

## Le Modèle Global et la Dynamique du Listao

A. FONTENEAU

Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM), 213, rue Lafayette, 75010 Paris, France, en affectation temporaire au Centre de Recherches Océanographiques de Dakar-Thiaroye, B.P. 2241, Dakar, Sénégal

L'article utilise un modèle de simulation pour analyser les biais potentiels dans l'emploi du modèle global résultant d'une variabilité du recrutement et/ou de la capturabilité du stock avec un effort de pêche susceptible de se concentrer durant les périodes de plus forte abondance apparente.

L'article met en évidence que les problèmes les plus sérieux dans l'emploi du modèle global résulteraient des variations de la capturabilité du stock, et ceci d'autant plus que l'effort se concentre sur l'espèce durant les phases de forte capturabilité. L'emploi d'un modèle ajustant les biomasses aux mortalités par pêche permettrait de résoudre ce problème dans une certaine mesure.

The paper uses a simulation model to analyse potential biases in the overall model resulting from a variability in recruitment and/or in the capturability of stock with a fishing effort capable of being focused during periods of higher apparent abundance.

The paper shows that the most serious problems in the use of the overall model result from variations in the capturability of the stock, and these problems increase the more effort is concentrated on the species during periods of high vulnerability to capture. Use of a model adjusting biomasses to fishing mortalities partially resolves this problem.

El documento utiliza un modelo de simulación para analizar los sesgos potenciales del empleo del modelo global resultante de una variabilidad del reclutamiento y/o de la capturabilidad de la población con un esfuerzo de pesca susceptible de concentrarse durante los periodos de mayor abundancia aparente. El documento pone en evidencia que los problemas mas serios que presenta el empleo del modelo global se derivarian de las variaciones en la capturabilidad de la población y que dichos problemas se ven incrementados por el hecho de que el esfuerzo se concentra sobre la especie durante las fases de fuerte capturabilidad. El empleo de un modelo que ajustase las biomazas a las mortalidades por pesca permitiría resolver este problema, al menos parcialmente.

### 1. Introduction

C'est devenu un lieu commun dans tous les rapports annuels du "Standing Committee on Research and Statistics" (SCRS) depuis dix ans que le modèle global s'applique mal, ou pas du tout, au stock de listao de l'Atlantique du fait que la *pue* mesure mal l'abondance du stock, du fait de la variabilité du recrutement et de celle de la capturabilité du stock. La première et seule tentative pour ajuster un modèle global au listao de l'Atlantique avait été faite en 1976 lors du groupe de travail de Dakar, sans que le problème de fond soit véritablement analysé. Depuis lors, le non ajustement a été adopté comme paradigme, sans que véritablement aucune analyse de fond du problème n'ait été réalisée sur les possibilités et les limites réelles d'appliquer le modèle global aux pêcheries de listao de l'Atlantique. La présente note se propose donc d'analyser le problème grâce à un modèle de simulation reconstituant une pêcherie exploitant une espèce "de type listao", pour laquelle le recrutement et la capturabilité sont stables ou variables, et pour laquelle l'effort est, ou pas, en corrélation avec la prise par unité d'effort. On connaît donc dans le modèle, pour chacun de ces cas, d'une part la prise, l'effort et la *pue*, d'autre part la biomasse "réelle" du stock et le taux de mortalité par pêche qu'il subit.

Un tel modèle a aussi pour objectif de cerner les possibilités d'un modèle de type global, mais qui serait basé sur des données de biomasse et taux de mortalité par pêche.

### 2. Modèle et Paramètres de la Simulation

#### 2.1 LE MODELE

Un modèle simple de dynamique d'une population exploitée a été mis au point. Le modèle a les caractéristiques suivantes:

- le stock est exploité par un engin unique selon la relation:

$$F_i = q_i \times f_i$$

où  $i$  est l'indice du mois,  $F_i$  la mortalité par pêche mensuelle,  $q_i$  le facteur capturabilité du mois, et  $f_i$  l'effort de pêche exercé durant le mois.

- le recrutement est mensuel (ce choix a été retenu du fait que le listao semble ne pas avoir de saison de reproduction bien définie, mais semble capable de se reproduire toute l'année, au moins à l'échelle de l'Atlantique tropical)

Chaque mois, la population s'accroît de  $N$  poissons d'âge 0 (zéro), les poissons précédemment d'âge zéro vieillissant d'un mois.

- la mortalité naturelle mensuelle ( $M$ ) est constante et indépendante de l'âge.
- la capturabilité du stock ( $q_i$ ) est la même pour tous les âges, mais peut varier selon le mois de pêche ( $i$ ). Le vecteur des capturabilités mensuelles est dans le modèle un facteur externe, lu pour chaque année de pêche.
- l'effort de pêche constitue chaque année un vecteur de douze valeurs ( $f_i$ ) mensuelles introduites dans le modèle.

La prise mensuelle (en nombre) obtenue sur chaque âge  $j$  ( $C_{ij}$ ) sera égale à:

$$C_{ij} = \frac{N_{ij} \times F_i (1 - e^{-(F_i + M)})}{F_i + M}$$

La prise annuelle en nombre sera égale à:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{12} C_{ij}$$

où  $n$  est le nombre d'années de l'exploitation.

La prise annuelle en poids sera égale à:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{12} C_{ij} * \bar{w}_{ij}$$

où  $\bar{w}_{ij}$  est le poids moyen par mois ( $i$ ) en fonction de l'âge ( $j$ ).

La *pue* est calculée comme étant égale à la prise en poids divisée par l'effort annuel:

$$pue = \frac{\text{Prise annuelle en poids}}{\sum_{i=1}^{12} f_i}$$

La biomasse annuelle du stock  $B$  est elle égale à:

$$B = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{12} N_{ij} * \bar{w}_{ij}}{12}$$

Le modèle de simulation calcule donc tous les paramètres du stock et de la pêcherie en situation de déséquilibre:

- prise en nombre et poids réalisés par la pêcherie durant l'année;
- *pue* en nombre et poids de la pêcherie;
- biomasse du stock;
- taux de mortalité par pêche du stock.

Ces résultats peuvent ensuite être introduits comme paramètres de base d'un modèle global (programme PROFIT, Fox 1975) basé:

- (1) soit sur la relation *pue*-effort de pêche;
- (2) soit sur la relation biomasse-mortalité par pêche.

Pour chaque pêcherie le résultat le plus intéressant sera de comparer les données "réelles" de prises maximales équilibrées et d'efforts optimaux des stocks simulés, aux mêmes résultats estimés par le

modèle global généralisé. Cette comparaison permet en effet de déterminer dans quelle mesure le modèle global s'applique quand certaines de ses hypothèses de base ne sont pas satisfaites.

## 2.2 LES PARAMETRES CONSTANTS

Les paramètres constants du stock ont été choisis à des niveaux comparables à ceux du listao, sans nécessairement chercher à reproduire fidèlement cette espèce:

- La durée de la phase exploitée a été fixée à trois ans, soit une valeur "raisonnable" pour la phase exploitée des listaos dans l'Atlantique de l'est.
- La mortalité naturelle est fixée à un taux annuel de 0,7, valeur jugée "raisonnable" pour une espèce comme le listao (soit un taux mensuel de 0,0583).
- La croissance pondérale durant la phase exploitée est linéaire, avec un taux de croissance de 1 kg par an.
- L'effort de pêche suit pour toutes les simulations une même tendance d'efforts croissants sur une période totale de vingt-et-un ans, par paliers d'efforts constants de trois ans (chaque palier d'effort conduit à une pêcherie en état d'équilibre du fait que la phase exploitée dure trois ans).

La pêcherie initiale exploite le stock à un niveau d'effort de pêche très réduit, donc à des niveaux d'abondance et de biomasse proches de ceux d'un stock vierge. La pêcherie dans sa phase finale exploite le stock à un niveau d'effort de pêche très élevé, supérieur à celui qui correspond à la prise maximale équilibrée du stock. Le recrutement mensuel est soit constant, soit variable selon un cycle à trois ans en fonction des simulations, mais sans tendance pluriannuelle. En d'autres termes, le recrutement moyen est choisi sans tendance et indépendant du niveau d'abondance du stock reproducteur.

Du fait de ce choix, les résultats de la simulation seront d'un type analogue à ceux d'un modèle de production par recrue, et les courbes de production et biomasse du stock en fonction de l'effort voisines de celles d'un modèle exponentiel ( $m = 1,0$ ).

## 3. Stock à Recrutement et Capturabilité Constants

### 3.1. GENERALITES ET DONNEES DE BASE

Cet exemple constitue l'exploitation de référence "idéale", à laquelle seront comparés les résultats obtenus dans des conditions plus complexes.

Le cycle de la pêcherie totalisant vingt-et-une années d'exploitation avec sept paliers d'efforts constants par périodes de trois ans apparaît sur la Figure 1, qui montre les prises, efforts et *pue* simulés. Les résultats de la simulation sont aussi représentés en termes de biomasse exploitable - mortalité par pêche sur la Figure 2. On constate, et cela n'a rien d'étonnant, la faible variabilité des points simulés.

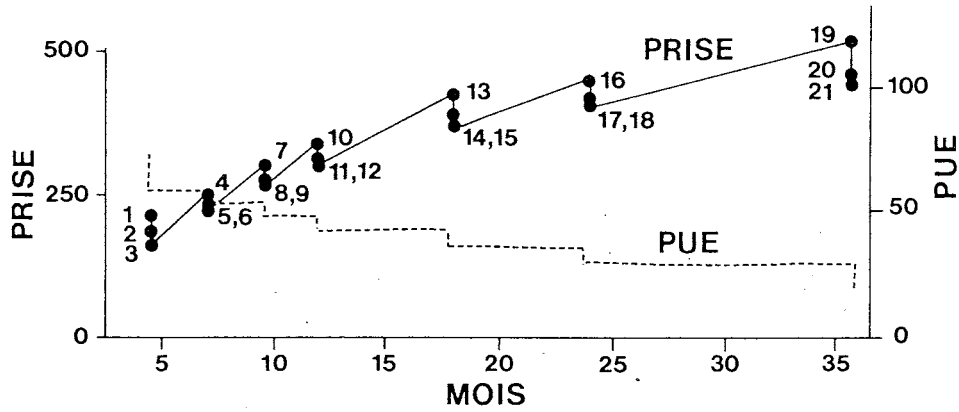


Figure 1. Relation prises, *pue*, effort avec simulation à recrutement et capturabilité constants. Chaque point correspond à la prise/*pue* et l'effort d'une année de pêche.

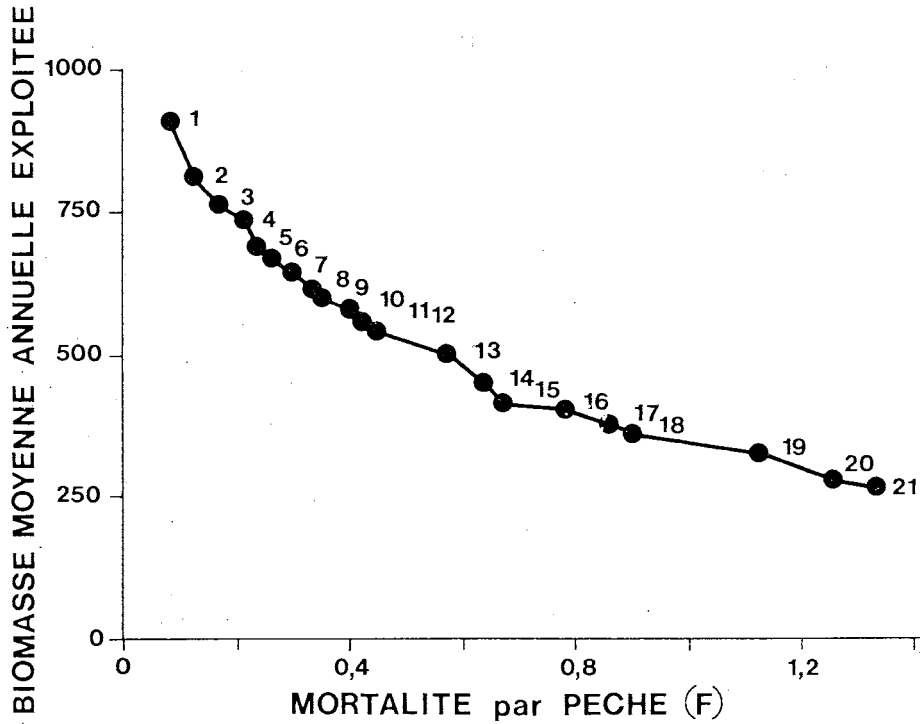


Figure 2. Relation biomasse et mortalité par pêche avec une simulation à recrutement et capturabilité constants.

Le modèle global est ensuite appliqué à ces résultats en utilisant les facteurs  $k$  (nombre d'années de la phase exploitée) égal à 3. Pour  $k = 3$ , l'effort équilibré sera estimé par trois fois l'effort de l'année  $j$ , deux fois l'effort de l'année  $j-1$ , et une fois l'effort de l'année  $j-2$ , divisé par 6, selon la méthode proposée par Fox (1975). L'exposant  $m$  du modèle de production généralisé est égal à 1,0 (modèle exponentiel).

Le modèle global sera calculé pour la même pêcherie à deux niveaux d'exploitation:

1. La première pêcherie, après quinze années

d'exploitation, est à un niveau d'effort inférieur au niveau optimum (Ef.OPT) qui correspond à la prise maximale équilibrée (PME).

2. La deuxième pêcherie est, après vingt-et-un ans d'exploitation (dont les quinze premières années identiques aux précédentes), à un niveau d'effort supérieur à l'effort optimum. Cette procédure sera menée à bien pour toutes les autres pêcheries simulées.

Dans chaque exemple on calculera ainsi des estimations de la prise maximale équilibrée du stock (PME) et de l'effort "optimal" (Ef.OPT) correspon-

nant à cette prise. En ajustant le modèle global aux paramètres biomasse et mortalité par pêche, on calculera une biomasse correspondant à la prise maximale équilibrée (B.OPT) et une mortalité par pêche correspondante (F.OPT).

### 3.2. AJUSTEMENT SUR EFFORTS ET PUE

Les paramètres suivants sont estimés par le modèle global:

Période d'ajustement	PME	Ef.OPT
15 ans	374 ± 1,3 %	228 ± 2,2 %
21 ans	424 ± 1,6 %	283 ± 2,9 %

Les valeurs des paramètres estimés par le modèle sont suivis d'un indice d'erreur (exprimé en pourcentage). Cet indice est celui calculé par le programme PROFIT (Fox 1975) et est calculé à partir des inégalités de TCHEBITCHEFF. Les valeurs de PME et Ef.OPT estimées après vingt-et-un ans d'exploitation pour une pêcherie ayant dépassé son effort optimum, seront les estimations retenues de la PME "réelle" du stock et de l'effort optimum de la pêcherie.

### 3.3. AJUSTEMENT SUR LA BIOMASSE ET LA MORTALITE PAR PECHE

Les paramètres suivants sont calculés par le modèle global:

Période d'ajustement	B.OPT	F.OPT
15 ans	345 ± 2,2 %	0,86 ± 3,6 %
21 ans	319 ± 1,2 %	1,08 ± 3,4 %

Ces valeurs calculées après vingt-et-un ans d'exploitation seront considérées comme proches des valeurs réelles B.OPT du stock et F.OPT de la pêcherie.

## 4. Stock à Capturabilité Constante et Recrutement Variable

### 4.1. GENERALITES ET DONNEES DE BASE

Dans ce deuxième exemple les paramètres sont tous identiques à ceux de la première pêcherie, sauf le recrutement mensuel qui n'est pas constant, mais subit des variations selon une sinusoïde (Fig. 3) oscillant durant un cycle de trois ans, entre un minimum égal à zéro et un maximum égal au double du recrutement moyen de l'exemple 1. En moyenne sur trois ans le recrutement est donc à un même niveau que celui du premier exemple; subséquemment la production équilibrée de ce stock doit être identique à celle de la première pêcherie.

### 4.2 AJUSTEMENT SUR LES EFFORTS ET LES PUE

On note tout d'abord la forte variabilité des *pue* et des prises annuelles introduite par l'existence du recrutement variable (Fig. 3).

Les paramètres suivants sont estimés par PROFIT:

Période d'ajustement	PME	Ef.OPT
15 ans	411 ± 20,7 %	230 ± 36,3 %
21 ans	497 ± 11,9 %	315 ± 20,7 %
Valeur réelle	424	283

Ces chiffres sont comparables aux valeurs "réelles" de la production du stock (celles du paragraphe 3.2, calculées à recrutement et capturabilité constant); on note que la variabilité du recrutement a accru la variabilité des prises et des rendements, ce qui a pour conséquence un ajustement médiocre par le modèle global. Il en résulte des indices d'erreur assez élevés sur E.OPT et PME, traduisant la plus grande incertitude sur ces paramètres.

Un examen du graphique de production/effort de la Figure 4, suggère en outre que la pêcherie oscille de fait entre des périodes de sous-exploitation (courbe A)

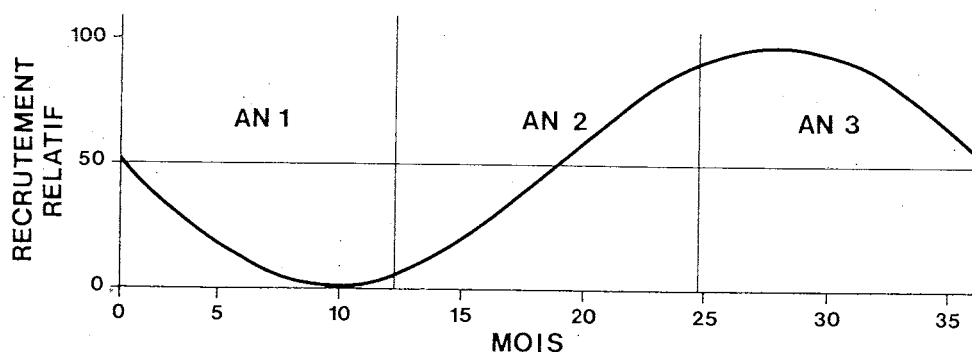


Figure 3. Variations du recrutement mensuel dans les pêcheries n° 2 et exploitant un stock à recrutement variable.

en périodes de forts recrutements, et de surexploitation en périodes de faibles recrutements (courbe B). De fait, et cela est logique en termes de production par recrue, pour des efforts modérés, par exemple à un niveau 20, les périodes de faibles recrutements moyens sont déjà au maximum de leur production par recrue, alors que les forts recrutements sont encore sous-exploités.

### 4.3 AJUSTEMENT SUR LES MORTALITES PAR PECHE ET LES BIOMASSES

Les valeurs introduites dans le modèle global sont représentées sur la Figure 5. On note comme pour les *pue* et les efforts une forte variabilité des valeurs observées.

On note que les indices d'erreur sont comparables à

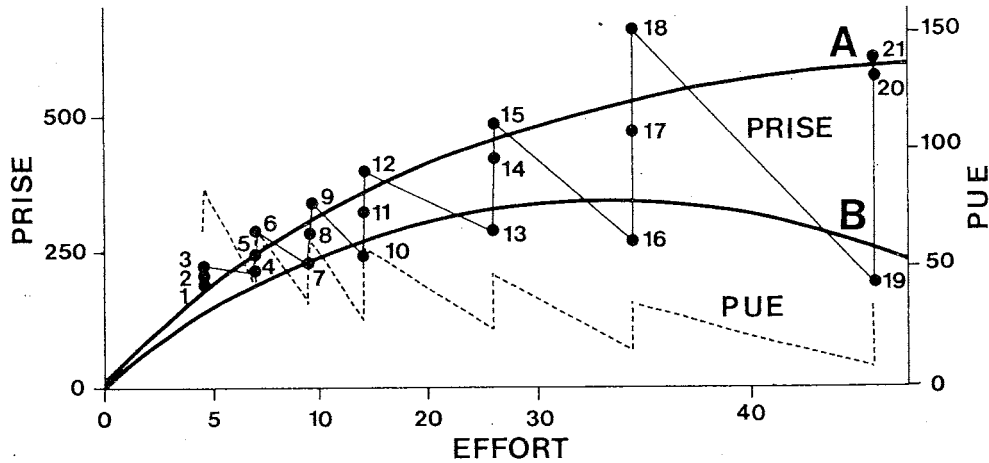


Figure 4. Prises, *pue* et efforts de pêche annuels avec simulation d'un stock à capturabilité constante et recrutement variable mensuellement selon le schéma de la Figure 3. (Chaque point représente une année de pêche, numérotées de 1 à 21.) Les courbes A et B tracées à l'oeil traduisent le type de la production en fonction de l'effort qui semblent exister en périodes de forts recrutements (courbe A) ou de faibles recrutements (courbe B).

Cette variabilité rend imprécis l'ajustement du modèle global. Les paramètres suivants sont calculés:

Période d'ajustement	B.OPT	F.OPT
après 15 ans	369 ± 18,6 %	0,90 ± 29,0 %
après 21 ans	338 ± 11,3 %	1,18 ± 18,0 %
Valeur réelle	319	1,08

ceux calculés sur les données de *pue* et d'effort. Les estimations de la biomasse optimale sont relativement exactes et proches de la valeur "réelle" (319) calculée après vingt-et-un ans d'exploitation sur le stock à recrutement et capturabilité constants (paragraphe 3.2).

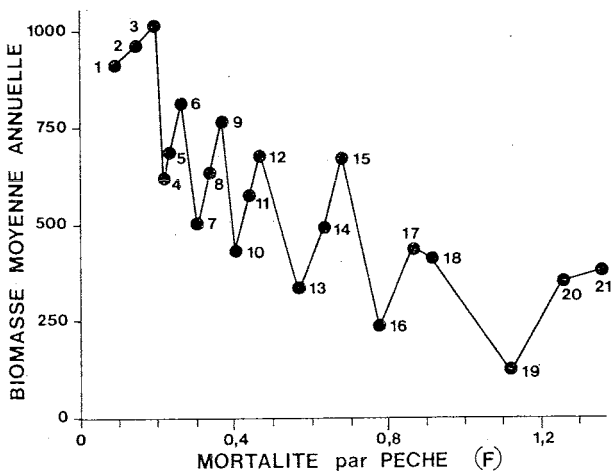


Figure 5. Biomasse et taux de mortalité par pêche (F) avec simulation d'un stock à capturabilité constante et recrutement variable selon le schéma de la Figure 3.

## 5. Stock à Capturabilité Variable et Recrutement Constant

### 5.1 GENERALITES ET DONNEES DE BASE

Dans cet exemple, tous les paramètres du stock et de la pêcherie sont identiques à ceux de l'exemple 1, sauf la capturabilité mensuelle de tous les âges qui suit des variations sinusoïdales entre un minimum de 0 et un maximum égal au double de la capturabilité moyenne du premier cas (Fig. 6). La capturabilité moyenne du stock sur trois ans est donc la même que dans le premier exemple, et la production équilibrée du stock doit être identique à celle de la première pêcherie.

5.2 AJUSTEMENT SUR LES EFFORTS ET LES PUE

La Figure 7 montre la forte variabilité des données de prises et *pue* simulées.

Les paramètres d'équilibre suivants sont estimés à partir de ces données grâce au modèle global:

Période d'ajustement	PME	Ef.OPT
15 ans	362 ± 60,7 %	236 ± 204,4 %
21 ans	427 ± 23,7 %	299 ± 42,3 %
Valeur réelle	424	283

On constate que le modèle obtient des estimations de Ef.OPT et PME "raisonnables", comparables aux valeurs réelles de la pêcherie du cas 1 qui est jugé traduire la réalité. Les indices d'erreur des paramètres estimés sont toutefois extrêmement élevés, même pour une pêcherie ayant dépassé l'effort optimum. Cela n'a rien de surprenant puisque dans un tel modèle à capturabilité variable les variations de la *pue* traduisent mal celles de l'abondance, et de plus l'effort de pêche n'est pas non plus une bonne mesure de la mortalité par pêche réelle subie par le stock.

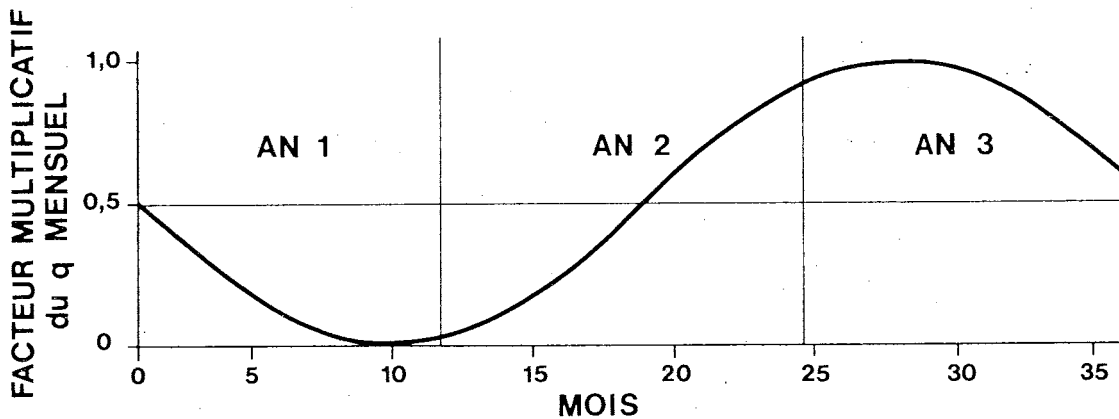


Figure 6. Variations du facteur q mensuel (capturabilité) dans la pêcherie de l'exemple n° 3 et exploitant un stock à capturabilité variable.

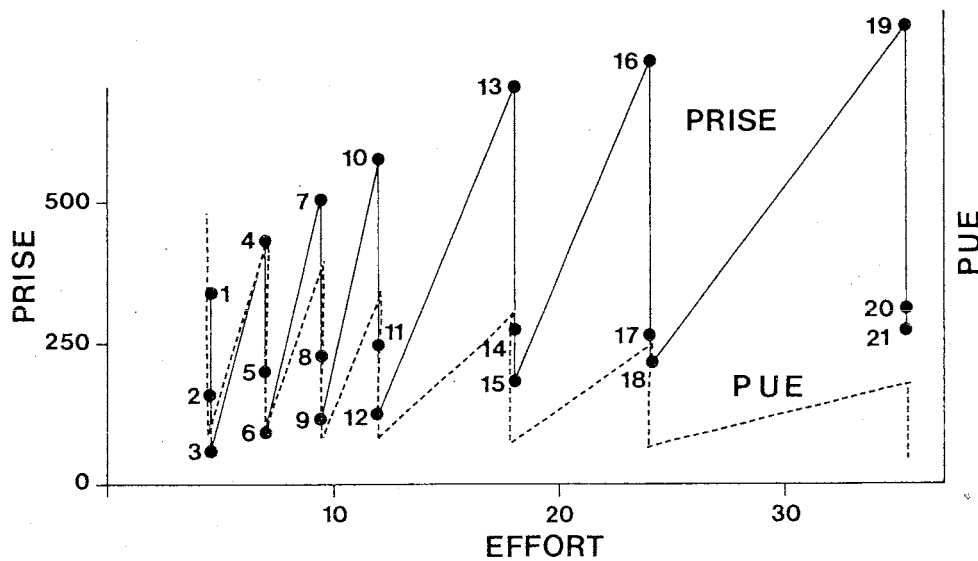


Figure 7. Relation prise, *pue*, effort avec simulation d'un stock à recrutement constant et capturabilité variable mensuellement selon le schéma de la Figure 6.

### 5.3 AJUSTEMENT SUR LA BIOMASSE ET LA MORTALITÉ PAR PÊCHE

Les paramètres estimés par le modèle global sont les suivants:

Période d'ajustement	B.OPT	F.OPT
15 ans	342 ± 7,9 %	0,88 ± 12,3 %
21 ans	310 ± 5,9 %	1,26 ± 9,2 %
Valeur réelle	319	1,08

On constate sur la Figure 8 la faible variabilité des points biomasse/F; il en résulte un assez bon ajustement du modèle global, un indice d'erreur assez faible et de bonnes estimations de la biomasse optimale. Ce résultat n'est en soi pas surprenant: il est en effet très logique en termes de dynamique des populations que pour un stock à  $q$  variable saisonnièrement, la relation biomasse - F soit meilleure que celle entre  $pue$  et effort de pêche, qui constituent dans ce cas deux estimateurs biaisés des deux paramètres de base du modèle.

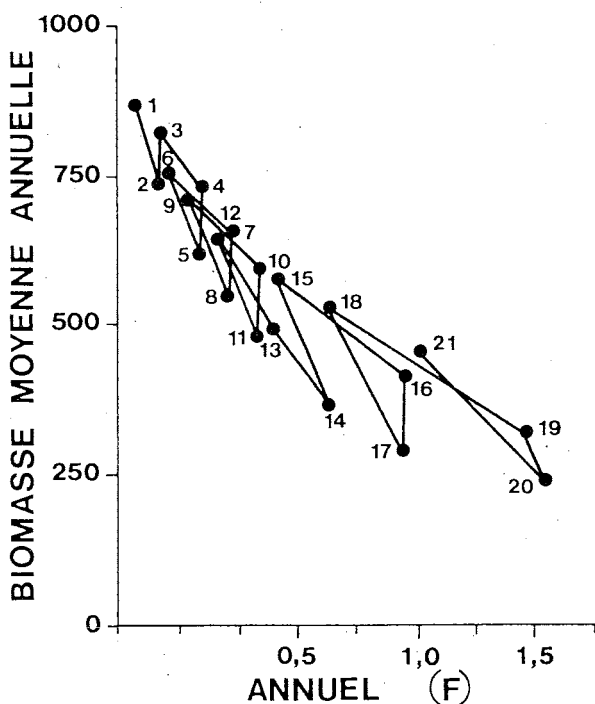


Figure 8. Relation biomasse et mortalité par pêche (F) avec un recrutement constant et une capturabilité variable (Figure 6) saisonnièrement.

## 6. Stock à Capturabilité Constante Recrutement et Efforts Mensuels Variables en Fonction de la PUE

### 6.1 GENERALITES

Dans cet exemple les paramètres afférents au stock sont les mêmes que dans l'exemple du paragraphe 4. Toutefois on a voulu dans cet exemple tenir compte d'un paramètre qui semble important dans la pêcherie de listao, qui est qu'en période de forte  $pue$ , une part plus importante de l'effort de pêche intertropical s'oriente vers le listao (en abandonnant la pêche de l'albacore), et le contraire durant les périodes de faible abondance du listao. Les effets de cette corrélation entre  $pue$  et effort ont été estimés en introduisant dans le modèle un effort de pêche, non plus constant pendant quatre ou six périodes de trois ans, mais variable mensuellement selon le schéma donné par la Figure 9. L'effort annuel moyen de chaque période de trois ans est le même que dans chacun des exemples précédents, mais cet effort varie mensuellement entre un niveau 0,50, 1 et 1,5 fois sa valeur moyenne, selon les niveaux de  $pue$  moyenne, faible, moyenne, ou forte, durant chaque cycle triennal.

### 6.2. AJUSTEMENT SUR LES EFFORTS ET LES PUE

Ces données simulées se traduisent par une variabilité des efforts de pêche annuels qu'on peut noter en comparant les Figures 4 et 9. On y note aussi que cette variabilité de l'effort de pêche accentue la variabilité de la distribution des points  $pue$  - prises - efforts de pêche.

Durant les périodes de fortes  $pue$  (donc de forte abondance dans cet exemple) et d'efforts de pêche élevés, les prises sont élevées et comparables à celles de la Figure 4. Durant les périodes de faible abondance où l'effort de pêche (donc F) est réduit, la surexploitation est par contre plus faible que dans l'exemple de la Figure 4.

Pour cette pêcherie, les paramètres d'équilibre suivants sont estimés:

Période d'ajustement	PME	Ef.OPT
15 ans	429 ± 24,5 %	252 ± 40,0 %
21 ans	487 ± 12,7 %	313 ± 22,3 %
Valeur réelle	424	283

On note que ces paramètres, bien qu'estimés avec des indices d'erreurs assez élevés, sont proches des valeurs "réelles" du stock. L'introduction d'un effort de pêche variable selon la  $pue$  n'apporte ainsi pas de problèmes particuliers à l'ajustement, ni d'accroissement de l'indice d'erreur.

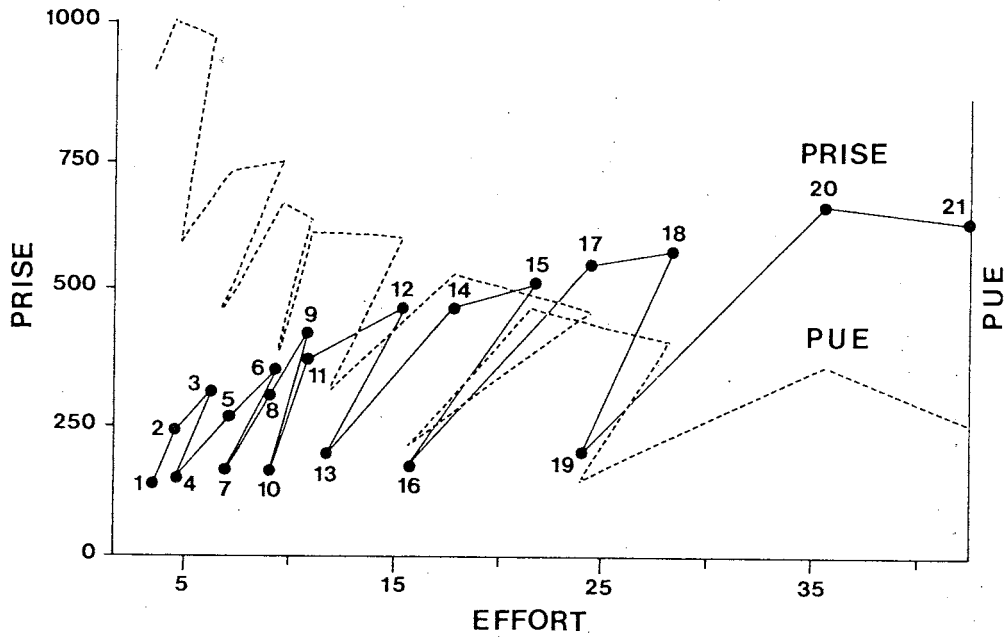


Figure 9. Prises, *pue* et efforts de pêche annuels avec simulation d'un stock à capturabilité constante, recrutement mensuel variable et effort mensuel variable selon la *pue*.

### 6.3. AJUSTEMENT SUR BIOMASSE ET MORTALITE PAR PECHE

Les paramètres suivants sont obtenus par le modèle global

Période d'ajustement	B.OPT	F.OPT
15 ans	360 ± 20,0 %	0,90 ± 31,0 %
21 ans	333 ± 12,0 %	1,14 ± 19,4 %
Valeur réelle	319	1,08

On note que les estimations obtenues sont proches des valeurs réelles, et que les indices d'erreurs des variables ne sont pas supérieurs au cas du paragraphe 4 où l'effort de pêche était indépendant de la *pue* (Figures 5 et 10).

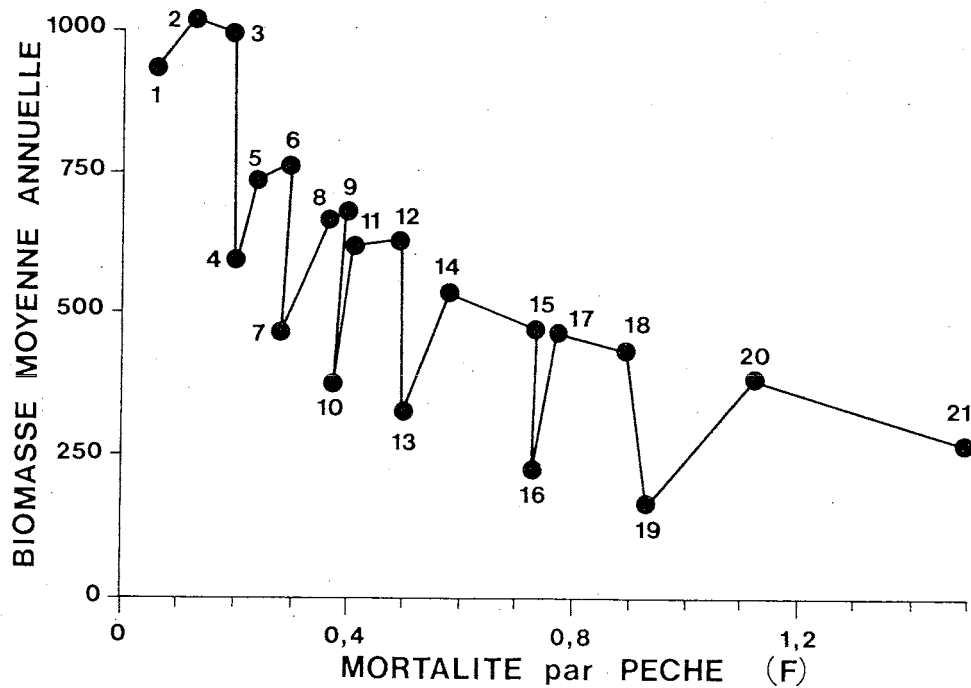


Figure 10. Biomasse et taux de mortalité par pêche (F) avec simulation d'un stock capturabilité constante, recrutement mensuel variable (Figure 3) et effort de pêche variable selon la *pue*.

**7. Stock à Capturabilité Variable, Recrutement Constant et Effort en Fonction de la PUE**

7.1. GENERALITES

Dans cet exemple tous les paramètres du stock et de la pêcherie sont identiques à l'exemple décrit au paragraphe 5, sauf l'effort de pêche qui est accru durant les périodes de forte abondance, et réduit durant celles de faible abondance. L'effort durant chaque période triennale est ainsi le même que dans le paragraphe 5, mais le niveau de l'effort annuel est proportionnel à la *pue* de chaque année de cet exemple. Le schéma des variations de l'effort de ce

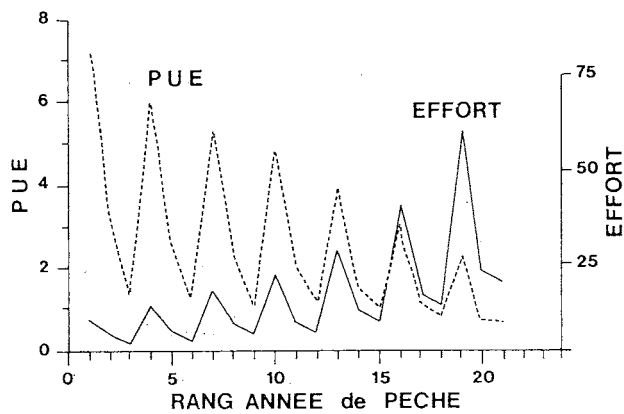


Figure 11. *pue* annuelles du stock simulé à capturabilité variable paragraphe 5 et efforts de pêche variables selon le niveau de la *pue*, calculés à partir de ces *pue* pour le stock décrit au paragraphe 7.

stock et des *pue* du stock paragraphe 5 sont montrés Figure 11.

7.2. AJUSTEMENT AUX DONNEES D'EFFORTS ET DE PUE

Les relations simulées entre prises - effort de pêche et *pue* effort de pêche sont représentées Figure 12. On note immédiatement l'extrême dispersion des points observés. Ces données simulées introduites dans le modèle global donnent les résultats suivants:

Période d'ajustement	PME	F.OPT
15 ans	Ajustement du modèle impossible	
21 ans	593 ± 60,0 %	601 ± 80 %
Valeur réelle	424	283

Le modèle global n'est pas capable de réaliser un ajustement aux données de prises et d'effort observées sur quinze ans. Sur vingt-et-un ans il estime des paramètres PME et Ef.OPT avec un indice d'erreur très élevé et dont les estimations sont très surestimées par rapport aux valeurs réelles. Ceci n'a rien d'étonnant, et le seul examen de la médiocre relation PUE - effort laissait prévoir ces problèmes.

7.3. AJUSTEMENT AUX DONNEES BIOMASSE ET MORTALITE PAR PECHE

La relation biomasse-mortalité par pêche simulées pour ce stock est représentée Figure 13. On note de suite que si la relation *pue*- effort était médiocre, celle

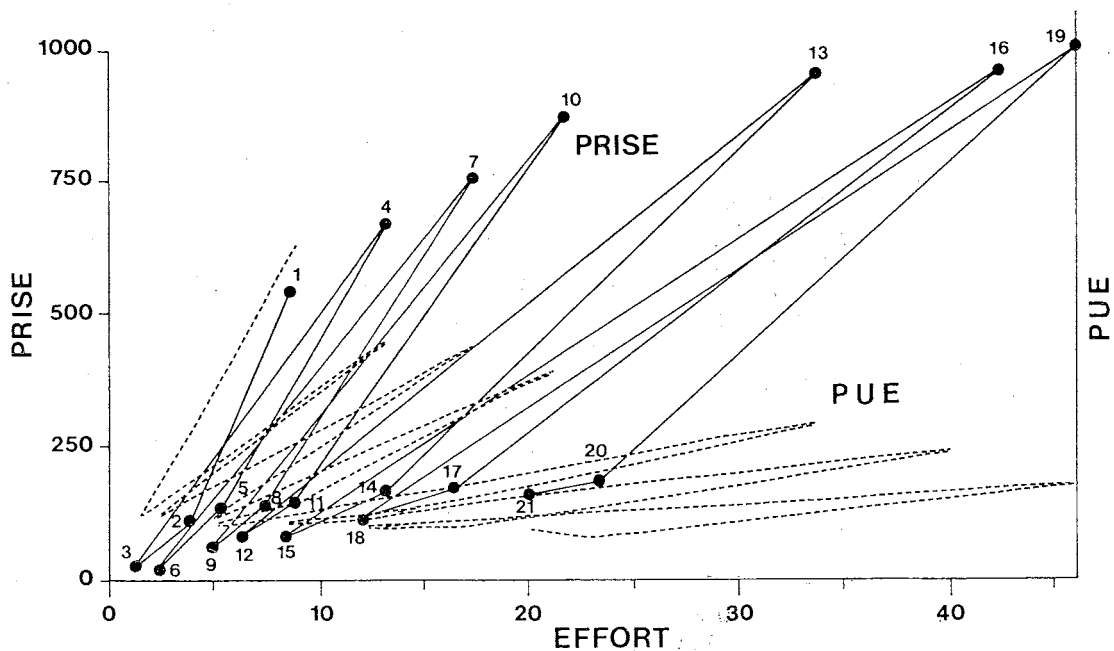


Figure 12. Relation prises, *pue*, efforts avec simulation d'un stock à recrutement constant, capturabilité variable et effort dépendant de la *pue* selon le schéma de la Figure 11.

entre biomasse et  $F$  est bonne. Cela n'a rien de surprenant, car dans la Figure 11, la  $pue$  est une mesure biaisée de l'abondance, et l'effort une mesure biaisée de la prédation exercée sur le stock par la pêcherie, ceci du fait de la variabilité de  $q$  dont les effets sont accentués par les variations corrélées de l'effort. Le modèle global ajusté à ces données fournit les estimations suivantes:

Période d'ajustement	B.OPT	F.OPT
15 ans	$312 \pm 12,3 \%$	$1,34 \pm 19,0 \%$
21 ans	$219 \pm 7,2 \%$	$1,72 \pm 11,4 \%$
Valeur réelle	319	1,08

On constate donc que les paramètres B.OPT et F.OPT sont assez correctement estimés (F.OPT est notablement surestimé) avec un indice d'erreur faible qui exprime la faible variabilité des points simulés par rapport au modèle, contrairement à l'ajustement sur  $pue$ -efforts qui était impossible ou très médiocre.

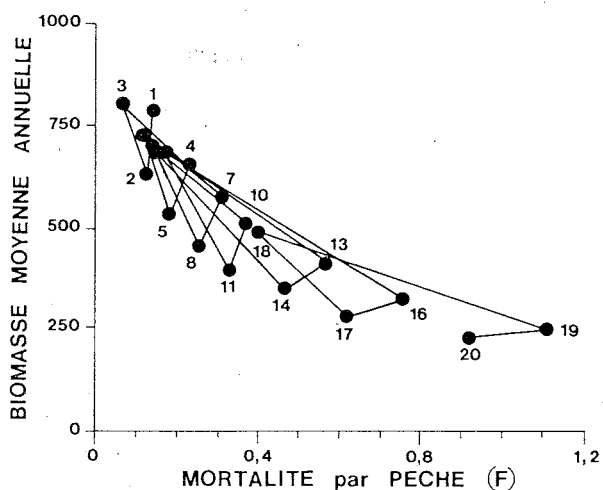


Figure 13. Relation biomasse exploitée et mortalité par pêche ( $F$ ) avec simulation d'un stock à recrutement constant, capturabilité variable et effort dépendant de la  $pue$ .

## 8. Conclusion

La présente analyse n'introduit pas de concepts véritablement nouveaux dans le domaine de la dynamique des populations. Elle permet toutefois de mieux comprendre l'impact de variations interannuelles du recrutement, de la capturabilité et/ou de l'effort de pêche dans l'ajustement du modèle global. Les principales conclusions de cette étude sont les suivantes:

- La constance du recrutement et de la capturabilité conduit à un excellent ajustement du modèle de production, d'une part aux données de  $pue$  et d'effort, d'autre part à celle de biomasse et mortalité par pêche.
- L'introduction d'un recrutement variable n'interdit pas l'ajustement, mais accroît fortement les indices d'erreurs sur les paramètres  $Ef.OPT$  et  $PME$ . L'ajustement sur la biomasse et la mortalité par pêche est comparable à celui réalisé par  $pue$  et effort.

- L'introduction d'une capturabilité variable rend impossibles ou très douteux les ajustements sur les  $pue$  et efforts, du fait que ces paramètres ne représentent ni l'abondance, ni la mortalité par pêche subie par le stock. Les ajustements réalisés avec biomasse et mortalité par pêche sont par contre "corrects".

- L'introduction d'un effort proportionnel à la  $pue$  sur un stock à recrutement variable ne change pas sensiblement les estimations obtenues par le modèle global, tant dans l'ajustement sur les  $pue$  et efforts, que dans celui sur biomasse et mortalité par pêche. Cette analyse concerne les variations de l'effort sur de courtes périodes. Des conséquences plus graves peuvent surgir lorsque les changements de l'effort découlant de modifications de la  $pue$  sont d'une importance égale ou supérieure à ceux du niveau général de l'effort pour l'ensemble de la période étudiée.

- L'introduction d'un effort proportionnel à la  $pue$  dans un stock à capturabilité variable a des effets désastreux sur l'ajustement aux données  $pue$  et efforts. L'ajustement aux données biomasse et mortalité par pêche demeure par contre satisfaisant.

En conclusion à ces analyses, on peut considérer que l'opinion classique "le modèle de production ne peut pas s'appliquer au listao du fait de la variabilité du recrutement et de la capturabilité de cette espèce", n'est que partiellement exacte.

S'il s'agit de variations du recrutement et que la  $pue$  mesure l'abondance, le modèle global doit s'appliquer, même si la variance des estimations de la prise maximale équilibrée et de l'effort optimal correspondant est nécessairement plus forte que dans le cas d'un recrutement constant (ou de l'exploitation de nombreuses classes d'âges). S'il s'agit au contraire d'une variabilité du facteur  $q$ , l'ajustement classique sur des  $pue$ -effort devient au contraire pratiquement impossible à réaliser; l'ajustement du modèle global sur biomasse et mortalité par pêche demeure par contre correct. Il semble donc souhaitable de calculer, par analyse de cohortes, l'évolution des paramètres biomasse et mortalité par pêche.

Le fait que l'effort de pêche se concentre particulièrement durant les périodes de forte  $pue$  ne semble pas changer le problème des ajustements: ils restent en effet réalisables à recrutement variable et très difficiles à capturabilité variable.

La principale conclusion de cette étude est qu'il est important de mieux déterminer la part de la variabilité du recrutement et de celle de la capturabilité dans la variabilité des  $pue$  de listao. L'analyse de la relation biomasse-mortalité par pêche devrait en outre être tentée, surtout dans le cas où les variations de la capturabilité du stock semblent importantes.