

DYNAMIQUE DES POPULATIONS

d'après
R. J. BEVERTON
et S. J. HOLT

Notes de cours par J. P. TROADEC

A/ - INTRODUCTION

1/ Problème :

Le chapitre "phase biologique" du programme de recherche organisée nous a donné ou nous donnera des précisions sur la biologie d'une espèce ou d'un stock. Ceci peut satisfaire un biologiste. Mais l'exploitation de telles données peut et doit aller plus loin, car de telles notions ne satisferont pas ceux qui sont intéressés par le rendement d'un stock, le bénéfice à en retirer, sa conservation et la réglementation à mettre en oeuvre pour éviter sa dégradation.

Ils désirent une étude synthétique de l'influence des différents facteurs agissant sur la production du stock, étude dont les conclusions seront simples.

Ce problème est spécifique de la pêche qui s'apparente plus à la chasse qu'à l'élevage; en effet, il y a impossibilité à agir à volonté sur les stocks comme on le fait pour une étable. Une exploitation rationnelle n'est possible qu'à la condition de développer une étude analytique, permettant des calculs de gestion de la dynamique des populations. Une autre analogie avec la chasse : la mobilité des stocks nécessite une réglementation internationale, seule capable de prévenir une exploitation anarchique des ressources de la mer.

Son but est pourtant le même qu'en zootechnie : obtenir la production optimum d'une population; mais les stocks en liberté introduisent des différences essentielles :

Elevage - pas de problème de liberté donc pas de problème d'échantillonnage pour l'estimation des paramètres.

- pas de problème de propriété : l'exploitant peut agir sur son stock à tous les niveaux, à sa volonté; il peut augmenter ou diminuer sa taille, son âge moyen, le recrutement et même sa croissance et sa mortalité.

Pêche -

L'homme ne peut agir qu'en laissant faire la nature, sa seule influence portant sur l'intensité de pêche qui modifie la productivité d'un stock de manière fort complexe. En élevage, l'homme peut constituer le stock maximum qu'il peut nourrir; en matière de pêche, toute exploitation diminue le stock.

Les questions posées se trouvent donc être :

- comment exploiter pour obtenir un rendement et une production optimum ?
- sur quelles catégories de poissons (âge), avec quelle intensité ?

Le problème est plus complexe encore, si un choix est à faire entre production et rendement financier.

2/ Approche empirique et analytique du problème.

1/ La première idée fut d'étudier les statistiques de pêches (prises totales, prises par unité d'effort). Elle permet de discerner une dégradation du stock mais guère plus.

Cette méthode empirique pose le problème, mais ne donne pas de solutions, car on ne peut déchiffrer par ce moyen une intensité de pêche trop grande et un prélèvement de poissons trop jeunes.

Etudes de ce genre : (Mer Caspienne - Flétan du Pacifique). On ne peut jamais être certain que les variations observées dans les statistiques ne sont pas dues à des variations naturelles sur lesquelles l'homme ne peut agir, ni même si les améliorations observées après réglementation ne sont pas fortuites, et indépendantes de l'action de l'homme. De plus, les conclusions auxquelles on aboutit, basées sur des observations passées, ne permettent pas de prévisions si les données changent.

2/ Ces difficultés sont surmontées par la méthode analytique. Celle-ci est basée sur l'estimation continue des paramètres dynamiques des stocks et leur synthèse en un modèle mathématique théorique, sur lequel on peut étudier séparément l'influence de chacun des facteurs. On comprend alors beaucoup plus facilement leur action qui peut être analysée.

Ainsi, peut-on espérer si des réglementations s'établissent (ce qui est le plus difficile car le problème devient politique), obtenir un meilleur contrôle du problème.

3/ Modèle théorique.

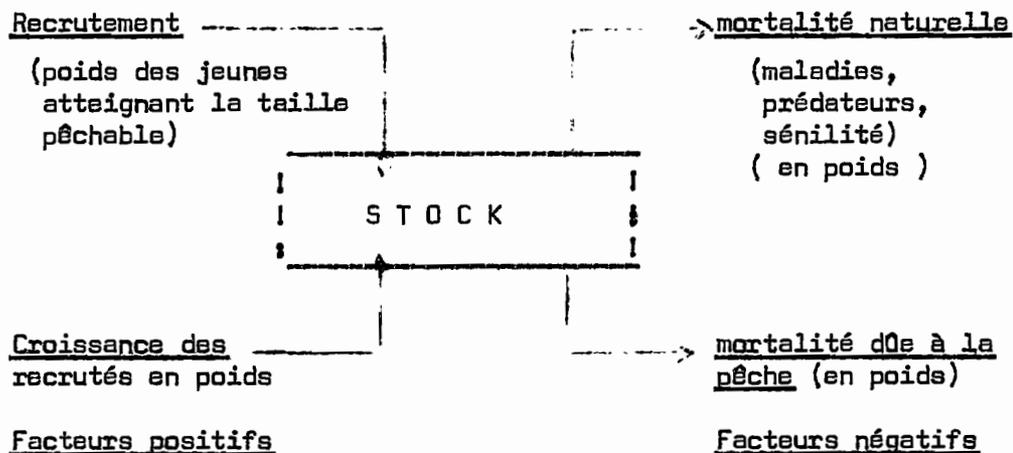
Cette méthode est usuelle en physique mathématique et c'est la base de la recherche opérationnelle. Elle est moins commune en biologie, car l'estimation des paramètres est difficile et souvent insuffisante. Pourtant, des essais existent pour les pêches depuis longtemps :

- BARANOV (1918)
- KOSTOTZIN (1939)
- RAFFERTY (1950)
- Von BERTALANFFY (1950)

quoique de façon fragmentaire.

Les véritables initiateurs de cette discipline sont BEVERTON et HOLT.

Dans une population de poissons, les processus biologiques sont "ouverts". Les flux d'énergie entrant et sortant s'équilibrent : il s'établit alors un équilibre dynamique ou état stable - (cf. cellule vivante) -



Il peut exister un niveau d'équilibre pour chaque intensité de la pêche, car le système se rééquilibre pour une nouvelle valeur de la production. De plus, un tel système comme tout système biologique ouvert présente une inertie à tout changement et un retour à l'équilibre initial dès que la contrainte extérieure s'annule.

Le problème consiste donc à établir un modèle mathématique du système ouvert : prédateur - proie; puis à étudier son comportement pour déterminer comment la pêche doit être réglée pour obtenir un meilleur rendement ou tout au moins éviter la dégradation.

La valeur des réponses dépend de la ressemblance entre le modèle et le stock. Il est à priori possible de le tester si l'on possède des évaluations anciennes du stock dont on essaiera les valeurs. On comparera ensuite les résultats obtenus aux statistiques de pêches contemporaines (difficile, car les informations sont incomplètes sinon absentes). On peut toujours analyser l'exactitude des évaluations et des hypothèses utilisées dans le modèle et les améliorer, si les besoins s'en font sentir (ceci n'est pas toujours nécessaire, car les évaluations, comme toute chaîne, n'ont que la solidité du maillon le plus faible), la précision de certaines évaluations peut être suffisante comparée à certaines autres;

Les paramètres changeant avec chaque stock, il faut un modèle par stock et le traiter séparément. Les hypothèses ne sont jamais totalement exactes; il faut les améliorer d'après les données en mains ou les besoins en précision;

Nous avons analysé en détail les principes de la dynamique des populations. Nous condenserons au maximum la seconde partie qui décrit l'estimation des paramètres et leur synthèse, en un modèle théorique. Nous nous étendrons davantage sur les résultats qu'elle fournit; en particulier, pour la prédiction des pêches et la réglementation. Nous laisserons de côté la partie plus complexe de la théorie qui étudie les interrelations entre les paramètres et les facteurs qui varient en fonction de la densité de la population. Cette partie permet une approche plus serrée et une analyse du problème plus fine; mais elle n'est pas nécessaire à la compréhension de la "théorie de la pêche"; car elle ne change rien aux principes;

B/ - FACTEURS PRIMAIRES DE LA DYNAMIQUE D'UNE POPULATION

Plusieurs auteurs ont donné des modèles mathématiques utilisables pour les pêcheries; aucun n'est complet et la plupart utilisent une ou plusieurs formules d'estimation trop grossières;

BEVERTON & HOLT furent chargés, en 1947, par le Standing Advisory Committee (Overfishing Conference 1946) d'étudier un modèle précis et chiffrable permettant de prévoir une réglementation sûre et non empirique. Ils travaillèrent pendant sept ans, appuyant leurs études mathématiques sur les recherches biologiques et statistiques faites au cours de ce demi siècle pour les principales espèces de poissons de la Mer du Nord, parmi lesquelles la plie et le haddock furent étudiés avec le plus de détail.

Nous avons vu que quatre facteurs primaires agissaient sur la dynamique d'une population :

recrutement, croissance, mortalité naturelle (M) et mortalité due à la pêche (F_p):

Ils doivent être formulés mathématiquement pour être assemblés en une seule formule;

1/ Le recrutement:

Le recrutement exprime, en nombre ou en poids, la quantité de jeunes qui entrent dans la phase exploitée. On distingue en réalité 3 types de recrutement :

- le recrutement du stock pêchable : (t_1) : Il se produit lorsque, à la suite d'une migration définitive horizontale (plie) ou verticale (haddock) les jeunes rejoignent le stock exploité. Bien que faisant partie de ce stock, ils peuvent ne pas être immédiatement capturés si, par exemple, leur taille est trop faible (chalut).

- le recrutement de la pêcherie (t_2) : Les jeunes faisant partie du stock commencent alors à être capturés par les engins.

- le recrutement des prises débarquées : Si la taille limite inférieure légale est supérieure à la taille au recrutement, de la pêcherie, les poissons de longueur comprise entre ces deux valeurs ne seront pas débarqués, mais rejetés à la mer. On doit tenir compte de ce recrutement lorsque l'on étudie le stock à partir des statistiques de pêche.

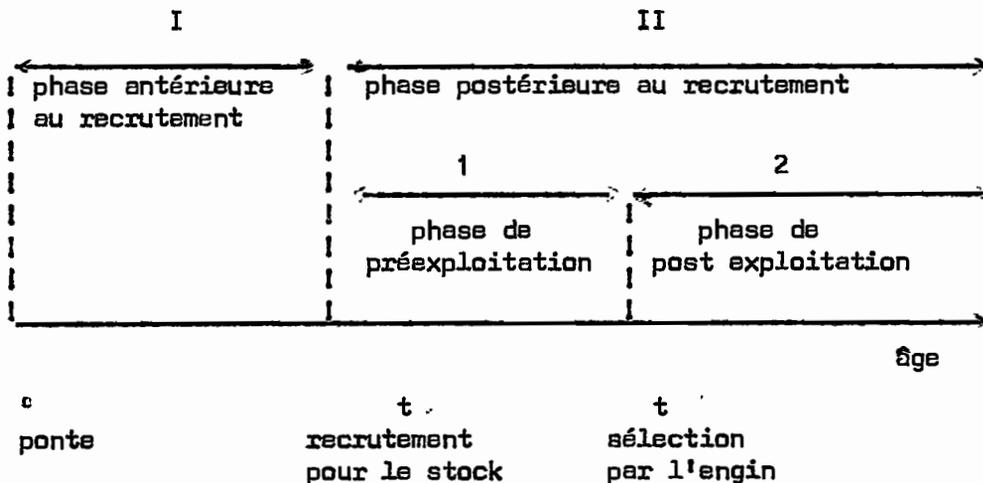


FIG. I - I - Les poissons sont hors du champ d'action des engins;
II - Les poissons sont dans le champ d'action des engins:

- 1 - poissons trop petits pour être pêchés.
- 2 - poissons assez grands pour être capturés.

Pour l'étude dynamique d'une population, seul le second type de recrutement est nécessaire. Mais pour son évaluation, l'analyse de la phase antérieure est nécessaire. Les deux premiers diagrammes de la figure II représentent les variations quantitatives des prérecrutés et de la mortalité qu'ils subissent. Les faits suivants apparaissent :

- la phase exploitable s'étend de la taille moyenne au recrutement de l'engin ($t_{j'}$) à l'âge maximum t_{λ} ($t = t_{\lambda} - t_{j'}$).

- pour l'étude dynamique d'une pêcherie, seul le nombre de ses recrutés R (ou plutôt leur poids) est essentiel.

- Le taux de recrutement est totalement différent du taux de production. L'importance énorme de la mortalité M_1 (plus de 99 % des oeufs de plie disparaissent avant le recrutement) supprime toute proportionnalité entre ces deux taux.

- La principale étude de recrutement est la définition de l'âge moyen au recrutement par l'engin ($t_{j'}$). Le 3ème diagramme montre que les poissons ne sont capturés que progressivement (ogive de sélection) : au fur et à mesure que leur taille s'accroît dans l'intervalle de sélection, leur chance de s'échapper diminue. On définit l'âge moyen (t_{ρ}) de façon à ce que l'on ait $S_1 = S_2$. On s'aperçoit alors que sur le diagramme mortalité, l'aire en pointillé est égale à Zt (mortalité totale x durée de la vie du poisson dans la phase exploitable). Nous allons voir que ce produit Zt est essentiel dans l'étude de la mortalité ($N_0 = R \cdot e^{-Zt}$).

2/ Mortalités.

1°/ - naturelle : maladies, prédation, sénilité.

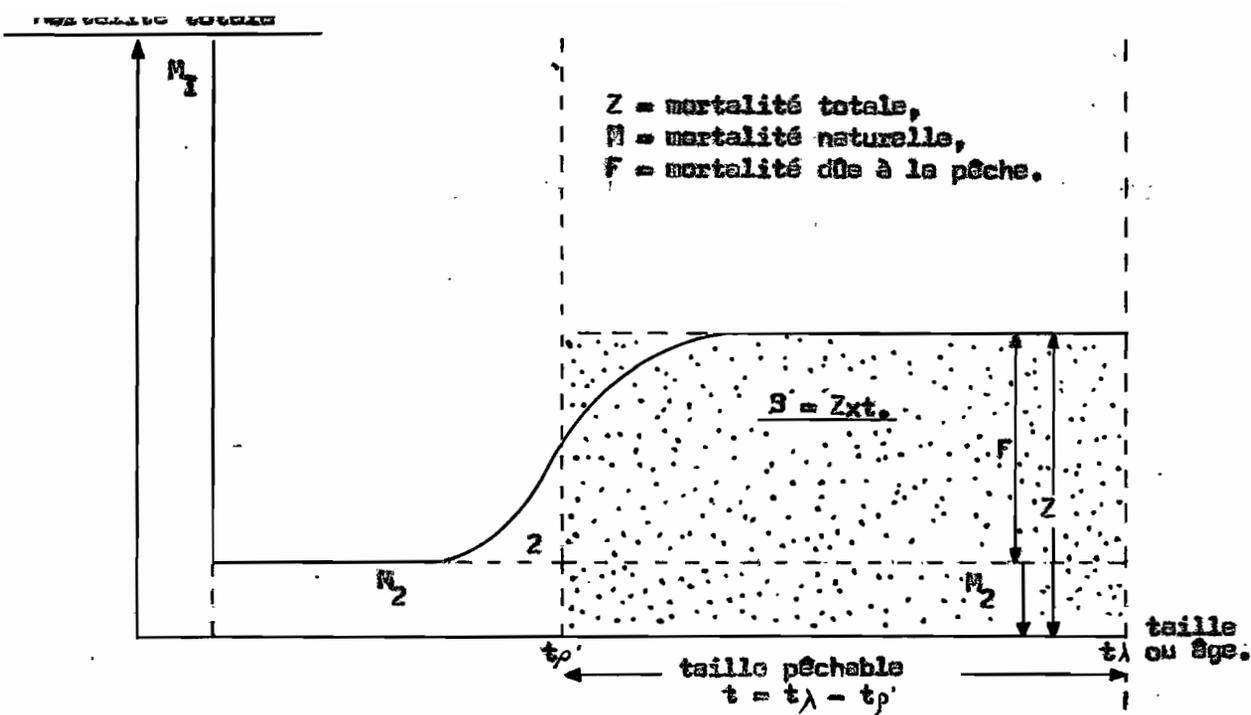
Durant la vie des poissons ($t_{\lambda} - t_{j'}$), on admet qu'un % constant de la population meurt par intervalle de temps donné :

Nbre de morts = % x population x temps.

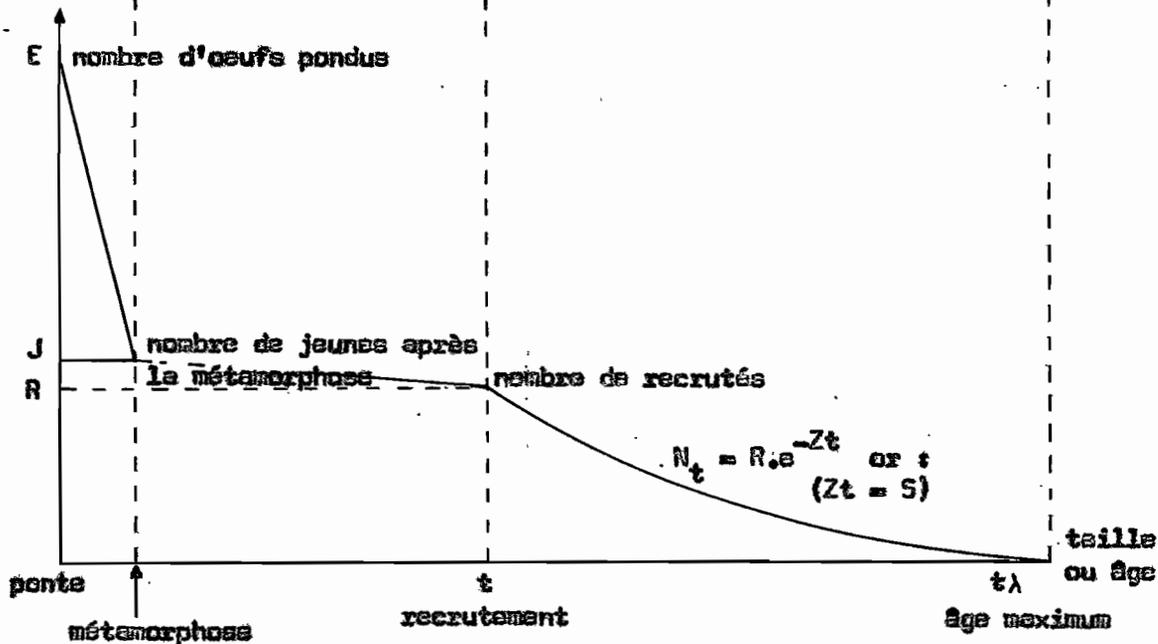
Le nombre de morts décroît constamment avec l'effectif de la ponte (poissons nés dans la même année). Dans un temps infiniment petit, cette diminution est nulle d'où l'emploi de calcul différentiel et la définition d'un coefficient instantané de mortalité naturelle : M

$$\left(\frac{dN}{dt} \right)_M = - M \cdot N \quad (\text{négalif, parce que } N \text{ diminue avec le temps de } t_{j'} \text{ à } t_{\lambda});$$

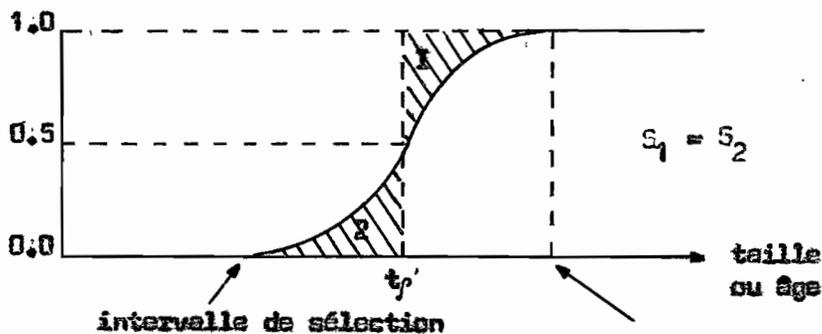
Ceci implique une simplification : la mortalité sévit au hasard, c'est-à-dire que n'importe quel poisson est susceptible de mourir n'importe quand.



Nombre de poissons d'une même ponte



Probabilité de capture.



Ogive de sélection (chalut) : t_p' est défini de façon à ce que $S_1 = S_2$.

FIG. II - RECRUTEMENT.

L'équation est une différentielle linéaire du 1er ordre et 1er degré qui admet pour solution :

$$\text{à l'instant } t \quad \text{Log}_e N_t = \text{Log}_e R \cdot e^{-M(t - t_p)}$$

Soit

$$N_t = R e^{-M(t - t_p)}$$

(1)

N_t = Nbre de poissons vivants à l'instant t
 R = Nbre de recrutés
 t_p = âge au recrutement.

2°/ - dûe à la pêche : F

Entre le recrutement t et la sélection moyenne par l'engin t_p' , on aura une réduction du nombre de recrutés R , uniquement par mortalité naturelle. Au moment de la sélection par l'engin, on a :

$$R' = R e^{-M(t_p' - t_p)} = R e^{-M(t_p')}, \text{ car seul } M \text{ agit.}$$

Au delà de t_p' , chaque engin de pêche (chalut par exemple), prélève un % constant de l'aire balayée, c'est-à-dire de la population. Donc, F agit comme M. On a alors :

$$\left(\frac{dN}{dt} \right)_F = -FN \quad \text{de } t_p' \text{ à } t_L \text{ (âge limite du poisson).}$$

Soit :

$$N_t = R' \cdot e^{-F(t - t_p')} \quad \text{à l'instant } t;$$

3°/ - Totale : Z

Les mortalités M et F sont identiques dans leur action. On peut donc écrire :

$$\left(\frac{dN}{dt} \right)_{F+M} = \left(\frac{dN}{dt} \right)_M + \left(\frac{dN}{dt} \right)_F = -(F+M)N = -ZN;$$

Les mortalités sont donc additives.

$$N_t = R' \cdot e^{-(F+M)(t - t_p')}$$

(2)

La production d'une pêcherie en nombre de poissons (Y_N) correspond à la mortalité due à la pêche (F). On peut donc écrire :

$$\frac{dY_N}{dt} = FN_t \quad (\text{positif, parce qu'il s'agit d'une production}).$$

Cette production en nombre peut s'écrire en production en poids, si l'on connaît le poids moyen du poisson (w_t), à l'âge t .

Production en poids :

$$\boxed{\frac{dY_W}{dt} = F \cdot N_t \cdot w_t} \quad (3)$$

3/ Croissance.

Les courbes expérimentales de croissance doivent être exprimées par une équation mathématique pouvant être utilisée dans le modèle mathématique, et représenter correctement les observations. Plusieurs formules ont été fournies. L'équation de Von BERTALANFFY, basée sur des considérations théoriques exactes (croissance = anabolisme - catabolisme), représente assez bien les observations et, est d'une incorporation aisée dans le modèle.

Les mesures de longueur sont les plus faciles.

L'équation de Von BERTALANFFY affirme que le taux d'accroissement est une fonction linéaire de la longueur.

SE REPORTER
A LA FIGURE III HORS-TEXTE

Cette fonction linéaire admet la solution ;

$$\frac{dl}{dt} = K (L_{00} - l) \text{ où } K = \text{coefficient de courbure}$$

$t_0 = \text{origine.}$

elle admet la solution :

$$l_t = L_{00} (1 - e^{-K(t-t_0)})$$

S'il est facile de travailler en longueur, le poids est nécessaire pour les calculs de production. L'équation de Von BERTALANFFY pour la croissance en poids peut se déduire de celle de la croissance en longueur.

$$W_t = W_{00} [1 - e^{-K(t-t_0)}]^3$$

Cette équation développée s'écrit :

$$W_t = W_{00} \sum_{n=0}^3 \Omega_n e^{-nK(t-t_0)}$$

$$\text{où } \Omega_n \begin{cases} \Omega_0 = +1 \\ \Omega_1 = -3 \\ \Omega_2 = +3 \\ \Omega_3 = -1 \end{cases} \dots (4)$$

C/ - COMBINAISON DE CES EQUATIONS DANS UN MODELE MATHEMATIQUE:

Toutes les équations de ces paramètres s'appliquent à la dynamique d'une classe annuelle ("même couvée") tout au long de la durée de sa vie. Mais, si les conditions extérieures restent identiques, et le recrutement le même, la production d'une classe annuelle pendant toute sa vie ($t_A - t_p'$) est identique à la production en un an de toutes les "couvées" présentes cette année, c'est-à-dire de la population exploitable.

Remplaçons dans l'équation (3) N_t et w_t par leurs valeurs correspondantes (équations (2) et (4)) :

$$\frac{dY_W}{dt} = F \cdot N_t \cdot w_t$$

$$\frac{dY_W}{dt} = F \cdot R \cdot W_{00} e^{-(F+M)(t-t_p')} \sum_{n=0}^3 \Omega_n e^{-nK(t-t_0)}$$

Cette équation admet la solution :

$$Y_W = F \cdot R \cdot e^{-M(t_p' - t_p)} \cdot W_{00} \frac{\sum_{n=0}^3 \Omega_n e^{-nK(t_p' - t_0)}}{F + M + nK} \cdot 1 - e^{-(F+M+nK)t}$$

Si l'on admet l'hypothèse d'une vie infinie (ce qui est souvent possible sans changer les résultats), on peut supprimer le dernier membre entre crochets car $\lambda = 0$. On obtient ainsi notre modèle mathématique que l'on peut exprimer en production par recrutement (celui-ci varie beaucoup, d'année en année) :

$$\left[\begin{array}{l} Y_W / R = F \cdot e^{-M(t\rho - t\rho')} \cdot W_{00} \sum_{n=0}^3 \frac{\Omega_n e^{-nK(t\rho' - t_0)}}{F + M + nK} \end{array} \right] \quad (5)$$

Nous avons maintenant notre modèle mathématique. Il existe d'autres formules semblables déductibles de cette équation donnant :

- la production annuelle en nombre,
- la biomasse annuelle de la population entière ("Standing crop")
- la biomasse annuelle de la population exploitée.

Nous n'analyserons pas comment sont estimés ces paramètres

- de mortalités : $F + M = Z$
- de croissance : W_{00} , $W_{0'}$ et K
- de recrutement : $t\rho$, $t\rho'$

Cette estimation, bien que constituant l'essentiel du travail de routine, n'est pas nécessaire pour saisir la valeur et surtout le très grand intérêt de la dynamique des populations. Nous étudierons maintenant l'influence de chacun de ces facteurs primaires sur la production annuelle d'un stock. Ces influences, exprimées quantitativement, nous aideront alors à comprendre quelles réglementations doivent être mises en oeuvre pour chaque équilibre de la population.

D/ - PREDICTION DANS UNE PECHERIE CONTROLEE.

Grâce à l'équation de production (5), nous allons étudier quels effets peuvent provoquer sur la population et sur sa production les modifications que l'homme peut exercer. Ces modifications sont au nombre de deux :

- modification de l'intensité de la pêche,
- modification de la taille à la première capture, par l'intermédiaire de la maille des filets.

1°/ - Courbes de production en fonction de l'intensité de la pêche et en fonction de la taille de la maille.

Nous prendrons le cas de la plie de la Mer du Nord, pour laquelle les paramètres sont connus avec une grande précision (période 1918-1939). Mais les résultats obtenus sont généralisables.

a) Production en fonction de l'intensité de pêche (ou de la mortalité due à la pêche)

- Etude faite pour une exploitation du stock à l'aide de la maille de chalut utilisé entre les deux guerres.
- Calcul de Y_w/R (production annuelle en poids par recruté) pour toute une série de valeurs de F . On obtient la courbe représentée sur la figure IV. Cette courbe n'est pas à interpréter comme l'effet immédiat d'un changement de F , mais comme une succession de valeurs ponctuelles d'équilibre obtenues après équilibration du système dynamique.

Figure IV

Courbe de production en fonction de l'intensité de la pêche.

SE REPORTER

A LA FIGURE IV HORS-TEXTE

Que peut-on déduire ?

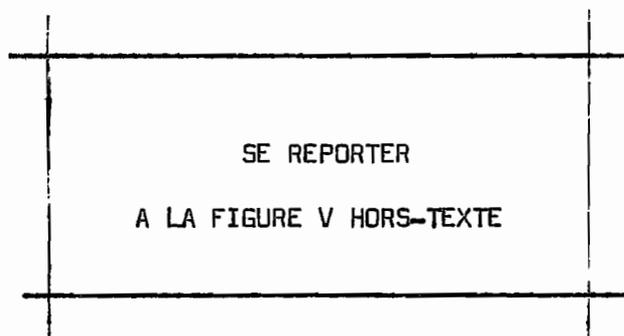
- en (a) : l'effort de pêche est nul ($F = 0$) production nulle
- en (b) : production maximum pour $F = 0,22$.
- en (c) avec $F = 0,73$ (moyenne de 1918-1939) la production est inférieure d'un tiers à celle que l'on "obtiendrait" si F était ramené de 0,73 à 0,22 (après équilibration).
- en (d) : effort de pêche infini, la production est alors égale au poids des recrutés dès leur entrée dans la phase exploitable, car ceux-ci sont pêchés avant d'avoir eu la possibilité de croître au-delà de la taille au recrutement (t).

Les points (b) et (c) montrent qu'avec cette maille (70 mm), le stock est surexploité : la population ne peut atteindre son poids maximum car avec cette intensité de pêche, les poissons n'ont pas atteint leur poids maximum (la valeur croissance - mortalités est encore positive). On peut améliorer la production totale en diminuant l'intensité de la pêche. Le rendement serait énormément amélioré la production augmentant de 50 % pour une réduction de l'effort, donc du prix de revient, de 70 %.

En réalité, ce schéma est simplifié. De nombreux facteurs, dont l'action est connue, sont omis ici : facteurs dépendant de la densité de la population, et leurs interactions sont négligées. Mais l'allure générale reste exacte.

b) Production annuelle en fonction de la maille (avec F constant).

Etude faite avec la valeur moyenne de F entre les deux guerres (0,73). Il faut d'abord étudier la relation taille de la maille - âge moyen à la première capture (t_p'). Les calculs de Y_W/R pour diverses valeurs de la maille (ou de t_p') donnent la courbe suivante. Figure V.



- Cette courbe présente un maximum (b) de production double de celle obtenue dans les conditions présentes de maille (a).
- au-delà de ce maximum obtenu avec une maille de 200 mm, il y a une diminution de la production : la mortalité l'emporte sur la croissance, les poissons trop vieux ne sont plus assez nombreux. L'augmentation en poids par croissance est dépassée par la diminution par mortalité.

Figure V - Courbe de production en fonction de la maille. (mêmes restrictions que pour la figure précédente).

Sur ces deux figures, on peut analyser l'influence d'autres paramètres dont les estimations seraient sujettes à caution, en traçant plusieurs courbes, une pour chaque valeur choisie du paramètre (cas de M, de t_p' , de W_{00} , etc...).

2°/ - Pêche "eumétrique".

Après avoir étudié indépendamment l'influence de l'intensité de la pêche et de la taille de la maille, nous allons construire plusieurs courbes de production en fonction de la maille pour diverses valeurs de F (Figures VI). Ces courbes présentent une augmentation de la valeur absolue de leur maximum ainsi qu'un déplacement vers la droite (maille plus grande) des pics lorsque F augmente.

SE REPORTER
A LA FIGURE VI HORS - TEXTE

Figure VI - a) courbes de production en fonction de la maille et de l'intensité de la pêche.

b) lieu des maximums de ces courbes (arête de l'enveloppe)
courbe eumétrique de production.

Pour une pêcherie, il faudrait ajuster la maille à chaque intensité de la pêche pour pouvoir en prélever la production maximum.

On peut tracer le lieu de ces maximums (arête de l'enveloppe), on obtient ainsi une courbe dite "eumétrique" (rationnelle) donnant la production pour chaque valeur de F , si la maille a été ajustée simultanément.

3°/ - Régulation d'une pêcherie:

La courbe eumétrique peut être considérée comme un idéal : la production maximum (asymptote) demande pour être atteinte une pêche d'intensité infinie, c'est-à-dire un effort et un coût prohibitif. Alors qu'avec $F = 0,4$ ou $0,5$, on peut obtenir 90 % de la production.

a) Niveau optimum de production.

C'est un problème complexe pour lequel la quantité de poissons pêchés n'est pas seule en cause. De nombreux problèmes économiques (rendement et rapport), sociaux (emploi de la main d'oeuvre), et politiques (réglementation à l'intérieur d'un pays ou entre pays), entrent en jeu et gênent une rationalisation de l'exploitation, jusqu'à maintenant anarchique.

Pour mieux comprendre le problème, nous pouvons traiter la courbe eumétrique en équivalents économiques : Figure VII.

- $F = k$. prix de revient de la production
(bien que l'augmentation de la production puisse entraîner une baisse de la demande d'où une réduction des prix, celle-ci s'accompagnerait d'une augmentation de la valeur marchande : taille du poisson plus grande puisque la taille augmente).

- $Y_w/R =$ production = K' : prix de vente.
- bénéfice = Prix de vente - Prix de revient.
- intérêt = Bénéfice/prix de revient.

Figure VII

- (a) = Prix de vente des poissons
(courbe de production en fonction de F).
- (b) = bénéfice = $a - e$.
- (c) = intérêt = b/e
- (e) = Prix de revient.
- (1) = Bénéfice maximum.
- (2) = Bénéfice nul vers lequel tend toute exploitation non réglementée des stocks (bénéfice moyen à l'heure actuelle tend vers 0).

SE REPORTER

A LA FIGURE VII HORS-TEXTE

Exercice de bionomie.

Pour trouver le point optimum d'exploitation, plusieurs points-de-vue sont à considérer :

- industrie : L'industrie de la pêche est une unité économique autonome. Elle cherche à obtenir le maximum de bénéfice (point (1)), à moins d'être obligé de le dépasser par le jeu de la concurrence. L'intérêt de la courbe eumétrique, c'est-à-dire de l'ajustement de l'effort de pêche à la maille ou vice-versa, apparaît immédiatement : la diminution de l'effort et l'augmentation des capturés amélioreraient le rendement d'exploitation.

- nutrition : S'il est nécessaire d'augmenter la production (courbe (a)), pour nourrir les hommes, on peut admettre une baisse des bénéfices et du rendement, en dépassant le point (1).

- Main d'oeuvre : La réduction de l'effort de pêche peut entraîner le chômage, ce qui peut faire admettre que le point (1) n'est pas obligatoirement le meilleur.

Le point-de-vue financier place donc l'optimum en (1) mais les points de vue nutrition et emploi de la main-d'oeuvre peuvent obliger à déplacer cet optimum vers la droite.

b) Overfishing.

Ce terme était autrefois utilisé lorsque une intensité de pêche trop forte entraînait une diminution de la production. L'effet d'une telle situation sur le rendement était catastrophique : augmentation de l'effort de pêche, donc des dépenses, et diminution des prises, donc des gains. Or, nous avons vu que contrairement à ce que l'on croyait précédemment, la production d'un stock peut être augmentée :

soit en réduisant l'effort)
soit en augmentant la maille) soit en associant ces deux moyens.

D'où cette nouvelle conception de l'overfishing : cette situation correspond plus à une exploitation mal ajustée, qu'à une surexploitation. La maille et l'effort de pêche devront donc être ajustés, si l'on veut supprimer la dégradation du stock.

Comme nous avons tracé la courbe eumétrique de production, nous pouvons tracer une seconde courbe dite : courbe eumétrique de pêche.

C'est la courbe d'ajustement de la maille à l'effort de pêche.
Figure VIII.

Elle donne l'âge à la première capture (maille) pour chaque niveau d'effort de pêche. Sur la figure VIII, on constate que l'overfishing correspond à l'aire inférieure à cette courbe, où

SE REPORTER

A LA FIGURE VIII HORS-TEXTE

- la maille est trop petite pour F

- F est trop fort pour la maille.

C'est le cas de toutes les exploitations actuelles.

Figure VIII - Courbe eumétrique de pêche.

Un gros problème subsiste : les calculs de dynamique ne s'appliquent qu'à une seule espèce, ainsi que, d'ailleurs, les principes de réglementation, auxquels ils aboutissent. Or, certains engins comme le chalut, capturent simultanément des poissons de plusieurs espèces. Ainsi, par exemple, on peut établir une réglementation idéale pour la plie : elle sera à peu près valable pour la morue, mais alors, on ne pêchera plus une seule sole ou un seul merlan (maille trop grande).

A moins qu'il ne soit possible de ne pêcher qu'une seule espèce sur un même lieu de pêche, il est nécessaire d'étudier séparément toutes les espèces, puis d'établir à partir de ces résultats, une réglementation de compromis permettant une pêche à peu près équilibrée de toutes les espèces d'intérêt économique.

c) Méthodes de régulation d'une pêcherie mal ajustée.

On sait qu'il faut réglementer, mais par quelles voies ? Pour la Mer du Nord, le "Final Report of the standing advisory committee" de la "Conference of Overfishing" (1947), a énoncé les voies suivantes :

- taille minima de la maille,
- taille limite du poisson débarqué,
- réduction de la puissance des flottes,
- réduction des prises totales annuelles par fixation de quotas (vacances obligatoires entraînant une réduction de F),
- armement contrôlé,
- contrôle de l'activité (temps passé à la pêche),
- restriction de la pêche en créant des saisons de pêche,
- interdiction de pêcher dans certaines aires (réserves).

Certaines sont directes, d'autres indirectes. La théorie de la pêche permet de les tester. De nombreux problèmes économiques et politiques s'y ajoutent. En particulier, toute régulation sera inutile et son bénéfice perdu si l'on laisse subsister "la course aux armements" car l'intensité de la pêche est beaucoup trop élevée (dans les mers Nord Atlantiques).

d) La période transitoire qui suit une réglementation.

Les courbes que nous avons étudiées, donnaient des états successifs d'équilibre où la population ne présentait aucune variation. Elles ne sont pas valables pour étudier les périodes de transition pendant lesquelles les populations sont déséquilibrées par la mise en vigueur de la nouvelle réglementation.

John GULLAND a donné un modèle d'étude pour ces problèmes : Calculer séparément la production de chaque "year class" présente au cours des années suivant la réglementation. Faire la somme des "year class" pour chaque année; énoncer les résultats en production annuelle et en biomasse présente (rendement de l'engin = k = biomasse).

La figure IX représente pour la plie l'effet immédiat d'une réduction de moitié de F (de 0,73 à 0,37) :

- perte de production dans la première année, à peu près proportionnelle à la diminution de F (50 %) ;
 - La même production est obtenue à la fin de la quatrième année ;
 - L'augmentation de production au bout de la période transitoire est de 25 % ;
 - la période transitoire est évidemment égale à la durée de la vie exploitable, temps nécessaire pour que tous les poissons naissent dans les nouvelles conditions.
- $t_{\lambda} - t_{\rho'} = 12$ ans pour la plie.
- augmentation immédiate du rendement (biomasse pêchable) :

SE REPORTER
A LA FIGURE IX HORS - TEXTE

Figure IX - Etude de la période transitoire : Y_w/R = production, P_w/R = biomasse.

Ces types de modèles permettent de rechercher la réglementation (manière) optimum et en particulier quand et comment (avec quelle amplitude) modifier F (ou la maille) pour ne pas avoir la chute importante de production qui survient durant les toutes premières années, de la période transitoire. En particulier, une régulation échelonnée et plus progressive peut être suivie pas à pas (estimation des nouveaux paramètres de la population et construction du modèle correspondant au nouvel équilibre). On peut ainsi obtenir une précision

meilleure par un réajustement continu des paramètres utilisés dans la théorie. L'inconvénient d'une juridiction progressive est, qu'elle demande une période transitoire plus longue pour arriver au nouvel équilibre amélioré.

Nous avons utilisé un certain nombre d'hypothèses simplificatrices, en ne tenant compte que de quatre facteurs primaires et en les étudiant indépendamment les uns des autres. Une autre partie de la théorie traite de l'influence des autres facteurs sur le modèle mathématique et de leurs interrelations (surtout les facteurs dépendant de la densité de la population). Nous n'entreprendrons pas son analyse, car notre exposé vise, non pas à une description détaillée de la dynamique des populations, mais à démontrer sa valeur et son utilité.

E/ - CONCLUSIONS.

Bien que la dynamique des populations étudie de nombreux autres problèmes, avec les mêmes méthodes analytiques :

- recherche des bancs de poissons pélagiques par n bateaux ou n flottes.
- variation spatiale dans la densité du poisson dans l'intensité de la pêche.
- migration
- théorie du marquage et son utilisation pour l'évaluation de la population, de F, de M et de Z, etc.:::
- production d'oeufs.

Nous avons vu que la pêche ressemblait plus à une chasse qu'à un élevage et de plus cette chasse n'est pas gardée, mais ouverte à tous. Il est facile de comprendre alors pourquoi toute exploitation est anarchique. Cette situation entraîne la dégradation des stocks et par contre-coup, une détresse économique. Nous avons vu qu'il était possible, en ajustant l'intensité de pêche et sélectivité de l'engin, d'obtenir une exploitation rationnelle des populations. Cet ajustement devrait permettre des productions insoupçonnées. Lorsque l'on sait que pratiquement aucune pêcherie au monde n'est exploitée suivant ces critères, ces études sont plus qu'intéressantes :

- pour les pêcheurs et les industriels : capturer plus de poissons avec un effort moindre,
- pour le consommateur : poisson moins cher car augmentation énorme du rendement.

poisson plus beau, car plus gros :

- pour le chercheur : il tient là un outil de travail excellent et son travail est vital pour les pêcheries dont le rendement actuel tend vers 0.

Mais si les pêcheries sont toujours plus ou moins exploitées anarchiquement, c'est sans doute parce qu'une telle étude n'a pas été entreprise sur :

- le comportement de l'homme prédateur,

- l'incapacité de l'homme à établir une juridiction internationale d'exploitation : car s'il veut conserver le bénéfice de l'exploitation des ressources animales de la mer, il doit abandonner rapidement l'idée d'une libre exploitation avec libre concurrence.

Nous ajouterons que ces études sont non seulement valables pour les poissons marins, mais pour toute population animale en liberté, d'intérêt économique ou non ou sans exploitation : mollusques, crustacés, poissons d'eau douce, oiseaux et mammifères en liberté totale. De nombreux exemples de cette dynamique s'appliquent à ces cas dans les ouvrages de BEVERTON et HOLT.

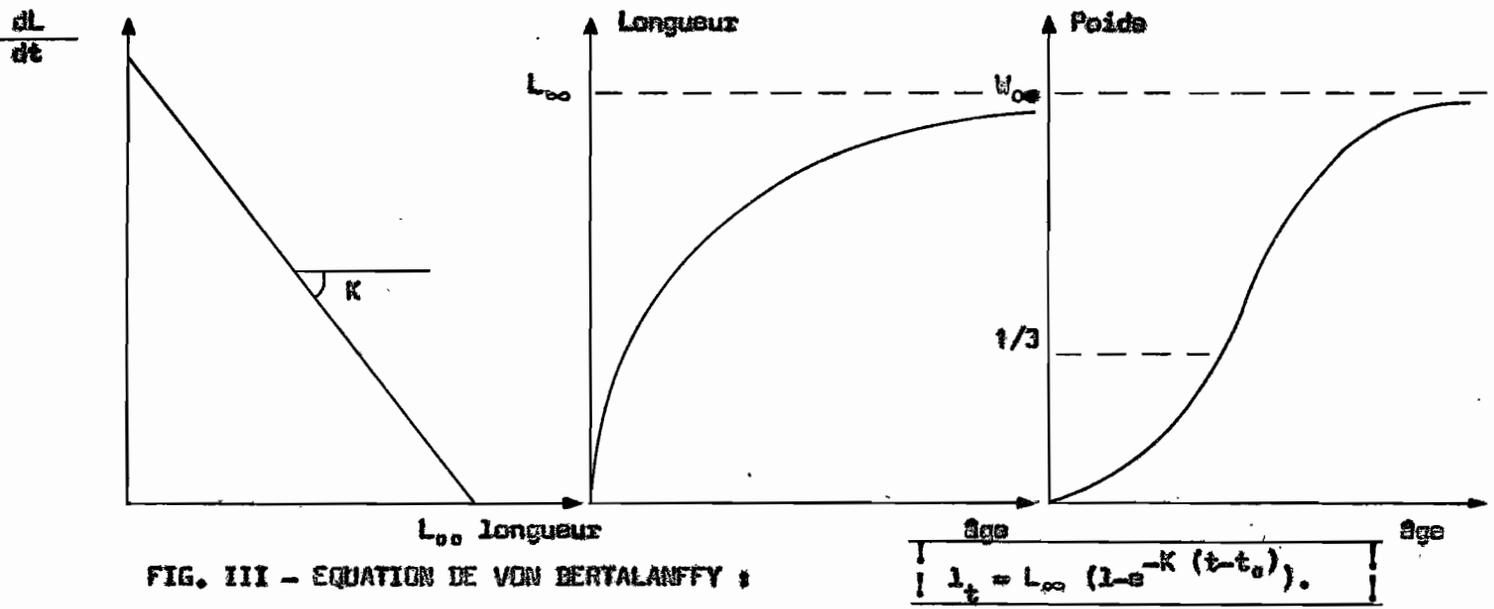


FIG. III - EQUATION DE VON BERTALANFFY :

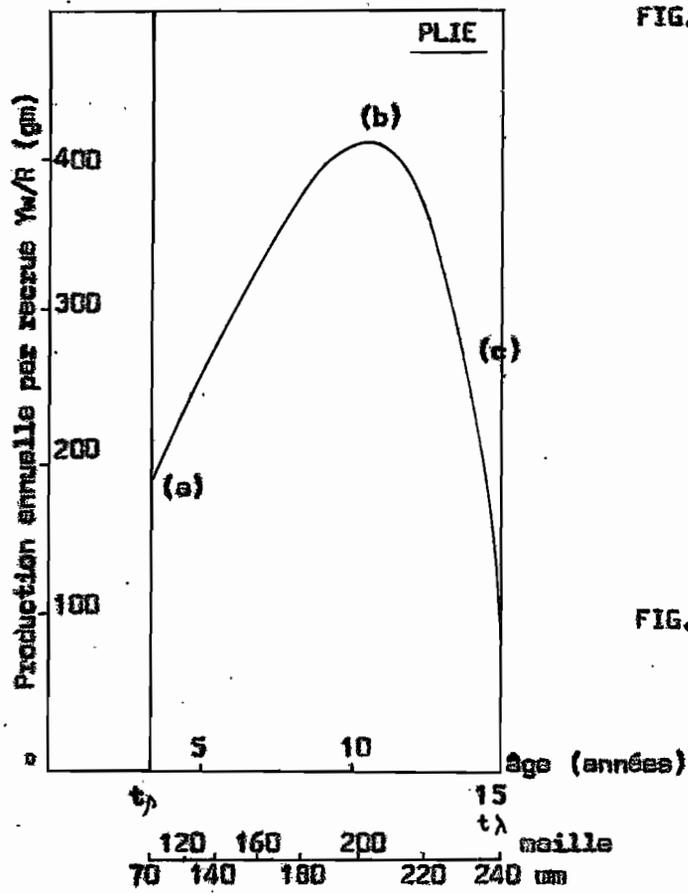


FIG. V

FIG. IV

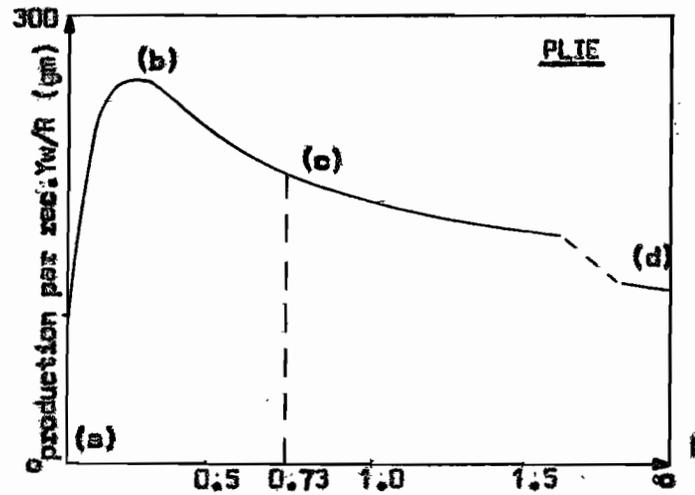
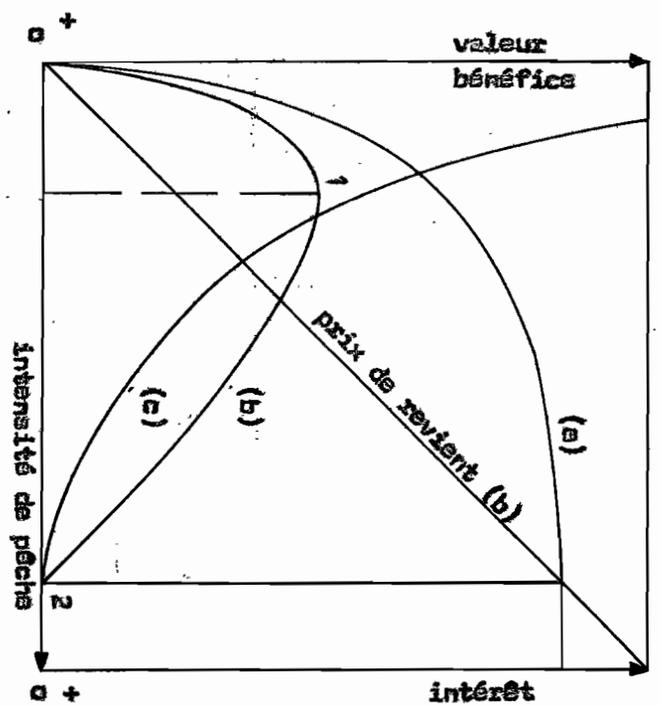


FIG. VII



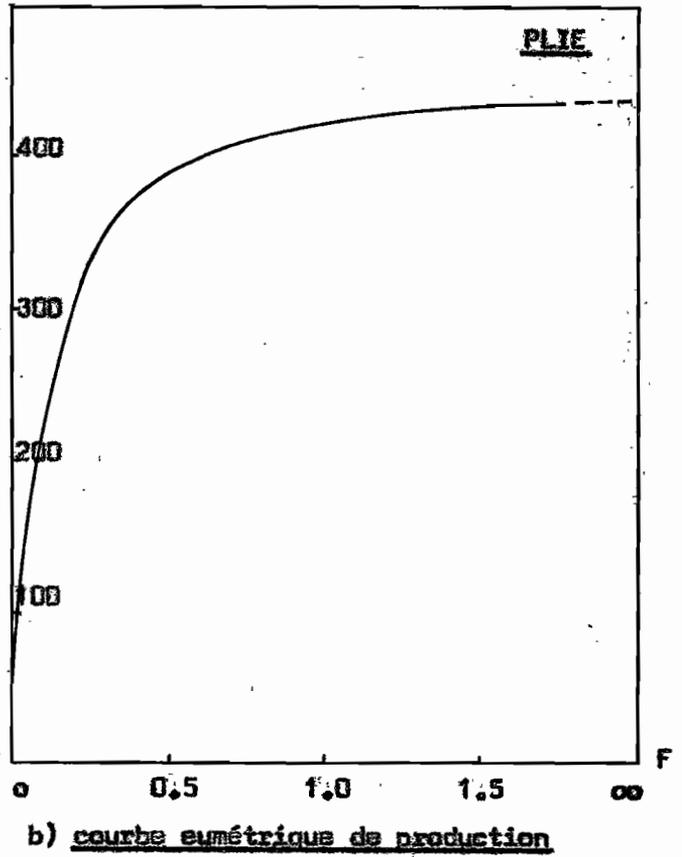
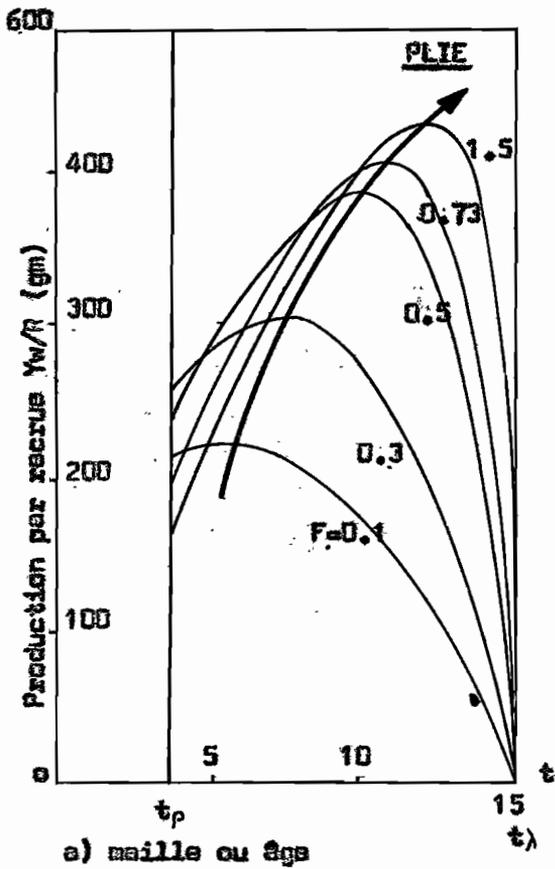


FIGURE VI

FIG. VIII

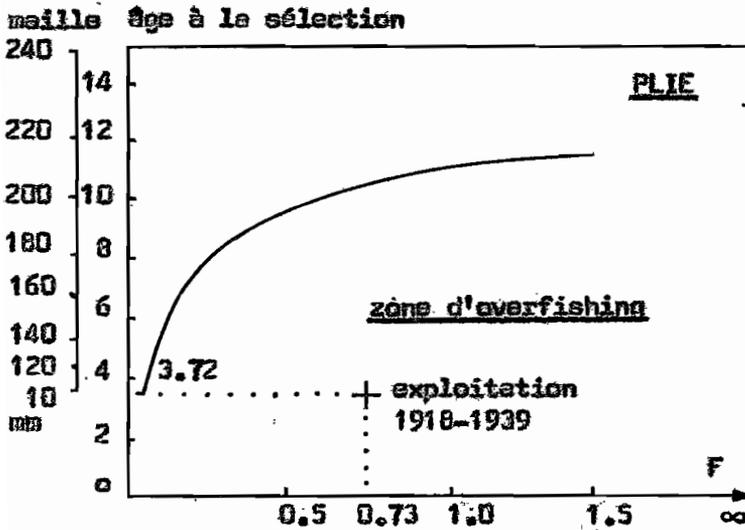


FIG. IX

