

**OFFICE DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE  
OUTRE - MER**

---

**CENTRE DE POINTE-NOIRE**

---

**OCEANOGRAPHIE**

**Méthodes d'Analyse  
des Populations  
de Poissons**

d'après

**J. A. GULLAND.**

traduit par

F. BAUDIN-LAURENCIN

J. CHABANNES

J. R. DURAND

Y. GHENO

R. PLANTE

[[7) ETHODES D' [F) ANALYSE DES  
[F) OPULATIONS DE [F) OISSONS

d'après  
J.A. GULLAND.



T r a d u i t

par

F. Baudin-Laurencin, J. Chabannes, J.R. Durand,  
Y. Gheno et R. Plante.

--§--

En stage à Lowestoft en 1964, F. Baudin-Laurençin, J. Chabannes, Y. Gheno et R. Plante ont entrepris la traduction des cours professés par J.A. GULLAND, que l'on retrouve dans la publication de la F.A.O. "Manual of methods of fish population analysis" (Rome 1964).

Cette traduction a été terminée et le manuscrit revu par J.R. Durand à Pointe-Noire et un certain nombre d'additions pouvant aider le lecteur isolé ont été faites :

- la figure (0) et les commentaires associés se sont inspirés de R. VIBERT et K.F. LAGLER (1961),
- un additif a été fait concernant la pêche au thon (d'après J.W. MARTIN (1962) d'une part, SHIMADA et SCHAEFER (1965) d'autre part),
- toutes les figures et la démonstration des formules

$$Z = \frac{1}{\bar{t} - t_c} \quad \text{et} \quad Z = \frac{L_{\infty} - \bar{I}}{\bar{I} - l_c}$$

ont été extraites de BEVERTON et HOLT (1956) et (1957).

Avec l'autorisation de l'auteur nous avons effectué cette publication qui pourra être utile aux étudiants et aux chercheurs concernés par la Dynamique des Populations.

7) METHODES D'ANALYSE DES  
F) POPULATIONS - (d'après J.A. GULLAND)

---

INTRODUCTION

I - ESTIMATION DES PARAMETRES

1. Mathématiques et Statistiques
  - 1.1. Mathématiques
  - 1.2. Echantillonnage
2. Croissance
3. Effort et prise par unité d'effort
4. Mortalités
  - 4.1. Mortalité totale
  - 4.2. Mortalité par pêche
    - recensement direct
    - aire balayée
    - marquage
    - variations dans la mortalité totale.
  - 4.3. Mortalité naturelle et allure de la croissance.
5. Marquage
6. Recrutement et sélection

II - EVALUATIONS SPECIALES

7. Stock unité
8. Expression simple de l'équation de production
9. Evaluations spéciales
  - 9.1. Statistiques de prise et d'effort
  - 9.2. Modèle de Schaefer
  - 9.3. Changements dans la sélectivité
  - 9.4. Interaction de pêcheries
10. Changements dans les paramètres
  - 10.1. Effets dépendant de la densité.

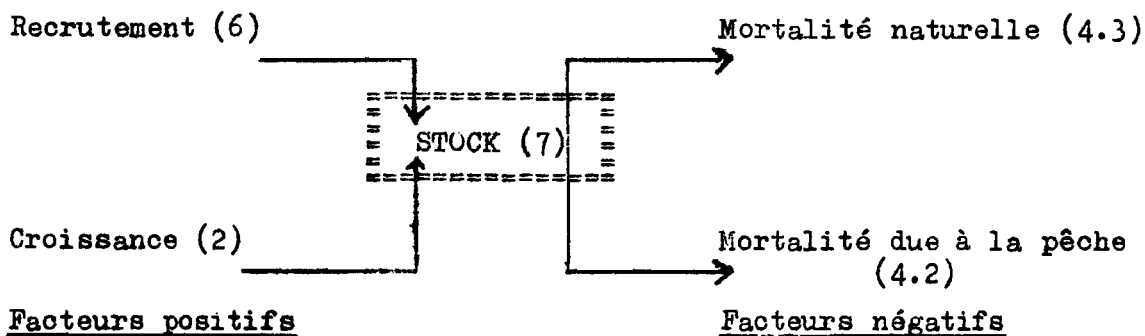
III - EXERCICES.

BIBLIOGRAPHIE.

## INTRODUCTION

- Dans une population de poissons les processus biologiques sont ouverts ; les flux d'énergie entrant et sortant s'équilibrent, il s'établit un équilibre dynamique.

- Cet équilibre résulte de processus antagonistes, correspondant aux quatre facteurs primaires<sup>‡</sup> :



- La combinaison de ces facteurs nous amène à la notion de production (8) :

la figure (0) montre comment sont liés les facteurs primaires dans la production ; elle représente l'évolution théorique d'une classe d'âge isolée au fonction du temps, en l'absence de compétition.

Les ordonnées de la courbe correspondant au poids de la classe d'âge, sont obtenues en faisant le produit des ordonnées correspondantes des courbes représentant l'évolution du nombre d'individus et le poids individuel. On voit que le poids total est représenté par une courbe en cloche dont le sommet correspond à la taille critique (RICKER). C'est à ce stade que devrait s'opérer la capture pour fournir le rendement pondéral (8) maximum.

Enfin, les notions précédentes conduisent à l'utilisation des notions d'effort de pêche (3) et de recrutement (6) et à l'emploi des techniques de marquage (5).

---

‡ Les numéros entre parenthèses renvoient aux chapitres traités.

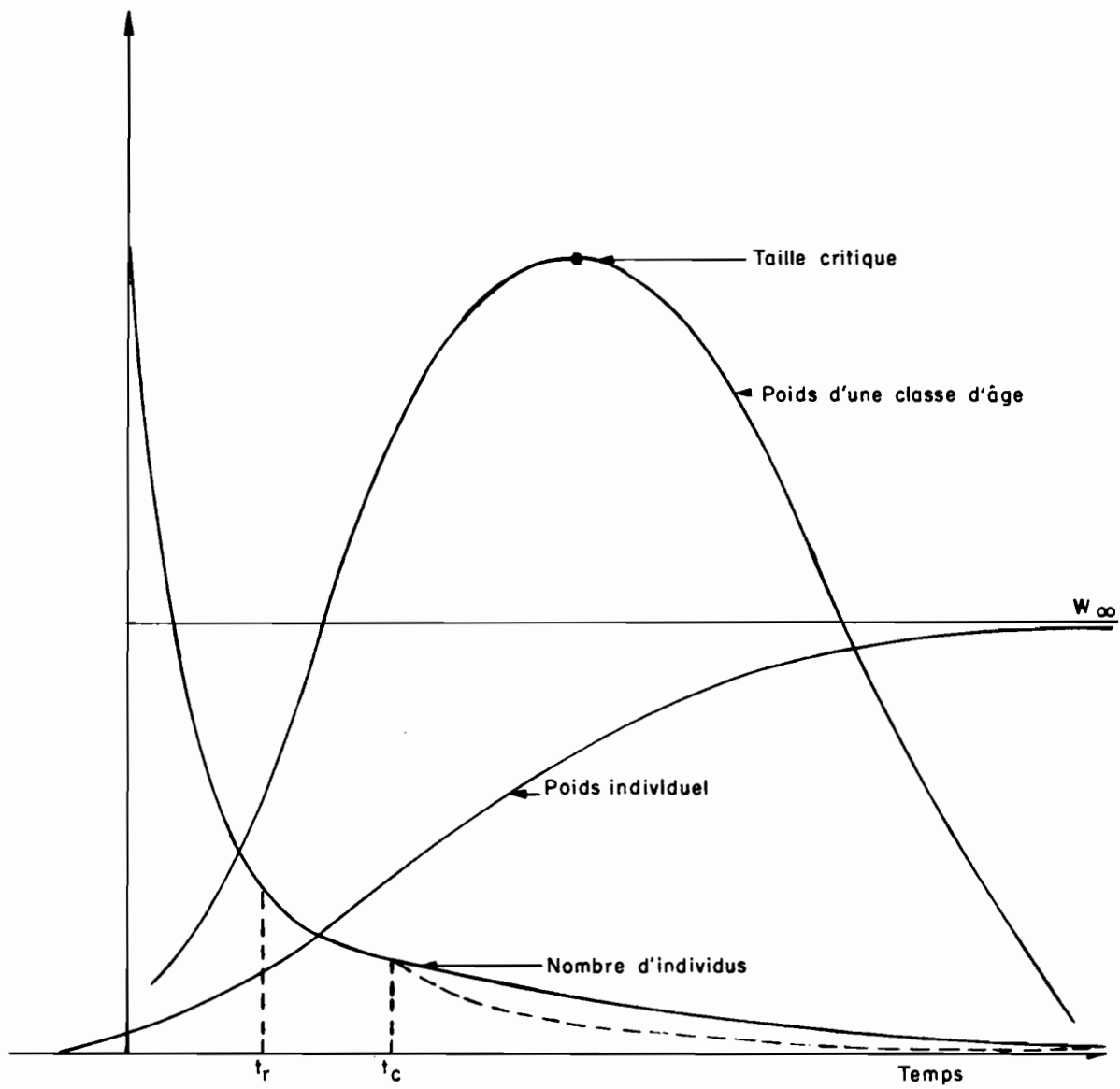


Fig. 0 - Evolution des caractéristiques numériques et pondérales d'une classe d'âge de poissons

I - ESTIMATION DES PARAMETRES

=====

1. MATHEMATIQUES ET STATISTIQUES

1.1. Mathématiques

L'étude des populations de poissons présente un caractère essentiellement quantitatif et oblige donc à recourir largement aux mathématiques. Sous une forme simple, on les utilise tout au long de ce cours; on y fait aussi quelquefois usage de formules plus complexes, qui, si elles ne sont pas toujours indispensables, évitent souvent un raisonnement fastidieux. La plupart des méthodes et concepts mathématiques seront expliqués tout au long de ce cours, au fur et à mesure de leur emploi. Cependant, puissances, logarithmes, exponentielles sont si souvent utilisés, qu'il vaut mieux, dès maintenant en donner une idée simple. Ils ne sont d'ailleurs que trois expressions différentes de la même image; par exemple, le logarithme de base 10 d'un nombre est la puissance de 10 égale à ce nombre : ex. ,  $\log 10 = 1$  et  $10^1 = 10$ ,  $\log 100 = 2$  et  $10^2 = 100$ , en ce qui concerne les nombres entiers ;  $\log 2 = 0,30$  et  $10^{0,30} = 2$ , pour les nombres décimaux. Peu importe le nombre de base du logarithme; pour un log de base 4 par exemple :  $\log_4 2 = \frac{1}{2}$  et  $4^{0,5} = 2$ ,  $\log_4 32 = 2,5$  et  $4^{2,5} = 32$ . Ceci reste vrai pour les logarithmes naturels de base e (e, l'exponentielle, étant approximativement égal à 2,72). Ceux-ci présentent de très grands avantages, et par exemple, de nombreux problèmes reçoivent une solution rapide par l'utilisation de papier logarithmique ; dans celui-ci, des intervalles égaux, le long des axes, représentent des accroissements logarithmiques égaux : porter X sur du papier logarithmique est comme porter  $\log X$  sur du papier graphique ordinaire. On utilise essentiellement les exponentielles dans le calcul des mortalités. Si un ensemble de poissons est soumis à une cause de mortalité constante, le nombre de poissons qui meurent par unité de temps est proportionnel à la mortalité et au nombre de poissons présents.

Donc, si  $N$  est le nombre de poissons et  $Z$  le coefficient instantané de mortalité :  $\frac{dN}{dt} = -ZN$ , la dérivée de  $N$  par rapport au temps (c'est-à-dire la variation infiniment petite de  $N$  correspondant à une variation infiniment petite du temps) est proportionnelle à  $N$  et  $Z$ , et de signe négatif, puisque la variation de  $N$  correspond à une diminution.

L'équation ci-dessus peut s'écrire :  $\frac{dN}{N} = -Z dt$ , équation différentielle linéaire du premier ordre, d'où :

$$\int \frac{dN}{N} = -Z \int dt$$

Si le nombre des poissons présents au temps initial 0 est  $N_0$ , il est possible de calculer le nombre des poissons présents au bout d'un temps

$$\int_0^t \frac{dN}{N} = -Z \int_0^t dt = -Zt$$

ou

$$\text{Log } N_t - \text{Log } N_0 = -Zt \quad \text{ou} \quad \text{Log } \frac{N_t}{N_0} = -Zt$$

$$N_t = N_0 e^{-Zt}$$

Cette dernière formule permet de calculer le nombre de poissons vivants à n'importe quel moment (et donc le nombre de poissons morts jusque là). D'autre part, si une seconde cause de mortalité, indépendante de la première vient s'y ajouter, dont le coefficient instantané de mortalité est  $Z'$ , le taux de mortalité correspond (nombre de poissons mourant par unité de temps) est :  $\frac{dN}{dt} = -Z' n$

Donc, le nombre  $N_t$  de survivants, au bout du temps  $t$ , échappant en même temps aux deux causes de mortalité est :

$$N_t = N_0 e^{-(Z + Z')t}$$

les coefficients instantanés de mortalité sont simplement additionnels. Les avantages de cette méthode de représentation des mortalités seront vus immédiatement sur des exemples.





## 1.2. Echantillonnage.

La plupart des quantités utilisées dans un travail sur les populations de poissons ne peuvent être obtenues ou mesurées sur l'ensemble de la population ; il est, par exemple, pratiquement impossible de mesurer tous les poissons capturés, et encore moins tous les poissons de la mer. On utilisera donc, pour étudier les paramètres utilisés, une fraction ou échantillon de la population étudiée, le paramètre choisi pouvant être, par exemple, le pourcentage des poissons mûrs ou leur taille moyenne. En faisant l'hypothèse que cet échantillon est représentatif de la population totale, on peut estimer la valeur vraie dans la population. Si le système d'échantillonnage utilisé est bon, l'estimation obtenue diffèrera peu de la valeur vraie. Les avantages ou inconvénients d'un système d'échantillonnage peuvent se mesurer par deux quantités relatives aux estimations obtenues (ces mesures ne se rapportent pas à une estimation individuelle, mais à l'ensemble des estimations qu'on pourrait obtenir par des échantillonnages répétés) :

1°) la variance, selon sa définition pour toute distribution statistique, est la mesure de la dispersion des estimations autour de leur valeur moyenne,

2°) le biais, est le degré selon lequel cette valeur moyenne diffère de la valeur vraie (le terme de biais s'emploie aussi pour définir les processus qui conduisent à cet écart).

Comme, quand un biais existe, il existe dans tous les échantillons tendant à donner des estimations constamment plus (ou moins) grandes que la valeur vraie, on ne peut le déceler comme une différence entre des échantillons successifs; le biais est donc généralement difficile à découvrir, et il sera donc négligé dans les analyses ci-dessous. Une variance importante, par contre, apparaîtra aussitôt par les différences entre les échantillons. Un biais important est donc plus à craindre qu'une grande variance, car il peut mener, avec des données apparemment valables et solides, à des résultats qui ne sont cohérents que dans la mesure où ils sont faux.

La caractéristique fondamentale de tout bon système d'échantillonnage est d'être appliqué "au hasard". Le but d'une méthode d'échantillonnage "au hasard" devrait être de garantir que tous les éléments de la collection d'objets échantillonnée ont les mêmes chances de se trouver dans l'échantillon. En pratique, cette condition peut être transgressée et les échantillons prélevés "non au hasard" tant qu'il n'y a pas de relation entre les chances de se trouver dans l'échantillon et la valeur du paramètre mesuré. Par exemple, le premier poisson débarqué au moment de l'arrivée d'un chalutier est habituellement l'un des derniers capturés et sera placé près du bord de l'étal de poisson et, par conséquent, a de meilleures chances d'apparaître dans un échantillon. Si nous nous occupons seulement de la taille des poissons, cela aura peu d'importance, car il y a peu de relations entre la taille du poisson et l'heure de sa capture; mais l'échantillon serait très mauvais si nous nous intéressions aux conditions de fraîcheur du poisson. Le principal inconvénient que comportent des méthodes d'échantillonnage "non au hasard" est cette introduction d'un biais (par exemple, les échantillons prélevés au dessus comporteront le biais de contenir trop de poissons frais); cette méthode comporte encore d'autres inconvénients, comme le fait que la plupart des calculs utilisés pour estimer la variance etc... ne sont valables que pour des échantillons pris "au hasard". Le principal souci à avoir en prélevant un échantillon doit donc être d'éviter tout biais. Une telle sélection peut être très facile et directe, s'il s'agit par exemple de la tendance à prendre le plus gros poisson d'une pile, en laissant les plus petits en dernier lieu, mais elle peut être beaucoup moins perceptible; par exemple: pendant la saison du hareng sur les côtes Est de l'Angleterre, il semblerait commode de prélever des échantillons à bord des premiers "drifters" qui reviennent chaque matin. Ceux-ci tendent à venir des bancs les plus proches, qui, eux-mêmes, tendent à héberger des poissons d'âge et de taille légèrement différentes. Ainsi, un échantillonnage effectué "non au hasard" dans le temps amène un biais dans l'évaluation des tailles et âges moyens des poissons débarqués.

L'exécution d'un échantillonnage "au hasard" dans une collection importante et hétérogène d'objets soulève des difficultés pratiques considérables. On peut surmonter ces difficultés en subdivisant l'ensemble de la collection en fractions plus petites et compactes, dans lesquelles un échantillonnage "au hasard" peut être fait très rapidement. Deux méthodes de ce type sont :

- 1°) l'échantillonnage stratifié
- 2°) l'échantillonnage à deux stades.

Dans l'échantillonnage stratifié, la collection entière d'objets est divisée en plusieurs fractions, ou strates, dont chacune est ensuite échantillonnée et analysée séparément (des arrivages de poissons dans différents ports peuvent être considérés comme des strates distinctes). Cette méthode est particulièrement utile car elle réduit le biais et la variance quand il y a une différence marquée entre les strates.

Le principal problème d'échantillonnage dans l'étude des populations de poissons se pose quand on veut obtenir des indices d'abondance des différentes classes d'âge ou de taille des poissons, et plus particulièrement quand on veut les obtenir à partir d'échantillons prélevés dans les prises commerciales. Avant de commencer à envisager le processus d'échantillonnage, il faut en définir les buts, à la fois dans leur ampleur et dans la nature des paramètres étudiés (par exemple, la longueur des Plies débarquées par les chalutiers anglais de la Mer du Nord). Selon le schéma de l'échantillonnage stratifié, on pourra alors diviser la population complète, qui est assez hétérogène, en strates franchement uniformes. Pour les arrivages anglais de poissons démersaux, on a jugé convenable de traiter séparément les arrivages dans chaque port et chaque mois, mais pour les arrivages plus variables de harengs, on a choisi des arrivages dans des périodes de quatre jours. La première étape dans la procédure réelle d'échantillonnage est de s'assurer que l'échantillon prélevé ne présente pas de biais. Dès que la prise d'un bateau est vendue, elle peut être répartie entre un certain

nombre de commerçants, dont chacun préfère probablement une certaine taille ou qualité de poisson ; par conséquent, tout échantillon prélevé dans les acquisitions d'un mareyeur sera presque à coup sûr frappé de biais. L'échantillonnage des prises commerciales doit donc se faire avant la division de la prise totale ; en Angleterre, cela signifie un échantillonnage tôt le matin, avant que la prise débarquée ne soit soumise aux enchères.

Le choix du poisson à mesurer peut se faire judicieusement en deux étapes : d'abord un échantillon de un ou plusieurs bateaux parmi toute la flottille débarquant du poisson pendant une certaine période, ensuite un échantillon de poissons pris sur ce ou ces bateaux est mesuré. Le choix des bateaux à échantillonner est généralement franc, et des déviations mineures de la loi du hasard ne risquent pas trop d'être dangereuses ; mais ces déviations peuvent introduire un biais quand l'heure du débarquement ou la position de la prise sur le marché (qui sont susceptibles de modifier leurs chances d'être échantillonnées) sont elles-mêmes conditionnées par les lieux de pêche, et sont donc en relation avec la composition de la prise. Cette difficulté peut être surmontée par une stratification, un échantillonnage et une analyse ultérieurs des prises provenant de chaque zone de pêche séparée.

La tendance de la plupart des gens à prendre d'abord les plus gros poissons d'un tas et à laisser les plus petits pour la fin constitue une source importante de biais quand on prélève un lot de poissons dans la prise d'un bateau. Ceci est particulièrement remarquable quand on échantillonne les poissons sur le pont, par exemple les poissons d'un trait effectué par un navire de recherche. A la mer, on ne peut surmonter ce biais qu'en étudiant toute la prise, ou au moins une fraction prédéterminée de cette prise entièrement étalée sur le pont (un quart par exemple). Sur le marché, la plupart des poissons sont placés en caisses, (souvent en mettant les plus gros poissons sur le dessus de la caisse), et on évitera le biais en prélevant une ou plusieurs caisses complètes. S'il n'y a pas de tri bien défini en deux ou plusieurs catégories, il y aura peu de différences systématiques entre les caisses

et une méthode d'échantillonnage pratique mais non au hasard se justifie (par exemple, prélever les caisses qui se trouvent sur les bords des piles). Dans l'utilisation des résultats d'un tel système d'échantillonnage, il importe de considérer les "facteurs d'extrapolation", c'est-à-dire le rapport du poids échantillonné à tout le tonnage débarqué, à la fois pour tout l'arrivage et pour le navire échantillonné. Le processus est le suivant :

- supposons que nous nous intéressons au nombre total débarqué d'une certaine taille (ou âge, ou maturité, etc...). Soient :

m : nombre de bateaux à bord desquels les échantillons ont été prélevés ; et pour n'importe lequel en particulier, soit par exemple le  $i^{\text{ème}}$  :

$W_i$  : poids débarqué

$w_i$  : poids échantillonné

$n_i$  : nombre de poissons de la taille considérée

donc :  $\frac{W_i}{w_i} = r_i$  : facteur d'extrapolation pour le  $i^{\text{ème}}$  bateau

et donc :

$n_i r_i = n_i \frac{W_i}{w_i}$  : nombre de poissons de la taille requise dans le bateau échantillonné.

L'addition pour tous les bateaux échantillonnés donne le nombre de poissons de la taille requise pour tous les bateaux échantillonnés, soit :

$$\sum_{i=1}^m n_i r_i = \text{disons } n$$

De même, si :  $W$  = poids total débarqué

$w$  = poids débarqué par les bateaux échantillonnés,

on a :  $R$  = facteur d'extrapolation =  $\frac{W}{w}$

et  $R n = n \frac{W}{w}$  = nombre total débarqué de poissons de la taille requise = disons  $N$

ce qui donne :

$$N = \frac{W}{w} \sum \left( \frac{n_i W_i}{w_i} \right)$$

Fréquemment les poissons sont partagés en différentes classes de taille qui peuvent ou non être les mêmes d'un bateau à l'autre ; il faut donc obligatoirement prendre un échantillon à bord de chaque catégorie de bateaux étudiée. On obtiendra donc le chiffre pour le bateau considéré dans son ensemble en multipliant individuellement chaque catégorie par le facteur d'extrapolation adéquat. Ainsi, en supposant qu'il y a deux catégories, en utilisant la notation ci-dessus, et en distinguant les deux catégories par une ou deux apostrophes on obtient

$$r'_i = \frac{W'_i}{w'_i} \qquad r''_i = \frac{W''_i}{w''_i}$$

et le nombre de poissons d'une taille donnée sur le  $i^{\text{ème}}$  bateau échantillonné est :

$$n'_i r'_i + n''_i r''_i = n'_i \frac{W'_i}{w'_i} + n''_i \frac{W''_i}{w''_i}$$

On peut en tirer directement le nombre total débarqué :

$$N = R \sum ( n'_i r'_i + n''_i r''_i )$$

Inversement, et de préférence, le choix par catégorie peut être utilisé comme stratification pour tous les arrivages, et le coefficient d'extrapolation calculé et appliqué pour chaque catégorie. On peut alors estimer le nombre des arrivages :

$$N = R' \sum n'_i r'_i + R'' \sum n''_i r''_i$$

où  $R' = \frac{W^0}{w'}$  et  $R'' = \frac{W''}{w''}$

Cette seconde estimation sera plus précises (variance moindre), car elle utilise les informations sur la répartition entre les catégories de tous les arrivages. Elle peut être utilisée tant que la répartition est constante, même si elle n'est pas très précise, c'est-à-dire tant que le nombre et la répartition des catégories sont constants, même si la ligne de division entre eux est variable.

Dans les études de population, nous nous intéressons à plusieurs caractéristiques du poisson, par exemple, le poids, la longueur, l'âge, la maturité sexuelle, qui sont souvent reliées entre elles. Certaines,

comme la longueur, sont très faciles à déterminer de façon à la fois précise et rapide, même dans des conditions défavorables, (à la mer ou sur les marchés). D'autres caractéristiques, comme l'âge, exigent des manipulations beaucoup plus fastidieuses ; il sera donc plus aisé de les déterminer en faisant une récolte directe uniquement pour la longueur, et en utilisant pour l'âge des échantillons relativement petits permettant d'établir une abaque longueur-âge, celle-ci permettant de convertir directement la longueur en âge. C'est-à-dire que l'échantillonnage de longueurs donne le nombre de poissons dans chaque classe de longueur, et que les échantillons d'âge donnent la proportion de chaque âge dans chaque classe de longueur. L'effectif de chaque âge est alors facilement obtenu ; son expression algébrique est :

$N_i$  = nombre de poissons dans la  $i^{\text{ème}}$  classe de longueur.

$P_{ij}$  = nombre des poissons d'âge  $j$  dans la  $i^{\text{ème}}$  classe de longueur.

$$P_{ij} = \frac{n_{ij}}{n_i}$$

$n_i$  = nombre de longueurs  $i$  examinées pour l'âge

$n_{ij}$  = nombre de poissons de longueur  $i$  dont l'âge était  $j$

On a :

$N_i P_{ij}$  = nombre total de poissons de longueur  $i$  et d'âge  $j$

et :  $\sum_i N_i P_{ij}$  = nombre total de poissons d'âge  $j$

Il faut noter que ces calculs ne supposent aucune hypothèse concernant le mode de croissance ; pourtant, cette méthode est meilleure du point de vue de la précision (variance moindre et moindre risque de biais) quand la croissance est rapide et uniforme.

### Echantillonnage de la population

Les données sur la composition de la prise sont importantes en elles mêmes, particulièrement pour la comparaison et la combinaison des effets de deux pêcheries exploitant le même stock, ou bien pour l'évaluation des effets immédiats des changements de maille par

exemple. La prise, soit d'un bateau commercial, soit d'un bateau de recherches, peut aussi être considérée comme un échantillon prélevé sur le stock. Les méthodes usuelles d'échantillonnage sont directement applicables - par exemple, l'échantillonnage stratifié en divisant la zone explorée en sous-aires franchement uniformes ; mais des problèmes particuliers se posent pour obtenir des estimations sans biais de l'abondance et de la composition du stock. La première notion est issue du rapport entre la densité du stock et les prises par unité d'effort et la seconde de la sélection au sens large, c'est-à-dire incluant tout facteur qui amène les poissons d'une taille (ou d'un autre paramètre donné) à être plus facilement que d'autres capturés et retenus par un engin, le type de maille étant un cas particulier.

Ces derniers problèmes seront discutés plus à fond dans les chapitres ultérieurs.

---

## 2. CROISSANCE

Il s'agit de trouver une formule mathématique facile à incorporer dans les équations de production, vérifiant les données expérimentales, donnant la longueur (ou le poids) d'un poisson à n'importe quel moment de sa vie. Plus exactement - l'analyse d'une population consistant à comparer le gain de poids dû à sa croissance à la diminution due à sa mortalité naturelle - il faut déterminer la vitesse de croissance, i.e. l'augmentation de longueur ou de poids par unité de temps. Quelquefois, si l'on se propose d'étudier l'effet d'une augmentation de taille "à la première capture", il est particulièrement important de connaître la vitesse de croissance sur une durée de vie relativement courte, celle que mettra le poisson pour passer de l'ancienne à la nouvelle "taille à la première capture".

Notre formule devra donc être ajustée à de telles données. Nous lui voulons en outre d'autres qualités : être facile à établir à partir des données, comporter peu de constantes qui devront, autant que possible,



avoir une signification biologique, ne pas donner des résultats illogiques pour les tailles et âges situés en dehors des limites des données utilisées.

Il existe un très grand nombre d'équations de croissance, aucune d'elles n'étant entièrement satisfaisante, ce qui n'est d'ailleurs pas surprenant, étant donné la multiplicité des conditions de développement qu'un seul poisson peut rencontrer durant sa vie.

Nous nous attacherons uniquement, dans la suite de ce travail, à faire l'étude de l'équation décrite par von BERTALANFFY qui satisfait à deux des critères les plus importants : elle s'adapte à la plupart des données de croissance observées, elle est facilement incorporable dans les équations de production.

Si nous inscrivons sur un graphique la longueur d'un poisson, crustacé ou lamellibranche en fonction de son âge, nous obtenons une courbe dont la pente décroît de façon continue quand l'âge augmente, et qui s'approche d'une asymptote supérieure parallèle à l'axe des t (fig. 1).

La courbe correspondante du poids en fonction de l'âge, s'approche elle aussi d'une asymptote supérieure, mais prend habituellement la forme d'une sigmoïde asymétrique, l'inflexion se faisant généralement au tiers du poids asymptotique (fig. 2).

Si l'on inscrit maintenant la vitesse de croissance en longueur, i.e.  $dl/dt$  en fonction de la longueur, on obtient très généralement une droite (fig. 3), coupant l'axe des l au point  $L_{\infty}$  au delà duquel le poisson ne grandit plus, et qui correspond à l'asymptote de la courbe longueur/âge. Si l'on a une relation linéaire entre longueur et accroissement en longueur, cela signifie, en termes mathématiques :

$$\frac{dl}{dt} = K (L_{\infty} - l) \quad (1)$$

équation différentielle, d'où :

$$\frac{dl}{l - L_{\infty}} = -K dt \quad ; \quad \int \frac{dl}{l - L_{\infty}} = -K \int dt + Cte$$

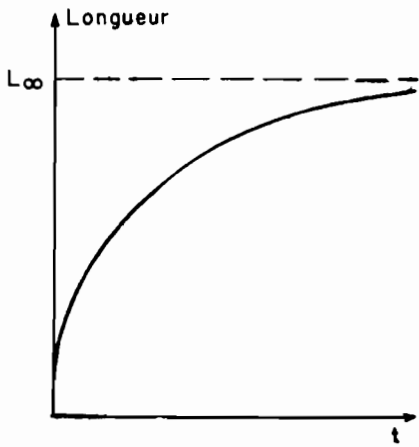


Fig. 1

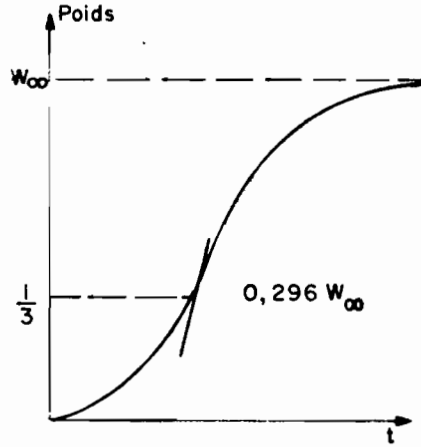


Fig. 2

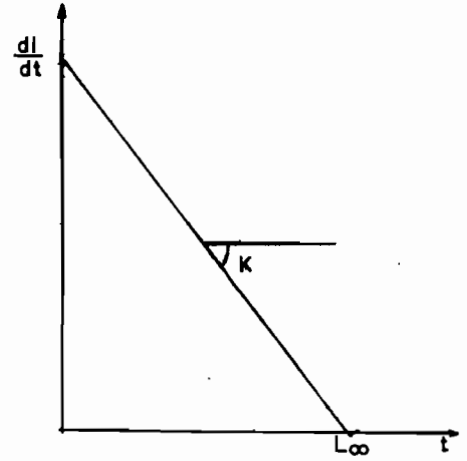


Fig. 3

Représentations graphiques relatives à l'équation de von Bertalanffy

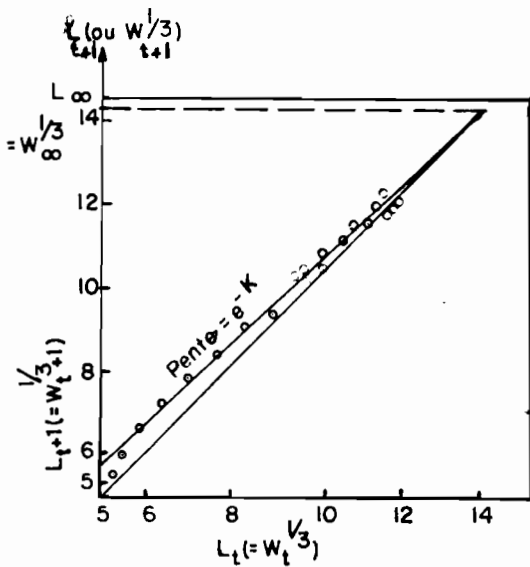


Fig. 4 - Courbe de Ford-Walford

$$l_{t+1} = e^{-K} \cdot l_t + L_{\infty}(1 - e^{-K})$$

$$\text{Log}(L_{\infty} - l_t) = \text{Log}(W_{\infty}^{1/3} - W_t^{1/3})$$

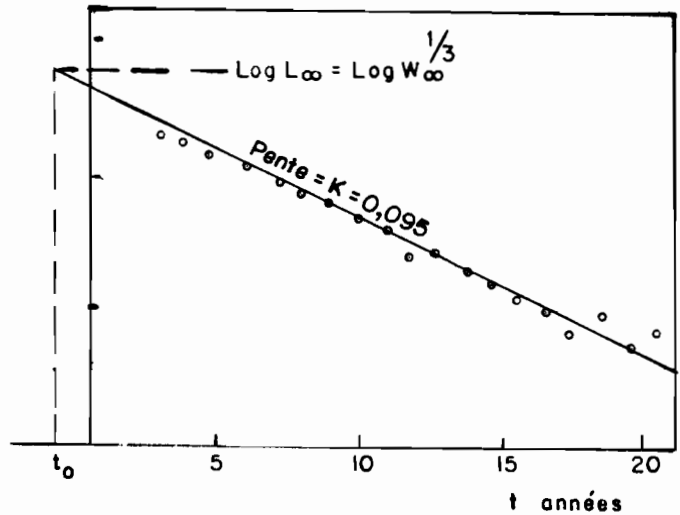


Fig. 5

Obtention graphique des paramètres de croissance (fig.5  $K, L_{\infty}$  / fig.6 :  $t_0$ )

$$\text{Log} ( l - L_{\infty} ) = - Kt + \text{Cte}$$

$$l - L_{\infty} = c e^{-Kt} , \quad c \text{ étant une constante}$$

Au temps  $t$  ---  $l_t - L_{\infty} = c \cdot e^{-Kt}$

Au temps  $t_0$ ,  $l_0 = 0$  ---  $L_{\infty} = c \cdot e^{-Kt_0}$

divisant membre à membre,  $\frac{l_t - L_{\infty}}{-L_{\infty}} = \frac{e^{-Kt}}{e^{-Kt_0}}$

$$l_t - L_{\infty} = L_{\infty} e^{-K(t-t_0)}$$

d'où :  $l_t = L_{\infty} (1 - e^{-K(t-t_0)})$  (2)

où :  $c = -L_{\infty} e^{Kt_0}$

L'équation (1) est identique à celle déduite par von BERTALANFFY sur des bases physiologiques en considérant la croissance comme la résultante des actions simultanées des facteurs anaboliques et cataboliques pris, respectivement, proportionnels à la surface S et au poids W du corps .

En d'autres termes :  $dW / dt = aS - bW$  a et b = ctes.

W étant proportionnel au cube de la longueur

S " " " carré "

si nous divisons chaque membre de l'équation par le carré de la longueur.

$$dl / dt = H - Kl , \text{ identique à (1).}$$

Quand on construit la courbe de croissance point par point, la vitesse de croissance n'apparaît pas, mais seulement des tailles à des temps donnés : chaque année, si l'on part des données de détermination d'âge, ex. par les otolithes, mais à intervalles irréguliers si l'on utilise par exemple les résultats du marquage. Si ces temps  $t_1$  et  $t_2$  sont assez rapprochés, une approximation de la vitesse de croissance instantanée est donnée par :  $l_2 - l_1 / t_2 - t_1$ , où  $l_1$  et  $l_2$  sont les longueurs aux temps  $t_1$  et  $t_2$ .

Si l'on porte sur un graphique cette vitesse de croissance en fonction de la longueur moyenne :  $\frac{l_1 + l_2}{2}$ , on obtient alors un point de la courbe de l'équation (1), courbe représentée sur la figure 4. L'interception de cette courbe sur l'axe des X donne une estimation de  $L_\infty$  et sa pente  $-K$ .

Si nous connaissons les longueurs, à des intervalles de temps égaux, reprenant l'équation (2), nous pouvons écrire :

$$l_t = L_\infty [1 - e^{-K(t-t_0)}] \quad \text{et} \quad l_{t+T} = L_\infty [1 - e^{-K(t+T-t_0)}]$$

$$\begin{aligned} \text{d'où : } l_{t+T} - l_t &= L_\infty [1 - e^{-K(t+T-t_0)} - 1 + e^{-K(t-t_0)}] \\ &= L_\infty [-e^{-K(t-t_0)} \cdot e^{-KT} + e^{-K(t-t_0)}] \\ &= L_\infty (e^{-K(t-t_0)}) (1 - e^{-KT}) \end{aligned}$$

$$\text{Or, } L_\infty - l_t = L_\infty - L_\infty [1 - e^{-K(t-t_0)}] = L_\infty e^{-K(t-t_0)}$$

$$\text{D'où : } l_{t+T} - l_t = (L_\infty - l_t) (1 - e^{-KT}) \quad \dots \quad (3)$$

Par conséquent, la courbe de l'accroissement ( $l_{t+T} - l_t$ ) en fonction de  $l_t$  est une droite de pente  $(e^{-KT} - 1)$ , et dont l'interception sur l'axe des X est  $L_\infty$ .

Quand  $T = 1$  an, nous avons une droite particulièrement intéressante, dont la pente, facile à calculer est :  $(e^{-K} - 1)$ .

L'équation (3) peut s'écrire aussi :

$$l_{t+T} = L_\infty (1 - e^{-KT}) + l_t e^{-KT} \quad \dots \quad (4)$$

qui, quand  $T = 1$  est l'expression de la courbe bien connue de FORD-WALFORD (fig. 4), de  $l_{t+1}$  en fonction de  $l_t$ , droite de pente  $e^{-K}$  et qui coupe la bissectrice des axes de coordonnées quand  $l_t = l_{t+1} = L_\infty$ .

Cette courbe est de même nature que la précédente. Les points semblent mieux s'adapter à la courbe de FORD-WALFORD, mais, comme l'intersection de la droite de régression et de la bissectrice se fait très

obliquement,  $L_{\infty}$  est finalement déterminé par les 2 courbes avec une précision égale ; si la courbe est construite graphiquement plutôt que par calcul de la droite de régression, on risque de plus grandes erreurs avec la courbe de FORD-WALFORD. Les 2 courbes permettent de toute façon la détermination de  $L_{\infty}$  et  $K$ .

$t_0$  peut ensuite être calculé à partir de l'équation (2) pour n'importe quelle paire de données de longueur et d'âge ; à cet usage l'équation (2) peut être écrite comme suit :

$$e^{-K(t-t_0)} = \frac{L_{\infty} - l_t}{L_{\infty}}$$

ou :  $t_0 = t + \frac{1}{K} \text{Log} \frac{L_{\infty} - l_t}{L_{\infty}}$  (5)

Toutefois, si une estimation de  $t_0$  peut être faite à tout âge quand on connaît la longueur correspondante, toutes ne seront pas également variables. Ainsi, pour un poisson âgé, les estimations de  $t_0$  peuvent varier considérablement, la différence ( $L_{\infty} - l_t$ ) étant très petite. Pour les jeunes, au contraire, nous commettons une erreur systématique dans l'évaluation de leur longueur moyenne, seuls les plus gros d'entre eux étant capturés.

En pratique, nous ferons la moyenne des estimations de  $t_0$  obtenues pour les groupes d'âge jeunes, mais pleinement représentés.

L'équation (5) montre que  $\text{Log} (L_{\infty} - l_t)$  est fonction linéaire de  $t$ . Le point de la droite dont l'ordonnée est  $\text{Log} L_{\infty}$  (quand  $l_t = 0$ ), a une abscisse correspondant à  $t_0$ . Ce peut être une méthode graphique de recherche de  $t_0$  : on calcule la droite de régression  $[\text{Log} (L_{\infty} - l_t), t]$  et du point d'ordonnée  $\text{Log} L_{\infty}$ , on trace une perpendiculaire sur l'axe des X qui coupe celui-ci en  $t_0$  (voir fig. 5).

On peut obtenir des longueurs à intervalles annuels de diverses manières. La meilleure d'entre elles est certainement l'analyse de croissance d'un seul poisson, sa longueur à la fin de chaque année de sa vie étant déterminée par examen de ses écailles, otolithes, etc... Il est également possible de "suivre" l'ensemble des poissons d'une

même classe d'âge durant toute la période où ils sont capturés ; par exemple, si nous prenons des poissons nés en 1956, leur croissance pendant leur cinquième année est représentée par la différence de leur longueur moyenne à la fin de 1961 et de 1960. Dans les deux cas, il s'agit de la croissance d'un groupe de poissons ; chaque année de vie correspond à un point de la courbe, mais les conditions de croissance peuvent être très différentes d'une année à l'autre.

On peut aussi étudier la croissance de différentes classes d'âge au cours de la même année ; par exemple en 1960, la croissance de la classe d'âge 1956 au cours de sa cinquième année, celle de la classe d'âge 1957 dans sa quatrième année, etc... ; chaque classe d'âge fournit alors un point de la courbe. Cette méthode est particulièrement utile quand on veut étudier l'effet de l'environnement - nourriture, densité, température etc... - sur la croissance. Enfin, on peut estimer la croissance à partir des données d'une seule année ; par exemple, en 1960, l'accroissement au cours de la cinquième année étant considéré comme la différence entre les longueurs des classes d'âge 1955 et 1956, au cours de la quatrième année, entre les classes d'âge 1956 et 1957, etc... ; ces différences ne correspondent pas en fait à la croissance véritable d'un groupe de poissons, et la méthode ne doit être employée qu'à défaut de toute autre.

Le poids d'un poisson est en général étroitement proportionnel au cube de sa longueur : (pour chaque unité stock, on définit un coefficient  $q$  tel que :  $W = q l^3$ , ex. d'après BUCKMANN, pour les soles de la Mer du Nord,  $q = 0,009$ ). Nous pouvons donc écrire, à partir de l'équation (2)

$$W_t = W_{\infty} (1 - e^{-K(t-t_0)})^3 \quad \text{--- (6)}$$

ou  $W_{\infty}$  est le poids asymptotique correspondant à la longueur asymptotique  $L_{\infty}$

Quand les données sont fournies en termes de poids, l'établissement des courbes de croissances est plus facile en utilisant les racines cubiques des poids comme de simples mesures de longueur, en résolvant

alors comme ci-dessus les équations de croissance, et en portant au cube les résultats finaux, pour les exprimer en termes de poids.

Une équation plus générale a été donnée par RICHARDS ; c'est, avec un léger changement dans la notation :

$$w_t^{1-m} = W_{\infty}^{1-m} - ae^{-kt} \quad (7)$$

Pour diverses valeurs de m, cette équation devient l'une ou l'autre des équations de croissance connues.

Pour  $m = 2/3$ , l'équation (7) devient l'équation (2) de von BERTALANFFY.

Pour  $m = 2$ , nous avons, avec quelques modifications l'équation autocatalytique :

$$w_t = \frac{W_{\infty}}{1 + be^{-kt}} \quad (\text{avec } b = -aW_{\infty})$$

Pour  $m = 0$ , l'équation monomoléculaire :

$$w_t = W_{\infty}(1 - be^{-kt})$$

---

### 3. EFFORT ET PRISE PAR UNITE D'EFFORT (p.u.e.)

Ces quantités peuvent aisément être traitées ensemble, toutes deux fournissent des indices proportionnels à deux quantités importantes : le coefficient instantané de mortalité par pêche et la densité du stock exploité. D'autre part, connaissant la prise totale - ce qui est généralement le cas - on peut calculer l'effort connaissant la p.u.e. et réciproquement. Bien que la p.u.e. soit en général obtenue à partir des valeurs indépendantes de la prise et de l'effort, il n'est pas nécessaire d'avoir des données se rapportant à l'ensemble de la pêcherie et, en pratique, la p.u.e. est souvent estimée à partir de données partielles et l'effort estimé à partir de là.

Il est souvent essentiel d'avoir une mesure du stock et la p.u.e. sera presque toujours la meilleure possible - bien qu'elle soit rarement proportionnelle à la densité du stock - meilleure par exemple que la

prise totale. Au fur et à mesure que les connaissances sur la pêche s'amélioreront, nécessitant une meilleure connaissance de la taille du stock, la valeur de la p.m.e. s'améliorera par la prise en considération de la distribution spatiale de la pêche, des différences dans la puissance de pêche des bateaux etc...

Les relations entre la prise, l'effort et la densité du stock sont faciles à établir pour un seul engin sur une densité de poisson uniforme, par exemple un chalut dont on peut supposer qu'il prend à chaque trait une fraction constante des poissons présents. La prise est alors proportionnelle à la densité du stock et le nombre de traits est proportionnel à la mortalité ainsi causée.

Ces relations peuvent être aisément généralisées de façon à couvrir les activités de la pêche toute entière, pourvu que les efforts de toute la flotte soient exprimés avec les mêmes unités. L'effort d'une seule unité de pêche est, pour la plupart des types d'engins, le mieux défini comme étant le produit de sa puissance de pêche par le nombre ou la durée de ses manoeuvres. Le premier problème est donc de définir la manoeuvre unité ; ceci peut être simple, par exemple un trait d'une heure pour un chalut ; mais pour d'autres engins, en particulier ceux pour lesquels une partie importante du temps se passe à chercher le poisson, l'unité appropriée peut ne pas être évidente. La puissance de pêche d'une unité donnée peut être définie par rapport à une unité de pêche standard, ou à des unités d'engins, comme étant mesurée par les prises respectives par unité ou par manoeuvre quand elles pêchent à la même place et au même moment (ou tout au moins, sur une même densité de poissons).

Comme l'effort de pêche n'est lui-même qu'un indice proportionnel à la valeur importante qu'est le coefficient de mortalité par pêche, il est légitime d'utiliser toute quantité proportionnelle à l'effort ou à la puissance de pêche comme indice de puissance ou d'effort. Par exemple, il a été démontré que, pour les chalutiers anglais, la puissance de pêche est proportionnelle au tonnage ; la quantité tonnage x nombre d'heures de pêche donne donc un indice utilisable d'effort de pêche pour ceux-ci.



Des unités adéquates de temps et de puissance de pêche peuvent être suggérées pour quelques types d'engins :

Engin	Temps	Puissance de pêche
Chalut	Heures de pêche	Taille du bateau. Tonnage. Puissance des machines en C.V.
Senne danoise	Heures de pêche	? Apparemment indépendante des caractéristiques du bateau.
Longue ligne	Heures de pêche	Nombre d'hameçons
Filet dérivant	Heures de pêche	Nombre de filets. Longueur ou surface des filets.
	Nombre de lanciers	

Avec d'autres méthodes telles que "purse-seine", "ring-net" ou dans le cas de la chasse à la baleine, l'opération de pêche comporte un temps plus ou moins long à rechercher les bancs de poissons ou les baleines durant lequel aucune pêche effective n'est faite. L'unité proprement dite d'effort de pêche pourrait alors être de la surface de l'aire explorée. Le temps de pêche serait mesuré par le temps passé à naviguer (à l'exclusion, si nécessaire, du temps passé entre le port et les lieux de pêche présumés), et la puissance de pêche par des facteurs tels que la vitesse et l'équipement en matériel de recherche (écho sondeur, Asdic, etc...). La prise par effort unité pourrait être exprimée comme prise par heure de navigation ou par superficie explorée. Si la recherche était pleinement efficace et que tous les poissons ou baleines vus fussent pris, la prise par superficie explorée pourrait donner une mesure absolue de la densité plutôt qu'un simple indice. La prise par effort unité, pour des poissons vivant en bancs, peut être utilement envisagée sous deux aspects :

- le nombre de bancs, estimé à partir du nombre de bancs observés ou de traits par unité de temps de recherche,
- la taille des bancs estimée d'après la prise par trait.

Additif concernant la pêche au thon (Shimada-Schaefer) (1958).

Le thon est pêché actuellement de trois façons radicalement différentes : l'appât vivant, la palangre dérivante et le filet tournant. La palangre étant presque exclusivement l'apanage des Japonais. Les Américains font depuis plus de dix ans, une étude statistique de la pêche de leur flotte thonière, dans le Pacifique oriental. Ils se sont efforcés de rendre comparables les données d'effort de bateaux dont la taille varie facilement du simple au décuple et pêchant soit au filet tournant, soit à l'appât vivant. La journée en mer introduisait une erreur en ce sens que les petits bateaux passaient proportionnellement plus de temps à la recherche de l'appât vivant que les gros. On en est venu à la journée de pêche comptée à partir du moment où le bateau est sur les lieux de pêche. Le compte des journées de pêche est fourni par le livre de bord tenu par le patron ; il est ensuite multiplié par un coefficient d'efficacité dépendant de la catégorie de taille du bateau et du type d'engin utilisé pour être exprimé en journées de pêche standard.

Tableau des facteurs d'efficacité donné par J.W. MARTIN (1962).

Engin et période	Catégorie de taille					
	1	2	3	4	5	6
Appât vivant	0,40	0,55	0,84	100	1,18	1,16
Senneurs 53-58	-	0,88	1,00	1,37	-	-
Senneurs 59	0,60	0,82	1,00	1,30	1,20	-
Senneurs 59-60	0,66	0,73	1,00	1,35	1,27	1,01

Les catégories de taille sont les suivantes : (en tonnes de poisson transportables par le bateau dans ses cales)

- 1) 0 à 50 tonnes
- 2) 51 à 100 tonnes
- 3) 101 à 200 tonnes

- 4) 201 à 300 tonnes
- 5) 301 à 400 "
- 6) 401 tonnes et au dessus.

La liste d'unités suggérée ici n'est pas exhaustive pas plus que les unités ne sont forcément les meilleures ; le choix de l'unité d'effort doit dépendre de circonstances particulières à chaque pêcherie. Par exemple si le temps interdit souvent la pêche, rendant le travail impossible pour une partie importante et variable de certaines saisons, le nombre de bateaux sera une mesure d'effort inappropriée ; le nombre total de coups de filet donnerait une meilleure estimation. Jusqu'à un certain point toutefois, de telles erreurs, dues aux effets (sans doute) fortuits du mauvais temps, sont beaucoup moins graves que des mesures erronées s'écartant systématiquement de la valeur vraie. Un tel écart systématique se produit quand il y a eu un accroissement régulier de la puissance de pêche de l'engin en usage. Par exemple la taille moyenne des chalutiers britanniques pêchant en Islande a approximativement doublé au cours des trente dernières années et, par voie de conséquence, la prise de morue à l'heure s'est considérablement accrue, bien que l'emploi de la meilleure unité de prise par effort, la prise par tonne/heure, montre que la densité de morue n'a, en fait, pas varié de façon appréciable.

Il est un autre type d'effort unité très trompeur : celui pour lequel la relation entre l'effort enregistré et l'effort réel est sous la dépendance de la densité du stock. Cette dépendance peut être due à une perte de puissance de pêche par saturation de l'engin, par exemple la réduction des hameçons disponibles sur une palangre ; ou par réduction du temps de pêche effectif, par exemple sur les chalutiers britanniques au long cours, le nombre d'heures réellement passées à la pêche par journée de mer est réduit durant les périodes de grosse pêche par la nécessité de passer un temps supplémentaire à vider et à ranger le poisson. Pour ce genre de pêche, la journée n'est donc pas une unité convenable de temps de pêche.

Normalement, l'effort total d'une flotte sera égal à la somme des efforts qui seraient fournis par les bateaux pris individuellement s'ils avaient pêché seuls. Mais si la présence d'un grand nombre de navires aide la flotte à concentrer sur le poisson une recherche plus efficace, l'effort réel sera plus grand ; inversement, la présence d'une flotte importante peut (par exemple en effrayant et dispersant les bancs) interférer avec le travail efficace des bateaux et réduire l'effort effectif.

Quand plus d'un groupe de bateau exploite un stock unité, par exemple des chalutiers à perche et des palangriers, ou des bateaux de plusieurs pays, il sera en général difficile ou même impossible d'exprimer les statistiques d'effort de tous les navires dans les mêmes unités et ainsi d'obtenir directement une représentation de l'effort total. Une seule flotte (A) peut donc être prise comme référence, sa prise par effort unité comme le meilleur indice de densité et l'effort total estimé ainsi :

$$\text{Effort total} = \text{Effort de (A)} \times \frac{\text{Prise totale}}{\text{Prise de la flotte(A)}} = \frac{\text{Prise totale}}{\text{p.u.e. de (A)}}$$

Si des statistiques d'effort valables sont disponibles pour plus d'une flotte, il est préférable de calculer d'abord la p.u.e. pour chaque flotte séparément et ensuite de comparer les changements d'année en année des indices d'abondance ainsi obtenus. Si chaque indice isolé suit bien la même tendance, il y a alors une confirmation que chacun constitue une bonne mesure de l'abondance (le degré de confirmation s'accroît avec la diversité des flottes considérées, par exemple il est plus encourageant d'avoir une bonne concordance entre des chalutiers et des palangriers qu'entre deux flottes de chalutiers). Inversement, s'il y a une discordance entre deux séries de chiffres de prise par effort unité, l'une et peut-être les deux, ne constituent pas une bonne mesure d'abondance. Avant d'utiliser l'une ou l'autre des séries de données, les méthodes par lesquelles on les a obtenues doivent être examinées

afin de voir d'où peut provenir la discordance (par exemple une flotte a comporté un nombre croissant de bateaux neufs et puissants dont il n'a pas été tenu compte dans les statistiques d'effort utilisées). Si deux flottes ou plus donnent des indices constants de p.u.e. un seul indice combiné de p.u.e. (et de là d'effort total) peut être commodément obtenu en exprimant pour chaque flotte l'indice comme un pourcentage d'une année - ou d'une période de plusieurs années - de référence.

Quand la puissance et le temps de pêche ont été complètement standardisés, la prise par effort unité résultante sera proportionnelle à la densité moyenne aux endroits pêchés, la moyenne étant calculée en fonction de l'importance de la pêche à chaque endroit. Cette densité sera presque sûrement plus grande que la densité moyenne vraie car la plus grande partie de la pêche sera faite sur les lieux donnant de bonnes prises. La p.u.e. sera cependant toujours un indice valable de la densité aussi longtemps que le rapport de la vraie densité à la densité pondérée en fonction de l'importance de la pêche, reste fixe. La différence entre la vraie densité moyenne et la densité moyenne prise sur les endroits pêchés peut être considérée de deux façons. Sur un lieu de pêche donné, qui, pour les pêcheries au chalut de la mer du Nord, peut être pris d'un diamètre de 10 milles, la distribution de la pêche sera déterminée seulement par la capacité des pêcheurs à déterminer les petites concentrations locales de poisson. La densité dans les zones non pêchées ne sera pas connue, mais, le rapport de la densité dans les zones pêchées à la densité moyenne, sera généralement constant, au moins pendant une courte période. Pendant une période plus longue, l'introduction de systèmes nouveaux peut permettre aux pêcheurs de se concentrer davantage sur le poisson, soit directement (écho sondage) ou grâce à une navigation plus précise (Decoa, radar ou écho sondage). En première approximation nous pouvons cependant écrire :

$$\frac{C}{f} = q \bar{D} = q D (1)$$

Où  $C$  = prise ;  $f$  = effort ;  $q, q^1$  sont des constantes ;

$\bar{D}$  = densité pondérée par l'importance de la pêche

et  $D$  = densité moyenne vraie.

Un stock unité sera généralement distribué sur plusieurs lieux de pêche et la distribution de l'effort de pêche entre ces lieux a de grandes chances d'être sous la dépendance de plusieurs facteurs autres que les densités relatives de l'espèce concernée. Ceux-ci comprendront la distance au port, un abri pour le mauvais temps, l'abondance d'autres espèces et la demande sur le marché d'une espèce ou d'une autre, certaines de celles-ci étant susceptibles de varier. Par conséquent, le rapport de la prise par effort unité à la densité vraie a peu de chances d'être constant.

Cependant de l'équation (1) nous pouvons tirer, pour n'importe quel lieu de pêche  $i$  dont la superficie est  $A_i$  le nombre de poissons comme suit :

$$N_i = A_i D_i = \frac{A_i}{q_i} \times \frac{C_i}{f_i}$$

Si l'ensemble du stock peut être subdivisé par régions, à l'intérieur de chacune desquelles l'équation (1) peut être appliquée, le nombre total dans le stock est alors par addition :

$$N = \sum_i N_i = \sum_i \frac{A_i}{q_i} \times \frac{C_i}{f_i}$$

Si  $q_i$  est constant =  $q$  pour tous les lieux de pêche on a alors :

$$N = \frac{1}{q} \sum_i \frac{A_i \times C_i}{f_i}$$

et la densité

$$D = \frac{N}{A} = \frac{1}{q} \times \frac{1}{A} \times \sum_i A_i \times \frac{C_i}{f_i} \quad (2)$$

Où :  $A = \sum A_i$  ; i.e. la densité est la moyenne pondérée de la prise par effort unité dans chaque sous région, le facteur de pondération étant la surface des régions. L'effort effectif peut être dérivé de l'équation (2) en divisant par la prise totale.

$$\text{i.e. } f = \frac{C}{qD} = \frac{A \sum C_1}{\sum \frac{A_1 C_1}{f_i}}$$

Ces formules permettent d'obtenir des indices de densité pour tout groupe particulier dans la population, par exemple un groupe d'âge. Si l'indice de densité pour la population entière est donné par la prise totale divisée par l'effort total ; l'indice pour un groupe d'âge est trouvé en divisant le nombre débarqué pour ce groupe d'âge par l'effort total. Autrement, l'indice est obtenu en multipliant le nombre de poissons de chaque âge dans une unité de poids par le poids pris par effort unité. S'il y a des différences marquées de composition entre les différentes régions du stock, les indices de densité devront être obtenus pour chaque région séparément et l'indice pour le stock tout entier sera obtenu en multipliant par la superficie de chaque région. La taille de ces régions devra être assez petite pour assurer une composition uniforme sur toute leur étendue, mais en général être plus grande que les lieux séparés qui sont utilisés pour donner l'indice général de densité, ainsi qu'on l'a vu plus haut.

Il est possible d'utiliser une autre méthode d'analyse des données d'effort de pêche sur des espèces mélangées quand on peut relier chaque débarquement à l'espèce qui était l'objectif principal de la marée - par exemple, les chalutiers allemands pêchant à l'ouest du Groenland ramènent pendant l'année des quantités à peu près égales de morue et de Sebastes, toutefois, chaque débarquement particulier montre en général la prédominance d'une des deux espèces. La densité du stock de chacun de ces poissons sera alors évaluée à partir des débarquements correspondants.

#### 4. MORTALITES

##### 4.1. Mortalité totale

Avant d'estimer la mortalité par pêche et la mortalité naturelle séparément, il est commode de calculer la mortalité totale. On peut le faire rapidement si nous connaissons les abondances d'un groupe quelconque de poissons à deux moments donnés - par exemple  $N_0$  et  $N_1$  - car alors la fraction survivante est  $N_1/N_0 = S$  et le coefficient de mortalité totale est donné par  $e^{-Zt}S = N_1/N_0$  (1) ou encore  $Zt = \text{Log } N_0/N_1$  avec un cas particulier évident quand l'intervalle de temps  $t$  est égal à 1.

Ces formules sont encore valables quand on connaît non les abondances réelles, mais leurs indices, par exemple les prises par effort unité c'est-à-dire des nombres  $n_1$  et  $n_0$  proportionnels à  $N_1$  et  $N_0$ .

Nous avons alors  $n_1/n_0 = N_1/N_0 = S$ .

Souvent les abondances ou les indices d'abondance ne seront pas connus à un moment précis, mais seulement en tant que moyennes pour des périodes limitées (un an par exemple). En fonction de l'abondance  $N$  au début de la période et du coefficient  $Z$  de mortalité totale, l'abondance moyenne  $\bar{N}$  durant la période de durée  $t$  est donnée par :

$$\bar{N} = \frac{N_t dt}{dt} \quad \text{avec } N_t = N e^{-Zt} \quad \text{d'où } \bar{N} = \frac{N e^{-Zt} dt}{dt}$$

et, en intégrant,  $\bar{N} = \frac{N}{Zt} (1 - e^{-Zt})$

En désignant par des indices appropriés les valeurs des abondances et des mortalités durant les périodes 0 et 1 séparées d'un an, nous avons :

$$\bar{N}_0 = \frac{N_0}{Z_0 t} (1 - e^{-Z_0 t}), \quad \bar{N}_1 = \frac{N_1}{Z_1 t} (1 - e^{-Z_1 t})$$

et également  $N_1 = N_0 e^{-Z_0}$

Faisons le rapport des abondances moyennes :

$$\frac{\bar{N}_1}{\bar{N}_0} = \frac{\frac{N_1}{Z_1} (1 - e^{-Z_1 t})}{\frac{N_0}{Z_0} (1 - e^{-Z_0 t})} = e^{-Z_0} \times \frac{Z_0}{Z_1} \times \frac{1 - e^{-Z_1 t}}{1 - e^{-Z_0 t}} \quad (2)$$

.../...



Lorsque  $Z_0 = Z_1$  l'équation (2) se réduit à  $\bar{N}_1/N_0 = e^{-Z_0}$  ou  $Z_0 = \text{Log } \bar{N}_0/\bar{N}_1$ . Donc le rapport des abondances moyennes peut être utilisé de la même façon que le rapport des abondances instantanées dans l'équation (1).

On peut également faire la simplification si  $Z_0 t$  et  $Z_1 t$  sont tous les deux petits même s'ils sont inégaux car alors  $1 - e^{-Z_1 t}$  est voisin de  $Z_1 t$  et  $1 - e^{-Z_0 t}$  de  $Z_0 t$ . Le rapport des abondances moyennes durant deux périodes fournit donc une bonne estimation des survivants, soit quand la mortalité est constante soit quand le changement en nombre durant cette période est petit. Même si ces conditions ne sont pas satisfaites, le rapport peut toujours fournir une première approximation assez bonne, sujette à des corrections que l'on peut déduire de l'équation (2).

Les formules ci-dessus seront habituellement appliquées aux abondances des classes annuelles individuelles et rendront possible l'estimation des mortalités entre n'importe quelle paire d'années consécutives et pour n'importe quelle classe annuelle pleinement recrutée. Ces estimations ont de grandes chances d'être très nombreuses et la question se pose alors de savoir quelle est la meilleure qui, par combinaison, puisse être obtenue. Une seule estimation combinée n'est valable que s'il n'y a pas de différences systématiques de mortalité soit en fonction de l'âge, soit en fonction du temps, au cours de la période considérée ; ces différences peuvent être détectées aisément à l'aide d'un tableau comme celui ci-dessous, soit par examen des moyennes des rangées et des colonnes, soit de façon plus rigoureuse pour un test statistique tel qu'une analyse de variance.

Age Années	4/5	5/6	6/7	7/8	8/9	9+/10+	Moyenne
1950/1	0,75	0,80	0,75	0,70	0,55	0,75	0,70
1951/2	0,70	0,80	0,75	0,60	0,65	0,55	0,68
1952/3	0,65	0,60	0,85	0,70	0,85	0,70	0,72
1953/4	0,70	0,75	0,65	0,90	0,50	0,50	0,70
Moyenne	0,70	0,74	0,74	0,66	0,74	0,62	0,70

(Tableau montrant un exemple hypothétique de coefficients de mortalité totale instantanée pour différentes paires d'années et de groupes d'âge).

Les termes d'une telle table devraient toujours être sous la forme de coefficients instantanés, non de pourcentages de mortalités ; il est en effet aisé de montrer que ces derniers sont systématiquement erronés, étant sous-estimés d'une quantité moyenne dépendant de la variance des données et cette erreur systématique peut être très appréciable quand on prend la moyenne de plusieurs valeurs estimées. Cette erreur est due au numérateur de l'équation (1) qui n'est pas connu exactement (la surestimation de la fraction survivante lorsque le numérateur est trop bas est plus forte que la sous-estimation quand le numérateur est trop grand, à un degré identique). Une erreur analogue peut être rencontrée quand on compare la moyenne des inverses d'un ensemble de nombres : elle n'est pas la même que l'inverse de leur moyenne.

S'il n'y a pas de différence appréciable entre les années ou les âges, les termes du tableau ci-dessus peuvent être considérés comme des estimations séparées de la même vraie mortalité et, l'estimation combinée ayant la moindre variance, sera donnée en prenant la moyenne pondérée avec des pondérations inversement proportionnelles aux variances des estimations individuelles. Ces variances seront généralement inconnues et, bien qu'évidemment la variance des classes annuelles très âgées et peu abondantes soit élevée, des données limitées (pour la plie, le hareng

et le haddock) suggèrent que la variance est approximativement constante pour tous les groupes d'âge bien représentés (de IV à IX pour la plie) ; donc, si les données pour les groupes plus âgés sont combinées (par exemple la dernière colonne du tableau) toutes les variances seront sensiblement égales et l'estimation d'ensemble convenable sera la simple moyenne de toutes les estimations individuelles. L'estimation moyenne de la mortalité pour tous les âges entre n'importe quel couple d'années peut être déterminée de la même manière. Une autre méthode courante pour estimer la mortalité entre des années successives est de prendre la diminution des nombres totaux de toutes les classes annuelles pleinement exploitées, par exemple dans le tableau ci-dessus, le rapport des 4 + aux 5 +. Cela revient à pondérer les estimations dans le tableau par le nombre de poissons à chaque âge.

L'effet de l'utilisation de représentations insuffisantes pour l'effort et la prise par effort unité telles que cette dernière n'est pas un rapport constant avec l'abondance réelle peut être déduit de l'équation (1). Supposons que la relation entre la prise par effort unité et l'abondance au cours des deux années soit donnée - avec une notation évidente - par :

$$n_1 = \frac{C_1}{g_1} = q_1 N_1 \quad n_2 = \frac{C_2}{g_2} = q_2 N_2 \quad \text{d'où} \quad \frac{n_2}{n_1} = \frac{q_2 N_2}{q_1 N_1}$$

$$\text{Si } N_2 = N_1 e^{-Z} \quad \text{on aura} \quad \text{Log} \frac{n_1}{n_2} = \text{Log} \frac{q_1}{q_2} + Z \quad (3)$$

Ainsi les mortalités estimées incluront un terme supplémentaire égal au Log du changement de q (disponibilité). Une variation de q montrerait, dans un tableau comme le précédent, un changement d'année en année dans la mortalité non lié avec des changements dans la pêche ou autres causes de mortalité.

Les données sur l'abondance des âges successifs dans les pêches faites à n'importe quel moment (par exemple dans une année) peuvent être utilisées de la même façon. Si l'on prend  $t_0$  comme âge auquel les poissons entrent dans la pêcherie alors que les nombres de deux classes annuelles successives sont  $N_0$  et  $N_0^1$ , leur abondance au moment de l'échantillonnage, quand leur âge est  $t+1$  et  $t$ , sera :



d'individus d'une classe annuelle à n'importe quel moment,  $t$ , après avoir été soumis à la mortalité pleine et entière :

$$N_t = N_0 e^{-Zt}$$

Où  $N_0$  est le nombre au temps  $t = 0$

$$\text{Log } N_t = \text{Log } N_0 - Zt$$

Si maintenant,  $\text{Log } N_t$  est représenté graphiquement en fonction de  $t$ , il donnera une droite (fig. 6) de pente  $-Z$ . Ce graphique peut être fait soit pour la prise par effort unité d'une seule classe annuelle à différents moments, auquel cas les déviations autres que la variance d'échantillonnage seront produites par des changements dans la disponibilité, soit pour les abondances de différentes classes annuelles au même moment, la "courbe de prise" bien connue. Les déviations seront provoquées dans le second cas par des inégalités dans l'abondance originelle de la classe d'âge, mais la valeur de la disponibilité durant l'année d'échantillonnage n'altérera que la position de la courbe, non sa pente ou la dispersion des points. Cette méthode graphique peut aussi - et même plus facilement - être utilisée en inscrivant graphiquement  $N_t$  en fonction de  $t$  sur du papier semi-logarithmique. Cela donnera une droite à partir de laquelle la mortalité est estimée au mieux de la façon suivante : noter un endroit où la ligne a une valeur commode, 100 par exemple, trouver la valeur sur la ligne exactement un an plus tard (admettons que ce soit 65). Alors la fraction survivante après un an sera  $65\% = e^{-Z}$  d'où  $Z$  peut être connu immédiatement à l'aide de tables adéquates.

Toutes les méthodes ci-dessus quand elles sont appliquées à la composition en âge des prises sont sujettes à des erreurs systématiques lorsque les poissons d'âge différent ne sont pas également vulnérables à l'engin utilisé.

Si les vulnérabilités aux âges successifs,  $t$ ,  $t+1$  sont  $t^q$  ( $t+1$ )<sup>q</sup> de sorte que les prises ou les prises par effort unité soient données par :

$$n_t = t^q \cdot N_t$$

$$n_{t+1} = (t+1)^q \cdot N_{t+1}$$

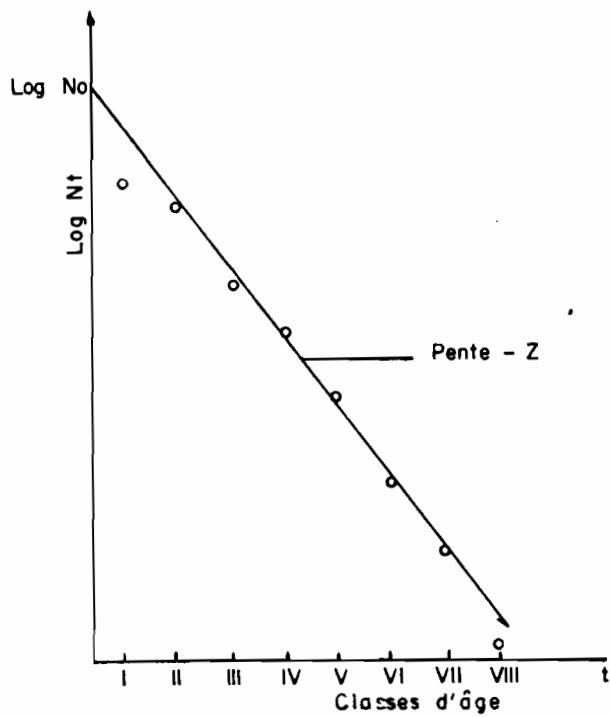


Fig. 6 - Représentation graphique de Z

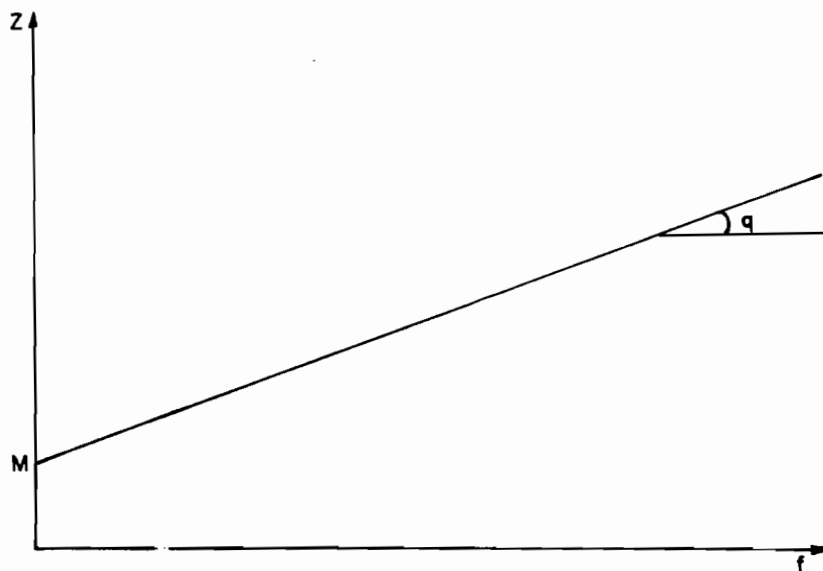


Fig. 7 - Représentation graphique de la Mortalité totale

$$Z = q f + M$$

$$\text{Log } \frac{n_t}{n_{t+1}} = \text{Log } \frac{t^q}{(t+1)^q} + \text{Log } \frac{N_t}{N_{t+1}} = \text{Log } \frac{t^q}{(t+1)^q} + Z$$

Dans la pratique ce type d'erreur est difficile à détecter bien que l'éventualité de son existence ne puisse jamais être négligée. Du fait que l'existence de ces vulnérabilités différentes selon l'âge implique que la mortalité est différente à chaque âge, les formes des distributions apparente et vraie en fonction de l'âge peuvent être très compliquées. Parfois, par exemple quand la vulnérabilité décroissante est équilibrée par une mortalité croissante, la distribution en âge des prises peut être très comparable à celle que l'on a lorsque la mortalité est constante.

La mortalité totale peut également être estimée à partir de la population virtuelle. La population virtuelle d'une certaine classe annuelle, à son huitième anniversaire par exemple, est le nombre total de poissons de cette classe annuelle pris après leur huitième anniversaire.

La mortalité durant la neuvième année de vie est alors obtenue comme étant le logarithme du rapport des populations virtuelles à 9 et 8 ans. La méthode est probablement très utile pour les poissons à vie longue dont la pêche prend une très grande partie mais pour qui la disponibilité varie et est d'une mesure difficile (voir FRY 1957, BISHOP 1959).

Quand la composition en âge n'est pas connue, des estimations, parfois très bonnes, peuvent être obtenues à partir des mesures de longueur. Le nombre relatif de poissons dans deux groupes de taille différents dépendra du temps mis pour grandir d'une taille à l'autre, du taux de mortalité durant cette période et du temps mis pour grandir de la limite inférieure à la limite supérieure de taille de chaque classe, i.e. la proportion d'une classe annuelle que représente chaque groupe de taille. Ces facteurs admettent un cas particulièrement simple lorsqu'il y a une série de tailles pour lesquelles la croissance est linéaire ou approximativement telle. Alors, si l'abondance de chaque groupe

de taille est représentée graphiquement sur un papier semi-logarithmique, comme pour une "courbe de prise", le graphique devrait donner une ligne droite de pente proportionnelle au coefficient total de mortalité. Mieux même si le taux de croissance est connu, la valeur vraie de la mortalité peut être déterminée.

La mortalité totale peut également mesurer de façon convenable par l'âge ou la longueur moyenne dans la population exploitée qui seront les mêmes que ceux des prises si la pêche n'est pas sélective. Si les âges et les longueurs des nouveaux venus dans la phase exploitée et les moyennes dans les prises sont  $t_1$ ,  $l_c$ ,  $\bar{t}$ ,  $\bar{l}$ , respectivement, les expressions pour  $Z$  peuvent être connues rapidement.

$$Z = \frac{1}{\bar{t} - t_c} \quad ; \quad Z = \frac{k (L_{\infty} - \bar{l})}{\bar{l} - l_c}$$

où  $K$ ,  $L_{\infty}$  sont les constantes de l'équation de Von BERTALANFFY.

On peut estimer le coefficient de mortalité totale <sup>(1)</sup> à partir de certaines propriétés des intégrales des compositions en âge relatives, dont un exemple simple est la moyenne d'âge des poissons. Pour éviter des facteurs compliqués, tels que la sélection due à la maille qui peut influencer la fréquence des âges les plus jeunes, l'âge moyen,  $\bar{t}$ , peut être calculé en partant des âges les plus jeunes,  $t_c$ , qui sont pleinement représentés dans les échantillons des prises. L'équation pour calculer  $Z$  est alors :

$$Z = \frac{1}{\bar{t} - t_c} \quad (1)$$

Dérivation de cette équation : les expressions pour les moyennes d'âge et de longueur des poissons dans la prise au dessus d'un âge  $t_c$  qui correspond à la longueur  $l_c$ , peuvent être dérivées en considérant une classe annuelle après son entrée dans cette phase de la population. Son nombre à un âge  $t \gg t_c$  est défini par :

$$N_t = N_0 \cdot e^{-Zt}$$

---

(1) D'après BEVERTON et HOLT (1956).



de façon que le nombre attrapé tout au long de la période de  $t = t_c$  à  $t = \infty$  soit :

$$Y_n = F \int_{t_c}^{\infty} N_t . dt$$

L'âge total de tous les poissons attrapés est :

$$F \int_{t_c}^{\infty} t . N_t . dt$$

donc l'âge moyen des poissons dans la prise totale de la classe annuelle entre les âges  $t_c$  et  $\infty$  est

$$\bar{t} = \frac{F \int_{t_c}^{\infty} t . N_t . dt}{F \int_{t_c}^{\infty} N_t . dt}$$

En remplaçant  $N_t$  par sa valeur et en intégrant nous avons

$$\bar{t} = t_c + \frac{1}{Z}$$

qui donne (1). Pour une population en état constant c'est aussi l'âge moyen des poissons au dessus de l'âge  $t_c$  dans la prise annuelle.

Cependant la composition en longueur peut être utile quand la composition en âge est difficile ou impossible à déterminer, pourvu que le taux de croissance puisse être obtenu par des méthodes telles que l'expérimentation, le marquage, ou la mesure du changement avec le temps de la position d'un mode dans la distribution en longueur d'une classe annuelle particulièrement forte (GRAHAM 1931, MOORE 1951). Pour un usage général il est exigé une représentation théorique pour un grand intervalle. Ceci est faisable grâce à l'équation de VON BERTALANFFY. Si  $l_c$  représente les plus petits poissons pleinement représentés dans les prises et  $\bar{l}$  la longueur moyenne (analogue à  $\bar{t}$ ) l'équation (1) devient :

$$Z = \frac{K( L_{\infty} - \bar{l} )}{\bar{l} - l_c} \quad (2)$$

Dérivation : une expression de la longueur moyenne peut être dérivée de la même façon que pour l'âge. Nous obtenons :

$$\bar{l} = \frac{F \int_{t_c}^{\infty} N_t \cdot l_t \cdot dt}{F \int_{t_c}^{\infty} N_t \cdot dt}$$

Remplaçons  $l_t$  par sa valeur dans l'équation de VON BERTALANFFY

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

Remplaçons aussi  $N_t$  par sa valeur, en intégrant nous avons

$$\bar{l} = L_{\infty} \left\{ 1 - \frac{Z}{Z + K} \cdot e^{-K(t_c-t_0)} \right\}$$

Cependant de l'équation de croissance nous obtenons la longueur  $l_c$  à l'âge  $t_c$  :

$$l_c = L_{\infty} \left\{ 1 - e^{-K(t_c-t_0)} \right\}$$

d'où :

$$e^{-K(t_c-t_0)} = \frac{L_{\infty} - l_c}{L_{\infty}}$$

En substituant et en réarrangeant :

$$Z = \frac{K (L_{\infty} - \bar{l})}{\bar{l} - l_c}$$

#### 4.2. Mortalité par pêche

Il existe de nombreuses méthodes de détermination de la mortalité par pêche, aucune n'est entièrement satisfaisante, et en pratique, il est conseillé d'obtenir des estimations à partir d'autant de méthodes indépendantes que possible. Les principales méthodes sont mises en évidence ici, les plus directes étant traitées en premier.

##### 1) Recensement direct

Si le stock total est connu, la mortalité par pêche peut être calculée d'un coup à partir de la prise. Les chiffres totaux peuvent être obtenus au moyen d'un compte complet ou avec un échantillon, par exemple saumons remontant une rivière, baleines aperçues dans une aire connue ; habituellement, la seule méthode praticable pour les poissons

marins est le recensement des femelles adultes par comptage - au moyen d'une campagne appropriée d'étude du plancton - du nombre d'oeufs produits. Le nombre total est alors estimé d'après la proportion de femelles adultes dans les prises et leur fécondité.

## 2) Aire balayée

De la définition du coefficient instantané de mortalité il ressort que la mortalité par pêche, provoquée par une opération unique, que l'on peut considérer comme le fait de prendre une part infiniment petite du stock total, est égale à la fraction de la population qui est capturée. Si le stock est uniformément réparti, si l'engin capture effectivement tous les poissons à l'intérieur d'une certaine zone,  $a$ , et si l'aire totale habitée par le stock est égale à  $A$ , le coefficient de mortalité par pêche est alors égal à  $\frac{a}{A}$ . La mortalité causée par la pêcherie entière est alors  $\frac{a'}{A}$   $a'$  étant la surface couverte par l'ensemble des bateaux de la flotte tout entière.

Cette méthode est évidemment réduite aux engins pour lesquels l'aire couverte peut être estimée correctement : par exemple pour un trait de chalut l'aire couverte apparaîtra comme la distance entre les portes multipliée par la distance parcourue. Il y a des sources d'erreurs importantes agissant dans des sens différents. D'abord, du fait que certains des poissons, dans l'aire balayée par l'engin, peuvent s'échapper, la méthode peut surestimer la mortalité. Ensuite, comme il a été mentionné dans la section sur l'effort, la densité de poissons dans la zone pêchée sera plus grande que la densité moyenne, ceci amenant à une sous-estimation de la mortalité par pêche.

La méthode ne peut donc donner une estimation exacte de la mortalité par pêche mais peut parfois être utile pour donner une indication de son ordre de grandeur. En particulier elle est souvent utile pour montrer si la pêche est susceptible d'avoir un effet significatif. La méthode peut également être utilisée lorsque l'aire occupée par les poissons peut être déterminée par écho-sondage.

### 3) Marquage

Les expériences de marquage sont, bien entendu, une des meilleures méthodes connues d'appréciation de la mortalité par pêche. Si la population de poissons marqués est à tous points de vue identique au stock total, la mortalité par pêche est déterminée convenablement à partir du nombre de poissons marqués retournés, par exemple le nombre pris dans la première année complète après le marquage est donné par :

$$n = \frac{FN}{F+M} (1 - e^{-(F+M)})$$

dans laquelle N est le nombre de poissons marqués et libérés. Le coefficient de mortalité totale  $Z = F+M$  peut être déterminé à partir du nombre des retours, par exemple comme le logarithme népérien du rapport des nombres recapturés dans la seconde année à ceux recapturés dans la première année. Malheureusement, les conditions nécessaires à une vérification de la simple théorie sont rarement remplies dans la pêche maritime et l'utilisation des données de marquage requiert des méthodes plus élaborées. Celles-ci seront discutées dans la section suivante.

### 4) Changements dans la mortalité totale.

Tout changement dans le nombre des poissons capturés entraîne une variation dans la mortalité due à la pêche et donc aussi dans la mortalité totale. Si nous pouvons établir une relation entre cette dernière et l'effort de pêche, nous en déduirons la valeur du coefficient de mortalité due à la pêche.

$$\text{Nous savons déjà que } Z = F + M = qf + M \quad (6)$$

Si nous possédons deux paires de valeurs correspondantes de f (effort de pêche) et de Z (mortalité totale), il est aisé de déterminer q et M par un système de deux équations du premier degré à deux inconnues.

Pour un plus grand nombre de valeurs, en portant sur un graphique Z en fonction de f, nous obtenons en principe une ligne droite, de pente q et d'ordonnée à l'origine M, déterminées par les méthodes habituelles d'obtention des droites de régression (fig. 7).

Reprenons l'équation (6) en employant des symboles plus courants en mathématiques :

$$y = a + bx$$

où :  $y = Z$  = coefficient de mortalité totale

$x = f$  = effort de pêche

$\bar{x}$  et  $\bar{y}$  représentent les valeurs moyennes de  $x$  et  $y$ .

La technique des carrés moyens nous permet de calculer  $b$  et  $a$  :

$$b = q = \frac{\sum (x-\bar{x}) (y-\bar{y})}{\sum (x-\bar{x})^2} \quad (7)$$

$$a = M = \bar{y} - b\bar{x} \quad (8)$$

$b$  est-il significativement différent de zéro, l'effort de pêche a-t-il un effet mesurable ? Le test utilisé est le même que celui qui donne une signification au coefficient de corrélation  $r$ . Pour un nombre de degrés de liberté égal au nombre de paires d'observation moins deux, on trouve les valeurs critiques dans la plupart des tables de statistique. L'équation suivante donne la valeur de  $r$  :

$$r = \frac{\sum (x-\bar{x}) (y-\bar{y})}{\sqrt{\sum (x-\bar{x})^2 \sum (y-\bar{y})^2}} \quad (9)$$

Savoir si  $q$  ou  $F$  est significativement différent de zéro n'est peut-être pas le plus utile, puisqu'en pratique  $F$  doit avoir une valeur différente de zéro, si minime soit-elle. Il est mieux d'établir des limites de confiance à l'intérieur desquelles  $F$  a de fortes chances de se trouver.

Soit  $S^2$  la variance de  $y$  par rapport à la droite de régression :

$$(n-2) S^2 = \sum (y-\bar{y})^2 - b \sum (x-\bar{x}) (y-\bar{y}) \quad (10)$$

$n$  étant le nombre de paires d'observations.

$$\text{Variance de } M : S_M^2 = S^2 \left( \frac{1}{n} + \frac{x-\bar{x}}{\sum (x-\bar{x})^2} \right)$$

$$\text{Variance de } q : S_q^2 = S^2 \left( \frac{1}{\sum (x-\bar{x})^2} \right)$$

Au seuil 5 %, les limites de confiance pour  $M$  et  $q$  sont donc :

$$a \pm 2 S_M \quad \text{et} \quad b \pm 2 S_q$$

On simplifie les calculs en utilisant dans les équations ci-dessus les expressions simplifiées suivantes :

$$\sum(x-\bar{x})^2 = \sum x^2 - n\bar{x}^2 = \sum x^2 - \bar{x}\sum x = \sum x^2 - 1/n (\sum x)^2$$

$$\sum(y-\bar{y})^2 = \sum y^2 - n\bar{y}^2 = \sum y^2 - \bar{y}\sum y = \sum y^2 - 1/n (\sum y)^2$$

$$\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y}) = \sum xy - n\bar{x}\bar{y} = \sum xy - \bar{x}\sum y = \sum xy - 1/n \sum x \sum y$$

Si, dans nos régressions nous avons des coefficients de mortalité totale estimés à partir d'indices d'abondance à des temps donnés, i.e. à partir de l'équation (1), nous pouvons les relier directement aux efforts de pêche. Ainsi, nous rapportons la mortalité entre le 1er janvier 1961 et le premier janvier 1962 à l'effort total en 1961.

Plus généralement, nous possédons des indices d'abondance moyens, par exemple les moyennes des captures par unité d'effort en 1961 et 1962 ; on utilisera au mieux les données en liant la mortalité obtenue par l'équation (2) i.e.  $\text{Log } \bar{N}_1/\bar{N}_0$  à la moyenne de l'effort de pêche durant ces deux années. Ainsi, sur notre graphique, nous inscrirons  $\text{Log } \bar{N}_1/\bar{N}_0$  en fonction de l'effort de pêche moyen en 1961 et 1962. A côté des variations annuelles ou saisonnières de l'effort de pêche, on peut s'intéresser également aux changements d'effort qui ont lieu avec l'âge du poisson, si l'engin utilisé est sélectif; les indices de densité de chaque groupe d'âge peuvent alors être obtenus ex. par les échantillonnages d'un navire de recherche.

Si les estimations de mortalité varient beaucoup d'une année à l'autre, par suite d'erreurs d'échantillonnage ou autres causes plutôt qu'en raison d'un changement réel dans la mortalité, on peut utiliser un coefficient de mortalité moyen en suivant l'évolution d'une seule classe d'âge durant sa vie dans sa phase exploitée. Si nous inscrivons son indice de densité sur une échelle logarithmique, nous devons obtenir une droite de pente égale au coefficient de mortalité, lequel peut être inscrit alors en fonction de l'effort de pêche durant la période correspondante. Toutefois nous perdons ainsi des informations intéressantes sur l'effet des changements annuels dans l'effort de pêche.

Notons aussi que les données pour les classes d'âge successives étant recueillies le plus souvent en même temps, les mêmes années, les points obtenus ne sont pas tout à fait indépendants ; on ne peut donc pas appliquer les tests de signification et rechercher les limites de confiance comme il est dit ci-dessus.

---

#### 4.3. Mortalité naturelle et allure de la croissance.

L'aspect de la croissance peut donner une idée de la mortalité naturelle. Un poisson qui approche rapidement de sa longueur maximum (K élevé), a également un coefficient de mortalité naturelle élevé, et inversement. La relation entre M et K diffère d'un groupe de poissons à l'autre, et par exemple pour les Clupéidés,  $M = 1,5 K$  ; pour les Gadidés,  $M = 2,5 K$ . Ce n'est pas là une méthode précise d'estimation de M, mais elle peut être souvent très utile quand on commence à étudier une pêcherie, pour juger ce qui, de M ou de F domine dans la mortalité totale.

---

### 5. MARQUAGE

Le marquage peut servir à l'étude de la croissance, des mouvements et des migrations des poissons. Cependant, le présent chapitre est uniquement consacré à l'utilisation du marquage en vue de la détermination du taux de mortalité et de la taille de la population. La supposition la plus simple qu'on puisse émettre est que les poissons marqués sont soumis aux mêmes taux de capture et de mortalité que les populations naturelles non marquées ; ces taux peuvent être calculés séparément, étant donné que l'effectif initial est bien connu dans la population marquée, à l'inverse de la population naturelle.

C'est-à-dire que, si  $N_0$  poissons sont marqués, le nombre  $N_t$  en vie après un certain temps est donné par :

$$N_t = N_0 e^{-(F+M)t} \quad (1)$$

et, si les recaptures sont groupées dans un intervalle de temps de longueur  $t$ , le nombre  $n_r$  capturé pendant le  $r^{\text{ième}}$  intervalle, entre les instants  $rt$  et  $(r+1)t$ , est :

$$n_r = N_0 e^{-(F+M)rt} \frac{F}{F+M} (1 - e^{-(F+M)t}) \quad (2)$$

(le premier intervalle après le marquage est  $r = 0$ )

Le nombre capturé dans des intervalles de temps successifs peut par conséquent être utilisé, connaissant  $N_0$ , pour donner des estimations de  $F$  et de  $M$ . En particulier :

$$\log n_r = -(F+M) rt + \log \left[ \frac{F N_0}{F+M} (1 - e^{-(F+M)t}) \right] \quad (3)$$

de sorte que si on rapporte  $\log n_r$  à  $r$ , on obtient une droite, de pente  $-(F+M)t$ . En utilisant la valeur de  $(F+M)$ , on peut estimer  $F$  à partir des nombres de reprises dans un intervalle quelconque, en utilisant l'équation (2), ou à partir de l'intersection avec l'axe des  $y$  ; celle-ci, en utilisant l'équation (3) est donnée par

$$\log \frac{F N_0}{F+M} (1 - e^{-(F+M)t})$$

Inversement, le nombre total de reprises jusqu'au temps  $T$  est :

$$\frac{F N_0}{F+M} (1 - e^{-(F+M) T})$$

à partir de cette expression, en remplaçant  $(F+M)$ , on obtient une estimation directe de  $F$ . Quand  $T$  est très grand, cette expression se réduit à  $\frac{F N_0}{F+M}$ .

Malheureusement, les suppositions faites dans cet exemple simple ne se vérifient pas souvent. Les types d'erreurs qui peuvent apparaître peuvent se classer en plusieurs catégories, selon leurs effets sur les différentes estimations :

- 1. Erreurs affectant l'estimation du taux de pêche  $F$ , mais non l'estimation de la mortalité totale (type A de RICKERS, type I de BEVERTON & HOLT)
  - a) mort du poisson juste après le marquage
  - b) connaissance incomplète des recaptures par les pêcheurs (en supposant constante la proportion des recaptures non déclarées).



- 2. Erreurs affectant l'estimation de la mortalité totale, mais non celle de la pêche (type B de RICKERS, type 2 de BEVERTON & HOLT).
  - c) perte des marques ; cette perte se produit selon un taux instantané régulier tout au long de l'expérience.
  - d) mortalité supplémentaire des poissons marqués ; cette mortalité intervenant elle aussi selon un taux constant.
  - e) migration des poissons marqués.
- 3. Erreurs affectant à la fois les estimations de la pêche et de la mortalité totale.
  - f) les poissons marqués et non marqués ont une vulnérabilité différente à la pêche. Exemple : la plus grande aptitude à la capture des poissons marqués par le disque de PETERSEN.
  - g) les poissons marqués ne se mêlent pas intimement aux non marqués.

Les erreurs du type 1 conduisent à une sous-estimation de la vraie mortalité due à la pêche; cette sous-estimation peut être malgré tout souvent utile. Ces erreurs peuvent souvent être décelées et mesurées par des observations adéquates. Ainsi, dans des conditions convenables, des poissons marqués peuvent être gardés dans des viviers ou des cages et leur mortalité directement observée pour la période qui suit le marquage. Moins directement, on peut comparer les pourcentages de reprise des poissons qui, au moment du marquage, étaient dans des états variables : vifs ou non, abîmés ou apparemment intacts, etc.. ou capturés par différentes méthodes. S'il y a quelque mortalité due au traumatisme de la capture et du marquage, elle sera probablement moins forte pour des poissons vivaces, et plus forte pour des poissons endommagés (la perte d'écaillés paraît souvent être particulièrement critique).

La non-déclaration des reprises peut souvent être mise en évidence en comparant le nombre de marques retournées par unité de quantité de poisson capturée par plusieurs groupes de bateaux pêchant dans l'aire de pêche -- bateaux individuels, différents pays etc...

On peut mesurer directement ce facteur en introduisant un nombre connu de poissons marqués dans les prises ; ceci est une technique couramment utilisée pour des méthodes mécaniques de reprise (ex. : aimants dans les usines de conserve de poisson), mais qui peut être utilisée, surtout avec l'aide de quelques pêcheurs, pour l'évaluation des reprises de marques par les pêcheurs en bateau ou à pied.

Les pertes du type 2 peuvent être considérées comme une cause supplémentaire de mortalité, de sorte que l'équation (1) peut s'écrire :

$$N_t = N_0 e^{-(F+X)t} \quad (4)$$

où X inclut toutes les causes de réduction des poissons marqués autres que la pêche : la perte des marques et les migrations aussi bien que la mortalité naturelle. L'équation (4) et la forme correspondante de l'équation (2) :

$$N_t = N_0 e^{-(F+X)t} \frac{F}{F+X} (1 - e^{-(F+X)t}) \quad (5)$$

sont les formules courantes pour l'analyse des résultats de marquage, de sorte, qu'en fait, seule la mortalité due à la pêche de la population naturelle sera estimée par le marquage. La mortalité naturelle s'obtiendra par soustraction de la mortalité totale Z, estimée par la composition en âge etc...

Quelques appréciations quantitatives des pertes du type 2 sont parfois possibles ; par exemple, les pertes de marques (mais non la mortalité des poissons marqués) peuvent être évaluées en attachant deux marques à chaque poisson, puis en notant la proportion des poissons repris avec les deux marques, avec une marque, et le changement de ces proportions avec le temps.

La vulnérabilité différentielle à la pêche des poissons marqués peut habituellement être éliminée par des méthodes adéquates de marquage. Les poissons portant des marques en bouton sont probablement particulièrement vulnérables lorsqu'ils sont pêchés avec certains types d'engins - par exemple les filets droits - ; il faudrait, si possible,

éviter l'emploi de telles marques quand on utilise ce genre d'engins ; si l'on est obligé de les utiliser, ou s'il faut obtenir des données comparables avec des données anciennes, on peut estimer le montant de la mortalité par pêche supplémentaire en comparant les taux de reprise des poissons avec différents engins.

La distribution non uniforme des poissons marqués constitue probablement un des problèmes les plus difficiles. Si le mélange est relativement rapide, les reprises initiales peuvent être omises dans les calculs, pendant la période, de 0 à  $t'$ , où les poissons marqués se mélangent aux non marqués. L'analyse se fait alors à partir du temps  $t'$ , avec un nombre initial réduit de marques, en utilisant l'équation (1) sous la forme :

$$N_t = N'_0 e^{-(F+X)(t-t')} \quad (6)$$

On estime  $N'_0$  à partir du nombre de poissons marqués, en soustrayant le nombre de reprises dans la période initiale de mélange et le nombre estimé perdu pour toutes les autres causes,  $X$ . Cette dernière évaluation devra être faite à partir de l'analyse des dernières données. Cependant, dans beaucoup de cas, presque toutes les reprises se font avant que les populations marquées et non marquées soient même à peu près mêlées.

Ce mélange peut être efficacement accéléré par une procédure adéquate de marquage. Le but recherché est d'obtenir, dans toute la population, le même taux de poissons marqués et non marqués. Cela pourrait, par exemple, se faire en exécutant un quadrillage de stations de chalutage assez large couvrant toute la surface étudiée et en marquant tous (ou une proportion constante) les poissons capturés à chaque station. Ceci est possible sur une petite surface, mais n'est pas facile à réaliser, par exemple, sur l'ensemble de la Mer du Nord.

Dans le cas d'une région étendue, comme la Mer du Nord, il est en général nécessaire d'utiliser des données sur la distribution détaillée de l'effort de pêche. D'après ces données, on peut mettre en relation

le taux de reprise des poissons marqués avec l'intensité de la pêche dans l'aire de marquage, et obtenir ainsi une évaluation du coefficient  $q$  dans  $F = q f$ . Celui-ci peut ensuite s'appliquer à l'intensité de pêche de l'ensemble de la population, pour donner la mortalité des poissons de cette population globale.

Considérons une petite aire autour du point de marquage, dans laquelle le mélange des populations marquées et non marquées se produit rapidement. Pour un certain intervalle de temps  $i$ , soient :

- $\bar{N}_i$  : nombre moyen de poissons marqués présents.
- $f_i$  : intensité de pêche (effort par unité de surface)
- $n_i$  : nombre de poissons marqués repris

On a :

$$\frac{n_i}{f_i} = q \bar{N}_i \quad (7)$$

Si on rapporte au temps  $\frac{n_i}{f_i}$  (marques reprises par unité d'intensité de pêche), et si on ajuste une courbe aux points obtenus, l'intersection de cette courbe et de l'axe des  $y$  sera  $qN_0$  ( $N_0$  : nombre relâché). On peut en tirer une estimation de  $q$  et donner la mortalité par pêche de la population considérée en bloc par la relation :

$$F = q \tilde{f}$$

où  $\tilde{f}$  est l'intensité de pêche totale effective sur la population calculée par des statistiques d'effort détaillées.

Bien que l'intensité de la pêche à l'intérieur de la petite aire choisie autour du point de lâcher ait peu de chances d'être constante, et que le mouvement des poissons en dehors de cette zone ait peu de chances d'être clairement défini par un coefficient exponentiel constant  $-E-$ , le nombre  $N_t$  de poissons marqués dans une aire après le temps  $t$  sera, en première approximation, donné par :

$$N_t = N_0 e^{-(F+X+E) t}$$

où F est la mortalité par pêche qui sévit dans la zone entourant le point de lâcher et non pas nécessairement celle de la population globale. Si le i<sup>ème</sup> intervalle dure un temps t, et s'étend du temps (i-1/2)t à (i+ 1/2)t :

$$\bar{N}_i = N_0 e^{-(F+X+E)(i-\frac{1}{2})t} \left\{ 1 - e^{-(F+X+E)t} \right\} \frac{1}{(F+X+E)t}$$

ou 
$$\bar{N}_i = N_0 e^{-(F+X+E)it} \left[ \frac{e^{\frac{1}{2}(F+X+E)t} - e^{-\frac{1}{2}(F+X+E)t}}{(F+X+E)t} \right] \quad (8)$$

Donc tant que (F+X+E) est petit, c'est-à-dire tant que les nombres ne changent pas beaucoup pendant un intervalle donné, on a à peu près :

$$\bar{N}_i = N_0 e^{-(F+X+E)it} \quad (8')$$

Et le rapport de  $\frac{n_i}{F_i}$  en fonction du temps serait une droite si on le portait sur une échelle logarithmique. On notera que l'équation (8), et plus particulièrement sa forme approchée (8') peut se substituer avantageusement à l'équation (3), sous sa forme :

$$\log n_r = -(F+M)(r + \frac{1}{2})t + \log F N_0 t + \log \frac{e^{\frac{1}{2}(F+M)t} - e^{-\frac{1}{2}(F+M)t}}{(F+M)t} \quad (9)$$

Dans cette formule, on peut, de la même façon que précédemment, négliger le dernier terme si les variations des nombres sont petites dans l'intervalle.

L'équation (7) peut être généralisée pour inclure des données provenant d'une surface plus vaste qu'une petite zone autour du point de lâcher. En annotant les valeurs pour des aires particulières par des préfixes adéquats, on a :

$$\bar{N} = \sum j \bar{N}_i$$

$\bar{N}_i$  = total des poissons marqués dans les zones étudiées  
 $j \bar{N}_i$  = total des poissons marqués dans la j<sup>ème</sup> zone  
 $q \bar{N}_i = \frac{j n_i}{j f_i}$

On en tire :

$$\sum \frac{jn_i}{jf_i} = q \sum j\bar{N}_i = q \bar{N}_i \quad (10)$$

Si bien qu'on peut mener l'analyse comme ci-dessus, en utilisant la somme des marques reprises par unité d'intensité de pêche dans chaque petite zone. On ne peut effectuer l'analyse que quand on dispose d'un nombre suffisant de données sur les efforts de pêche ; si les marques sont reprises par une flottille hétérogène, certaines des unités fournissant des données d'effort valables, et d'autres des données non valables, seules devront être utilisées dans toutes les analyses les données provenant de la ou des unités fournissant des renseignements complets. Les poissons marqués repris par les autres unités sont à considérer comme des pertes supplémentaires. Ces données venant des autres unités ne sont prises en considération qu'à la fin, pour estimer la mortalité par pêche sur la population dans son ensemble.

## 6. RECRUTEMENT ET SELECTION

Le recrutement est le processus dans lequel le jeune poisson entre dans la phase exploitable et devient exposé aux engins de pêche. Ceci peut inclure un mouvement véritable, comme les plies de la Mer du Nord qui se déplacent quand elles sont relativement âgées (vers 3-4 ans) de l'aire d'élevage côtière et peu profonde aux principales zones de pêche. Le recrutement ne peut impliquer qu'un changement d'habitudes, tel que chez l'églefin où les jeunes et les vieux occupent les mêmes aires, mais les très jeunes poissons sont pélagiques et ne sont recrutés dans la phase exploitable que lorsqu'ils prennent un habitat démersal pendant l'automne de leur première année de vie. Mathématiquement la **quantité** importante est :

$t_r$  , âge moyen au recrutement.

La sélectivité réelle d'un engin est définie par le sens dans lequel le rapport de sa prise à la densité réelle de poissons dans le voisinage immédiat de l'engin varie avec la taille des poissons. Cette

sélectivité réelle est très difficile à déterminer expérimentalement, mais pour les engins de type "sac" (c'est-à-dire chaluts, sennes, etc..) il est courant d'affirmer que la composition en tailles de la population de poissons qui entre dans le filet est représentative de celle de la population dans la proximité immédiate de l'engin. La sélectivité de tels engins devient donc une question de fuite à travers les mailles des poissons qui sont entrés dans le filet. Pour beaucoup d'espèces il est évident que la plupart des fuites ont lieu à travers la poche terminale. La sélectivité peut donc être déterminée directement si les nombres de chaque taille de poissons entrant dans le filet peuvent être estimés, soit en attachant une couverture à plus petites mailles par dessus la poche terminale ou autres parties, ou à partir de la composition en tailles des prises de filets à plus petites mailles, pêchées en même temps à la même place. Quelle que soit la méthode employée, les résultats peuvent être exprimés comme la proportion de poissons de chaque longueur entrant dans le filet au nombre retenu par la poche terminale. Quand ces proportions sont inscrites en fonction de la longueur, la courbe de sélection du filet pour l'espèce considérée est obtenue. Un exemple typique est montré dans la figure 8 (ogive de sélection). Une courbe de sélection peut s'étaler sur un intervalle de longueur des poissons de peut-être 10 cms ou plus, ce qui signifie que les jeunes poissons commençant à croître dans l'intervalle de sélection subissent une faible mortalité due à la pêche. Lorsqu'ils deviennent plus grands, leur chance d'échapper au filet (après entrée) devient moindre, jusqu'à ce qu'ils deviennent trop grands pour s'échapper. Alors seulement ils sont exposés au taux de mortalité entier quel qu'il puisse être. Bien qu'il soit possible d'introduire ce changement progressif du coefficient de mortalité de pêche dans l'espace de sélection dans les évaluations de rendement, il est généralement suffisant de calculer la longueur de sélection moyenne  $l_c$  et de la convertir en âge.

- la quantité importante est donc  $t_c$  : âge de sélection moyen = âge moyen d'entrée dans la prise ou âge moyen à la première capture.

Dans la figure 8 la longueur moyenne de sélection  $l_c$  est la longueur qui donne les deux surfaces ombrées A et A' égales. Si la courbe de sélection est symétrique ou presque, ce sera la longueur au point médian de la courbe, c'est-à-dire les 50 % de longueur, à laquelle la moitié des poissons entrant dans le filet s'échappent et l'autre moitié est retenue. Si la courbe n'est pas symétrique,  $l_c$  peut être calculée en égalant les aires entre la courbe de sélection, la ligne  $l = l_c$  et l'axe des  $y$ . Supposons que l'échelle des longueurs est divisée en petits intervalles  $l_0, l_1, \text{etc.}$  de 1 cm, et les ordonnées correspondantes sont :  $y_0, y_1 \dots$ , alors la surface correspondant à la partie gauche de la courbe entre  $l_i$  et  $l_{i+1}$  sera approximativement égale au rectangle de hauteur  $y_{i+1} - y_i$  et de longueur  $1/2(l_i + l_{i+1})$ . L'aire totale de la partie gauche de la courbe est donc :

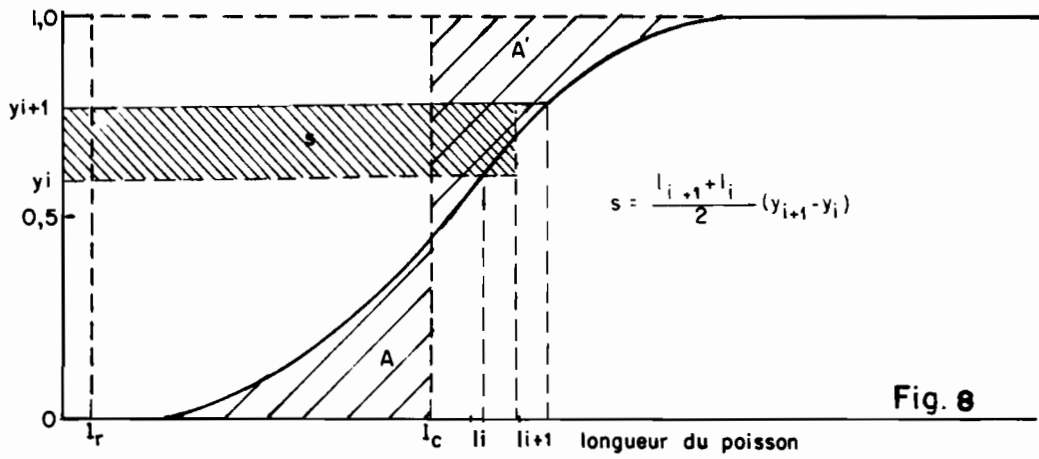
$$\sum 1/2(l_i + l_{i+1})(y_{i+1} - y_i) \quad (1)$$

qui comme la hauteur totale de la courbe est 1 sera égale à  $l_c$ .

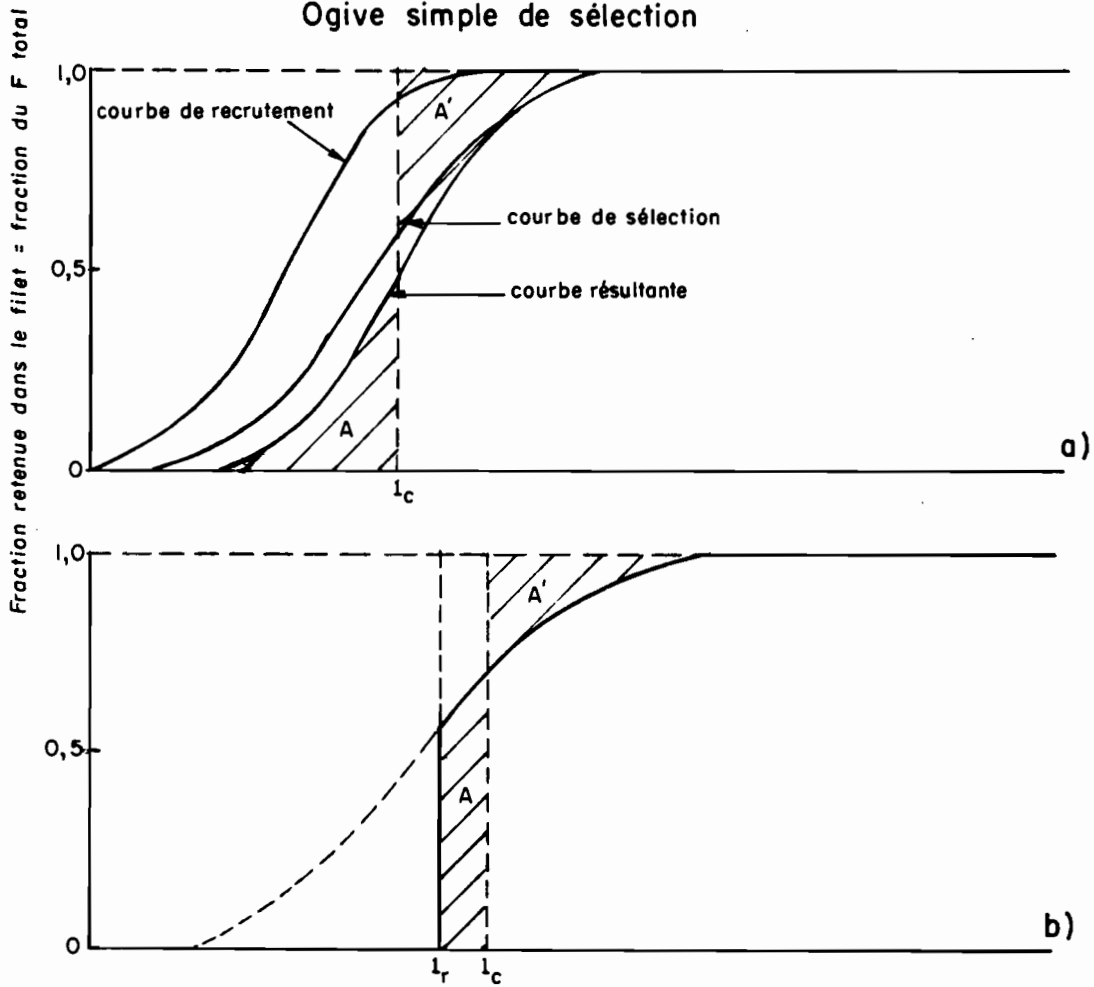
Le recrutement est de par sa nature bien moins facile à exprimer en termes quantitatifs que la sélection due à la maille. Comme le principal intérêt est dans l'effet combiné du recrutement et de la sélection, c'est-à-dire le modèle d'entrée dans la prise, le modèle de recrutement est très important quand il est au dessus ou chevauche la zone de sélection de l'engin, mais ne compte pas quand il est complètement avant le début de la sélection par l'engin.

- Donc, si tous les poissons ont été recrutés à une taille au dessous de la zone de sélection d'une taille de maille convenable, le modèle de recrutement peut être ignoré et il peut être pris arbitrairement à n'importe quelle longueur ou âge commodes, en dessous de la zone de sélection. Quand c'est important, la forme générale de la courbe de recrutement peut être déterminée par une connaissance appropriée de la biologie des espèces et estimée avec une précision plus grande par des observations des jeunes poissons avec des bateaux de recherche, à la fois dans et hors des principaux lieux de pêche. Faute de ceci une





Ogive simple de sélection



**Fig.9 -Combinaison d'une courbe de sélection et du recrutement**

- a) : recrutement sur une série de longueurs
- b) : recrutement en arête de couteau

estimation peut être obtenue en comparant la composition en tailles des prises réelles des bateaux commerciaux avec la sélectivité connue de l'engin en service. Normalement le recrutement aura lieu sur des séries de tailles et pourra être décrit par le même type de courbe que la courbe de sélection de la figure 8.

- Si la sélection et le recrutement ont lieu dans la même zone, comme dans la figure 9a, alors la sélection effective, c'est-à-dire la proportion  $P_1$  des poissons du stock d'une taille donnée qui sont exposés à la mortalité de pêche complète sera donnée par l'équation :

$$P_1 = r_1 \times S_1 \quad (2)$$

où -  $r_1$  = proportion recrutée, c'est-à-dire ordonnée de la courbe de recrutement.

-  $S_1$  = proportion des poissons entrant dans le filet qui sont retenus, c'est-à-dire l'ordonnée de la courbe de sélection.

Ainsi la courbe de sélection résultante qui exprime l'entrée effective des poissons dans la prise est obtenue comme le produit des courbes de sélection et de recrutement et à partir d'elle la longueur moyenne de sélection résultante peut être déterminée comme avant en égalant les deux surfaces A et A'. Quelquefois, comme dans le cas où les recrues migrent à l'intérieur d'une aire de pêche, le recrutement en terme de longueur peut être tout à fait prononcé, approchant dans le cas extrême une sélection en forme de lame de couteau à la longueur seuil  $l_r$  comme dans la figure 9b. Les poissons en dessous de la longueur limite  $l_r$  ne subissent aucune mortalité due à la pêche puisqu'ils sont en dehors du rayon d'action de l'engin de pêche, mais en atteignant la longueur  $l_r$  ils sont aussitôt exposés pour plus de la moitié de la mortalité due à la pêche (comme le montre la figure 9b). La courbe de sélection résultante part donc dans ce cas de la longueur  $l_r$  et s'élève verticalement jusqu'à la courbe de sélection de l'engin. Ensuite elle est identique à la courbe de sélection elle-même. Là aussi, cependant, la longueur moyenne de sélection  $l_o$  peut être calculée à partir de cette

Fraction retenue dans le  
filet = fraction du F total

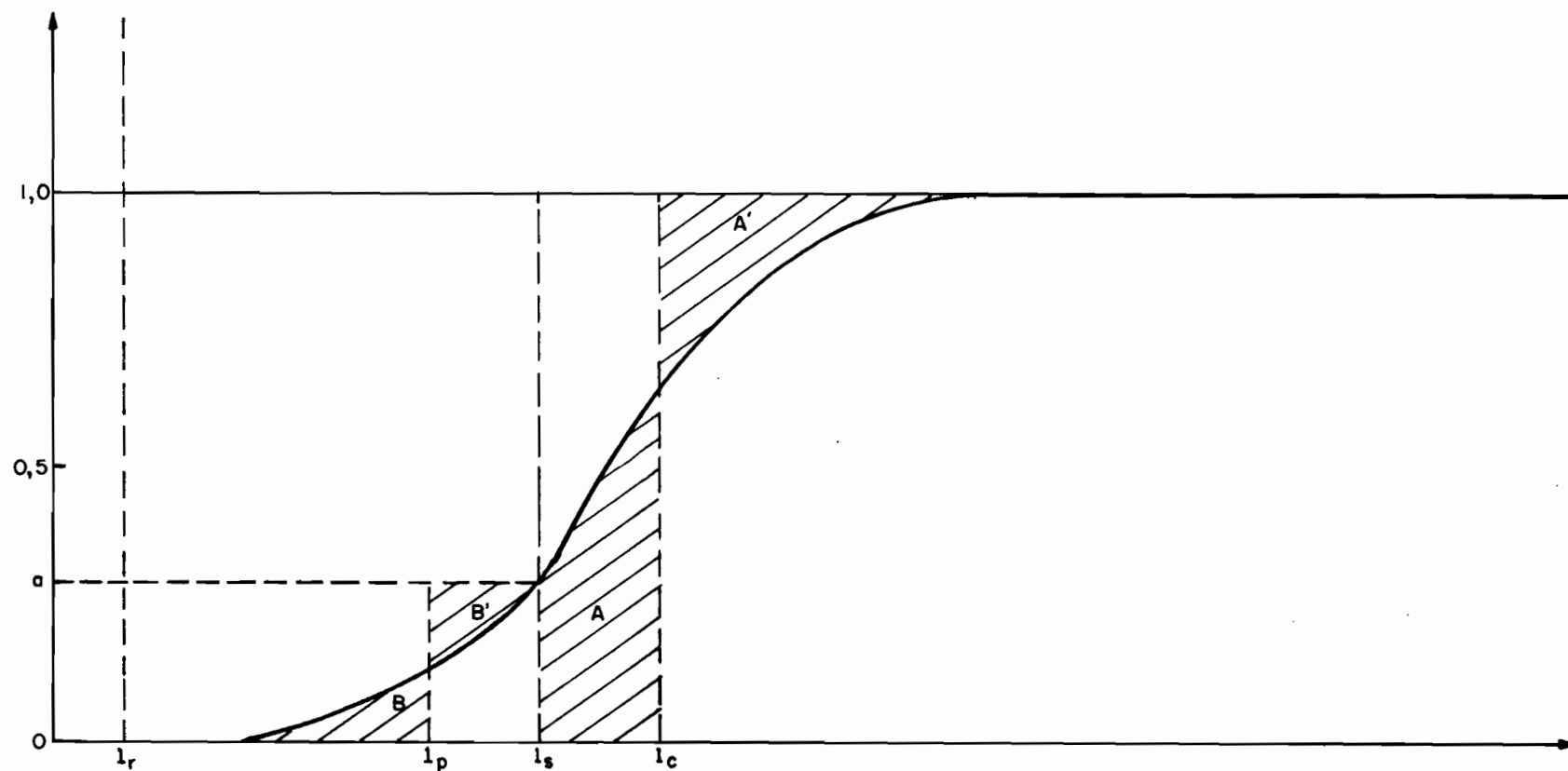


Fig. 10 - Effet de la taille limite ( $l_p$ ) sur la courbe de sélection effective.

courbe résultante au moyen de l'équation (1). Dans ce cas  $l_c$  est telle que les deux aires A et A' de la figure 9b sont égales.

Limites de taille. Si un minimum légal de taille, soit  $l_s$ , est situé à l'intérieur ou au dessus de la zone de sélection de l'engin employé, l'entrée dans la prise débarquée peut être représentée par une courbe qui débute à  $l_s$  et s'élève verticalement jusqu'à ce que la courbe de sélection réelle soit atteinte (voir fig. 10). La longueur de sélection moyenne  $l_c$  est calculée au moyen de l'équation (1) et est telle qu'elle égalise les aires A et A' de la figure 10. Les poissons trop petits seront pris aussi et puisqu'ils ne peuvent pas être débarqués ils doivent être rejetés à la mer. L'effet de cette capture et rejet sur le rendement du stock dépend de la quantité de poissons rejetés qui survivent. Si tous survivent la situation est la même que si la courbe de recrutement à la prise débarquée était la courbe de sélection réelle.

Si, d'un autre côté, certains ou tous les poissons rejetés meurent, chaque classe annuelle est sujette à une certaine mortalité de pêche avant qu'elle atteigne la longueur  $l_s$  ainsi qu'il est représenté dans la partie la plus basse de la courbe de la figure 10. Le coefficient résultant de mortalité due à la pêche qui tient compte de la capture et du rejet des poissons trop petits est obtenu en calculant la moyenne de cette partie de la courbe de sélection au dessous de la taille limite au moyen de l'équation (1). Appelons cette longueur  $l_p$ , elle est telle qu'elle égalise les aires B et B' de la figure 11. En d'autres termes, il est supposé que les poissons ne sont pas attrapés du tout jusqu'à la longueur  $l_p$  et sont alors soumis à la fraction a du taux total de mortalité due à la pêche jusqu'à ce qu'ils atteignent la taille  $l_s$  (a est l'ordonnée à la longueur  $l_s$ , voir fig. 10). Si la croissance de la longueur  $l_p$  à la longueur  $l_s$  occupe une période  $t_s - t_p$  (voir ci-dessous) et la fraction q de rejetés meurt, alors la classe annuelle est réduite du facteur.

$$e^{-qaF(t_s - t_p)} \quad (3)$$

qui est le résultat de la capture et du rejet des poissons trop petits avant qu'ils entrent dans la zone de taille commerciale. Dans cette expression  $F$  est le coefficient de mortalité totale auquel les poissons sont exposés quand ils ont atteint une taille au dessus de la zone de sélection de l'engin.

Conversion de la longueur en âge. Bien que la croissance soit généralement saisonnière, la courbe de croissance est en général adaptée aux représentations annuelles moyennes. Si le modèle saisonnier est très marqué et tous les poissons d'un âge particulier ont presque la même longueur, l'âge auquel un poisson atteint une longueur donnée peut dépendre d'une façon critique de ce que cette longueur est atteinte près du début ou de la fin de la période de croissance rapide. Si c'est le cas, la conversion de longueur en âge est mieux faite empiriquement au moyen de la courbe âge-longueur observée. Généralement, cependant, il est suffisant de relier la longueur à l'âge à partir d'une équation de croissance adaptée à toutes les données observées longueur-âge, par exemple l'équation de Von BERTALANFFY :

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

Pour obtenir  $t$  en termes de longueur nous divisons des deux côtés par  $L_{\infty}$  et nous soustrayons l'unité, ce qui donne :

$$\frac{L_{\infty} - l_t}{L_{\infty}} = e^{-K(t-t_0)}$$

Prenons les logarithmes neperiens des deux côtés, soit :

$$\text{Log} \frac{L_{\infty} - l_t}{L_{\infty}} = -K (t-t_0)$$

donc : 
$$t = \frac{1}{K} \text{Log} \frac{L_{\infty}}{L_{\infty} - l_t} + t_0 \quad (4)$$

La durée  $t_2 - t_1$  entre les longueurs  $l_1, l_2$  est donc :

$$t_2 - t_1 = \frac{1}{K} \text{Log} \frac{(L_{\infty} - l_1)}{(L_{\infty} - l_2)} \quad (5)$$

---

## II - EVALUATIONS SPECIALES

=====

### 7. STOCK UNITE

Avant de pouvoir appliquer la théorie des populations à une situation particulière, il est nécessaire de déterminer dans quelle mesure la population de poissons et la pêche basée sur elle peuvent être traitées comme un tout. Il n'y a pas de définition simple, objective, de ce qui constitue un stock unité ou une pêche unité et la définition peut être faite purement sur des bases pratiques. Un groupe de poissons peut être traité comme un stock unité si le résultat des estimations et des autres études de population dans lesquelles il est traité comme un stock unité ne s'écartent pas significativement de la situation réelle. Ceci signifie d'une part que les événements extérieurs au stock unité, par exemple la pêche en d'autres lieux, n'ont pas d'effet significatif et d'autre part qu'il n'y a pas de sous-groupes à l'intérieur du stock unité avec des caractéristiques de population significativement différentes.

Un corollaire de cette définition est que, en même temps que la précision des études de population s'accroît, le choix de stocks unités peut aussi avoir à être changé. Un groupe de poissons peut avoir des caractéristiques suffisamment uniformes pour être traité comme un stock unique, tant que ces caractéristiques ne sont connues qu'approximativement mais peut devoir être traité comme deux stocks unités ou plus, peut-être avec un certain taux de mélange, chacun avec des caractéristiques différentes du fait que la précision de mesure de ces caractéristiques devient plus grande.

Un stock unité, tel qu'il est utilisé ici ne correspond pas nécessairement à une entité biologique ou génétique. Ainsi lorsque deux espèces dans une aire donnée, ont les mêmes types de croissance et de taux de mortalité et sont pêchées sur les mêmes lieux avec les mêmes engins, il peut alors être permis, au moins dans les premiers stades

d'analyse quand les données sont peu abondantes, de les traiter comme un seul stock unité. Inversement, les plies mâles et femelles en Mer du Nord diffèrent tellement par leur croissance et par leurs taux de mortalités, naturelle et due à la pêche, que pour des analyses détaillées elles devraient être traitées comme des stocks différents, i.e. les courbes de production etc.. devraient être calculées pour les populations mâle et femelle, de façon séparée, et les résultats pour la population entière des plies comme un tout obtenu par addition.

Tandis que la plus grande partie de ce cours est consacrée à la situation simple d'un stock unité, il est utile d'énumérer ici quelques unes des situations qui ne peuvent être traitées comme un stock ou une pêcherie unité.

1°) Des stocks distincts qui se mélangent durant une partie de l'année et sont pêchés à ce moment. Même si la séparation des poissons en stocks différents à la fin de la période de mélange est parfaite, la mortalité par pêche des deux stocks a un élément en commun et ni l'un ni l'autre ne peut être traité comme une unité ; à moins que la prise mélangée puisse être séparée en éléments de chacun des stocks (harengs "Bank" et "Down" de la mer du Nord ? Plie "Southern Bight" et "German Bight" ?).

2°) Des stocks distincts pêchés séparément mais avec un degré significatif d'échange entre eux (morue d'Islande et du Groënland).

3°) Une espèce habitant une zone étendue sans signe évident de division, telle que deux groupes adjacents de poissons se mélangent librement mais assez lentement pour que les poissons aux extrémités opposées de la zone soient effectivement indépendants (nombreuses espèces côtières ? hareng de la mer du Nord ?).

Une détermination de ce qui peut être considéré comme un stock unité sera faite à partir d'un vaste éventail d'informations, par exemple :

a) Distribution de l'espèce

Ceci donnera une limite supérieure à l'extension du stock unité, tandis que la présence de barrières plus ou moins effectives, par exemple, une fosse profonde pour une espèce strictement démersale peut suggérer des subdivisions se comportant comme des stocks unités.

b) Zone de ponte

Une zone de ponte unique et compacte suggère que la population est une unité biologique au moins en ce qui concerne la reproduction. Deux zones de ponte distinctes ou plus, suggèrent des groupes de ponte différents, bien qu'ils puissent se mélanger comme dans les numéros 1 et 2 plus haut.

c) Données de prise et d'effort

Des traits communs dans les relevés de prise et d'effort pour des pêcheries contiguës au cours d'une certaine période peuvent indiquer qu'ils s'appliquent au même stock et sont des parties d'une même pêche-rie unité.

d) Données de composition en âge

La comparaison des importances relatives des classes annuelles dans différentes zones peut indiquer à quel degré les poissons de ces zones sont recrutés aux mêmes sources. Les taux de mortalité, spécialement lorsqu'ils sont combinés avec les données d'effort, peuvent être comparés comme en (c).

e) Marquage

Ceci peut ne pas donner toujours des résultats dignes de foi (retours incomplets de certaines zones etc..) mais dans des conditions favorables, c'est une technique valable, spécialement pour donner un taux de mélange (quand mélange il y a) exprimé en termes quantitatifs.

f) Caractéristiques morphologiques et physiologiques

Des différences génétiques sont une bonne preuve que des groupes de poissons constituent des stocks indépendants, mais l'inverse n'est pas vrai. Des caractères qui peuvent être déterminés par le milieu



(par exemple nombre de vertèbres), sont moins satisfaisants du fait que des différences peuvent exister entre des groupes de poissons qui se mélangent, mais incomplètement.

## 8. EXPRESSION SIMPLE DE L'EQUATION DE PRODUCTION

Jusqu'ici nous nous sommes préoccupés des méthodes de collecte des données et de l'estimation de notions de base : croissance, mortalité, âge au recrutement, etc.. A partir de ces paramètres nous essaierons maintenant d'expliquer le passé et de prédire l'avenir d'une pêcherie, en particulier l'effet que pourront avoir des mesures de protection et de régulation de la pêche.

Nous envisagerons dans ce chapitre le cas simple où, dans une population déterminée, les paramètres restent constants. Dans une unité stock, le mieux est de calculer la production d'une seule classe d'âge de poissons durant sa vie, identique en général à la production annuelle de toutes les classes d'âge présentes dans la pêcherie.

On peut diviser toute la vie d'une population de poissons du même âge en périodes relativement courtes ; pour chacune d'elles on peut déterminer le nombre de poissons vivants, le nombre pêché, les morts par mortalité naturelle, les survivants au commencement de la période suivante, et finalement la production pondérale - produit du nombre par le poids moyen des poissons pêchés.

Ceci peut être fait arithmétiquement, mais, pour être précis, les périodes devront être courtes et nombreuses, et les calculs fastidieux. Il est plus simple d'exprimer la production dans une formule algébrique qui montrera en outre l'influence sur la production des divers paramètres. Nous utiliserons les symboles suivants :

$N_t$  = nombre de poissons vivants au temps  $t$

$R$  = nombre de recrutés, i.e. nombre de poissons vivants à l'âge  $t_r$

$R'$  = nombre de poissons vivants à l'âge où ils sont pour la première fois capturés par l'engin de pêche à  $t_0$

M = coefficient de mortalité naturelle

F = coefficient de mortalité due à la pêche.

Entre l'âge de recrutement et l'âge de sélection, i.e. pour

$t_r < t < t_c$  nous avons :

$$\frac{dN_t}{dt} = -M N_t \quad (\text{seule agit la mortalité naturelle})$$

$$\text{D'où : } N_t = R e^{-M(t-t_r)}, \text{ car } N = R \text{ quand } t = t_r$$

$$\text{et : } R' = R e^{-M(t_c-t_r)}$$

Quand  $t > t_c$ , mortalité naturelle et due à la pêche interviennent.

$$\frac{dN_t}{dt} = -(F+M)N_t$$

$$N_t = R' e^{-(F+M)(t-t_c)} \quad (1)$$

$$\text{ou : } N_t = R e^{-M(t_c-t_r) - (F+M)(t-t_c)}$$

Rappelons que nous nous intéressons à une population de poissons du même âge. Au sein de cette population, le nombre de poissons pêché entre les temps  $t$  et  $t+dt$  sera  $F.N_t.dt$ , et le nombre total  $C$  de poissons pêchés entre  $t_c$  (âge à la première capture) et  $t_1$  (âge maximum atteint) sera obtenu en divisant ce temps en courtes périodes et en additionnant le nombre pêché dans chacune d'elles.

Mathématiquement nous l'exprimons par l'intégrale :

$$C = \int_{t_c}^{t_1} F.N_t.dt$$

$$\text{ou } C = \int_{t_c}^{t_1} FR' e^{-(F+M)(t-t_c)} dt, \text{ et en intégrant :}$$

$$C = R' \frac{F}{F+M} (1 - e^{-(F+M)(t_1-t_c)}) \quad (2)$$

et si  $t_1$ , âge maximum est considéré comme infini,

$$C = \frac{F.R'}{F+M} \quad (2')$$

Le nombre de poissons pêchés est une fraction du nombre de poissons atteignant l'âge de sélection, égale au rapport des coefficients de mortalité due à la pêche et de mortalité totale.

Soit  $W_t$  le poids moyen d'un poisson d'âge  $t$ , le poids de poissons attrapés entre les temps  $t$  et  $t+dt$  est donné par :

$$Y_t = F.N_t.W_t.dt$$

Le poids total attrapé depuis l'âge à la première capture est donc :

$$Y = \int_{t_c}^{t_1} F.N_t.W_t.dt \quad (3)$$

Pour intégrer l'expression, nous devons mettre  $W_t$  sous une forme convenable. Reprenant l'équation de von BERTALANFFY,

$$W_t = W_\infty (1 - e^{-K(t-t_0)})^3$$

$$W_t = W_\infty [1 - 3e^{-K(t-t_0)} + 3e^{-2K(t-t_0)} - e^{-3K(t-t_0)}]$$

Présentons l'expression sous parenthèse sous forme de sommation :

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

où :  $U_0 = 1$  ,  $U_1 = -3$  ,  $U_2 = 3$  ,  $U_3 = -1$ .

Reprenant les expressions (1) et (3), nous pouvons maintenant écrire :

$$Y = \int_{t_c}^{t_1} F.R'.W_\infty . e^{-(F+M)(t-t_c)} \sum_0^3 U_n e^{-nK(t-t_0)} . dt.$$

$$\text{or : } e^{-nK(t-t_0)} = e^{-nK[(t-t_c)+(t_c-t_0)]}$$

$$e^{-(F+M)(t-t_c)} . e^{-nK(t-t_0)} = e^{-(F+M+nK)(t-t_c)} . e^{-nK(t_c-t_0)}$$

$$Y = F.R'.W_\infty . \sum_0^3 U_n \int_{t_c}^{t_1} e^{-(F+M+nK)(t-t_c)} e^{-nK(t_c-t_0)} dt$$

en intégrant :

$$Y = F.R'.W_{\infty} \cdot \sum_0^3 U_n \cdot \frac{1}{F+M+nK} e^{-nK(t_c-t_0)} \cdot \left[ 1 - e^{-(F+M+nK)(t_1-t_c)} \right]$$

....équation (4), pouvant être simplifiée pour  $t_1 = \infty$  :

$$Y = F.R'.W_{\infty} \cdot \sum_0^3 \frac{U_n \cdot e^{-nK(t_c-t_0)}}{F+M+nK}$$

ou : 
$$Y = F.R. e^{-K(t_c-t_r)} \cdot W_{\infty} \cdot \sum_0^3 \frac{U_n \cdot e^{-nK(t_c-t_0)}}{F+M+nK} \quad (5)$$

Il est d'autres quantités importantes. Par exemple, le rendement pondéral, Y, est F fois le poids total du poisson faisant partie de la phase exploitée, P' :

$$P' = R'.W_{\infty} \cdot \sum_0^3 \frac{U_n \cdot e^{-nK(t_c-t_0)}}{F+M+nK} \quad (6)$$

De l'équation (2'), nous tirons une estimation du nombre de poissons vivants dans la phase exploitée :  $N' = \frac{R'}{F+M} = \frac{R e^{-M(t_c-t_r)}}{F+M}$

Le poids moyen de chaque poisson de la phase exploitée est donc :

$$\bar{W} = P' / N' = Y / C = W_{\infty} \sum_0^3 \frac{U_n (F+M) e^{-nK(t_c-t_0)}}{F+M+nK}$$

Le recrutement étant inconnu et souvent variable, les rendements, etc.. sont habituellement exprimés en rendements, etc.. par recruté. Des tables de travail permettent de calculer le rendement en effectuant l'une après l'autre les opérations indiquées dans l'équation (5). Le tableau A permet la recherche du rendement pour différentes valeurs de F, la sélectivité  $t_c$  étant constante. En haut, à gauche, nous inscrivons les paramètres de base : s'il n'est pas possible de les estimer de façon précise, on répétera les calculs pour plusieurs valeurs de ces paramètres en utilisant plusieurs tables de travail. Au milieu, en haut,

TABLE DE TRAVAIL (A)

RENDEMENT PONDERAL EN FONCTION DE F

Termes connus

Espece :	$t_c - t_r =$	$t_c - t_o =$
Dimension de la maille :	$M(t_c - t_r) =$	$K(t_c - t_o) =$
$\gamma =$	$e^{-M(t_c - t_r)} = = (M)$	$e^{-K(t_c - t_o)} = = (D)$
$W_{\infty} =$ (gm)	$W_{00} e^{-M(t_c - t_r)} = = (N)$	
$K =$	$(B_n) = (F + M + nK)$	
$t_o =$ (an)		
$t_c =$ (an)	$(C_n) = \frac{U_n e^{-nK(t_c - t_o)}}{F + K + nK}$	
$t_r =$ (an)		

	$n = 0$		$n = 1$		$n = 2$		$n = 3$							
(A)	$(B_0)$	$(C_0)$	$(B_1)$	$(C_1)$	$(B_2)$	$(C_2)$	$(B_3)$	$(C_3)$	(P)	(Q)	(R)	(S)	(T)	(V)
F	$(A) + M$	$1/(B_0)$	$(A) + M + K$	$(G_1)/(B_1)$	$(A) + M + 2K$	$(G_2)/(B_2)$	$(A) + M + 3K$	$(G_3)/(B_3)$	$(C_0 + (C_1) + (C_2) + (C_3))$	$(P) \times (N)$	$(Q) \times (A)$	$(C_0) \times (M)$	$(S) \times (A)$	$(Q)/(S)$
										$P'/R$	$Y/R$	$N'/R$	$C/R$	$\bar{W}$

(D<sub>n</sub>)

			$(G_n)$
n	(D)	$U_n$	$U_n (D)$
0	1	+1	+1
1		-3	
2		+3	
3		-1	

TABLE DE TRAVAIL (B1)

RENDEMENT PONDERAL EN FONCTION DE LA DIMENSION DE LA MAILLE

Termes connus

Espèce :

F =

M =

W<sub>00</sub> = (gm)

K =

t<sub>0</sub> = (an)

t<sub>r</sub> = (an)

b =

$$(D_n) = e^{-nK(t_c - t_0)}$$

$$(E_n) = U_n e^{-nK(t_c - t_0)}$$

$$(C_n) = \frac{U_n e^{-nK(t_c - t_0)}}{F + M + nK}$$

	(F <sub>n</sub> )
n	F + M + nK
0	
1	
2	
3	

	n = 0		n = 1		n = 2		n = 3					
(A)	(E <sub>0</sub> )	(C <sub>0</sub> )	(E <sub>1</sub> )	(C <sub>1</sub> )	(E <sub>2</sub> )	(C <sub>2</sub> )	(E <sub>3</sub> )	(C <sub>3</sub> )	(P)	(Q)	(R)	(S)
Taille maille (cm)	D <sub>0</sub>	(E <sub>0</sub> )/(F <sub>0</sub> )	(D <sub>1</sub> )	(E <sub>1</sub> )/(F <sub>1</sub> )	3(D <sub>2</sub> )	(E <sub>2</sub> )/(F <sub>2</sub> )	(D <sub>3</sub> )	(E <sub>3</sub> )/(F <sub>3</sub> )	(C <sub>0</sub> ) + (C <sub>1</sub> ) + (C <sub>2</sub> ) + (C <sub>3</sub> )	(P) x (N)	(Q) x (F)	(C <sub>0</sub> ) x (M)
										P'/R	Y/R	N'/R

(T)	(V)
(S) x F	(Q)/(S)
C/R	W̄

TABLE DE TRAVAIL (B2)

ESTIMATION DE  $t_c$  EN FONCTION DE LA DIMENSION DE LA MAILLE

Termes connus

Espèce :

F =

M =

$W_{\infty}$  = gm

$L_{\infty}$  = cm

K =

$t_0$  = an

$t_r$  = an

b = (coefficient de passage)

$$(D_n) = e^{-nK(t_c - t_0)}$$

$$(M) = e^{-M(t_c - t_r)}$$

$$(N) = W_{\infty} e^{-M(t_c - t_r)}$$

(A)	(B)	(C)	(D <sub>1</sub> )	(D <sub>2</sub> )	(D <sub>3</sub> )	(G)	(H)	(J)	(K)	(L)	(M)	(N)
Dim. maille cm	(A)xb	(b)/L <sub>∞</sub>	1-(C)	(D <sub>1</sub> ) <sup>2</sup>	(D <sub>1</sub> ) <sup>3</sup>	-log(D <sub>1</sub> )	(G)/K	(H)+t <sub>0</sub>	(J)-t <sub>r</sub>	(K)xM	e <sup>-(L)</sup>	(M) x W <sub>∞</sub>
	l <sub>c</sub>	l <sub>c</sub> /L <sub>∞</sub>				K(t <sub>c</sub> -t <sub>0</sub> )	t <sub>c</sub> -t <sub>0</sub>	t <sub>c</sub>	t <sub>c</sub> -t <sub>r</sub>	M(t <sub>c</sub> -t <sub>r</sub> )		
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:

sont disposées les opérations indépendantes de F. Les quatre colonnes (B) (C) correspondent aux quatre termes de la sommation dans l'équation (5). Pour plus de facilités, colonnes et rangées sont désignées par des lettres - mises entre parenthèses, - pour éviter la confusion avec les termes des équations. Dans la seconde rangée de chaque colonne, la formule que nous utiliserons (ex. dans la colonne (Q), (P) x (N) ; dans la troisième rangée, sa signification (ex. dans la colonne (Q), P'/R).

Les autres tables de travail sont utilisées pour le calcul de la production en fonction des caractéristiques de l'engin de pêche utilisé (dimension de la maille). (B<sub>1</sub>) aide au calcul de t<sub>c</sub> par l'intermédiaire de l'équation  $l_c = L_{\infty} [1 - e^{-K(t_c - t_0)}]$  et en utilisant le coefficient de passage b :  $l_c = b \times$  (dimension de la maille). En (B<sub>2</sub>) on calcule le rendement pondéral en fonction de la dimension de la maille en s'aidant du calcul de t<sub>c</sub> fait en B<sub>1</sub>.

Expression du rendement pondéral par une fonction beta incomplète.

Il est possible de réduire les calculs, en exprimant la production sous une autre forme,

soit J, tel que :  $J = Y / RW_{\infty}$

dans l'équation (3), nous avons :  $Y = \int_{t_c}^{t_1} F \cdot N_t \cdot W_t \cdot dt$

avec :

$$N_t = R e^{-M(t_c - t_r)} \cdot e^{-(F+M)(t - t_c)}$$

$$\text{et } W_t = W_{\infty} [1 - e^{-K(t - t_0)}]^3$$

Il vient, si t<sub>1</sub> est infini :

$$J = F e^{-M(t_c - t_r)} \int_{t_0}^{\infty} e^{-(F+M)(t - t_c)} \left\{ 1 - e^{-K(t - t_0)} \right\}^3 dt$$

soit maintenant, y, fonction de t, tel que :

$$y = e^{-K(t - t_0)}$$



nous voyons immédiatement que :

- quand  $t = \infty$ ,  $y = 0$
- quand  $t = t_0$ ,  $y = c = e^{-K(t_0 - t_0)}$

$$e^{-(F+M)(t-t_0)} = e^{-(F+M)(t_0-t_0)} y^{\frac{M+F}{K}}$$

$$\left\{ 1 - e^{-K(t-t_0)} \right\}^3 = (1 - y)^3$$

$$dt = \frac{dy}{Ky}$$

$$\text{Donc : } J = F e^{-M(t_0-t_r)} \int_0^C e^{-(F+M)(t_0-t_0)} y^{-\frac{F+M}{K}} (1-y)^3 \frac{1}{Ky} dy$$

$$\text{or : } \frac{1}{y} = y^{-1} ; \left( y^{-\frac{F+M}{K}} \cdot \frac{1}{y} \right) = y^{\frac{F+M}{K} - 1}$$

et en faisant passer  $1 / K$  au début du second membre, nous avons :

$$J = \frac{F}{K} e^{-M(t_0-t_r)} \cdot e^{-(F+M)(t_0-t_0)} \int_0^C y^{\frac{F+M}{K} - 1} (1-y)^3 dy$$

$$\text{où } C = e^{-K(t_0-t_0)}$$

Nous constatons que l'intégrale est une fonction Beta incomplète, de la forme :  $\int_0^C y^{(p-1)} (1-y)^3 dy$ , qui s'écrit aussi :  $B C (p, 4)$

Notre équation donnant  $J$  devient :

$$J = \frac{F}{K} e^{-M(t_0-t_r)} e^{-(F+M)(t_0-t_0)} B C \left( \frac{F+M}{K}, 4 \right)$$

$$\text{ou } J = \frac{F}{K} e^{-M(t_r-t_0)} e^{-F(t_0-t_0)} B C (Z/K, 4)$$

Soit  $J_0 = J e^{M(t_r-t_0)}$ , proportionnel à un rendement correspondant à un recrutement hypothétique à l'âge  $t_0$ ,

$$J_0 = \frac{F}{K} C^{-F/K} B C (Z/K, 4) \quad (7)$$

Nous avons une production pondérale par recruté, ou plus exactement une quantité qui lui est proportionnelle : c'est le produit de deux valeurs, l'une donnée dans les tables de fonction beta incomplète (JONES 1957 ou WILINOVSKY et WICKLUND 1963), et l'autre dans des tables de  $F.C^{-F/K}$  élaborées par HOLT (1957)

On peut voir que cette quantité est déterminée par le coefficient de mortalité due à la pêche, le rapport des mortalités totale et due à la pêche au coefficient de croissance  $K$  et enfin la quantité  $C$ . Avec  $C = e^{-K(t_c - t_0)}$ , mais aussi  $C = \frac{L_{\infty} l_c}{L_{\infty}}$ , c'est donc la proportion de la croissance totale faite depuis l'entrée du poisson dans la phase d'exploitation.

Avec  $J_0$ , nous n'avons qu'une expression proportionnelle à  $Y$ , mais nous pouvons donner le rendement sous sa forme la plus générale, quand l'âge limite supérieur n'est plus considéré comme infini :

$$Y = \frac{F}{K} \cdot R' \cdot W_{\infty} \cdot e^{-Z(t_0 - t_c)} \cdot \left\{ B C(Z/K, 4) - B C'(Z/K, 4) \right\}$$

avec  $C = e^{-K(t_c - t_0)}$   
 $C' = e^{-K(t_1 - t_0)}$

Outre la grande simplification des calculs, ces équations permettent :

- la même détermination aisée de  $Y$  dans le cas où le poids n'est pas proportionnel à une puissance cubique de la longueur : par exemple,  $W = l^n$  avec  $n \neq 3$ . L'expression de la fonction beta incomplète devient alors :  $B C(Z/K, n+1)$
- le calcul direct de la valeur des poissons, puisqu'en première approximation, le prix peut être une puissance  $m$  du poids.
- la détermination rapide de l'effet que peut avoir un changement dans la taille des mailles. Démontrons-le rapidement :

$$Y = F \cdot R \cdot W_{\infty} \cdot e^{-M(t_c - t_r)} \int_{t_c}^{\infty} e^{-Z(t - t_c)} \left\{ 1 - e^{-K(t - t_0)} \right\}^3 dt$$

Dérivons  $Y$

$$\frac{dY}{dt_c} = -MY + F \cdot R \cdot W_{\infty} \cdot e^{-M(t_c - t_r)} 3K \int_{t_c}^{\infty} e^{-Z(t - t_c) + K(t - t_0)} \cdot \left( \quad \right)^2 dt$$

$(1 - e^{-K(t - t_0)}) = ( \quad )$

employant  $y = e^{-K(t-t_0)}$ , il vient :

$$\frac{dY}{dt_c} = -MY + 3FRW_{\infty} e^{-M(t_c-t_r)} e^{Z(t_c-t_0)} \int_C^{\infty} y^{Z/K} (1-y)^2 dy$$

$$\frac{dY}{dt_c} = FRW_{\infty} e^{-M(t_c-t_r)} e^{Z(t_c-t_0)} \left\{ 3BC \left( \frac{Z}{K} + 1, 3 \right) - \frac{M}{K} BC \left( \frac{Z}{K}, 4 \right) \right\}$$

Il est logique de penser que  $t_c$  est proportionnel à la dimension de la maille. Si  $dY/dt_c$  est positif, cela signifie que Y croît en même temps que la maille augmente, et inversement si  $dY/dt_c$  est négatif. Or, la dérivée est positive si dans l'expression ci-dessus, la différence entre crochet est positive, donc si :

$$3BC \left( \frac{Z}{K} + 1, 3 \right) > \frac{M}{K} BC \left( \frac{Z}{K}, 4 \right)$$

Condition pour qu'un accroissement de la maille entraîne un accroissement de la production.

Autre expression du rendement pondéral

Sur un temps relativement court, par exemple de  $t_1$  à  $t_2$ , la croissance en poids peut être exprimée sous la forme d'une exponentielle :

$$W_t = W_1 e^{g_1(t-t_1)} \quad t_1 < t < t_2$$

$W_1$  étant le poids au temps  $t_1$

Le coefficient de croissance  $g_1$  changera avec l'intervalle de temps choisi, diminuant en général quand l'âge augmente. L'expression du rendement pondéral durant la période  $t_1$  à  $t_2$  devient :

$$Y = \int_{t_1}^{t_2} F N_t W_t dt$$

$$= \int_{t_1}^{t_2} F.R'.e^{-(F+M)(t_c-t_1)} e^{-(F+M)(t-t_1)} e^{g_1(t-t_1)} W_1 dt$$

$$Y = F.R'.W_1 \cdot e^{-(F+M)(t_c-t_1)} \frac{1}{F+M-g_1} \left[ 1 - e^{-(F+M-g_1)(t_2-t_1)} \right]$$

Le rendement total est finalement obtenu en additionnant les rendements correspondants à chaque fraction de vie étudiée. L'avantage de la méthode est que la taille (ou l'âge) à laquelle une classe d'âge a son poids maximum est celle pour laquelle  $g$  est égal au coefficient de mortalité naturelle  $M$  ("taille critique" de RICKER). Le plus grand rendement est donc obtenu en pêchant les poissons ayant atteint cette taille.

#### Remarque

L'homme peut agir sur la production de deux façons :

- En faisant varier - a) la taille de la maille
- b) l'intensité de pêche.

C'est ce que les figures 12a et 12b représentent.

On voit (figure 12a) (en supposant  $F = 0,73$  valeur moyenne pour la plie de mer du Nord de 1918 à 1939) qu'il existe un maximum de production pour une maille de 200 mm (double de ce qu'on obtient avec la maille de 70 mm). Au delà de ce maximum la mortalité l'emporte sur la croissance.

Sur la figure 12b, on a supposé la maille constante (= à celle utilisée de 1918 à 1939). La production est maximum pour  $F = 0,22$ , or la valeur moyenne de  $F$  pour la même période fut 0,73 (point c). On voit donc qu'on peut améliorer la production totale en diminuant l'intensité de pêche.

(Ces schémas sont simplifiés par rapport à la réalité, mais l'allure générale reste exacte).

On peut ensuite construire des courbes de production fonction à la fois de la maille et de l'intensité de pêche (figure 13). Ces courbes présentent un accroissement et un déplacement de leur maximum vers la droite quand  $F$  et la maille augmentent. Il faudrait donc, pour une valeur de  $F$  donnée, ajuster la maille pour avoir la production maximum. Le lieu de ce maximum quand  $F$  varie est la courbe eumétrique (B B').

Pratiquement, la partie haute de la courbe eumétrique (vers B') ne présente pas d'intérêt : elle réclamerait un effort de pêche très grand (et même infini à la limite) alors qu'avec  $F = 0,5$  on pêche déjà de 80 à 90 % de la production idéale.

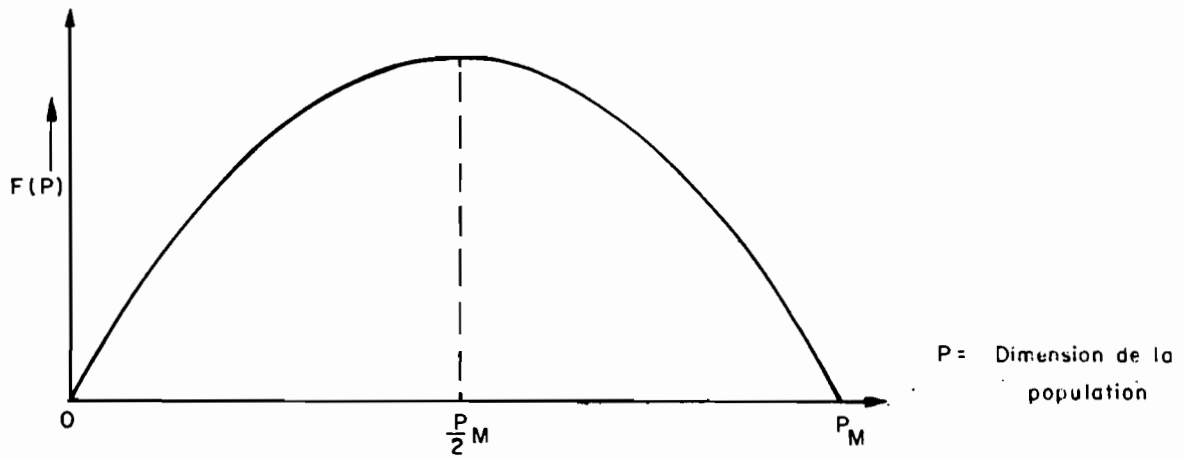


Fig.11 - Modèle de Schaefer

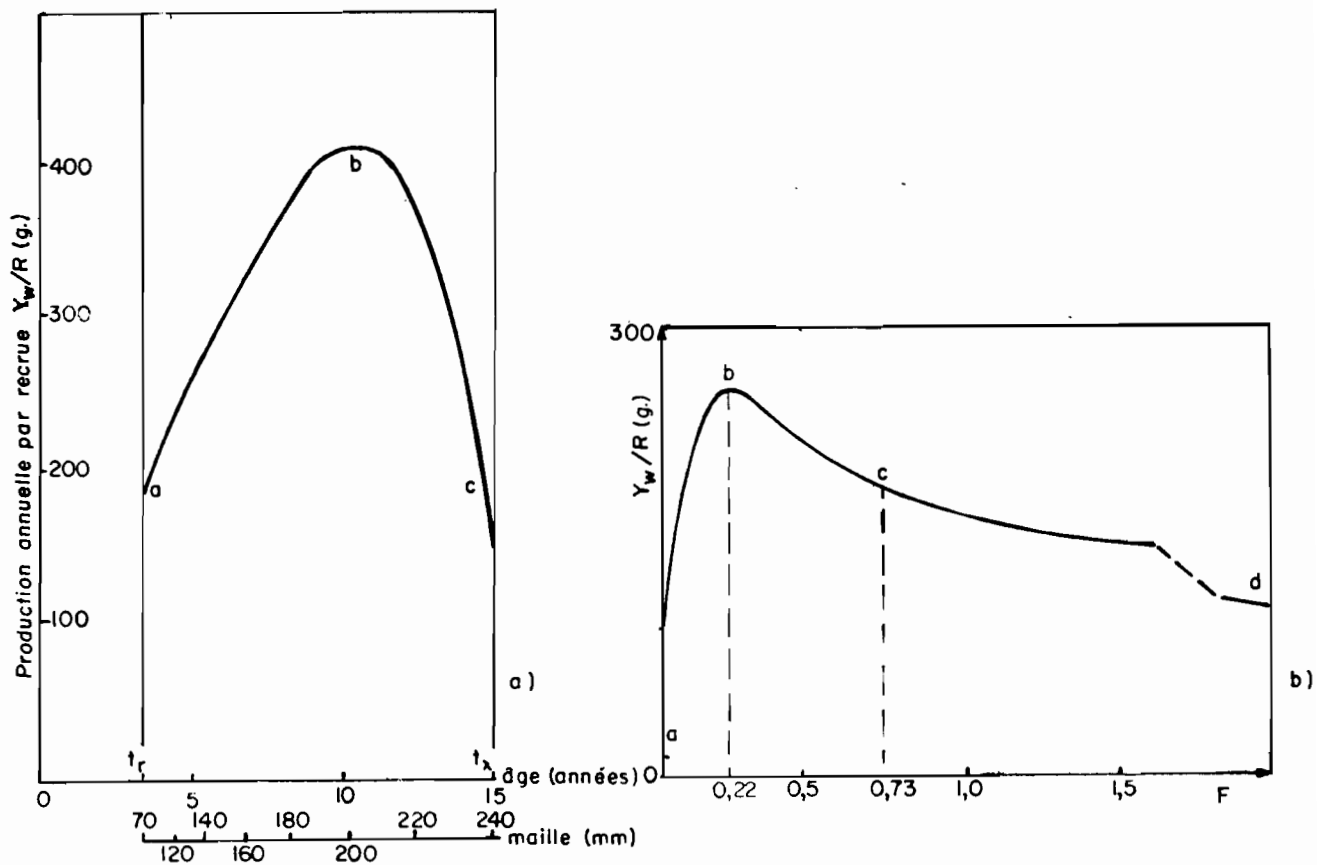
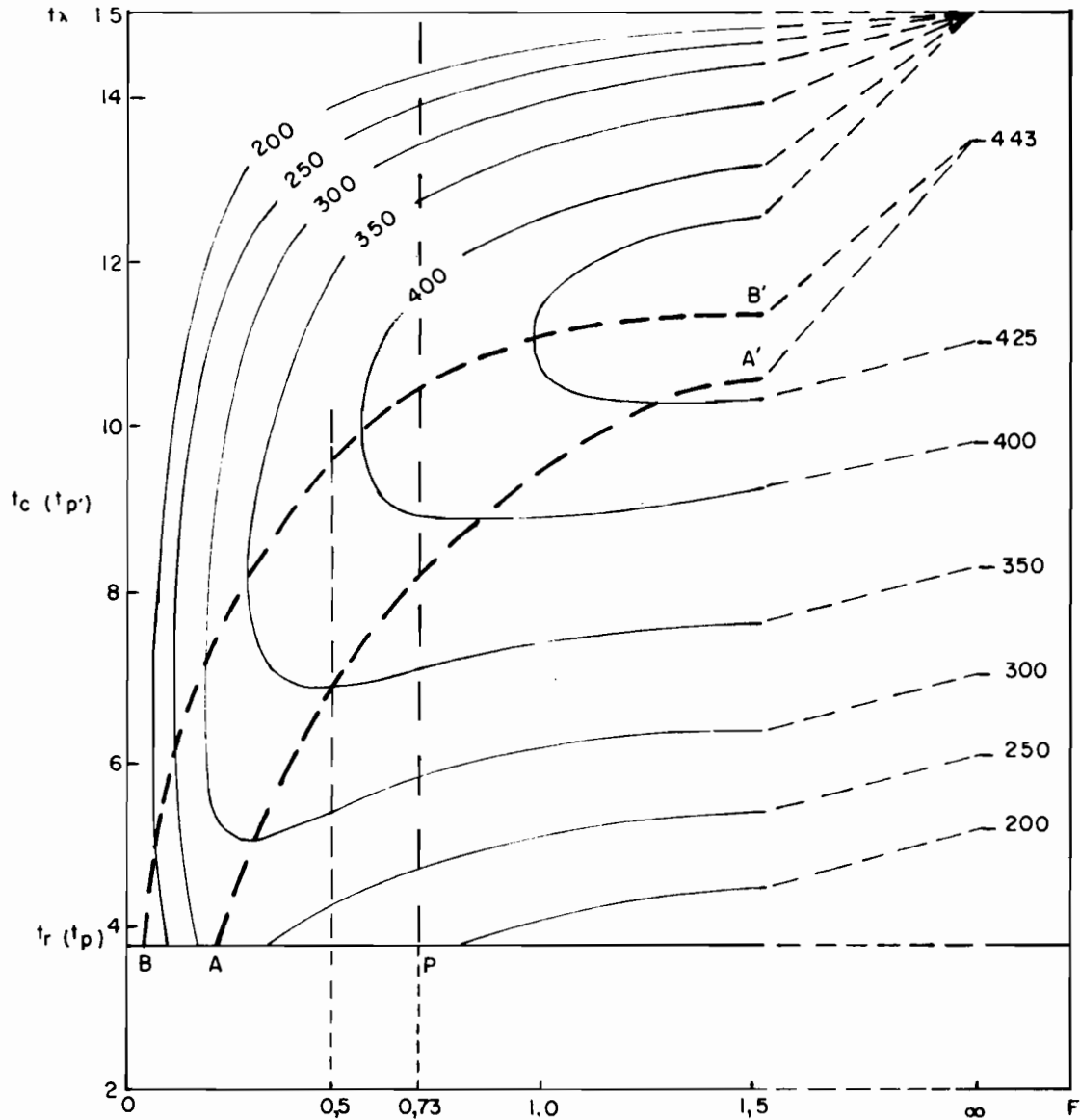


Fig.12 - Production annuelle par recrue fonction a) de l'âge (ou la taille)  
b) de l'intensité de pêche

Fig.13 - Diagramme de répartition des isoproductions



A A' = Lieu des maximums de production quand  $t_c$  (ou  $c$ , ou la maille) varie

B B' = Courbe eumétrique de production = Lieu des maximums de production quand  $F$  varie (ou  $E$ )

## 9. EVALUATIONS SPECIALES

L'équation simple de production décrite dans la partie précédente dépend dans ses calculs d'une bonne et complète connaissance des différents paramètres (croissance, mortalité, etc...) et avec ces informations il est possible d'estimer la production réelle par une combinaison de la mortalité de pêche et l'âge à la première capture. Cependant même si - comme cela arrive très souvent - l'information est loin d'être complète, il est possible de répondre à certaines questions particulières, par exemple : un accroissement modéré dans la taille à la première capture augmenterait-il ou diminuerait-il la production réelle ?

### 9.1. Statistiques de prise et d'effort.

Si des statistiques sont disponibles pour un nombre de périodes pendant lesquelles l'effort fût gardé à un taux constant, il sera évidemment possible de dériver une relation purement empirique entre l'effort de pêche et la récolte réelle ou prise par unité d'effort. Dans la plupart des pêcheries il y a peu, s'il y a, de longues périodes d'effort de pêche constant. La prise et la prise par unité d'effort dans une année ne seront donc pas seulement reliées à l'effort dans cette année mais à l'effort de plusieurs années précédentes. Cependant l'abondance d'une classe annuelle particulière qui a été trouvée dans la pêcherie pendant par ex. 4 années (c'est-à-dire âgée de  $t_c + 4$ ) sera gouvernée par un facteur égal à :  $e^{-(F_0+F_1+F_2+F_3)}$  où  $F_0, F_1, F_2, F_3$  sont les mortalités dues à la pêche pendant les années précédentes, c'est-à-dire son abondance sera la même que si elle avait été affectée dans la pêcherie d'une mortalité réelle de  $1/4(F_0+F_1+F_2+F_3)$  pour chaque année. La prise totale par unité d'effort (p.u.e.) de tous les âges est alors reliée à une moyenne pondérée de l'effort de pêche dans les années précédentes. Si cette moyenne est prise sur une période égale à la durée moyenne de la vie dans la phase exploitée (par exemple si l'âge au recrutement est de 4 ans et la majeure partie de la prise en poids est constituée de poissons entre 4 et 9 ans la durée moyenne est d'environ 3 ans) alors la

relation entre cet effort moyen,  $\bar{f}$ , et la p.u.e. sera proche de celle entre l'effort et la p.u.e. dans l'état régulier. La concordance sera, en fait, presque exacte, non seulement quand l'effort n'a pas grandement changé, mais aussi quand il y a eu une tendance marquée dans l'effort. Par exemple si l'effort s'est accru, alors les âges les plus vieux seront surabondants, ayant eu une moyenne d'effort de pêche inférieure à  $\bar{f}$ , pendant que les plus jeunes seront trop rares, ayant subi un effort de pêche plus grand que  $\bar{f}$ .

Cette relation est mieux exprimée graphiquement en inscrivant la p.u.e. en fonction de  $\bar{f}$ . La meilleure forme n'est généralement pas une ligne droite mais une courbe concave vers le haut (par exemple la courbe pour les plies et celle pour les morues en Islande, GULLAND 1960). La relation correspondante entre la prise et l'effort peut être déduite immédiatement de cette courbe par multiplication.

Cette approximation est très proche du modèle à paramètre constant de la courbe de production complète, dans laquelle les effets dépendant de la densité sont ignorés puisque la plupart de ceux-ci agissent sur une plus longue période. Par exemple, dans le cas ci-dessus, si le recrutement est modifié, le stock actuel étant le descendant du stock moyen de 6 ou 7 ans plus tôt qui a son tour fut déterminé par la pêche sur les trois années ou plus précédentes, ne serait pas touché dans l'immédiat.

L'avantage majeur de cette méthode est que les données qu'elle exige sont facilement obtenues ; la prise totale est généralement connue et l'effort ou la p.u.e. sont généralement parmi les premières données semi-scientifiques à être recueillies. S'il y a des erreurs dans les données sur l'effort (les plus probables étant des tendances non corrigées telles qu'une augmentation de l'effioacité), ceci affectera à la fois les valeurs de  $x$  et de  $y$  dans le graphique et aura tendance à déplacer les points le long de la ligne  $y = a/x$ . Cette ligne est semblable à la forme générale de la régression attendue, ainsi il apparait que les erreurs dans la mesure de l'effort ne modifieront pas l'estimation de la relation entre la p.u.e. et l'effort, mais peuvent rendre la signification statistique de la relation plus grande qu'elle n'est réellement.



Si la série de données est assez longue les effets de changements autres que ceux portant simplement sur l'effort total peuvent être étudiés. Ainsi s'il y a eu un changement dans les pratiques de pêche (par exemple un accroissement de la taille de la maille au milieu de la série ayant un effet significatif sur le stock), deux régressions différentes de la g.u.e. sur l'effort pour les périodes avant et après le changement pourront être déterminées.

### 9.2. Modèle de SCHAEFER

Une autre méthode d'analyse dépendant principalement des données de prises et d'effort est celle de SCHAEFER (1954-1957). La taille de la population, P, est considérée comme une simple entité qui, si la pêche n'était pas présente, augmenterait à un taux déterminé par sa taille, c'est-à-dire :

$$\frac{dP}{dt} = f(P)$$

où  $f(P)$  est une fonction de P (voir figure 11), nulle pour  $P = P$  maximum et  $P = 0$  et ayant un maximum à une valeur intermédiaire de P.

Donc quand il y a pêche

$$\frac{dP}{dt} = f(P) - Y = f(P) - FP$$

où Y = prise

D'où la population restera constante si  $Y = f(P)$  de façon qu'à chaque taille de la population il y ait une prise équilibrée et qui sera au maximum quand  $f(P)$  sera au maximum.

La forme de  $f(P)$  peut être déterminée à partir des données de prises et d'effort pourvu qu'il y ait aussi des informations (par exemple marquages) à partir desquelles les chiffres de prises par unité d'effort puissent être convertis en termes absolus c'est-à-dire si le coefficient q ( $k_2$  dans la notation de SCHAEFER) est connu. Ainsi si les valeurs de la prise par effort-unité sont connues au début et la fin de l'année :

- Population initiale :  $P_1 = 1/q (y/f)_1$
- Population finale :  $P_2 = 1/q (y/f)_2$
- Population moyenne :  $\bar{P} = 1/2 (P_1 + P_2)$

$$f(\bar{P}) = P_2 - P_1 + Y$$

où Y est la prise pendant l'année.

Une paire de valeurs de  $f(\bar{P})$  et  $\bar{P}$  peut donc être obtenue pour chaque année et en reportant l'une en fonction de l'autre la relation entre la prise "équilibrée" et la taille du stock peut être établie. Le tracé peut être fait plus rapidement si l'on fait une hypothèse sur la forme de  $f(P)$ , par exemple l'équation

$$f(P) = aP(P_M - P)$$

qui donne une parabole.

Cette forme de courbe est mieux tracée en portant  $f(P)/P$  en fonction de P, ce qui donne une ligne droite. Cette méthode d'analyse a beaucoup de points communs avec la précédente. Les deux essaient d'obtenir la relation d'équilibre entre la prise et l'effort (ou une de ses transformations) par un arrangement convenable des données d'une pêcherie en évolution - l'une en tenant compte des données d'effort dans les années précédentes - l'autre des changements dans la prise par effort-unité.

### 9.3. Changements dans la sélectivité

Beaucoup d'effets des changements dans la sélectivité peuvent être déterminés simplement à partir d'une connaissance de la composition en tailles des débarquements (voir GULLAND 1961b, 1964). Ainsi immédiatement après un changement dans l'engin il n'y aura pas de changement dans le stock et le nombre de poissons d'une taille donnée, l, débarqués par le nouvel engin (à maille augmentée, par exemple) sera donné par :

$$l^N_k = l^N_1 \cdot l^r_2 / l^r_1 \quad (1)$$

où :  ${}_1N_1$  = nombre débarqué par le vieil engin  
 ${}_1N_k$  = " " " " " nouvel "  
 ${}_1r_1$  = proportion retenue par le vieil engin  
 ${}_1r_2$  = " " " " " nouvel "

Si on a aussi  ${}_1W$  = poids moyen des poissons de longueur 1, alors le poids total  $W_1$  pris par le vieil engin est donné par :

$$W_1 = \sum {}_1W \cdot {}_1N_1 \quad (2)$$

et le poids pris par le nouvel engin,  $W_k$ , est :

$$W_k = \sum {}_1W \cdot {}_1N_k \quad (3)$$

qui définira ainsi  $N_1 = \sum {}_1N_1$  ;  $N_k = \sum {}_1N_k$

Si les poids moyens  ${}_1W$  et les nombres en dépendant sont rangés en colonnes parallèles, ces calculs de sommes de produits sont faciles à effectuer sur la plupart des machines à calculer. Le changement réel, immédiat, dans les débarquements peut être exprimé comme une proportion L des débarquements initiaux, soit

$$L = \frac{W_1 - W_k}{W_1}$$

Quand un accroissement dans la longueur moyenne de sélection a lieu, les poissons relâchés par le nouvel engin, mais qui pouvaient être attrapés par le vieil engin, grandiront et après un temps atteindront la taille à laquelle ils seront retenus par le nouvel engin et les prises augmenteront. Le nombre,  $N_R$ , de poissons relâchés sera égal à  $N_1 - N_k$ , ou si les quantités de petits poissons sont attrapées et rejetées à la mer à :

$$N_R = \sum {}_1N_c (4 - {}_1r_2 / {}_1r_1) \quad (4)$$

où  ${}_1N_c$  représente les poissons de longueur 1 pris par le vieil engin. De ces poissons un nombre

$$N_R^1 = N_R e^{-Mt}$$

survivra à  ${}_2t_c$ , l'âge moyen de la première capture avec la nouvelle maille et où  $t$  est la différence entre  ${}_2t_c$  et la moyenne d'âge des poissons relâchés. De ces poissons un nombre  $E.N_R^1$  sera en définitive attrapé, où  $E$  est le taux d'exploitation (=  $F/F+M$  quand les mortalités sont constantes). Comme les mortalités, etc.. pour les poissons plus grands que  ${}_2l_c$  sont inchangées, la distribution en taille de ces poissons sera la même que celle des poissons  $N_k$ , ainsi après un temps les prises avec le nouvel engin auront augmenté d'une proportion  $Q$  avec

$$Q = \frac{EN_R^1}{N_k} \quad (5)$$

Ainsi les débarquements à long terme,  $W_2$ , seront donnés par

$$W_2 = W_1 (1 - L) (1 + Q) \quad (6)$$

Ce taux de débarquement ne peut être atteint que plusieurs années après le changement de sélectivité. Les effets intermédiaires peuvent être estimés par le fait que s'il faut un temps moyen  $t^1$  aux poissons relâchés pour croître jusqu'à une certaine longueur  $l^1$ , alors après un temps  $t^1$  les poissons plus petits que  $l^1$  auront bénéficié du changement, mais pas ceux plus grands que  $l^1$  et les débarquements seront égaux à  $W^1$ , soit

$$W^1 = \sum_0^{l^1} (1 + Q) \cdot {}_1W \cdot {}_1N_k + \sum_{l^1}^{\infty} {}_1W \cdot {}_1N_k$$

c'est-à-dire :

$$W^1 = Q \sum_0^{l^1} {}_1W \cdot {}_1N_k + W_k \quad (7)$$

La méthode peut être étendue aux stocks de poissons pêchés par plus d'un engin, certains d'entre eux pouvant ne pas changer de sélectivité. Ici les équations (1) et (3) sont appliquées séparément à chaque flotte pour trouver les effets immédiats. Le facteur  $Q$  sera le même pour tous et est donné par l'extension de l'équation (5) dans la forme

$$Q = \frac{E \sum N_R^1}{\sum N_k}$$

où la somme de  $N_k$  comprend les poissons attrapés par tous les engins (sauf les poissons attrapés par les engins dont la sélectivité ne change pas, plus petits que la nouvelle taille de sélection) et la somme de  $N_R$ , naturellement, ne comprendra que les engins dont la sélectivité change.

-----

#### 9.4. Pêcheries agissant l'une sur l'autre

Les méthodes ci-dessus peuvent être aussi utilisées pour étudier l'interaction de différentes pêcheries, particulièrement d'une pêcherie (A) portant principalement sur une espèce (par exemple harengs) qui accidentellement attrape de jeunes poissons d'une autre espèce (par exemple églefins) qui, quand ils sont plus vieux sont eux-mêmes le principal objet d'une autre pêcherie (B). Les étapes sont :

a). Calculer le nombre de poissons attrapés par la flotte (A) ou le nombre supplémentaire supposé attrapé par la flotte (A) en tenant compte d'une réglementation désirée ( $=N$ ).

b). Calculer le nombre réduit de ceux qui survivront jusqu'à l'âge de la première capture par la flotte (B) ( $=N^1$ ).

c) Comparer les nombres de ceux ( $=EN^1$ ) qui seraient attrapés avec la prise actuelle, C, de la flotte (B). Alors l'augmentation des prises de la flotte (B) qui aurait lieu si la flotte (A) cessait de pêcher est, en proportion de la prise actuelle :  $N^1/C$ . (Le même résultat peut être obtenu en comparant  $N^1$  avec les nombres de poissons recrutés par la flotte (B) qui est  $C/E$ ) voir ICES, 1960).

---

### 10. CHANGEMENTS DANS LES PARAMETRES

Dans le chapitre précédent, tous les paramètres (croissance, mortalité, etc...) ; ont été supposés constants, sauf pour les changements explicites dans la mortalité due à la pêche ou l'âge à la première capture. En fait, des changements peuvent intervenir dans tous les paramètres, et certains, comme le recrutement annuel, peuvent varier de façon très large. Ces changements peuvent être le résultat, direct ou indirect,

de modifications dans l'abondance du stock (et donc être influencés par la pêche), ou être indépendants du stock, étant alors le résultat de variations de l'environnement : changements de nourriture, etc... Ces derniers changements peuvent se classer en deux catégories, selon l'effet produit :

a) les changements qui altèrent la forme de la courbe de production, de telle façon que les résultats d'un accroissement de la maille, par exemple, peuvent être quantitativement différents,

b) les changements qui n'affectent que la hauteur de la courbe de production, et qui, peuvent alors être négligés dans plusieurs cas.

Le meilleur exemple du second cas est la grande variation qui peut intervenir - indépendamment de changements chez les adultes, de la ponte et du stock - dans l'effectif des classes d'âge successives de plusieurs poissons, comme l'églefin, le hareng, etc... Des calculs négligeant les données sur les changements dans les classes d'âge pourraient faire croire à un accroissement du taux instantané de production (5 % par exemple), dû en fait à un simple accroissement de la maille (de 100 à 110 mm par exemple). Il ne faut pas forcément en déduire que, si la maille est accrue, la production dans n'importe quelle année à venir devra être exactement de 5 % plus forte qu'elle n'est dans le présent. Ce qui est vrai (si les calculs sont corrects) c'est que la production devrait être de 5 % supérieure à ce qu'elle aurait été si on avait utilisé l'ancienne maille de 100 mm. Pour plusieurs raisons pratiques (par exemple, est-ce que le changement de maille de 100 à 110 mm est à conseiller ?) les différences dues aux modifications dans le recrutement ne sont pas significatives.

Pour cette raison et, comme nous l'avons vu au chapitre précédent, parce que c'est la forme sous laquelle on obtient souvent la production, les évaluations sont souvent établies en termes de production par recrutement. Une exception à cette règle se présente quand l'intensité de la pêche dépend de façon critique de l'effectif de la classe

d'âge dans la pêcherie, car il n'y a que peu ou pas du tout de pêche quand les classes d'âge sont faiblement représentées. Un bel exemple en est la pêche de l'églefin sur le Banc Saint-Pierre où il y eut, entre 1953 et 1957, une très forte pêche aux dépens de la classe d'âge 1949, alors qu'avant et après cette période, cette classe d'âge n'a presque pas été pêchée.

Les changements dans la croissance peuvent avoir un effet sur la forme des courbes de production, surtout celle qui donne la production en fonction de la taille à la première capture. Dans une population intensément pêchée, la production maxima peut correspondre à la taille à la première capture ( $l_c$ ) peu inférieure à la taille maximum  $L_{\infty}$ , mais s'il y a un changement dans la croissance avec une valeur nouvelle et inférieure de  $L_{\infty}$ , peu de poissons survivront au delà de  $l_c$  et la production avec cette valeur de  $l_c$  pourra être très faible.

#### Effets liés à la densité

Tandis que certains changements dans l'environnement peuvent signifier des modifications dans l'allure future des courbes de production, les effets dépendant de la densité peuvent créer des différences entre la courbe de production réelle et celle que l'on obtiendrait par le calcul en supposant les paramètres constants.

Si le stock s'accroît, par exemple à la suite d'une diminution de la pêche, les effets probables seront un accroissement de la mortalité naturelle, une diminution de la croissance, mais aussi un accroissement du recrutement. Ces effets agissent en sens inverse, les deux premiers réduisant la valeur de la production pour de forts effectifs du stock (par exemple : avec de faibles intensités de pêche, ou avec une grande maille de filet), mais le dernier accroissant la production dans ces conditions de pêche. Dans un stock fortement pêché, où on pourrait s'attendre à voir la diminution de la pêche ou l'accroissement de la maille augmenter la production, la mortalité dépendant de la densité et la croissance ont une action d'amortissement, tendant à aplatir la courbe de production;

mais le recrutement aura pour effet d'exagérer les changements. Le recrutement fonction de la densité est pour cette raison l'effet le plus critique.

Si on peut établir une relation entre un paramètre et l'abondance du stock, on peut l'inclure dans l'équation simple de production. Habituellement il est impossible de donner une expression mathématique explicite pour le stock ou le recrutement quand un paramètre change avec la densité du stock, mais on peut obtenir des estimations du stock et de la production par des approximations successives pour chaque ensemble donné d'efforts de pêche, etc... Par exemple, si la mortalité naturelle est proportionnelle à la densité du stock, nous pourrions, pour calculer la production et le stock pour une pêche égale à deux fois l'actuelle par exemple, prendre une première estimation d'un stock partagé en deux, et donc avec  $\frac{M}{2}$  ; en utilisant cette valeur de M dans les équations, on aura une meilleure estimation du stock, et donc de M, qui, à son tour, peut être utilisée pour donner une meilleure estimation.

En fait, il est souvent impossible de déterminer les effets de la densité sur les différents paramètres, particulièrement sur la mortalité naturelle, et il est sans doute meilleur de prendre certaines relations vraisemblables et de voir comment elles agissent sur l'allure de la courbe de production (v. BEVERTON & HOLT chap. 18).

Dans l'étude du recrutement, deux quantités peuvent être reliées à l'importance du stock :

- le recrutement, c'est-à-dire le nombre absolu de jeunes poissons, produits par un stock donné,
- les survivants, c'est-à-dire le nombre de jeunes par rapport aux millions d'oeufs pondus.

Si, comme on le suppose parfois, le recrutement est constant, au moins sur l'ensemble des tailles probables du stock, l'utilisation de ces deux quantités peut montrer si une relation non significative (au sens statistique) entre le stock et le recrutement est due à un



changement réel et significatif (au sens biologique et pratique) dans le recrutement, l'importance du stock étant voilée par des variations des données, ou bien si le recrutement moyen est réellement constant. On devrait pouvoir détecter le second cas par une relation entre les nombres de survivants et de recrutés.

•

• •

III - EXERCICES

=====

1. MATHEMATIQUES

1.1. Utilisation des puissances, des logarithmes et des exponentielles

a).- Donnez les valeurs de  $10^0$ ,  $10^2$ ,  $2^6$ ,  $4^0$ ,  $4^{1/2}$ ,  $9^{1,5}$ ,  $8^{2/3}$ ,  $7^{-1}$ ,  $3^{-2}$ ,  $4^{-0,5}$ ,  $4^{-1,5}$ .

-----

b).- En utilisant les tables adéquates, donnez les valeurs de :

-  $\log_{10}$  de 2,360; 0,40; 0,07.

-  $\log e$  de 2; 2,72; 10; 20; 360; 0,40; 0,99; 1,016; 1,007.

Quel est le rapport du  $\log_{10}$  au  $\log e$  pour les chiffres ci-dessus ?

-  $10^{0,30}$ ,  $10^{2,56}$ ,  $10^{-0,60}$ ,  $10^{-1,70}$

-  $e^{0,70}$ ,  $e^{2,30}$ ,  $e^{3,00}$ ,  $e^{5,86}$ ,  $e^{-0,90}$ ,  $e^{-0,01}$

$e^{0,016}$ ,  $e^{0,007}$ ,  $e^{-0,007}$ .

-----

c).- En considérant les résultats du dernier exemple pouvez-vous donner, sans utiliser les tables, les valeurs approximatives de  $e^{0,006}$ ,  $e^{-0,010}$ .

-----

d).- Donnez les valeurs de x dans les équations suivantes :

$e^x = 10^3$ ,  $\exp. (x) = 10^{-0,1}$ ,  $10^x = 4^3$ ,  $e^{-x} = \log 10^{7,3}$ .

-----

e).- Une population est sujette à une mortalité dont le coefficient de mortalité instantanée est de 0,5, donnez, en pourcentage des nombres initiaux, le nombre restant après 1 an, 2 ans, 6 mois. Faites de même pour les coefficients de mortalité de 0,1 ; 1,2 ; 0,7.

-----

f).- Une certaine mortalité entraîne la mort de 25 % de la population chaque année ; quel pourcentage de la population initiale restet-il après 2 ans ; 6 mois ; 3 ans. Quel est le coefficient de mortalité instantanée correspondant. (N.B. chercher le coefficient d'abord). De même pour les mortalités donnant 10 %, 90 %, 50 % de mortalité par an.

- - - - -

g).- Deux causes de mortalité, agissant indépendamment, entraînent des coefficients de mortalité de 0,2 et 0,3 ; quel est le coefficient de mortalité total qui en résulte ?

De même pour les coefficients de 0,7 et 0,1 ; 1,0 et 0,3.

- - - - -

h).- Deux causes de mortalité agissent indépendamment sur une population ; seules elles entraîneraient respectivement la mort de 20 % et 30 % de la population en un an. Meurt-il 50 % de la population en un an ? Si non, quel en est le pourcentage qui meurt ? (N.B. convertissez en coefficients de mortalité instantanée).

De même pour des couples de mortalité donnant 70 % et 30 % ; 80 % et 70 % de mortalité.

- - - - -

i).- Portez  $y$  en fonction de  $x$  sur du papier semi-logarithmique et  $\log_{10} y$  et  $\log_e y$  en fonction de  $x$  sur un papier millimétré ordinaire :

$x$	0	1	2	3	4	5	6
$y$	1,12	1,58	2,24	3,16	4,47	6,31	8,91

Les points satisfont-ils l'équation

$$\text{Log } y = ax + b$$

$$\text{ou } y = c e^{dx} ?$$

Dans ce cas, quelles sont les valeurs de  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  ?

- - - - -

j).- Recommencez (i) pour 2 séries de  $y$

$x$	0	1	2	3	4	5	6
$y_1$	0,79	0,63	0,50	0,40	0,32	0,25	0,20
$y_2$	0,71	0,35	0,18	0,089	0,045	0,022	0,011

Si les  $y$  représentent la densité d'une certaine classe annuelle de poisson à des intervalles d'un an, les données correspondent-elles à un coefficient de mortalité constant ? Quelle est alors la fraction survivante chaque année et quel est le coefficient de mortalité instantanée ?

- - - - -

1.2. Statistiques et échantillonnage

a).- Etant donné les deux distributions de fréquence de longueur :

Longueur (cm)	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Fréquence	1	3	8	16	18	17	12	6	2	1	0

et

Longueur (cm)	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Fréquence	0	0	4	12	14	10	9	8	4	3	1	1	0

déterminer : a) la moyenne - b) le mode - c) la médiane - d) la variance - e) l'écart-type - f) l'erreur standard de chaque moyenne.

En utilisant ces résultats, déterminer si la différence entre les moyennes est plus du double (niveau 5 %) ou du triple (niveau 1 %) de l'écart-type (Déterminer le mode graphiquement, les autres par le calcul).

- - - - -

b).- Refaire les mêmes calculs qu'en a) pour les 2 distributions suivantes :

a/ 15, 17, 20, 23, 24, 27, 29, 31, 33, 35, 36, 36, 38, 40, 42, 42, 46, 49, 52, 53, 54, 58, 60, 65, 71.

b/ 19, 26, 23, 29, 30, 32, 34, 37, 38, 40, 42, 42, 44, 45, 46 48, 51, 54, 56, 59, 60, 65, 68, 75.

- - - - -

c).- Sur deux chalutiers, on a prélevé 3 caisses de même poids chacune dans une catégorie de taille de merlu : gros/moyen/petit. Le dénombrement des individus, dans chaque groupe de 10 cm, et le nombre de caisses débarquées donnèrent les résultats suivants :

Catégorie	Classe								Total	Nombre de caisses débarquées
	40-	50-	60-	70-	80-	90-	100-			
Bateau A					7	7			14	2
			8	15	3				26	10
		2	32	19	1				54	14
Bateau B					5	4	3		12	23
			4	17	6	1			28	53
		1	13	27	4				45	40

Les nombres de caisses débarquées par l'ensemble des bateaux furent : 350 de gros/ 720 de moyen/ 1056 de petit merlu.

Calculer le nombre de merlus de 60-69 cms et 80-89 cms débarqués par les 2 bateaux étudiés, et le total débarqué par tous les bateaux.

-----

d).- On a estimé le nombre de plies mâles par classe de 5 cm débarquées à Lowestoft en 1955 :

25-29	30-34	35-39	40-44	45-49
3.991.984	4.155.009	1.232.174	274.972	15.346

Le nombre de mâles dont on estima l'âge à partir des otolithes fut :

Age	3	4	5	6	7	8	9	10	11+	Total
Longueur										
25-29	33	82	30	13	8	1				167
30-34	8	48	53	24	34	12	5	1	1	186
35-39	1	14	26	33	42	19	11	10	6	162
40-44		1	8	2	12	5	5	-	3	36
45-49						1	4	-	4	9

Calculer le nombre total de poissons de 6 ans débarqués.

## 2. CROISSANCE

a).- L'équation de Von BERTALANFFY contient 3 constantes ( $L_{\infty}$ ,  $K$  et  $t_0$ ), et on peut donc l'obtenir à partir de 3 observations de longueur à un âge donné. A partir de  $l_t = L_{\infty} [1 - e^{-K(t-t_0)}]$  (2) écrire les longueurs aux temps  $t-1$ ,  $t$ ,  $t+1$  et les accroissements de longueur entre  $t-1$ ,  $t$ ,  $t+1$ . Déterminer alors une valeur estimée de  $K$  à partir du rapport de ces accroissements ; en la reportant dans l'équation (2), ou de toute autre manière possible, trouver une valeur pour  $L_{\infty}$ , en fonction de  $l_t$  et des accroissements.

b).- KITAHAMA et HITOSHI (1955) donnent les valeurs suivantes (âge-poids) pour le hareng du Pacifique Clupea pallasii C. et V. pêché sur la côte Ouest au large de Hokkaido de 1910 à 1954. Les longueurs sont les longueurs moyennes pour une période de 45 ans ; les âges furent déterminés par lecture d'écailles.

Age (années)												
3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
25,70	28,40	30,15	31,65	32,85	33,65	34,44	34,97	35,56	36,03	35,93	37,04	37,70

Longueur totale (cm)

$$W = 7,8 \times 10^{-3} L^3 \text{ gm}$$

- 1 - Construire une table de travail et déterminer  $L_{\infty}$   $W_{\infty}$   $K$  et  $t_0$
- 2 - Déterminer les courbes de croissance en longueur et poids pour la période 0-15 ans.

- - - - -

c).- YOKOTA donne les chiffres suivants pour la croissance du requin Mustelus kanekonis.

Classe d'âge	I	II	III	IV
Poids (gm)	375	1519	2430	3247

$$W = 7,4 \times 10^{-3} L^3 \text{ gm.}$$

- 1 - Déterminer  $L_{\infty}$ ,  $W_{\infty}$ ,  $K$  et une valeur calculée pour  $t_0$
- 2 - Déterminer les courbes de croissance en longueur et poids jusqu'à la classe d'âge VIII.

- - - - -

d).- YAMAMOTO et IWATA (1956) donnent les chiffres suivants pour la croissance du bivalve Venerupis japonica de 1947 à 1955.

Age (années)	1	2	3	4	5	6
Lg. de la coquille (cm)	0,88	2,13	3,44	4,09	4,43	4,90

- 1 - Déterminer  $L_{\infty}$ ,  $K$  et  $t_0$
- 2 - Déterminer la courbe de croissance en longueur de 0 à 8 ans.

- - - - -

e).- UCHIAI (1956) donne les chiffres suivants pour la croissance des soles Heteromycteris japonicus et Pardachirus pavoninus.

Age (années)	Longueur standard (cms)	
	H. japonicus	P. pavoninus
1	6,09	10,00
2	8,10	14,80
3	9,20	

- Déterminer arithmétiquement  $L_{\infty}$ , K et  $t_0$  pour chacune des espèces (en supposant  $t_0 = 0$  pour P. pavoninus).

- - - - -

f).- MOISEEV (1946) donne les chiffres suivants pour la croissance (longueur totale) de Limanda aspera dans la Baie de Pierre le Grand (Mer du Japon).

Age	Sexe	A n n é e				
		1928	1930	1931	1932	1933
1	♂	5,15	7,60	6,58	7,72	8,34
	♀	5,77	7,22	7,20	9,50	7,34
2	♂	10,25	13,60	11,70	13,80	14,10
	♀	11,77	11,88	13,20	15,50	12,68
3	♂	16,40	19,40	17,42	18,82	19,44
	♀	17,41	19,00	18,80	21,00	18,68
4	♂	20,45	24,00	21,22	22,92	24,32
	♀	22,13	25,00	23,60	25,50	25,32
5	♂	25,05	26,80	25,42	26,38	27,66
	♀	26,51	26,12	27,60	29,50	27,32
Indice de prise benthique totale		1	1	5,5	8,0	7,7

1 - Analyser les différences sexuelles au point de vue croissance.



2 - En se souvenant que la pêche dans la Baie ne commença à être importante que durant la saison 1929-1930, et que Limanda aspera constitue 80 % de la prise benthique, examiner les variations de croissance d'une année à l'autre.

3 - La composition en âge moyen en fonction du nombre de 1931 à 1933 fut la suivante :

Age	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
%	0,6	4,7	16,1	33,3	27,9	11,3	3,4	1,7	0,9	0,2

- Evaluer le coefficient de mortalité totale et examiner la croissance pour voir si la longueur moyenne à un âge donné est soumise à un biais dû à la sélection.

### 3. EFFORT ET PRISE PAR UNITE D'EFFORT

a).- Le tableau ci-dessous réunit des données très simplifiées sur les chalutiers anglais de Mer du Nord et donne l'effort et les prises de Plie et d'Eglefin pendant 2 ans. La surface de pêche a été divisée en 16 plus petites dans lesquelles les données ont été recueillies séparément.

	1ère année				2ème année			
Effort	5	6	6	3	16	17	13	14
Eglefin	50	48	60	24	208	238	195	168
Plie	0	12	6	0	0	17	13	0
Effort	8	7	9	8	13	12	13	10
Eglefin	40	49	54	48	130	132	91	80
Plie	16	0	27	8	13	12	26	0
Effort	10	13	11	14	9	9	(8)	6
Eglefin	40	65	33	56	45	63	(32)	48
Plie	40	39	22	42	18	18	(8)	18
Effort	14	15	16	15	5	5	6	4
Eglefin	28	0	16	15	10	5	6	4
Plie	84	90	48	45	25	15	12	8

- 1 - Par addition, calculer la prise totale pour chaque espèce, l'effort total et le rapport prise totale/effort total.
- 2 - Faire un tableau pour chaque année montrant la prise par unité d'effort pour chaque espèce dans chaque rectangle.
- 3 - Calculer pour chaque espèce un index global de densité c'est-à-dire la capture moyenne par unité d'effort et l'intensité totale effective de pêche pour chaque espèce, chaque année.

- Comparer les intensités de pêche pour les 2 espèces -

- Comparer le changement de densité entre les 2 années tel qu'il peut être mesuré par le rapport prise totale/effort total et par la prise moyenne par unité d'effort.

- - - - -

b).- La table ci-dessous donne les statistiques de prise et d'effort pour la pêcherie de morue de la Mer de Barentz (région I.C.E.S.I.). Les prises sont données en tonnes (le total inclut les prises norvégiennes et allemandes), l'effort de pêche anglais en millions de tonnes/heure et l'effort de pêche russe en milliers d'heures de pêche (Données du rapport du groupe de recherche des pêcheries arctiques).

ANNEE	P R I S E			E F F O R T	
	G. BRETAGNE	RUSSIE	TOTAL	G. BRETAGNE	RUSSIE
1946	53 835	117 100	199 640	17,6	104
1947	127 242	151 970	340 758	38,4	149
1948	164 794	158 650	406 620	63,1	162
1949	226 450	162 340	484 942	80,0	171
1950	136 790	135 410	356 474	93,2	161
1951	129 030	189 580	407 989	98,9	231
1952	130 546	258 830	524 160	102,6	247
1953	59 445	261 400	442 839	53,1	275
1954	72 347	404 650	597 534	51,5	340
1955	91 379	530 280	830 694	60,6	373
1956	67 787	512 170	787 070	54,3	492
1957	38 488	183 000	399 595	44,5	-
1958	46 225	146 570	388 067	55,6	-

- Calculer l'effort de pêche total en unités anglaises et russes -
- Calculer la prise par unité d'effort des flottes anglaises et russes - (Exprimer chacune comme un % de la moyenne 1946-56 et calculer alors les indices combinés de prise par unité d'effort et d'effort total).

- - - -

c).- Les chalutiers allemands pêchent à l'ouest du Groenland à la fois la morue et le Sebastes ("redfish"). Leurs prises (en tonnes) et leurs efforts de pêche en 1958 et 1959 furent les suivants (données tirées des Bulletins statistiques de l'ICNAF).

Année	Espèce principale	Nombre de jours de pêche	Prise de Morue	Prise de Sebastes
1958	Morue	1 337	26 247	1 754
	Sebastes	385	1 277	9 457
	Mélange	199	2 386	1 969
	Total	1 921	29 910	13 170
1959	Morue	645	12 336	1 087
	Sebastes	690	2 705	15 683
	Mélange	169	2.372	2 062
	Total	1 504	17 413	18 832

Déterminer (d'après la p.u.e. de morue<sup>(1)</sup> par les chalutiers pêchant la morue, et la p.u.e. de Sebastes par ceux pêchant le Sebastes) les changements (en %) dans la densité des stocks de morue et de Sebastes entre 1958 et 1959. Comparer ceux-ci avec les changements dans les p.u.e. de morue par les bateaux pêchant le Sebastes et de Sebastes par ceux pêchant la morue.

---

(1) p.u.e. = prise par unité d'effort.

#### 4. MORTALITES

a).- Un bateau de recherche a attrapé en 5 traits d'une heure les nombres suivants de poissons, respectivement pour chaque âge :

I, 30 ; II, 450 ; III, 120 ; IV , 70 ; V, 25 ; VI+, 15.

Un an plus tard, les prises en 12 traits d'une heure étaient :

I, 60 ; II, 960 ; III, 480 ; IV, 120 ; V, 72 ; VI+, 42.

En supposant que, étant donnée la taille de la maille utilisée, la prise par heure donne un indice valable de densité pour le poisson âgé de deux ans et plus, trouver le coefficient de mortalité totale pendant l'année. Si les seules données disponibles étaient celles de la première de ces années, donnez une évaluation de la mortalité totale moyenne pendant les années qui la précèdent.

- - - - -

b).- Les coefficients de mortalité totale - pendant deux années consécutives - auxquels est soumis un groupe de poissons sont de 0,85 et 0,80. S'il y a 1000 poissons au début de la 1ère année quel est le nombre moyen présent pour chacune de ces deux années. Quel est le coefficient de mortalité totale estimé à partir de ces deux moyennes ?

- - - - -

c).- Un examen de plancton a montré que  $2 \cdot 10^{11}$  oeufs furent émis durant une saison de ponte. L'étude de la fécondité montra que la femelle mère moyenne pondait  $10^5$  oeufs. Des études de marché montrèrent que  $3 \cdot 10^6$  poissons furent débarqués pendant l'année suivante, et parmi ceux-ci il y avait 40 % de femelles mûres (qui donc avaient pondu au moins une fois). Quel pourcentage de femelles mûres fut pris pendant l'année ? Si le coefficient de mortalité totale était 1,2 quels étaient ceux de mortalité naturelle et due à la pêche ?

- - - - -

d).- Quand les funes sont tirées, une senne forme approximativement un cercle de 4000 mètres de circonférence. Sachant que 100.000 coups de senne furent donnés une année dans la Mer du Nord, où l'aire

fréquentée par la plie est d'environ 200.000 Km<sup>2</sup>, donner une estimation grossière du coefficient de mortalité de la population de plie due à la pêche à la senne. Sur quelle hypothèse est fondée cette estimation ?

- - - - -

e).- Le nombre moyen de plies débarquées à Lowestoft par 100 heures de pêche à deux époques différentes furent :

Age	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1929-38	125	1 355	2 352	1.761	786	339	159	70	28
1950-58	98	959	1.919	1.670	951	548	316	180	105

Calculer les coefficients moyens de mortalité totale pendant ces deux périodes. En supposant que les efforts moyens totaux pour la plie en Mer du Nord furent (en millions d'heures de pêche de chalutiers anglais) 5,0 en 1929-38 et 3,4 en 1950-58, estimer, d'après l'équation  $Z = F+M = qf+M$  la mortalité naturelle et la mortalité due à la pêche pendant les 2 périodes.

- - - - -

f).- Le tableau ci-dessous donne la composition en âge de la population de morue de la Mer de Barentz (en nombres débarqués pour 100 tonnes/heures de pêche par des chalutiers anglais) et l'effort total de pêche de chaque année.

Age	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12+	Effort
1932	0,02	0,38	1,49	3,16	3,81	2,16	1,55	2,20	1,48	2,80	174
1933	-	0,37	2,12	3,37	4,62	3,37	1,60	1,37	0,64	2,18	184
1934	-	0,43	3,18	6,18	5,47	8,69	2,59	0,75	0,56	1,98	164
1935	0,03	0,56	7,85	13,97	10,04	5,82	2,82	0,88	0,29	1,22	184
1936	0,1	0,58	1,75	8,61	7,96	9,28	3,50	0,93	0,19	1,13	252
1937	0,02	1,89	2,91	7,66	17,05	8,65	2,53	0,38	0,26	0,33	321
1938	0,4	1,87	7,09	5,73	9,46	9,54	4,30	1,24	0,48	0,13	253

1946	7,3	11,52	11,39	18,91	13,77	11,77	14,29	17,65	5,26	3,13	66
1947	2,1	18,25	28,42	28,42	22,57	5,99	7,10	10,45	11,01	4,74	103
1948	0,9	1,89	15,59	33,19	46,77	11,31	7,17	2,01	3,65	2,76	156
1949	4,4	12,92	18,38	34,83	20,08	9,08	6,58	2,94	1,59	2,50	171
1950	-	0,49	1,15	5,49	12,89	9,32	4,28	1,76	1,01	0,37	248
1951	0,04	1,41	8,61	13,58	11,52	6,62	4,11	1,76	1,96	0,02	313
1952	0,15	4,65	11,84	16,26	13,14	4,09	2,11	1,52	0,91	0,93	412
1953	0,02	2,02	13,77	16,41	7,20	5,49	1,62	0,70	0,15	0,25	396
1954	0,07	5,33	19,03	21,76	10,25	3,99	1,62	0,48	0,67	0,13	425
1955	-	0,73	10,83	26,82	15,70	5,44	1,93	1,30	0,57	0,19	551
1956	0,02	0,50	6,29	22,76	13,51	5,59	1,20	0,61	0,24	0,08	630
1957	0,08	1,98	3,40	9,81	9,70	6,55	1,29	0,58	0,38	0,10	457
1958	0,6	4,4	9,98	8,31	5,81	5,53	1,56	0,91	0,42	0,20	414

Calculer la mortalité totale par paire d'années pour chaque âge. D'après les données trouver à partir de quel âge le poisson est pleinement représenté dans les prises. Tirer de là une estimation simple des mortalités entre des paires d'années successives (prendre le rapport 7 et plus vieux/8 et plus vieux, ou la moyenne des mortalités à chaque âge). En reliant graphiquement cette mortalité à l'effort de pêche moyen et en calculant la droite de regression correspondante, estimer les mortalités naturelle et due à la pêche en 1958.

Quelles sont les limites de confiance de la mortalité naturelle ?

## 5. MARQUAGE

a).- GRAHAM (1938) a marqué 1000 morues au Mer du Nord et les nombres suivants furent renvoyés, groupés par intervalles de trois mois.

Mois	0-2	3-5	6-8	9-11
Nombres	139	91	52	40

- En marquant les logarithmes des nombres de retour en fonction du temps, estimer les coefficients de mortalité due à la pêche et de mortalité totale.

(Comparer les résultats quand on se sert de l'équation (3) et de la forme approchée (9), voir chapitre 5).

b).- Des whittings marqués et relâchés en mer du Nord furent classés en fonction de leur vigueur et de l'état de leurs écailles et le nombre des poissons relâchés et repris ensuite furent les suivants (d'après BEVERTON et BEDFORD, 1962).

Etat général	Etat des écailles	Nombre marqué	Nombre repris
bon	bon	60	18
	moyen	98	21
	mauvais	49	6
médiocre	bon	254	60
	moyen	765	159
	mauvais	509	43

- Dans quelle mesure le marquage a-t-il contribué à la mortalité ? En supposant que tous les poissons les plus vigoureux ont survécu, quelle est la proportion de morts dans chacune des autres catégories, et quel fut le nombre de poissons effectivement relâchés ?

- - - - -

c).- Différents pays donnèrent les nombres suivants pour la morue marquée dans le golfe du Saint-Laurent en 1956 - (d'après DICKIE, 1962).

Pays	Nombre de marques	Débarquements totaux de morue (tonnes)
Canada	392	62 400
France	32	28 000
Portugal	29	5 800
Espagne	15	8 100

Calculer le nombre de marques retournées par 1000 T de poissons débarquées par chaque pays. Quelle preuve y a-t-il de retour incomplets ? Si toutes les marques reprises par les Canadiens sont renvoyées, estimer le nombre réellement repris par les autres pays.

- - - - -

d).- 3 groupes de harengs marqués avec des marques intérieures furent relâchés en Mer du Nord pendant l'été 1957. Des données détaillées sur l'effort de pêche danois dans les aires autour des points de libération des harengs étaient disponibles (en heures de pêche par carré statistique = 15 x 15 milles). Le nombre de marques renvoyées et l'intensité de pêche autour de chaque position de marquage pendant les semaines suivantes sont indiquées dans le tableau :

Semaine après le marquage	Nombre des poissons libérés					
	1		2		3	
	Marques	Intensité	Marques	Intensité	Marques	Intensité
1	21	80	80	420	3	10
2	35	64	12	60	3	5
3	30	53	10	50	8	15
4	8	26	2	10	2	10
5	10	56	1	10	-	-
Nombre de poissons marqués	3.000		1.500		3.000	

- Calculer le nombre de marques renvoyées par carré pour chaque libération.

D'après cela - en supposant que l'efficacité de la technique de reprise est telle que 90 % des marques reprises soient renvoyées - dire quelle est la valeur de  $q$  ; la mortalité causée par une intensité de pêche de 100 heures par carré ?

## 6. RECRUTEMENT ET SELECTION

a).- 1. Des culs de chalut de 44 et 112 mm de maille utilisés alternativement donnèrent des prises de plie (en des temps de pêche égaux) comme il est indiqué dans le tableau 1 (voir page 96).



2 - Un cul de chalut de 74 mm équipé d'une poche à petite maille prit des merlans entre le cul et la poche ainsi qu'il est indiqué dans le tableau 2.

Tracer les courbes de sélection pour la plie et le merlan d'après ces données et déterminer les longueurs moyennes de sélection (le nombre de poissons pénétrant dans le filet est pour 1 (traits alternés) égal à la prise dans le filet à petite maille mais pour 2 est la somme des poissons retenus dans le cul et de ceux qui ont traversé celui-ci et se trouvent dans la poche).

- - - - -

b).- Une courbe approximative de recrutement pour la pêche de plie en Mer du Nord est donnée par les chiffres suivants :

Longueur (cm)	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
Fraction recrutée	0,02	0,05	0,08	0,16	0,27	0,38	0,48	0,62	0,75	0,86	0,94	0,97	0,99	1,00	1,00

Calculer la courbe de sélection résultante pour une maille de 112 mm (en utilisant les résultats de l'exemple a) et de là la valeur de  $l_c$ . Si, au lieu de la courbe de recrutement ci-dessus, on trouvait que le recrutement est en "lame de couteau" à 26 cm, quelle serait la valeur de  $l_c$  avec une maille de 112 mm.

- - - - -

c).- Convertir la valeur estimée de  $l_c$  ci-dessus pour la plie et le merlan en âge ( $t_c$ ) en utilisant l'équation de Von BERTALANFFY et les valeurs suivantes des paramètres :

$$\begin{array}{l}
 \text{Plie} \left\{ \begin{array}{l} K = 0,095 \\ L_{\infty} = 68 \text{ cm} \\ t_0 = -0,8 \text{ année.} \end{array} \right. \qquad \text{Merlan} \left\{ \begin{array}{l} K = 0,32 \\ L_{\infty} = 45,5 \text{ cm} \\ t_0 = 0,4 \text{ année} \end{array} \right.
 \end{array}$$

Tableau 1 : Plie

Longueur (cm)	Maille de 44 mm	Maille de 112 mm
10	0	0
11	1	0
12	2	0
13	6	0
14	16	0
15	18	0
16	26	0
17	64	3
18	121	4
19	182	10
20	247	13
21	292	16
22	344	37
23	367	60
24	355	132
25	276	190
26	225	177
27	147	136
28	90	97
29	57	54
30	26	33
31	24	26
32	18	13
33	10	9
34	12	7
35	5	6
36	10	5
37	6	2
38	3	4
39	2	2
40	2	3
41	0	1
42	0	2
43	0	2
44	0	1
45	0	1
46	0	1
47	0	0
48	0	0

Tableau 2 : Merlan

Longueur (cm)	Cul (mm)	Nappe (mm)
10	0	0
11	0	0
12	0	3
13	0	7
14	0	21
15	0	27
16	0	23
17	0	19
18	2	20
19	3	83
20	23	219
21	68	302
22	89	256
23	79	154
24	115	55
25	106	42
26	87	18
27	63	7
28	55	0
29	38	2
30	34	0
31	11	0
32	11	0
33	6	0
34	9	0
35	5	0
36	2	0
37	1	0
38	1	0
39	0	0

8. EXPRESSION SIMPLE DE L'EQUATION DE PRODUCTION

A. Effet de changement dans l'intensité de pêche.

1°) Plie de la Mer du Nord (maille de 75 mm)

Les valeurs approximatives des paramètres sont les suivantes :

$n = 0,1/L_{\infty} = 68,5 \text{ cm}/W_{\infty} = 2860 \text{ gm}/K = 0,095/t_0 = 0,8 \text{ année}/$

$t_r = t_c = 3,7 \text{ années.}$

a) en utilisant la table de travail A, calculer et tracer en fonction du coefficient de mortalité due à la pêche (F), les courbes suivantes :

- poids de la population exploitée par recrue ( $P'/R$ ) (proportionnel à la prise par effort unité)
- le rendement par recrue (Y/R), l'exprimer en grammes et aussi en % du rendement actuel (c'est-à-dire avec  $F = 0,5$ )
- effectif de la population exploitée par recrue ( $N'/R$ )
- prise en nombre par recrue ( $C/R$ )
- poids moyen du poisson dans la prise ( $\bar{W}$ )

(Note : prendre  $F = 0 / 0,1/0,2/0,3/0,5/0,7/1,0/1,5$ ).

b) recommencer l'exercice précédent avec  $M = 0,05$  et  $0,15$ .

c) l'estimation actuelle de F pour la plie en Mer du Nord est d'environ 0,5. Quel % de changement de l'intensité de pêche à partir du niveau actuel est-il nécessaire pour obtenir le rendement stable maximum par recrue ? De quel % celui-ci diffère-t-il du rendement actuel ? Quel effet ce changement d'intensité de pêche aurait sur la prise par unité d'effort et le poids moyen de poisson dans la prise ? Dans quelle mesure ces reponses dépendent-elles de la grandeur de M ?

- - - - -

2°) - Recommencer pour une maille de 140 mm étant donné que  $t_0$  pour cette taille de maille est de 5,9 années.

- - - - -

3°) Haddock de la Mer du Nord (maille de 75 mm)

- Les valeurs approximatives des paramètres sont les suivantes :

$M = 0,2/L_{\infty} = 55 \text{ cm} / W_{\infty} = 1300 \text{ gm}/K = 0,25/t_0 = 0,2 \text{ année}/t_r = 1,0 \text{ année}/$   
 $t_c = 2,1 \text{ année.}$

a) reprendre l'exercice 1°) - comme ci-dessus. L'estimation actuelle de  $F$  pour le haddock de la Mer du Nord est d'environ 0,8.

b) recommencer avec  $M = 0,1$  et  $0,3$

- - - - -

4°) - Recommencer pour une maille de 100 mm avec  $t_c = 3,3$  années.

- - - - -

B. Effets d'un changement de taille de la maille

1°) Plie de la Mer du Nord ( $F = 0,5$ )

a) pour des mailles supérieures à 120 mm, la longueur moyenne de sélection  $l_c$  peut être calculée directement à partir du facteur de sélection  $(b) = 2,2$  en utilisant les tables de travail  $B_1$  et  $B_2$ . Calculer et tracer en fonction de la taille de la maille  $P'/R$ ,  $Y/R$ ,  $N'/R$ ,  $C/R$  et  $\bar{W}$ .

Prendre  $M = 0,1$  et les autres valeurs de paramètres comme en A.1. Exprimer le rendement en % du rendement actuel pour une maille de 75 mm. (Note : prendre pour valeur des tailles de mailles 120, 160, 180 et 200 mm et marquer aussi les valeurs pour les mailles de 75 et 140 mm précédemment calculées pour  $F = 0,5$ ).

b) Recommencer avec  $M = 0,05$  et  $0,19$ .

c) Quelle maille faut-il prendre pour avoir le rendement stable maximum avec cette valeur de  $F$  ? Par quel % ce rendement diffère-t-il du rendement actuel ? Quels seraient les changements correspondants de prise par unité d'effort et de poids moyen du poisson dans la prise ? Dans quelle mesure ces reprises dépendent-elles de la valeur de  $M$  ?

- - - - -

2°) Haddock de la Mer du Nord  $F = 0,8$ .

a) La relation entre la taille moyenne de sélection  $l_c$  et la taille de la maille pour le haddock peut être calculée avec un facteur de sélection de 3,2 en utilisant les tableaux de travail  $B_1$  et  $B_2$ ,  $F$  étant égal à 0,8, calculer et tracer en fonction de la taille de la maille  $P'/R$ ,  $Y/R$ ,  $N'/R$ ,  $C/R$  et  $\bar{W}$ . Prendre  $M = 0,2$  et les mêmes valeurs de paramètres qu'en A.3.

(Note : prendre comme tailles de maille 80, 90, 120 et 140 mm marquer aussi les valeurs précédemment calculées pour des mailles de 75 et 100 mm avec  $F = 0,8$ ).

b) Recommencer avec  $M = 0,1$  et  $0,3$

c) Quelle taille de maille faut-il prendre pour avoir le rendement stable maximum par recrue avec cette valeur de  $F$  ? Par quel % ce rendement diffère-t-il du niveau actuel ? Quels seraient les changements correspondants de prise par unité d'effort et de poids moyen de poisson dans la prise ? Dans quelle mesure ces reprises dépendent-elles de  $M$  ?

- - - - -

3°) a) - reprendre 2 a et 2 c avec  $F = 0,3$ .

b) - comparer vos conclusions et résultats avec ceux obtenus pour  $F = 0,8$  et avec ceux obtenus pour la plie.

### 9. EVALUATIONS SPECIALES

a).- La table ci-dessous donne la prise par unité d'effort (prise en tonnes par milliers de tonnes/heures de pêche par les chalutiers anglais) et la prise totale en milliers de tonnes de morue et de haddock en Islande.

Année	Prise totale		p.u.e.		Année	Prise totale		p.u.e.	
	Morue	Haddock	Morue	Haddock		Morue	Haddock	Morue	Haddock
1906	105	35	0,97	0,55	1936	280	25	1,14	0,14
1907	115	30	1,03	0,49	1937	295	25	1,39	0,11
1908	125	31	1,20	0,54	1938	305	24	1,11	0,16
1909	115	28	1,05	0,57	1939	198	13	-	-
1910	135	30	1,12	0,56	1940	148	20	-	-
1911	155	31	1,26	0,58	1941	158	15	-	-
1912	160	28	1,20	0,47	1942	176	17	-	-
1913	180	26	1,27	0,38	1943	189	13	-	-
					1944	220	12	-	-
1919	130	35	1,41	1,01	1945	216	14	-	-
1920	190	53	1,39	0,70	1946	237	28	1,84	0,63
1921	175	37	1,16	0,58	1947	246	33	1,46	0,42

1922	220	40	1,27	0,61	1948	293	52	1,27	0,32
1923	220	38	1,09	0,44	1949	315	66	1,17	0,37
1924	300	38	1,09	0,30	1950	321	60	0,98	0,24
1925	320	35	1,28	0,31	1951	327	54	0,94	0,19
1926	295	37	1,09	0,32	1952	392	45	0,91	0,18
1927	340	54	0,99	0,38	1953	515	53	1,11	0,18
1928	360	57	0,88	0,34	1954	546	62	1,01	0,17
1929	390	54	0,83	0,29	1955	537	64	1,04	0,21
1930	490	49	1,10	0,28	1956	482	62	1,02	0,19
1931	475	40	1,09	0,21	1957	453	76	0,81	0,16
1932	480	32	1,34	0,19	1958	511	70	0,80	0,14
1933	510	26	1,28	0,14	1959	454	64	0,68	0,18
1934	480	26	1,14	0,14	1960			0,64	0,18
1935	400	27	1,16	0,14					

- 1 - Calculer l'effort de pêche total - en unités anglaises - pour la morue et le haddock chaque année.
- 2 - Si la durée moyenne de vie dans la pêcherie est de 2 ans pour le haddock et de 3 pour la morue, relier l'abondance du stock à l'effort de pêche passé. Y-a-t-il un indice montrant qu'une de ces relations a changé ? En particulier examiner la courbe pour le haddock depuis 1950, date à laquelle une maille plus grande fut introduite et le chalutage interdit dans certaines zones comprenant des lieux de rassemblement de jeunes.

b).- La table ci-dessous donne des chiffres sur la prise et la p.u.e. de baleines dans l'Antarctique. En prenant alternativement comme valeurs de la taille de la population correspondant à une p.u.e. de 1.00 les nombres de 20.000 et 30.000 baleines, calculer le changement annuel de taille de la population, et ensuite, le rendement que l'on peut escompter chaque année. Le noter en fonction de la taille de la population cette année là et 5 ans plus tôt (en supposant que les baleines bleues atteignent la phase d'exploitation à l'âge de 5 ans). Comment peut-on utiliser les données de prise pour les années 1939-1946 ?

Quel est le rendement maximum que l'on peut atteindre et à quelle taille de population ?

Année	Prise totale	p.u.e.	Année	Prise totale	p.u.e.
1925/26	4 697	3,30	1944/45	1 042	
1926/27	6 545	3,76	1945/46	3 606	1,36
1927/28	8 334	4,39	1946/47	9 192	1,85
1928/29	12 734	4,49	1947/48	6 908	1,12
1929/30	17 898	3,13	1948/49	7 625	0,98
1930/31	29 410	3,71	1949/50	6 182	0,80
1931/32	6 488	4,83	1950/51	7 048	0,81
1932/33	18 890	4,61	1951/52	5 130	0,63
1933/34	17 349	4,76	1952/53	3 870	0,44
1934/35	16 500	3,46	1953/54	2 697	0,42
1935/36	17 731	3,96	1954/55	2 176	0,31
1936/37	14 304	2,83	1955/56	1 614	0,37
1937/38	14 923	2,00	1956/57	1 512	0,27
1938/39	14 081	1,77	1957/58	1 690	0,28
1939/40	11 480	-	1958/59	1.187	0,18
1940/41	4 943	-	1959/60	1 228	0,14
1941/42	59	-	1960/61	587 +	0,105
1942/43	125	-	1961/62	639 +	0,093
1943/44	339	-			

+ Sans les baleines bleues naines

c).- Voici des données sur les chalutages anglais de haddock aux îles Feroe montrant le nombre débarqué par classe de 5 cm, leur poids moyen, et la proportion de chaque groupe retenue par une maille de 90 mm et une maille de 120 mm.

Longueur (cm)	Poids moyen (gm)	% retenu		Nombres débarqués (milliers)
		90 mm	120 mm	
25-29	160	50	3	8
30-34	260	80	16	314
35-39	420	98	41	1.084
40-44	630	100	72	1.409
45-49	880	100	94	1.370
50-54	1.190	100	100	952
55-59	1 570	100	100	465
60-64	1 760	100	100	255
65-69	2 530	100	100	124
70-74	3 100	100	100	73
75-79	3 800	100	100	30
80+	4 600	100	100	9

- a) Quel est le poids total actuel débarqué ?
- b) Si la maille actuelle était de 90 mm quelle serait la réduction de prise (en %) suivant immédiatement une augmentation à 120 mm.
- c) S'il faut une moyenne de 6 mois au poisson relâché pour atteindre la taille de 1ère capture correspondant à la maille de 120 mm, quel serait l'effet à long terme d'un accroissement de la maille à 120 mm, supposant qu'il n'y a pas d'autre pêcheerie et que la mortalité naturelle du poisson à la taille de sélection est 0,2 et  $E(-\frac{F}{F+M}) = 0,5$ .
- d) Quel serait l'effet à long terme sur les deux pêcheries (en % et poids réels) s'il y avait aussi une pêcheerie à lignes ayant une prise moyenne annuelle de  $5 \cdot 10^6$  poissons pesant 6.000 T, avec  $E = 0,7$  ? Supposez que tous les poissons pris à la ligne sont supérieurs à la taille de sélection correspondant à la maille de 120 mm.
- e) Quel serait l'effet si les chalutiers rejetaient 30 % de la prise (en nombre) et si ces poissons étaient assez petits pour échapper à une maille de 120 mm (avec par ex.  $\Delta t = 1$  année).

- - - - -

d).- La prise moyenne annuelle de haddock par des chalutiers pêchant le hareng en 1954-56 fut la suivante :

Taille	Prise (tonnes)	Poids débarqué (tonnes)	Poissons ( $10^6$ )
< à 24 cm	2 500	-	25
24-27 cm	6 000	-	45
> à 27 cm	23 500	14 000	80
Total	32 000	14 000	150

La pêcheerie de haddock débarque en moyenne 70.000 tonnes par an, le poids moyen du poisson étant de 330 g. Si les pêcheurs de hareng avaient à utiliser une maille de la taille minimum pour le poisson démersal, quel serait l'effet sur les prises de haddock, en supposant :

- 1 - La maille légale laisse échapper tous les haddocks de taille inférieure à 24 cm.



- 2 - Dans la pêcherie de haddock une centaine de millions de poissons de plus de 24 cm sont capturés, mais sont rejetés parce qu'ils sont en-dessous de la taille commercialisable de 27 cm.
- 3 - Il faut aux poissons mesurant moins de 24 cm qui ne seraient pas pris par une maille plus grande une moyenne de 6 mois pour atteindre 24 cm., pendant lesquels leur mortalité naturelle serait de 0,2.
- 4 -  $E = \frac{F}{F+M} = 0,8$  (où F comprend toutes les formes de pêche).

#### 10. CHANGEMENTS DANS LES PARAMETRES

Le stock de plie pendant en mer du Nord peut être évalué par la prise pondérale de 100 heures de pêche par les chalutiers anglais (+), et le recrutement par la prise - en nombre par heure - de poissons de 4 ans, quatre ans après. Des données disponibles pour les années passées sont présentées ci-dessous (d'après BEVERTON, 1961).

Année	Stock (+)	Recrutement	Année	Stock(+)	Recrutement
1926	16	18	1943	120	18
1927	15	28	1944	140	16
1928	16	61	1945	150	33
1929	16	36	1946	76	32
1930	17	27	1947	54	45
1931	16	18	1948	44	22
1932	16	28	1949	35	20
			1950	33	23
			1951	31	9
			1952	32	22

- Calculer un indice de survie depuis l'oeuf jusqu'au recrutement.
- Quelle est la relation :
  - a) entre le stock et le recrutement ?
  - b) entre le stock et la survie ?

B I B L I O G R A P H I E

- Cette traduction a été tirée de : GULLAND J.A. (1964) Manual of methods of fish population analysis (Bulletin technique des pêches FAO n° 40 - 64 p.).

Ouvrages cités :

- BEVERTON (R.J.H.) et HOLT (S.J.) 1956.- A review of methods for estimating mortality rates in exploited fish populations with special reference to source of bias in catch sampling. (Rapp. Cons. Expl. Mer, 140, 1, 67-83).
- BEVERTON (R.J.H.) et HOLT (S.J.) 1957.- On the Dynamics of exploited fish populations (London, Her Majesty's Stat. off. 533 p.).
- MARTIN, J.W., 1962.- Distribution of catch-per-unit-of-effort and fishing effort for tuna on the eastern tropical Pacific Ocean by months of the year, 1951-1960. (Bull. Inter-Amer. trop. Tuna Comm., 6(5) : 179-229).
- SHIMADA et SCHAEFER, 1956.- A study of changes in fishing effort, abundance, and yield for yellowfin and skipjack tuna in the Eastern Tropical Pacific Ocean. (Inter-Amer. trop. Tuna Comm., Bull., Vol. 1, n° 7, pp. 350-421).
- VIBERT (R.) et LAGLER (K.F.), 1961.- Pêches continentales : biologie et aménagement. (Dunod Paris. XXIV + 720 p.).
- On trouvera d'autre part des bibliographies abondantes dans les ouvrages suivants :
- BEVERTON et HOLT (1957). Voir ci-dessus.
- GRAHAM (M.) (éditeur) (1956). Sea fisheries. (London, Edward Arnold, Publishers limited, 487 p.).
- GULLAND J.A. Voir ci-dessus (les diverses références sont classées en fonction du contenu).
- RICKER (W.E.), 1958.- Handbook of computations for biological statistics of fish populations. (Bull. Fish. Res. Bd. Canada, 119, 300 p.)