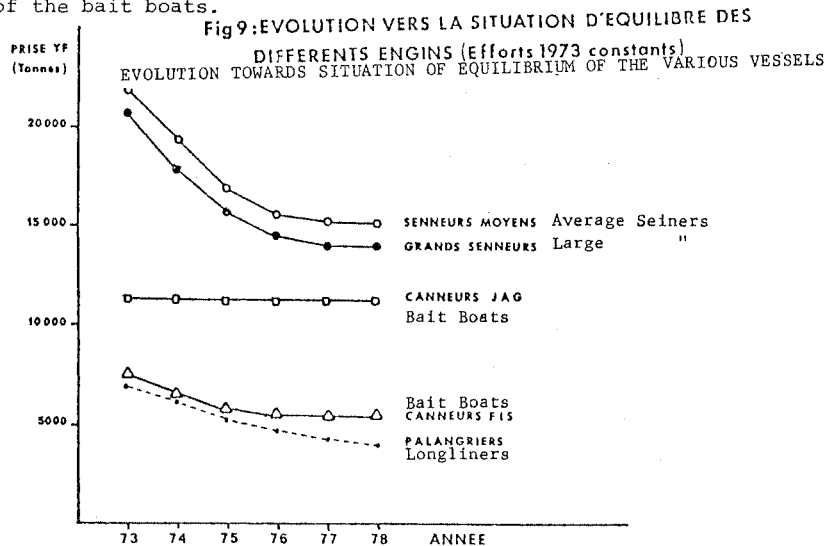


Fig 9: EVOLUTION VERS LA SITUATION D'EQUILIBRE DES DIFFERENTS ENGINES (Efforts 1973 constants) EVOLUTION TOWARDS SITUATION OF EQUILIBRIUM OF THE VARIOUS VESSELS

In addition one notes that the poor catches of 1970 and 1971, attributed generally to the poor class 1968, were partially predictable by the simulation model of constant recruitment, this as a consequence of the falling off in the effort of catch, the catch of the year then approaches the situation of equilibrium.

4.2.--Variable Recruitment:

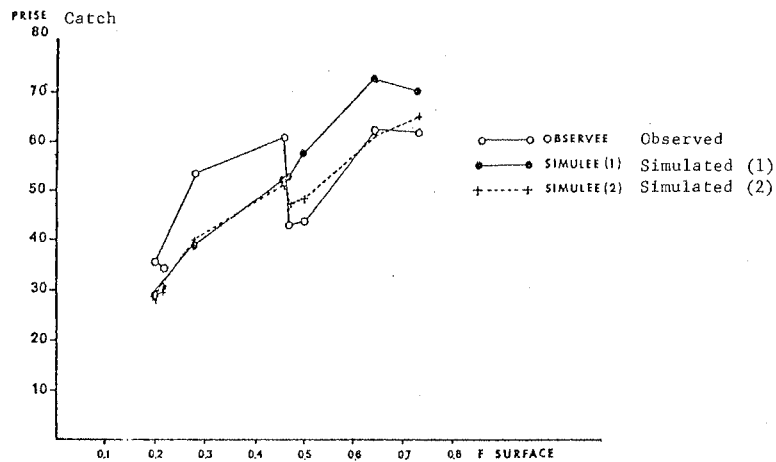
The analysis of the cohorts (FONTENEAU & LENARZ, 1973) and the variations of the catch by unit of effort of the class recruited (PIANET, 1974) give the concordant estimates of the variations of recruitment.

The analysis of PIANET (1974) permits estimating that the recruitment of the classes 1966 to 1972 could vary according to the two hypotheses following (Table 4).

	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973
Hypothesis a	30.1	35.3	25.0	62.7	33.3	33.9	32.6	33.0
Hypothesis b	30.1	35.3	20.0	45.7	33.3	33.9	32.6	33.0

Hypotheses on the Variations of the Recruitment 66-73 (in millions of individuals)  
TABLEAU 4: - Hypothèses sur les variations du recrutement de 1966 à 1973 (en millions d'individus).

The production of the surface fishery was simulated with these variable recruitment conditions (Fig 10). In hypothesis a, the agreement with the points observed is perceptibly worse than with a recruitment and the same in hypothesis b. This suggests that the recruitment was probably much more constant than the first estimate indicated. (One should nevertheless always consider the class 1968 as a mediocre class and that of 1969 as a good class).



YELLOWFIN PRODUCTION, SURFACE, WITH RECRUITMENT VARIABLE (1)&(2)  
Fig 10a: PRODUCTION YF, SURFACE, AVEC RECRUTEMENT VARIABLE (1) et (2)

5th--Fecundity of the stock:

The theoretic fecundity of the stock was calculated from the age structure of the population using the two indices of fecundity of Hayasi, retaken in quarterly values (Table 4) by FONTENEAU & LENARZ (1973).

The absolute values of these two indices are very different, nevertheless the relationship of the fecundity of the exploited stock to that of the virgin stock is itself only slightly variable for the two indices (Fig. 11). Without actually knowing which is the critical level of this relationship for the reproduction of albacore, it is very interesting to estimate:

--first the tendency of this index

--then the fecundity of the stock of one given year in relation to that of the corresponding stock in equilibrium. Figure 11 shows that the fecundity diminished regularly from 1955 to 1973. At the end of 1973 it reached 19 and 24% of the initial fecundity with Hayasi's indices 1 and 2 (1972), tending towards an equilibrium of stock to 12 and 16%. The JAG fleet seems to have provoked this theoretical bias of the fecundity of the stock in equilibrium; without this fleet this fecundity would be estimated for 1973 at 18 and 23% of the initial fecundity.

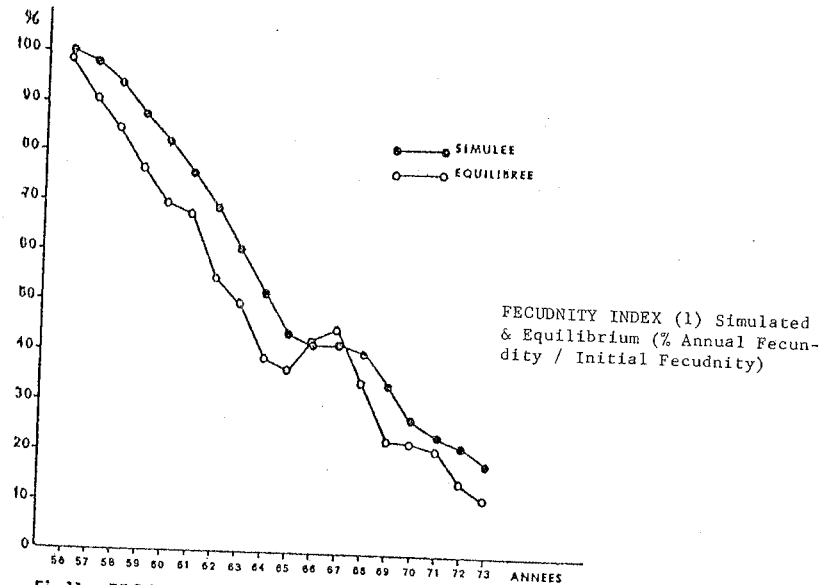


Fig 11a: FECONDITE INDICE (1) Simulée et équilibrée (% FECONDITE DE L'ANNEE / FECONDITE INITIALE)

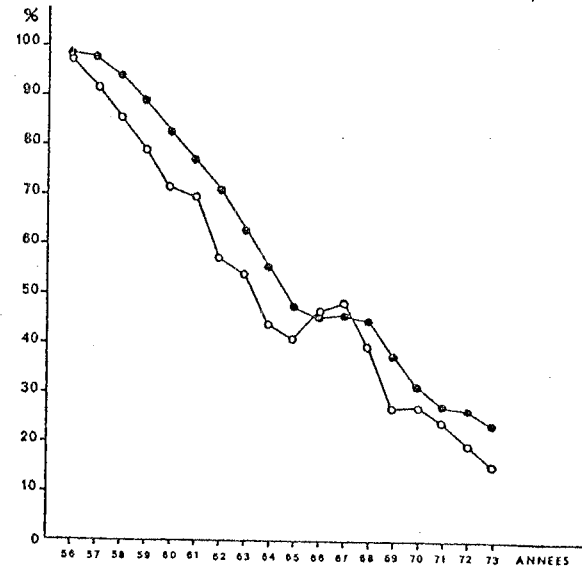


Fig 11b: FECONDITE INDICE (2) Simulée et équilibrée (% FECONDITE DE L'ANNEE / FECONDITE INITIALE)

6th--Simulation of hypothetical situations and predictions of the future of the fishery:

A certain number of hypothetical situations have been tested with the SIMR model as a function of the possible development of the catch effort of the various vessels.

6.1.--Estimates of the development of the catch effort:

One can attribute to each vessel certain probable tendencies without being able to estimate currently the sectors of the exploited catch or the species which will be researched.

--JAG bait boats: a perceptible increase is predictable for this fleet principally fishing skipjack. These bait boats can nevertheless be lead to consequently change their very important catches of albacore of less than 3.2 kg, catches theoretically prohibited since July 1973 at the initiative of the ICCAT.

--Bait boats of type FIS:

The principal fleet, that of the bait boats of FIS is in the course of disappearing.

--Average seiners:

The number of boats should remain static. The old units of 100 tons of capacity are nevertheless replaced progressively by tuna boats of 200 tons, of which the yield is perceptibly greater (FONTENEAU & SOISSON, 1974).

--Large seiners:

A considerable development is predictable at least until 1976-1977 in the absence of economic or other regulations.

The number of large seiners fishing in the Atlantic could almost double before 1977 if one considers the anticipated orders by France, Ivory Coast, Senegal, Cuba, Spain.

--Longliners:

The "all species" yield is currently greater in the Atlantic compared to that obtained in the other oceans. In consequence a perceptible increase of their effort is predicted.

6.2.--Hypothesis envisioned and results:

It is necessary to recall that the validity of these results is limited by the uncertainties linked to the current data and to the development of the factors  $q$  of the various vessels. They do not apply anywhere but the actual area of the catch, all future expansion of this area could, as one has seen in the Pacific, increase the exploited population and make the production pass to a higher level.

All of these current simulations have been made with a constant recruitment, no element currently permitting prediction of the recruitment. The appearance of good or of bad classes of age in the years to come might of course modify the results.

6.2.1.--Hypothesis (1):

The efforts of the period 1974-1978 are those indicated in table (6).

	1973	1974	1975	1976	1977	1978
JAG Bait Boats	100	100	100	100	100	100
FIX " "	100	90	80	70	60	50
Average Seiners	100	110	120	120	120	100
Large Seiners	100	120	140	160	180	100
Longliners	100	110	110	110	110	100

TABLEAU 6: - Evolution (en %) de l'effort de pêche de 1974 à 1978 dans l'hypothèse (1)  
Development (in %) of the catch effort 1974-1978 in hypothesis (1)

The effort of the JAG bait boats is stabilized at its 1973 level. The effort of the FIS bait boats decrease 10% per year. That of the average seiners, increases 10% in 1974 and 1975, then stabilizes. The effort of the large seiners increases 20% all the years in relation to the situation of 1973. The effort of the longliners develops 10% in 1974 then stabilizes.

In 1978, the effort of all the crafts is lead to their 1973 levels except the effort of the bait boats of FIS type.

In the conditions of this hypothesis the results are the following:

The surface catch (Fig. 12) decreases from 1974 to 1977 from 58,000 to 50,000 tons. The catch in equilibrium remains stable at around 48,000 tons. The simulation of a bias of the 1978 effort at the level of 73 drops production to 40,000 tons. The catch of the longliners decreases to 3,000 tons in 1977.

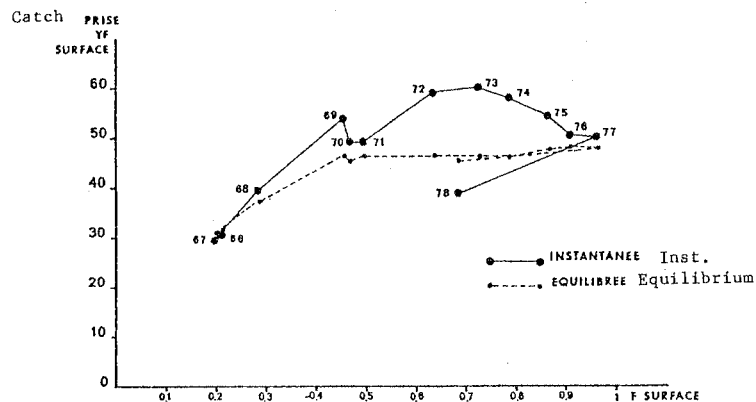


Fig12: PRODUCTION YELLOWFIN DE SURFACE, HYPOTHESE I

--The yields (Fig. 16 & 17) diminish regularly, those of the average seiners drop to 1.35 tons per day at sea in 1977 and those of the large seiners to 2.2 tons per day at sea.

The fecundity of the stock (Fig. 19) falls to 10 and 13% of that of the virgin stock in 1977 and for the stock in equilibrium to 9 and 12%.

#### 6.2.6.--Hypothesis (2):

The efforts are those indicated in table (7). The conditions are identical to those of hypothesis 1 except made for the JAG fleet which increases 20% per year.

	1973	1974	1975	1976	1977	1978
JAG Bait Boats	100	120	140	160	180	100
FIX " "	100	90	80	70	60	50
Average Seinners	100	110	120	120	120	100
Large Seinners	100	120	140	160	180	100
Longliners	100	110	110	110	110	100

TABLEAU 7: - Evolution (en %) de l'effort de pêche de 1974 à 1978 dans l'hypothèse (2)

The results are the following:

--The surface catch (Fig. 13) decreases in the same manner as in hypothesis 1 in order to reach 50,000 tons in 1977. The catch in equilibrium is situation in 1977 at a lower level: 43,500 tons. The catch of the longliners is 3,000 tons in 1977.

--The yields (Fig. 16 & 17) are stable for the JAG bait boats; those of the seiners, average and large, decrease respectively to 1.2 tons and 2.3 tons per day at sea. The yield in situation of equilibrium is then 1.0 and 1.8 tons per day at sea.

--The fecundity of the stock (Fig. 19) reaches in 1977 a level equal to 9 and 11% of that of the virgin stock for 6 and 9% in situation of equilibrium.

6.2.3.--Hypothesis (3):

The conditions of effort are the same as those of hypothesis 1 except made for the effort of the JAG bait boats which become nil in 1974 (Table 8).

	1973	1974	1975	1976	1977	1978
JAG Bait Boats	100	0	0	0	0	0
FIX " "	100	90	80	70	60	50
Average Seiners	100	110	120	120	120	100
Large Seiners	100	120	140	160	180	100
Longliners	100	110	110	110	110	100

TABLEAU 8: - Evolution (en %) de l'effort de pêche de 1974 à 1978 dans l'hypothèse (3)  
Development (in%) of the catch effort 1974-1978 in hypothesis (3)

--The surface catch of 1974 (Fig. 14) falls predictably to 47,000 tons but the production in equilibrium grows to 53,000 tons. The catch increases then regularly in order to reach 56,000 tons in 1977 (equilibrium situation). The catch of the longliners is 4000 tons in 1977, slightly less than the level of equilibrium.

--The yields of the seiners, average and large, are stationary at the 1975 level, are respectively 1.8 and 3.2 tons per day-at-sea.

--The fecundity of the stock tends toward its situation of equilibrium at 13-18% of that of the virgin stock.

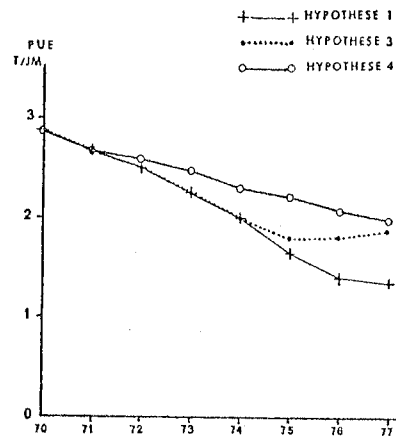


Fig 16a: PUE SIMULEES SENNEURS MOYENS  
Catch per Effort (PUE) Simulated  
Average Seiners

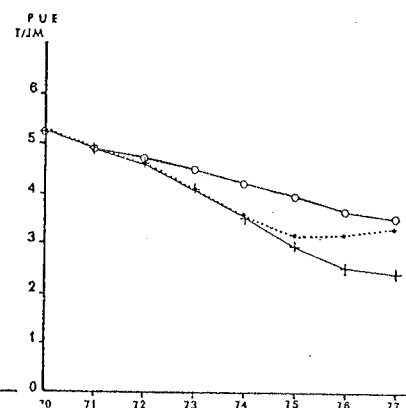


Fig 17a: PUE SIMULEES GRANDS SENNEURS  
PUE Simulated Large Seiners

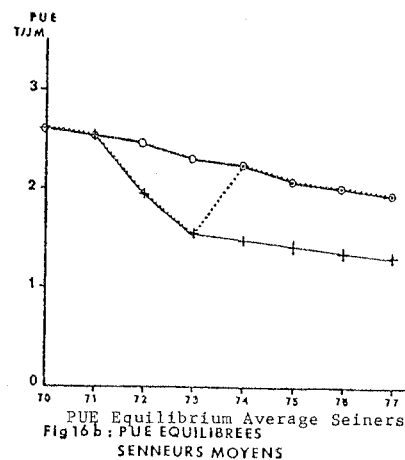


Fig 16b: PUE EQUILIBREES  
SENNEURS MOYENS

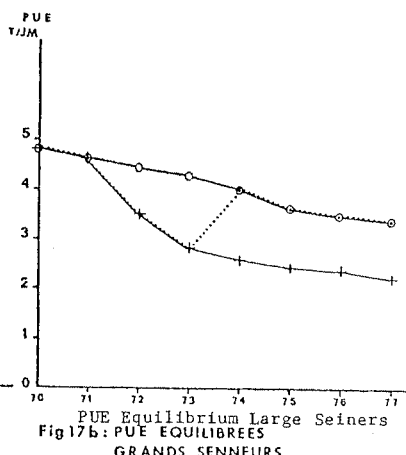


Fig 17b: PUE EQUILIBREES  
GRANDS SENNEURS

Fig 16a,16b,17a,17b: COMPARAISON DES PUE SIMULEES ET EQUILIBREES DANS LES HYPOTHESES 1,3,4 POUR LES SENNEURS MOYENS ET GRAND SENNEURS  
COMPARISON OF THE P U E SIMULATED & EQUILIBRIUM IN HYPOTHESES 1,3,4 FOR AVERAGE SEINERS & LARGE SEINERS

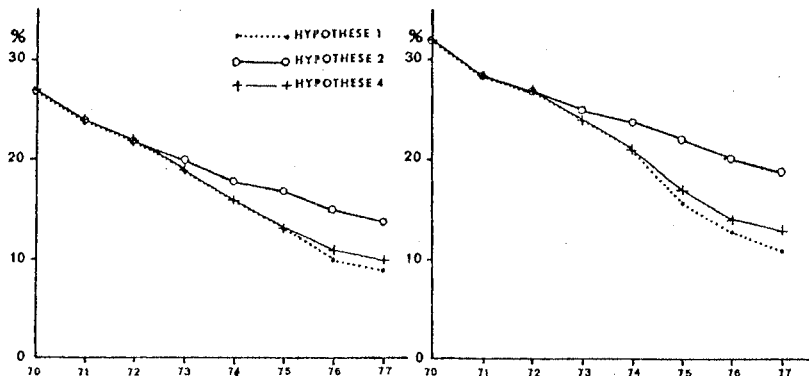


Fig 18a : FECONDITE INSTANTANEE DU STOCK, INDICE 1 (En% fécondité stock vierge pour les hypothèses 1,2,4)

Fig 19a : FECONDITE INSTANTANEE DU STOCK INDICE 2

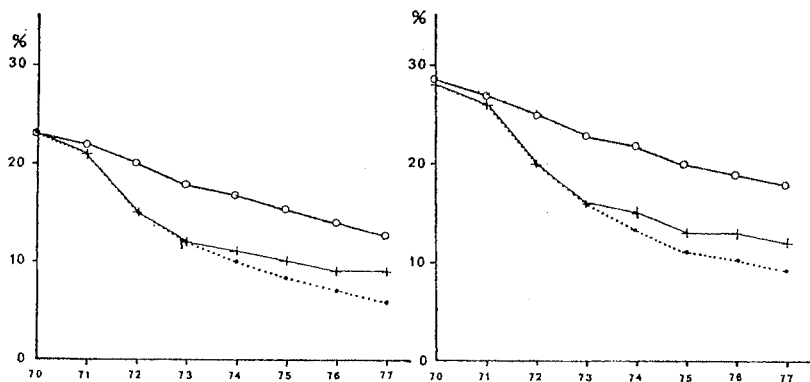


Fig 18 b : FECONDITE EQUILIBREE DU STOCK INDICE 1

Fig 19 b : FECONDITE EQUILIBREE DU STOCK INDICE 2

COMPARAISON DES FECONDITES INSTANTANEEES(a) ET EQUILIBREES(b) DANS LES HYPOTHESES 1,2,4. (En% de la fécondité du stock vierge) POUR L'INDICE 1 (Fig 18) ET 2 (Fig 19)

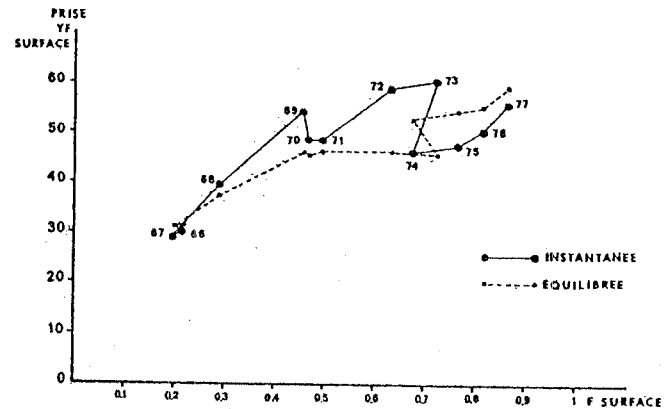


Fig 14 : PRODUCTION YELLOWFIN DE SURFACE, HYPOTHESE 3

6.2.4.--Hypothesis (4):

Fictitious hypothesis which consists to simulate the fishery of 1974 to 1977 of hypothesis 3, the JAG fleet not having fished from 1970 to 1973 (Table 9).

	1970	1971	1972	1973	1974	1978
JAG Bait Boats	0	0	0	0		
FIX " "	137	143	111	100		
Average Seiners	75	88	81	100		
Large Seiners	63	61	105	100		
Longliners	102	100	100	100		

Development (in %) of the catch effort 1974-1978 in hypotheses (4)  
 TABLEAU 9 : - Evolution (en %) de l'effort de pêche de 1974 à 1978 dans l'hypothèse (4)

This simulation permits evaluation of the theoretical consequences of this fleet to the development of the fishery:

--The surface catch is regularly growing (Fig. 15) and reaches 58,000 tons in 1977 for a catch in equilibrium of 56,000 tons.

--The yields simulated and equilibrium (Fig. 16 & 17) decrease regularly for the average seiners from 2.5 tons per day-at-sea in 1973 to 2.0 tons in 1977. Those of the large seiners from 4.2 tons in 1973, to 3.4 tons in 1977.

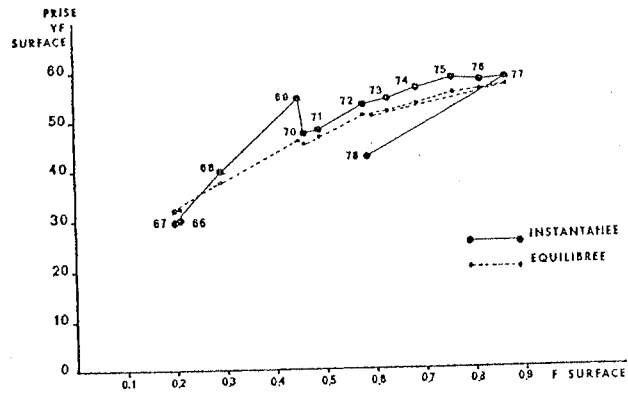


Fig 15: PRODUCTION YELLOWFIN DE SURFACE, HYPOTHESE 4

7th--Hypothesis on the effects of an age limit to the first catch:

The model permits simulation of the theoretical consequences, instant and in equilibrium situation, over each vessel of an age limit to the first catch (neglecting the eventual rejects). The exact material possibilities of this measure, which is perceptibly different from a size limit, have not been analyzed.

One knows meanwhile from observations of the JAG and FIS fleets that the young cohorts are often grouped during their first two years. In addition the display at the time of the hatching dates and the more or less rapid growth according to the individuals insure that fish of one school are always of various sizes. Consequently these fish can be found separated into two artificial groups by a weight limit which would not be the case with an age limit.

The SIMU model permits also calculation of the theoretic fecundity of the stock from conjoined variations of effort and of age at the first catch.

7.1.--Hypothesis (5):

The conditions of effort of the year 1973 are used. Three limits of age 4, 6, and 8 quarters corresponding to a weight model of 2.7, 4.5, 10.5 kg have been tested. Figure 20 shows the development of the total catch in the conditions of effort of 1973 with and without age limits.

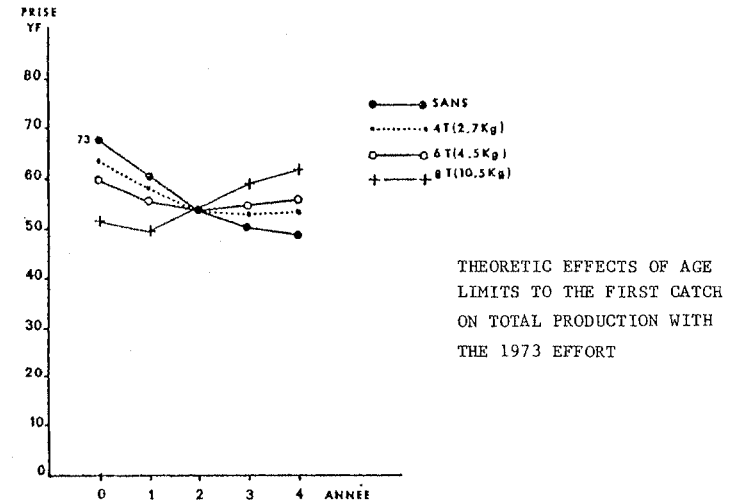


Fig 20: EFFETS THEORIQUES DES LIMITES D'AGE A LA PREMIERE CAPTURE SUR LA PRODUCTION TOTALE AVEC L'EFFORT DE 1973

The yields of the surface vessels are represented (Fig. 21). Those of JAG bait boats diminish by half for an age limit to one year in order to become nil at two years. The yields of the FIS bait boats are little changed in comparison with the current situation. The yields of the seiners are totally ameliorated: Those of average seiners pass from 4 years of 1.6 tons without regulation to 2.4 tons per day-at-sea with a limit to 2 years. Those of large seiners from 2.8 to 4.7 tons per day-at-sea.

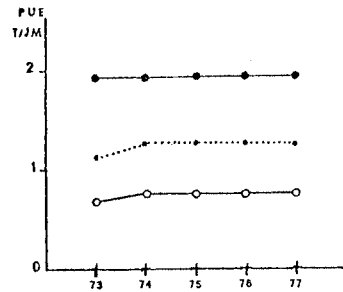


Fig 21a: CANNEURS JAG  
Bait Boats

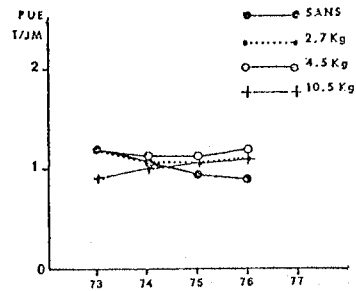


Fig 21b: CANNEURS FIS  
Bait Boats

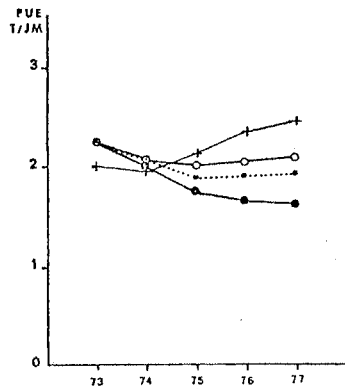


Fig 21c: SENNEURS MOYENS  
Average Seiners

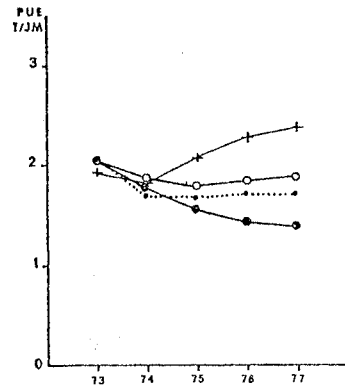
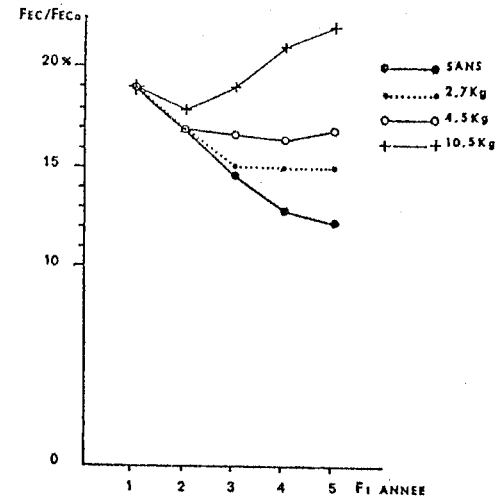


Fig 21d: GRANDS SENNEURS  
Large Seiners

Fig 21a,b,c,d: EFFETS THEORIQUES DES LIMITES D'AGE A LA PREMIERE  
CAPTURE SUR LES RENDEMENTS DES ENGINES DE SURFACE  
THEORETIC EFFECTS OF AGE LIMITS TO THE FIRST CATCH ON THE YIELDS OF SURFACE ENGINES

These yields are certainly theoretical; they are probably over-estimated because they under-estimate the accidental mortalities by catch which would be due to the mix of different sizes and species. They give nevertheless an indication of the maximum benefit expected from an age limit.

The equilibrium fecundity of the stock (Fig. 22) is also ameliorated and in 4-5 years passes from 12% of that of the virgin stock in absence of minimum size limits to 22% with a limit of 2 years.



THEORETIC EFFECTS OF AGE LIMITS TO THE FIRST CATCH ON THE YIELDS OF SURFACE VESSELS  
Fig 22: EFFET DES LIMITES D'AGE A LA PREMIERE  
CAPTURE SUR LA FECONDITE DU STOCK  
(INDICE 1). EFFORT DE 1973

#### CONCLUSION

The simulation model which is proposed takes as its pattern LENARZ's model "MGEAR" and the TUNPOP simulation model for the albacore fishery of the Pacific made by the IATTC. It presents the advantages of the production models and of the analytical models of RICKER which seem well adaptable to this fishery.

This simulation model is limited to long term by a certain number of relative hypotheses, for example to the future values of the recruitment.

One could hope in basing it on the satisfactory description obtained for previous years that, in spite of the imprecision of certain data, the predictions made indicate the order of increase of the possible results in the current catch zones. It is always necessary to bear in mind the fact that all analyses deal with the area currently exploited and the population currently exploited. An extension of the catch zones would increase the production and would change the results in the degree that a more important population would be exploited. On this subject the existence of exploitable populations by surface fisheries in the central Atlantic and the west Atlantic is very probable. Diverse indices show nevertheless that:

1st--these populations are probably less important than those of the Gulf of Guinea

2nd--that the climatic and oceanographic conditions for exploitation may be less favorable for surface fisheries.

In the current catch zone, the simulation has the advantage in comparison to the production models of not necessitating a too-arbitrary choice of the coefficient  $m$  of the generalized production model, linked either to the optimism of the researcher or to a close accidental correlation without biological significance. Further, the choice of  $m$  is determined in order to make predictions because slight variation of this coefficient could lead to great differences in the estimates of the production for the growing efforts.

This "SIMU" model also takes into account the modifications of the effort of the various vessels, very important modifications in this fishery. It permits analysis of the difference between the instant situation and that of equilibrium for the various vessels concerned with the catch, the yields and the fecundity of the stock.

The results of this study should evidently be considered only as predictions. The important progress in tuna statistics recently noted should permit obtaining better estimates of the base parameters of the model in the future. At least we so hope.

YEARS	BAIT BOATS		SEINERS		LONLINERS
	Canneurs JAG	Canneurs Type FIS	Senneurs Moyens	Grands Senneurs	Palangriers
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	

Yellowfin Catches 1956-1973 by vessel in the Eastern Atlantic  
 TABLEAU 1: - Pprises de yellowfin de 1956 à 1973 par engin dans  
 l'Atlantique Est.

Years Années	Bait Boats Canneurs JAG	Bait Boats Canneurs Type FIS	Seiners Senneurs Moyens Average	Seiners Grands Senneurs Large	Longliners 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	6 980	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

Yellowfin fishery effort Yellowfin 1956-1973 by vessel in the  
**TABLEAU 2:** - Effort de pêche sur le yellowfin de 1956 à 1973 E. Atlantic  
 par engin dans l'Atlantique Est.

In days-at-sea for the 4 vessels (surface)

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

In 1,000 hooks/5°X5° for the longliners

\* En 1.000 hameçons /5° X 5° pour les palangriers.

		Fecudnity Index			
Age en années in years	Age en Trimestre in quarters	Poids weight modal model	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	

TABLEAU 5: - Modal weight & fecudnity indices 1 & 2 by age  
 - Poids modal et indices de fécondité 1 et 2,  
 par âge.

MODELE DE SIMULATION DE LA PECHERIE D'ALBACORES  
(THUNNUS ALBACERES) DE L'ATLANTIQUE

par A. FONTENEAU

Océanographe Biologiste ORSTOM  
Centre de Recherches Océanographiques - ABIDJAN

R E S U M E

Un programme de simulation - SIMU - de la pêcherie d'albacores de l'Atlantique de l'Est, 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 "capturabilité") par âge et par engin, nécessaires à cette simulation, sont estimés 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.

INTRODUCTION

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

La complexité de cette pêcherie a pour conséquence qu'elle peut difficilement être décrite de façon satisfaisante par les modèles classiques de production, ceux-ci nécessitant une standardisation de l'effort de pêche qui néglige le fait fondamental que chaque engin travaille sur une taille donnée de poissons.

LENARZ (1974) a mis au point un modèle (MGEAR) adaptant la méthode de Ricker à 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 modèle - SIMU - est basé sur le même principe de  $n$  "vecteurs" de mortalités par pêche provoqués par  $m$  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 370-45. Des copies du programme sont disponibles au C.R.O. 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).

## METHODE DE CALCUL

### 1° - Description:

L'équation de base est celle de Ricker où la mortalité par pêche est variable selon l'âge. Le coefficient de mortalité instantané par pêche dans chaque intervalle de temps s'écrit:

$$F_i = -M^3 q_{ijk} \cdot f_{ik}$$

où  $q_{i,j,k}$  est le coefficient de "capturabilité" dans l'intervalle  $i$ , pour l'âge  $j$  et l'engin  $k$  et  $f_{i,k}$  est l'effort de pêche de l'engin  $k$  dans l'intervalle de temps.

Le modèle, outre ces valeurs de  $q_{ijk}$  et  $f_{ik}$ , demande de connaître:

- 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.

- le recrutement annuel en nombre d'individus
- les indices de fécondité permettant de relier la biomasse 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.

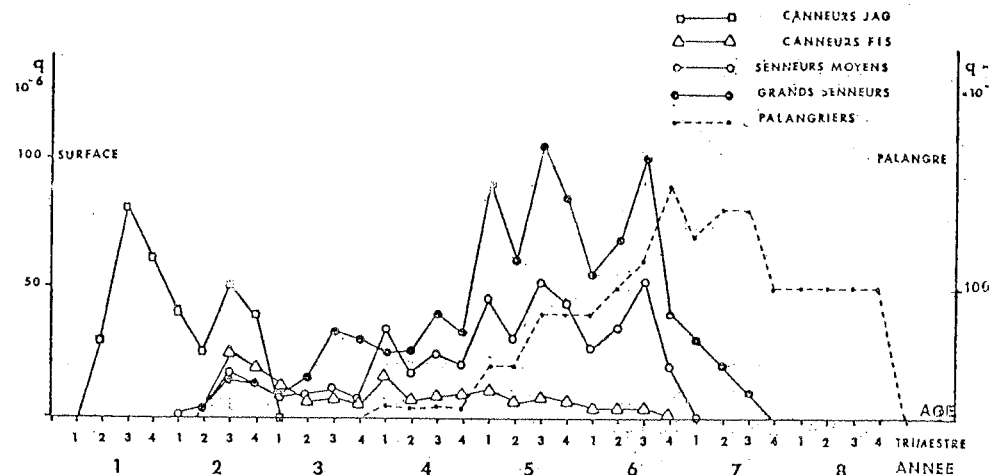


Fig1: FACTEURS "q" PAR AGE POUR LES 5 ENGIS

2.2.- La courbe de croissance utilisée (Tableau 5) a été basée sur les poids modaux et non sur les valeurs théoriques. Des 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 travaille sur 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 1er 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 F.I.S. (bateaux français, ivoiriens et sénégalais).  
 Regroupe les canneurs glaciers, les canneurs congélateurs F.I.S. et les canneurs espagnols. L'unité d'effort de ce type est le jour de mer du canneur congélateur F.I.S.; l'effort total est calculé connaissant la prise totale de la catégorie selon la relation classique:

$$\text{Effort total} = \frac{\text{Prise totale}}{\text{prise par unité d'effort F.I.S.}}$$

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 F.I.S. et espagnols. L'unité d'effort de ce type est le jour de mer du senneur moyen F.I.S. La prise par unité d'effort est calculée comme la moyenne non pondérée des senneurs F.I.S. de catégorie 3 et 4 c'est à dire de 100 et 200 tonnes de capacité de transport.

. Grands Senneurs:

Réunit des bateaux F.I.S., Espagnols, Américains, ainsi que de divers pays. L'unité d'effort est le jour de mer du grand senneur F.I.S., de catégorie 5 (400 tonnes de capacité), l'effort des autres senneurs moyens 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 Taïwan, 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 le ponté est asynchrone de janvier à avril dans les deux secteurs de ponté principaux. Le premier secteur va du Ghana aux îles du golfe de Guinée (Annobon, Sao Thomé) et le second se situe au large du Libéria. 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 2 types.

3.1.1.- Augmentation du coefficient q moyen:

Cette augmentation est liée à l'amélioration de la recherche grâce à une meilleure connaissance des zones de pêche, à des tactiques de prospection en groupe améliorées, à la recherche aérienne, à la recherche des épaves, à la vitesse accrue des bateaux, etc... et à l'amélioration des techniques de pêche proprement dites (sennea, bateaux).

3.1.2.- 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 cycliques à courte période qui sont volontairement négligées.

Diverses causes peuvent être envisagées:

- Causes économiques: variations des prix d'achat des différentes tailles, problème du mercure, limite de taille.

- 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 évoluées. 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). FONTEMEAU 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  $L_{\infty}$ , 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.

Si il existe une variation marquée de  $M$  avec l'âge (accroissement, diminution?), les résultats seraient certainement très différents. Par exemple les conséquences de la pêcherie J.A.G. peuvent être sous estimées ou surestimées selon que la mortalité naturelle des jeunes poissons est plus faible ou plus forte que 0.8.

## RESULTATS

1° - Simulation de la pêcherie 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 pêcherie, soit différent selon les engins. La figure 2 montre les courbes théoriques de production équilibrée qui seraient obtenues par les différents engins pêchant isolément avec un recrutement constant (moyenne 66-72). Les courbes de 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 EQUILIBREE	EFFORT CORRESPONDANT
Canneurs JAG	25 000	35 000
Canneurs	43 000	55 000
Senneurs Moyens	55 000	37 500
Grands senneurs	60 000	27 500
Pelagriers	63 000	4 500

□ — CANNEURS JAG  
 △ — CANNEURS FIS  
 ○ — SENNEURS MOYENS  
 ● — GRANDS SENNEURS

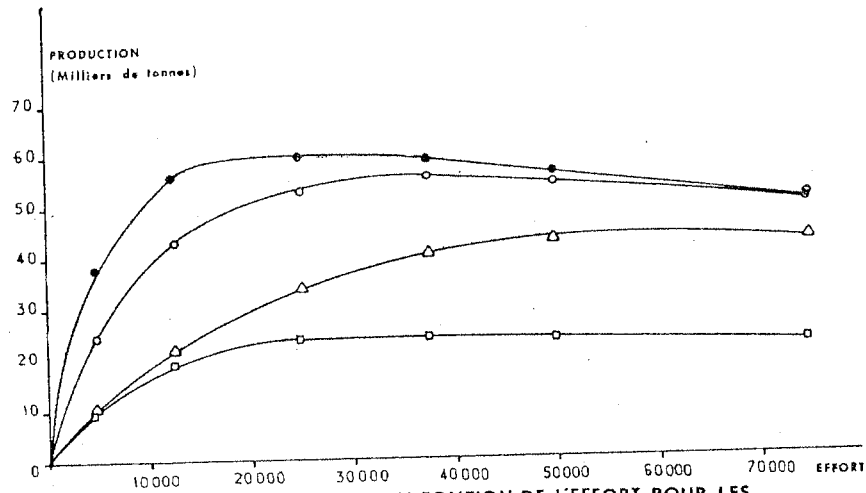


Fig 2 : PRODUCTION EQUILIBREE EN FONCTION DE L'EFFORT POUR LES ENGINES PECHANT ISOLEMENT.

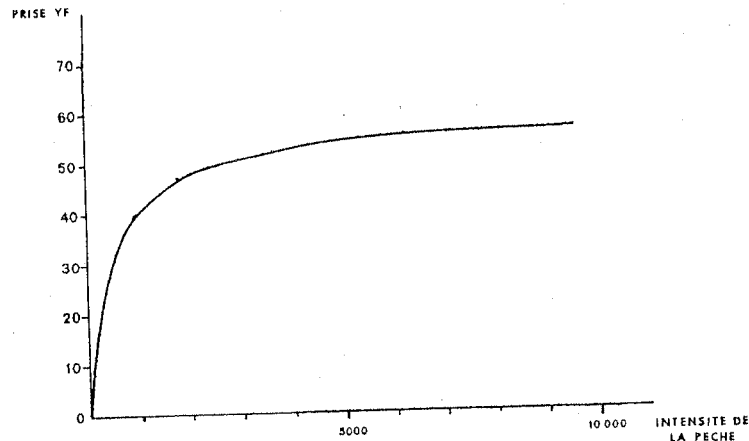


Fig 3 : PRODUCTION EQUILIBREE THEORIQUE PALANGRE SEULE

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.

### 2° - Simulation de l'historique 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 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.

### 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 calculées par SIMU. Les figures 4 à 8 (b) les prises instantanées et en situation d'équilibre 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 calculée par SIMU. 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 théoriques et celles observées (fig. 7b) est médiocre bien qu'il soit impossible actuellement d'estimer réellement les tonnages capturés dans l'Atlantique de l'Est (fig. 7a).

Il semble toutefois certain que les captures des palangriers de la période initiale, sont systématiquement sous estimées par le modèle. Ceci suggère une baisse importante du facteur  $q$  moyen (ou de certains âges) pour cet engin, car une baisse du recrutement semble peu probable d'après les résultats des pêcheries de surface.

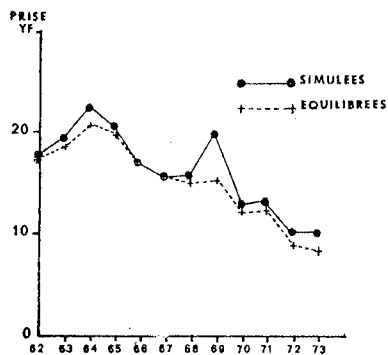


Fig 4a: PRISES SIMULEES ET EQUILIBREES  
CANNEURS FIS

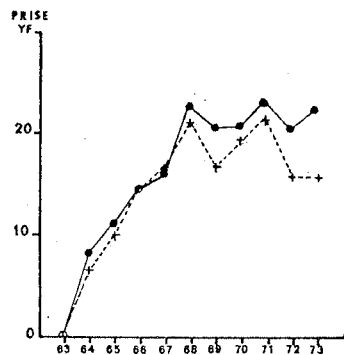


Fig 5a: PRISES SIMULEES ET EQUILIBREES  
SENNEURS MOYENS

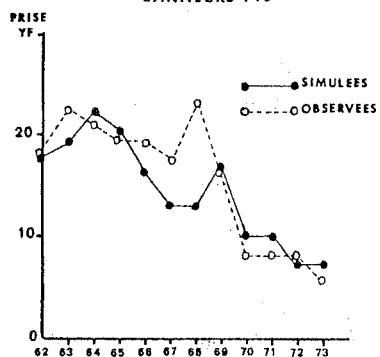


Fig 4b: PRISES SIMULEES ET OBSERVEES  
CANNEURS FIS

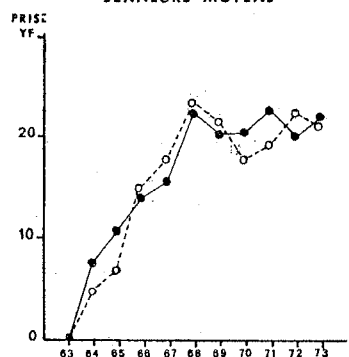


Fig 5b: PRISES SIMULEES ET OBSERVEES  
SENNEURS MOYENS

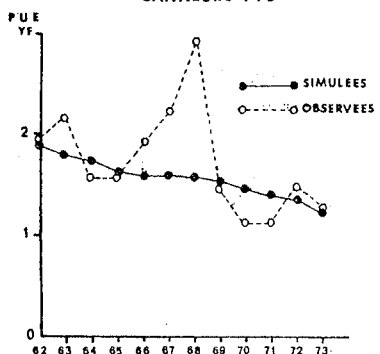


Fig 4c: P U E SIMULEES ET OBSERVEES  
CANNEUR FIS

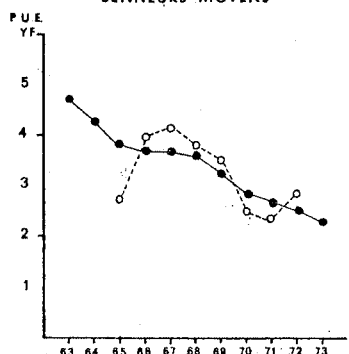


Fig 5c: P U E SIMULEES ET OBSERVEES  
SENNEURS MOYENS

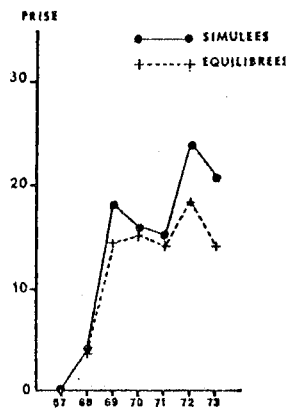


Fig 6a

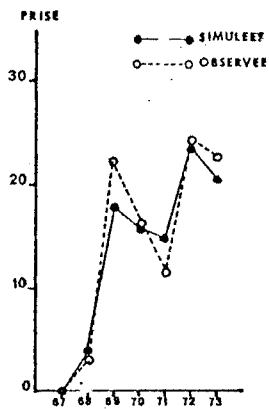


Fig 6b

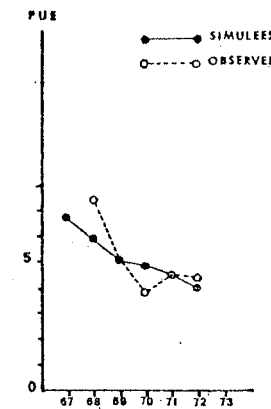


Fig 6c

Fig 6a: PRISES SIMULEES ET EQUILIBREES DES GRANDS SENNEURS

Fig 6b: PRISES SIMULEES ET OBSERVEES DES GRANDS SENNEURS

Fig 6c: P U E SIMULEES ET OBSERVEES DES GRANDS SENNEURS

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 artefact 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.

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

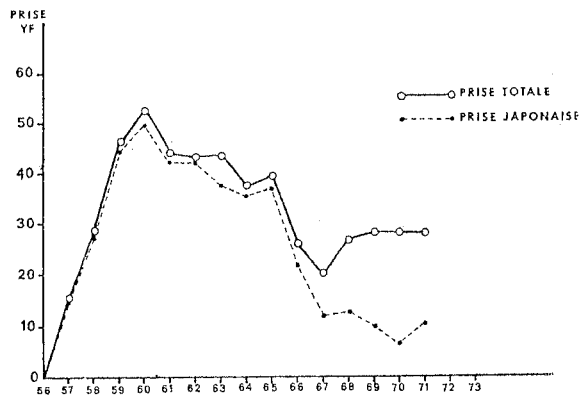


Fig 7a: PRISE TOTALE ET JAPONAISE YF PALANGRE

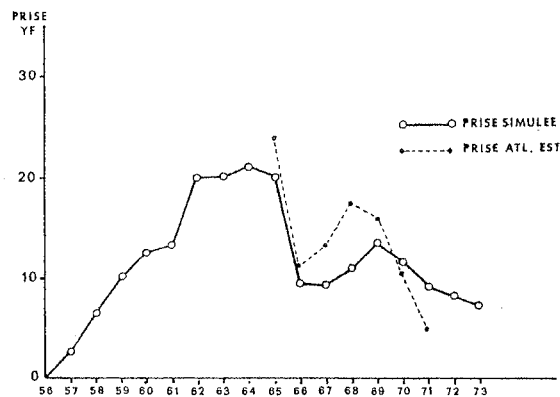


Fig 7b: PRISES SIMULEES ET PRISES OBSERVEES DANS L'ATLANTIQUE EST POUR LES PALANGRIERS (D APRES ZONES DE PECHE JAPONAISES)

#### 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 la 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.

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 sennear.

91

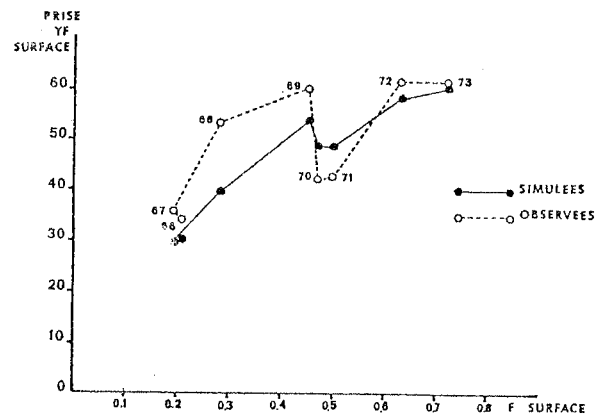


Fig 8a: PRISES SIMULEES ET OBSERVEES YF DE SURFACE 1966-1973 AVEC RECRUTEMENT CONSTANT

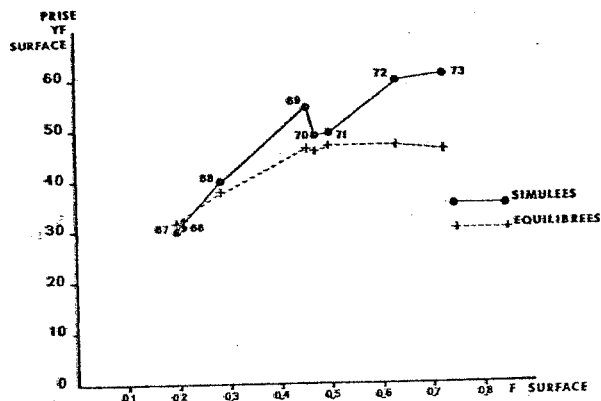


Fig 8 b: PRISES SIMULEES ET EQUILIBREES YF DE SURFACE 1966-1973 AVEC RECRUTEMENT CONSTANT

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 devrait s'appliquer à l'évolution future de la pêcherie que provisoirement pendant la phase de disparition des canneurs.

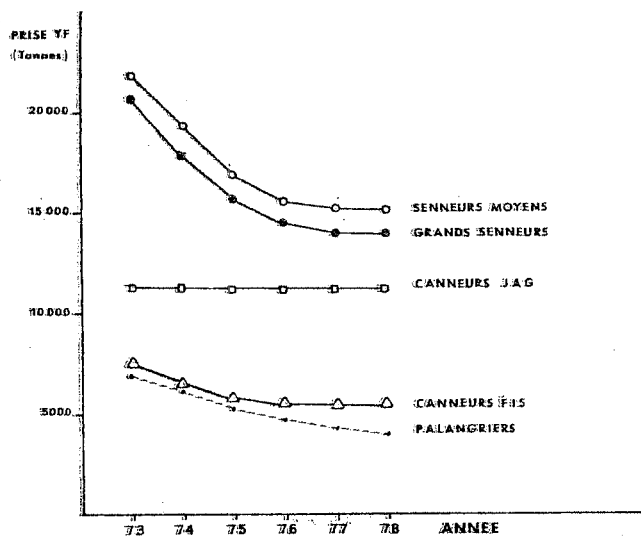


Fig 9: EVOLUTION VERS LA SITUATION D'EQUILIBRE DES DIFFERENTS ENGIN (Efforts 1973 constants)

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).

	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

TABLEAU 4: - Hypothèses sur les variations du recrutement de 1966 à 1973 (en millions d'individus).

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 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).

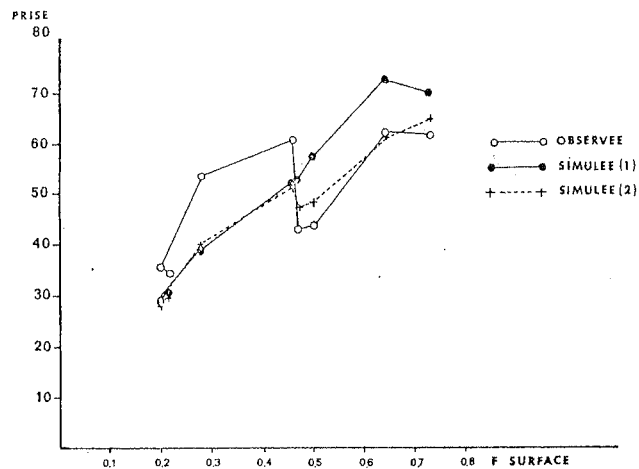


Fig 10a: PRODUCTION YF, SURFACE, AVEC RECRUTEMENT VARIABLE (1) et (2)

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 FONTENEAU et LENARZ, (1973).

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

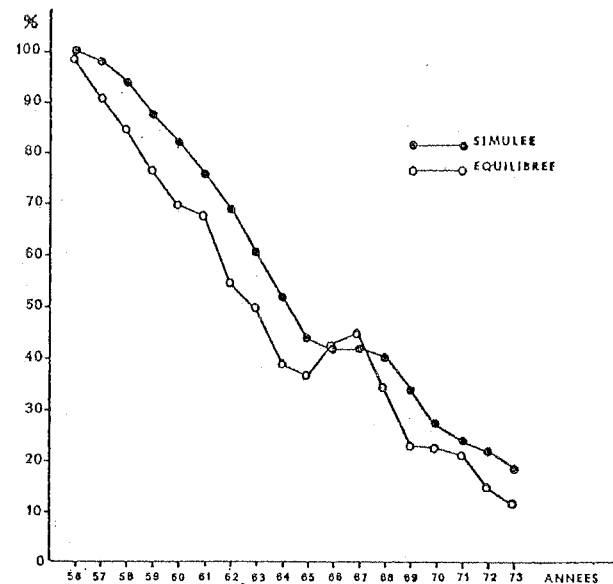


Fig 11a: FECONDITE INDICE (1) Simulée et équilibrée (% FECONDITE DE L'ANNEE / FECONDITE INITIALE)

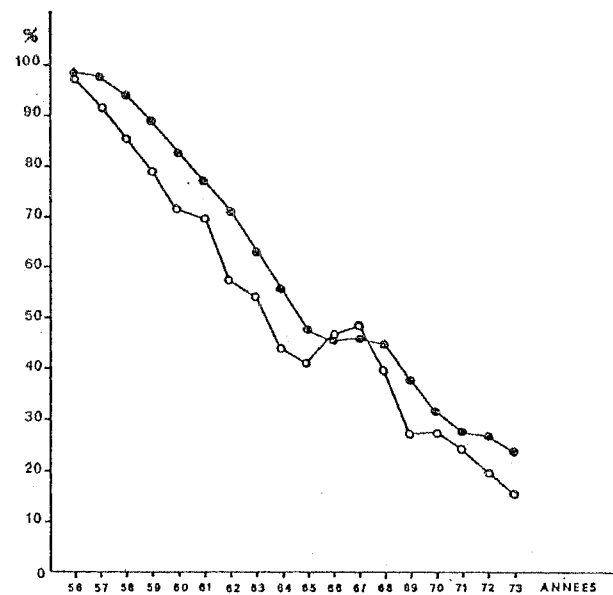


Fig 11b: FECONDITE INDICE (2) Simulée et équilibrée

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).

	1973	1974	1975	1976	1977	1978
Canneurs JAG	100	100	100	100	100	100
Canneurs FIS	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

TABLEAU 6: - Evolution (en %) de l'effort de pêche de 1974 à 1978 dans l'hypothèse (1)

6.2.2.- Hypothèse (2);

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 fait tomber la production à 40.000 tonnes. La prise des palangriers décroît jusqu'à 3.000 tonnes en 1977.

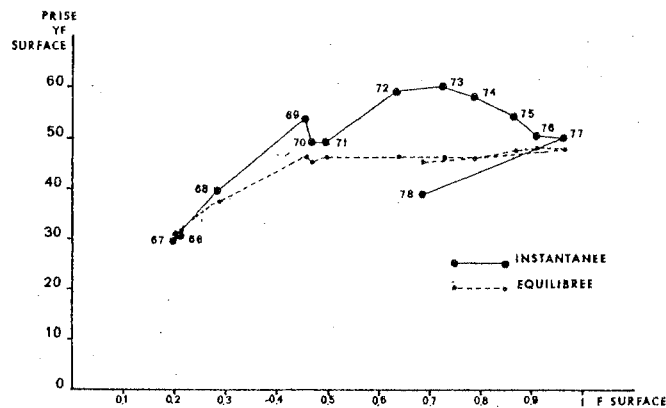


Fig12: PRODUCTION YELLOWFIN DE SURFACE, HYPOTHESE 1

- Les rendements (fig.16 et 17) diminuent régulièrement, ceux des senneurs moyens tombent à 1.35 tonnes par jour de mer en 1977 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%.

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

	1973	1974	1975	1976	1977	1978
Canneurs JAG	100	120	140	160	180	100
Canneurs FIS	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

TABLEAU 7: - Evolution (en %) de l'effort de pêche de 1974 à 1978 dans l'hypothèse (2)

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.

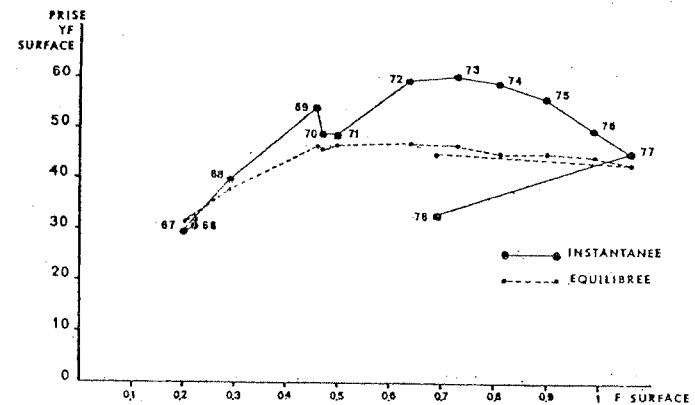


Fig 13: PRODUCTION YELLOWFIN DE SURFACE, HYPOTHESE 2

- 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).

	1973	1974	1975	1976	1977	1978
Canneurs JAG	100	0	0	0	0	0
Canneurs FIS	100	90	80	70	60	50
Senneurs Moyens	100	110	120	120	120	100
Grande Senneurs	100	120	140	160	180	100
Palangriers	100	110	110	110	110	100

TABLEAU 8: - Evolution (en %) de l'effort de pêche de 1974 à 1978 dans l'hypothèse (3)

- 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 des senneurs, moyens et grands, sont stationnaires au niveau de 1975, soit respectivement 1.8 et 3.2 tonnes par jour de mer.

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

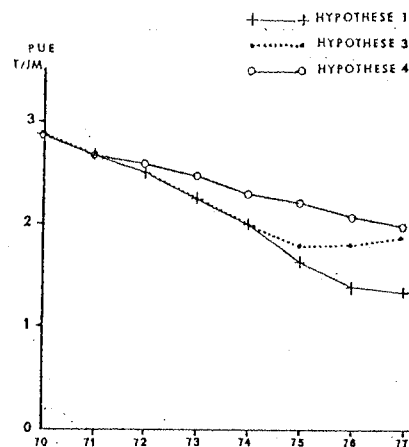


Fig 16a: PUE SIMULEES SENNEURS MOYENS

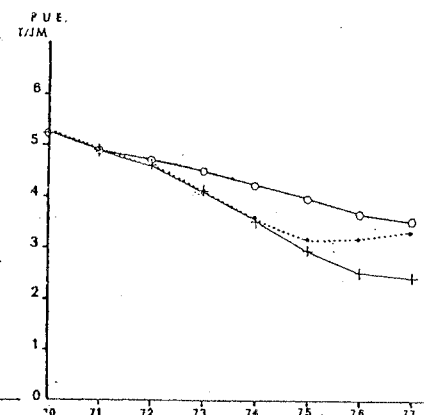


Fig 17a: PUE SIMULEES GRANDS SENNEURS

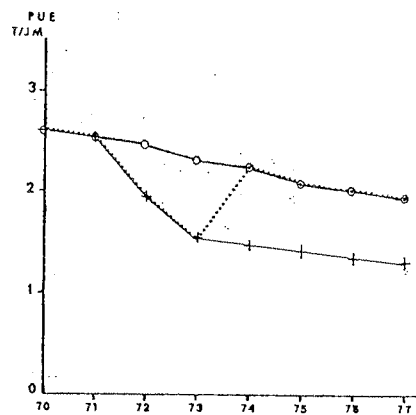


Fig 16b: PUE EQUILIBREES SENNEURS MOYENS

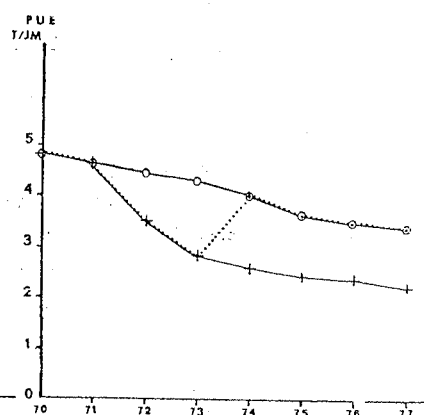


Fig 17b: PUE EQUILIBREES GRANDS SENNEURS

Fig 16a,16b,17a,17b: COMPARAISON DES PUE SIMULEES ET EQUILIBREES DANS LES HYPOTHESES 1,3,4 POUR LES SENNEURS MOYENS ET GRAND SENNEURS

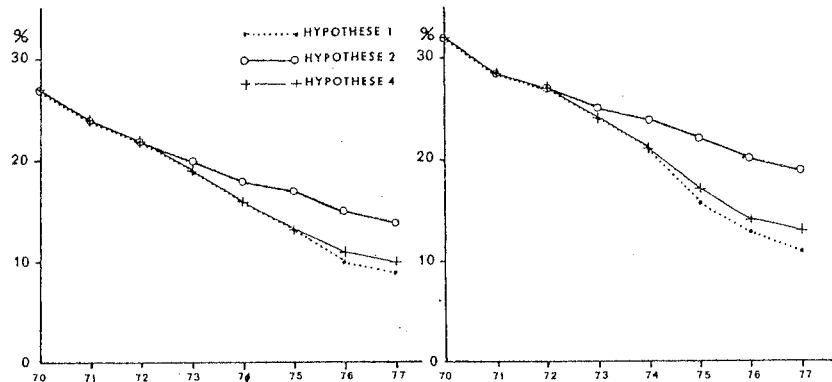


Fig 18a: FECONDITE INSTANTANEE DU STOCK, INDICE 1 (En% fécondité stock vierge pour les hypothèses 1,2,4)

Fig 19a: FECONDITE INSTANTANEE DU STOCK INDICE 2

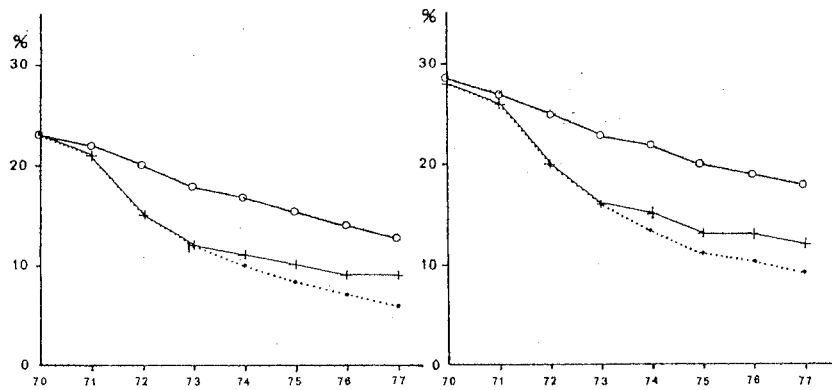


Fig 18b: FECONDITE EQUILIBREE DU STOCK INDICE 1

Fig 19b: FECONDITE EQUILIBREE DU STOCK INDICE 2

COMPARAISON DES FECONDITES INSTANTANEEES(a) ET EQUILIBREES(b) DANS LES HYPOTHESES 1,2,4. (En % de la fécondité du stock vierge) POUR L'INDICE 1 (Fig 18) ET 2 (Fig 19)

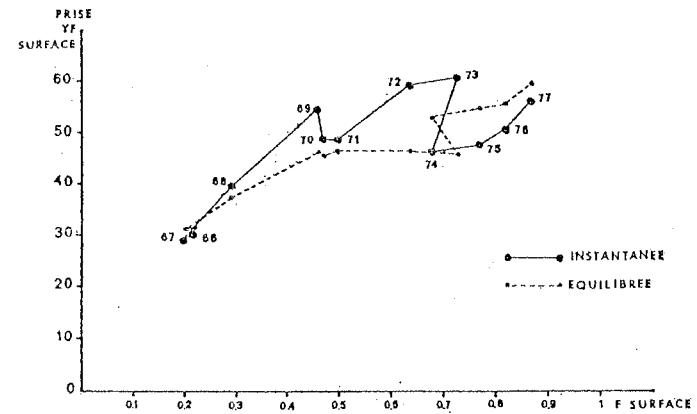


Fig 14: PRODUCTION YELLOWFIN DE SURFACE, HYPOTHESE 3

6.2.4.- Hypothèse (4):

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).

	1970	1971	1972	1973	1974	1978
Canneurs JAG	0	0	0	0		
Canneurs FIS	137	143	111	100		
Senneurs Moyens	75	88	81	100		
Grands Senneurs	63	61	105	100		
Palangriers	102	100	100	100		

TABLEAU 9: - Evolution (en %) de l'effort de pêche de 1974 à 1978 dans l'hypothèse (4)

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.

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 20 montre l'évolution de la prise totale dans les conditions d'effort de 1973 avec et sans limite d'âge.

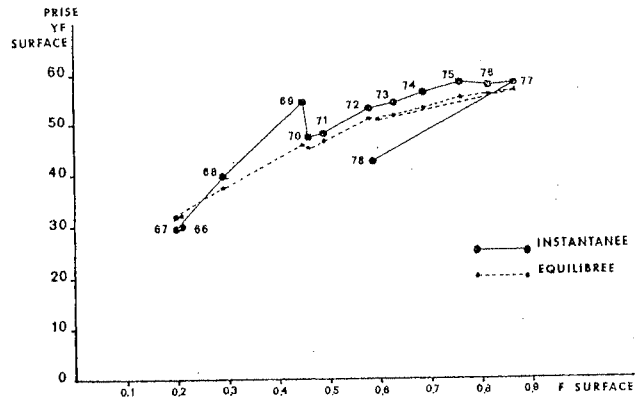


Fig 15: PRODUCTION YELLOWFIN DE SURFACE, HYPOTHESE

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 la flottille 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.

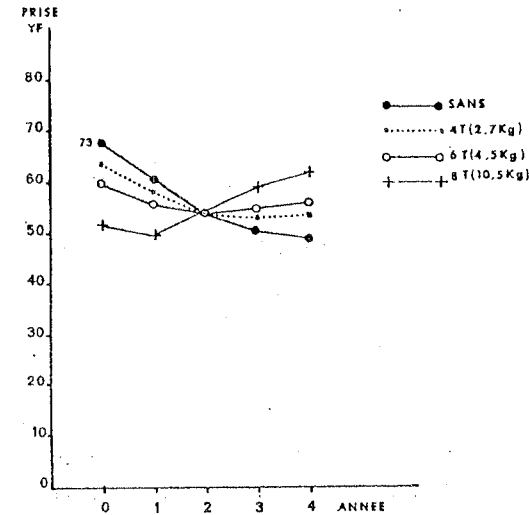


Fig 20: EFFETS THEORIQUES DES LIMITES D'AGE A LA PREMIERE CAPTURE SUR LA PRODUCTION TOTALE AVEC L'EFFORT DE 1973

Les rendements des engins de surface sont représentés (fig. 21). 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.

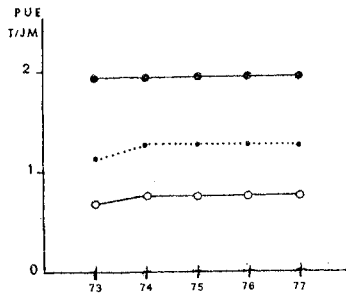


Fig 21a: CANNEURS JAG

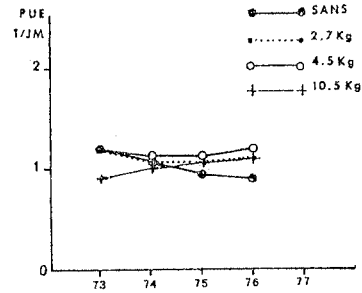


Fig 21b: CANNEURS FIS

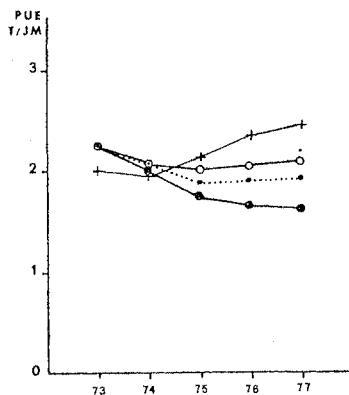


Fig 21c: SENNEURS MOYENS

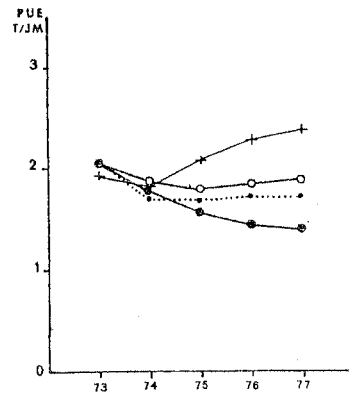


Fig 21d: GRANDS SENNEURS

Fig 21a,b,c,d :EFFETS THEORIQUES DES LIMITES D'AGE A LA PREMIERE CAPTURE SUR LES RENDEMENTS DES ENGINS DE SURFACE

Ces rendements sont bien sur 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.22) est aussi améliorée et atteint 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 à 2 ans.

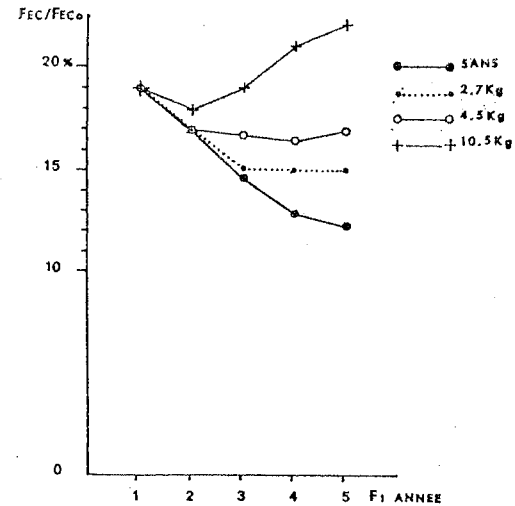


Fig 22: EFFET DES LIMITES D'AGE A LA PREMIERE CAPTURE SUR LA FECONDITE DU STOCK (INDICE 1), EFFORT DE 1973

#### CONCLUSION

Le modèle de simulation qui est proposé s'inspire du modèle de LENARZ "MGEAR" et du modèle TUNPOP de simulation de la pêcherie d'albacore du Pacifique réalisé par l'IATTC. Il présente les avantages des modèles de production et du modèle analytique de RICKER qui semble très adapté à cette pêcherie.

Ce modèle de simulation est limité à long terme par un certain nombre d'hypothèses relatives par exemple aux valeurs futures du recrutement.

On peut 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 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 se fait exploiter. A ce sujet l'existence de populations exploitables par des pêcheries de surface dans l'Atlantique central et de l'ouest est très probable. Divers indices montrent toutefois que:

1° - ces populations sont probablement moins importantes que celles du golfe de Guinée

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

Dans la zone actuelle de pêche, la simulation a l'avantage par rapport aux 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. Il permet d'analyser l'écart entre la situation instantanée et celle d'équilibre pour les différents engins en ce qui concerne la prise, les rendements et la fécondité du stock.

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

Années	Canneurs JAG	Canneurs Type FIS	Sanneurs Moyens	Grands Sanneurs	Palangriers
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 1: - Prises de yellowfin de 1956 à 1973 par engin dans l'Atlantique Est.

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 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° X 5° pour les palangriers.

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

TABLEAU 5: - Poids modal et indices de fécondité 1 et 2, par âge.

BIBLIOGRAPHIE

- AMON (J.B.K.), FONTENEAU (A.), 1974.- L'échantillonnage des fréquences de tailles d'albacore (Thunnus albacares) de la flottille thonière franco-ivoiro-sénégalaise.  
Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanographie (sous presse)
- CAVERIVIERE (A.), FONTENEAU (A.), 1974.- Etude du recrutement des albacores par la flottille franco-ivoiro-sénégalaise dans l'Atlantique de 1969 à 1973.  
Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanographie (sous presse)
- FONTENEAU (A.), CAVERIVIERE (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), pp. 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), pp. 57-77
- FONTENEAU (A.), SOISSON (P.), 1974.- La notion d'effort de pêche et de prise par unité d'effort dans la flottille 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), pp. 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
- 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.), ROTHSCCHILD (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 ORSTOM de Pointe-Noire (sous presse).
- RICKER ( ), 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, pp. 247-285
- WALTERS (C.J.), 1969.- A generalized computer simulation model for fish population studies.  
Trans. Am. Fish. Soc., 98, pp. 505-512