

COLLECTE DE L'INFORMATION POUR UNE GESTION RATIONNELLE DES STOCKS HALIEUTIQUES ⁽¹⁾

par

Alain LAUREC, Jean-Claude LE GUEN et Serge FRONTIER

La gestion rationnelle des stocks – objectif plus que réaliste aujourd'hui – ne peut se concevoir sans le recours à la dynamique des populations exploitées. Cette discipline permet de bâtir des modèles prévisionnels, qui rendent compte des conséquences à attendre de tout régime d'exploitation d'un stock. Quelques brefs rappels seront exposés à ce propos, ainsi qu'une présentation des techniques d'ajustement des modèles, qui conditionnent l'échantillonnage. Le deuxième volet de ce chapitre permettra d'entrer dans le vif du sujet puisqu'il traite de la collecte de l'information.

L'ajustement d'un modèle fait appel à des données précises, dont l'acquisition apparaît dès lors comme prioritaire. Dans cet esprit l'échantillonnage d'une pêcherie peut être considéré comme l'exemple-même de l'échantillonnage d'un sous-système en fonction d'un modèle dynamique.

1. – MODÈLES ET TECHNIQUES D'AJUSTEMENT

1.1. – Définition de l'objet

Une première notion à dégager est celle d'objet auquel s'appliquent les modèles. Ces modèles constituent un cas particulier de relation prédateur-proie. L'ensemble des proies concernées doit être délimité : c'est le *stock*. L'autre partie est constituée par l'ensemble des pêcheurs exploitant ce stock, dont l'activité doit être caractérisée et quantifiée.

(1) Ce chapitre constitue un résumé et une synthèse de divers documents, les uns publiés (Laurec, 1978, 1980 ; Laurec et Le Guen, 1982), un autre constituant un document interne du Groupe de Support Général de Gestion des Stocks (CNEXO, Brest) mais destiné à une publication ultérieure après révision (Laurec et Le Guen, en préparation).

1.1.1. — **Stocks.** La définition la plus simple du stock est : fraction exploitable d'une population au sens biologique. Au long de la vie d'un poisson, l'entrée dans la phase exploitable correspond au *recrutement* (fig. 11.1). L'essentiel des études est centré sur cette phase recrutée, au sujet de laquelle quelques notions complémentaires seront présentées. Si en théorie un stock est associé à une population biologique, dans la majorité des cas la réalité est plus complexe : cela sera discuté en un second paragraphe. Enfin la prise en compte des âges non exploitables sera rapidement évoquée.

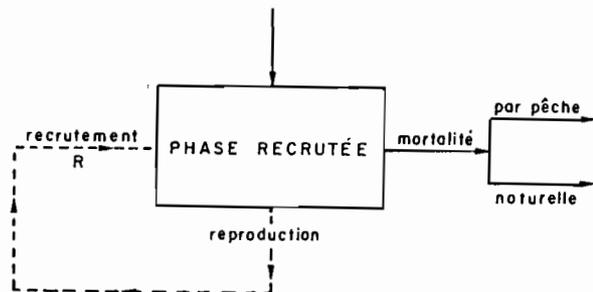


FIG. 11.1 — Schéma général des modèles structuraux (d'après Ricker, 1958).

1.1.1.1. — **Quelques notions essentielles sur la phase recrutée.** L'analyse conduit aux notions suivantes :

— l'*accessibilité* est la présence physique des individus sur les lieux de pêche. Il arrive fréquemment que des migrations accompagnent la croissance, et conduisent l'espèce à n'entrer dans la zone de pêche qu'à partir d'un certain stade de développement ontogénique. Cette entrée de l'espèce sur les lieux de l'exploitation marque alors le début de la phase exploitable et correspond donc au *recrutement*. Les phases du développement ontogénique précédant cet instant sont les *phases prérecrutées*. Le *taux d'accessibilité* d'une classe d'âge est la proportion d'individus de cette classe présents sur les lieux de pêche ; il varie parfois de façon périodique (migrations saisonnières, etc.) ou épisodique.

— la *vulnérabilité* est une notion totalement indépendante de la précédente, puisqu'elle est liée, pour un animal présent sur les lieux de pêche, à la probabilité d'être capturé par les engins de pêche utilisés. Elle varie selon les caractéristiques de l'engin, par exemple la maille du filet ou la taille des hameçons, et avec les possibilités d'évitement ou d'échappement des poissons.

— la *disponibilité* est l'ensemble des deux composantes accessibilité et vulnérabilité. La *capturabilité* d'une classe d'âge intègre la disponibilité et un autre facteur, lié à l'efficacité du déploiement dans l'espace et dans le temps, dit *efficience*.

— les diverses composantes peuvent varier avec l'âge. Ceci correspond à la *sélectivité*.

1.1.1.2. — **Stock-population et stock-unité.** Dans l'idéal un stock est associé à une population biologique supposée isolée et homogène. Entre populations distinctes les échanges sont, par définition, rares ou sporadiques, de sorte que ces populations peuvent présenter des caractères biométriques, démographiques et dynamiques différents et par conséquent évoluer différemment sous la pression de la pêche. Il est mathématiquement faux d'appliquer à un tel "stock" composite des paramètres qui seraient des moyennes entre caractéristiques des différentes populations.

Le premier problème qui se pose est donc la délimitation de stocks "homogènes" d'un point de vue fonctionnel, c'est-à-dire au sein desquels la variabilité n'est qu'aléatoire, et que l'on appelle *stock-unités*. Chaque stock-unité a ainsi ses caractéristiques quantitatives et ses propres possibilités d'évolution, spontanée ou en réaction à la pression halieutique.

En d'autres termes, si les statistiques de pêche peuvent intéresser des aires ou des échelles d'observation arbitraires, ou déterminées seulement par des considérations économiques ou administratives (ces statistiques pouvant aller jusqu'à l'évaluation des stocks mondiaux), l'application de modèles dynamiques est soumise à l'existence objective de sous-populations à évolutions distinctes, auxquelles on appliquera séparément le schéma proie-prédateur.

Toutefois, lorsque les caractéristiques des divers stocks-unités dans une même région de pêche sont peu différentes, on fera en les groupant une erreur peu importante, largement compensée par l'avantage que représentent des résultats obtenus rapidement. Il est même avantageux, si l'on ne dispose au départ que d'une information approximative, de considérer dans une première approche comme stock un ensemble assez vaste, que l'on subdivisera ensuite au besoin en vue d'une analyse plus fine.

C'est pourquoi, dans la pratique, un stock constitue une unité de gestion, qui n'est pas nécessairement associée à l'unité biologique qu'est une population. Il existe même des modèles très généraux, dits modèles "globaux", pouvant englober des statistiques portant sur plusieurs espèces (avantage certain lorsqu'on se trouve en présence de plusieurs espèces difficiles à distinguer) : le stock-unité est alors multispécifique (Gulland, 1972). Enfin, à l'opposé, on peut devoir considérer comme deux stocks différents les mâles et les femelles d'une même espèce (par exemple pour les crevettes *Penaeides* : Crosnier *et al.*, 1970).

Quoi qu'il en soit, le respect des hypothèses est rarement absolu, un ensemble ne renfermant qu'exceptionnellement des sous-ensembles isolés aux caractéristiques parfaitement tranchées. La stratégie à appliquer résultera d'un compromis entre le respect des hypothèses mathématiques, la faisabilité (et le coût) de l'échantillonnage et la rapidité d'acquisition des données. Ce dernier point est un élément important de la gestion puisqu'un stock peut se détériorer irrémédiablement pendant le temps que l'on met à le délimiter scrupuleusement !

1.1.1.3. — **Objet de l'échantillonnage.** Dans la ou les populations correspondant à un stock, deux fractions sont à considérer : la fraction exploitable et la part exploitée. Ces distinctions recouvrent essentiellement des structures démographiques : un animal connaît une phase prérecrutée allant de la ponte à l'entrée dans la phase exploitable. Mais il peut n'entrer en phase exploitée qu'ultérieurement. La première cible des études correspond à la fraction exploitée. Cette priorité est indiscutée, néanmoins pour les prévisions à court terme il devient de plus en plus important d'obtenir une estimation de l'abondance des classes préexploitées. Enfin, pour comprendre les mécanismes de renouvellement des générations, voire estimer l'abondance des stocks de géniteurs (cf. § 2), il devient souvent important de s'intéresser aux œufs, larves et juvéniles.

1.1.2. — **Caractérisation et quantification de l'exploitation.** Il y a là moins de difficultés à définir l'objet, une flotte de pêche étant généralement facile à délimiter sinon à étudier concrètement. Cependant un problème apparaît fréquemment, lié à la nécessité d'évaluer la *totalité* de l'effort de pêche appliqué à un stock et non, comme cela a été fait par le passé, l'effort d'une catégorie : celui d'un type de navire utilisé ou celui d'un pays à l'exclusion des autres pêchant dans les mêmes eaux.

1.1.2.1. — **Unité d'effort. Effort. Intensité.** Considérant un type de bateau donné utilisant un procédé de capture précis, on considérera une opération ou un ensemble d'opérations d'un bateau donné, éventuellement en les ramenant à l'unité de temps. Ce sera par exemple l'heure de chalutage, ou l'ensemble (pose + séjour + relevé du casier). Souvent on se ramène à des définitions englobant une journée, voire une période plus longue, pour couvrir tous les types d'activité.

Pour l'ensemble d'un stock et sur une période donnée, si tous les navires sont de même type et pratiquent la même pêche, l'*effort total* correspondra au nombre total d'unités d'effort intéressées. Il est en général noté f .

L'*effort* est une notion cumulée dans l'espace et dans le temps. Localement et ponctuellement, l'*intensité de pêche locale* correspond à l'effort par unité de surface et par unité de temps. L'*intensité de pêche globale* correspond à l'effort par unité de temps sur toute la surface. Comme on considère souvent comme unité de temps l'année, l'*intensité globale* (moyenne) sur l'année est égale à l'effort annuel.

1.1.2.2. — **Standardisation des puissances de pêche.** Quand plusieurs types de bateaux et plusieurs procédés de pêche cohabitent, un type de navire et un type d'engin doivent être choisis comme références. Les captures comparées des autres unités permettront de définir un facteur de standardisation : la *puissance de pêche*. L'effort s'exprimera par exemple en jours de pêche d'un bateau standard. Le jour de pêche d'un bateau comptera double si sa puissance de pêche est 2.

Souvent la puissance de pêche peut être reliée aux caractéristiques du

bateau. Si, pour des chalutiers, elle est proportionnelle à la puissance motrice, l'effort pourra être exprimé en jours-chevaux.

1.1.2.3. — **Efforts nominaux et effectifs. Mortalité par pêche.** Les captures par unité d'effort (c.p.u.e.) sont, dans le cas le plus favorable, proportionnelles à la biomasse exploitée. Dans la pratique il n'en va pas toujours ainsi, notamment parce que, dans l'effort, un temps inactif peut être comptabilisé à tort. Ainsi le temps de route depuis le port jusqu'aux lieux de pêche doit-il parfois être éliminé. Par ailleurs l'effort a pu être mal investi, par exemple sur des secteurs ou à des périodes de faible abondance. Ceci conduit parfois à envisager une définition de l'effort plus satisfaisante, mais nécessitant des données plus fines. On parle alors d'*effort effectif*, par opposition à l'*effort nominal*, mesure brute.

L'effort effectif vise pratiquement à mesurer la mortalité effectivement subie par le poisson. Pour une discussion approfondie à ce sujet on se reportera à Rotschild (1977). Sommairement, la mortalité par pêche peut être définie soit séparément pour les différentes classes d'âge pêchées, soit globalement. Elle est issue respectivement de la dérivée soit de la biomasse B , soit de l'effectif N du stock pêché ou d'une classe d'âge. Plus exactement, on considérera dans $\frac{1}{B} \frac{dB}{dt}$ ou

dans $\frac{1}{N} \frac{dN}{dt}$ la partie attribuable à la pêche, qui s'ajoute à la composante naturelle existant sur un stock inexploité. On notera F la mortalité par pêche ainsi définie, éventuellement assortie d'un indice si on considère séparément les différentes classes d'âge. Le rapport $\frac{F}{f}$, noté q , correspond à la capturabilité (éventuellement pour un âge donné), définie de façon plus précise comme la probabilité pour un poisson d'être capturé par une unité d'effort.

1.2. — Les modèles usuels

1.2.1. — **Modèles globaux.** Ces modèles, à rapprocher de ceux de Lotka (1925) et Volterra (1931), indiquent simplement les variations de la biomasse du stock en réponse à celles de l'effort de pêche f par unité de temps. Ils reposent sur l'idée d'équilibre stable. A tout niveau de l'effort f correspond une situation d'équilibre. L'équilibre est dit stable si le système, légèrement écarté de sa situation d'équilibre, tend spontanément à y revenir. L'équilibre est caractérisé par une biomasse totale du stock, qui décroît lorsque f augmente. Dans le modèle le plus simple (Schaefer, 1954, 1957) cette décroissance est linéaire. Au-delà d'un certain effort, le stock ne peut résister. Dans ce modèle simple, les captures par unité d'effort (c.p.u.e.) sont proportionnelles à l'abondance du stock pêché. Si l'on considère les situations d'équilibre, les c.p.u.e. décroissent donc linéairement avec f . Les captures totales correspondantes évolueront avec f selon une parabole, dite *parabole de Schaefer*.

390 Si l'on utilise des modèles un peu plus complexes (Pella et Tomlinson, 1969), les relations à l'équilibre entre c.p.u.e. et effort ne sont plus linéaires et l'extinction du stock n'est pas nécessairement possible.

1.2.2. — **Modèles structuraux.** Ces modèles démontent la "mécanique" régissant la dynamique du stock, en considérant avant toute chose l'âge du recrutement c'est-à-dire de l'entrée en phase exploitable. Un animal franchissant cet âge est appelé une recrue. L'ensemble des recrues forme le *recrutement*, noté R . On peut alors résumer les phénomènes de base par le schéma de la figure 11.1. Pour simplifier, nous avons supposé que les animaux n'étaient féconds qu'après l'âge du recrutement.

1.2.2.1. — **Modèles non autorégénérants.** Les modèles les plus simples supposent R constant, ou plus exactement indépendant de la taille du stock parental. Ce sont les modèles autorégénérants, qui ne prennent en compte que la phase recrutée. Ils décrivent simplement la croissance et la mortalité. Diverses courbes de croissance sont utilisées, mais les modèles usuels supposent tous que la croissance ne dépend pas de la taille du stock et négligent toute variabilité de la croissance. Une courbe unique est donc utilisée. Considérant la survie d'un groupe d'individus de même âge, elle sera décrite par l'équation :

$$\frac{1}{N(t)} \frac{dN(t)}{dt} = -Z(t) = -F(t) + M(t) \quad (2)$$

où $N(t)$ est l'effectif survivant à l'instant t , $F(t)$ la mortalité par pêche, $M(t)$ la mortalité naturelle, $Z(t)$ la mortalité totale.

Les modèles les plus simples à ce niveau supposent que $M(t)$ est constante, que $F(t)$ est nulle avant l'âge de première capture, constante au-delà (Beverton et Holt, 1957). Par ailleurs, si une mesure de l'effort annuel f est disponible, il est admis que $F = qf$, F étant la mortalité par pêche et q la capturabilité supposé constante. Ceci équivaut à supposer que le rapport entre c.p.u.e. et abondance est constant.

Les modèles les plus courants admettent que $F(t)$ peut varier avec l'âge (Thompson et Bell, 1934 ; Ricker, 1958) ; en fait ils utilisent un découpage des temps en intervalles (t_i, t_{i+1}) et considèrent $F(t)$ comme constante et égale à F_i dans chaque intervalle, et variant d'un intervalle à l'autre. Si une mesure de l'effort annuel f est disponible, ceci conduit à admettre que la capturabilité

$$q_i = \frac{F_i}{f} \text{ puisse varier d'un intervalle à l'autre.}$$

Une revue complète des diverses variantes pourra être trouvée dans Laurec et Le Guen (1981).

(2) Il est parfois utile de distinguer de distinguer dans la mortalité par pêche, outre la part correspondant aux captures (mortalité directe), celle correspondant aux animaux tués mais non débarqués parce que rejetés ou tués sur le fond de pêche sans être ramenés au port : nous parlerons ici de mortalité indirecte.

1.2.2.2. — **Modèles autorégénérants.** Ces modèles supposent que le recrutement est fonction de la biomasse féconde, notée S , au travers d'une relation dite "stock-recrutement" : $R = \varphi(S)$. Munie d'un modèle décrivant la phase recrutée (intégrant la variation de la fécondité selon l'âge) et d'une relation stock-recrutement, la mécanique complète du stock peut être reconstituée.

1.3. — Ajustement des modèles

1.3.1. — Modèles globaux.

1.3.1.1. — **Captures totales.** Dans le schéma le plus simple, priorité doit être donnée à l'estimation des captures totales sur un stock (et non sous un pavillon ou dans un port). Ceci passe, avant toute chose, par une organisation de l'étude des débarquements. On prendra garde toutefois que l'existence des rejets vient compliquer la situation, et qu'il peut être nécessaire de procéder à une estimation de l'importance de ces rejets. Par ailleurs on peut souhaiter, lorsque plusieurs stocks sont concernés, ventiler les captures totales selon ces différents stocks.

1.3.1.2. — **Effort.** Le second point correspond à l'estimation de l'effort total. Ceci passe évidemment d'abord par des enquêtes administratives. Parfois un indice simple, tel que la consommation de carburant, fournira une mesure satisfaisante. Ce n'est hélas pas toujours le cas : pour couvrir les problèmes de standardisation des efforts de pêche, on cherchera à enregistrer les caractéristiques des différents bateaux ou au moins à y reconnaître différents types.

Pour parvenir à une estimation de l'effort effectif il faudra éventuellement disposer de données fines, soit pour éliminer du temps à la mer les activités "parasites", soit pour repérer le lieu et la date des captures. Ce dernier point se combinera souvent aux problèmes de standardisation : il faut ne comparer les captures que lorsqu'elles ont été faites en deux lieux voisins, à des instants proches. Les données les plus fines ne sont pas nécessaires dans la plupart des cas : un découpage spatio-temporel rudimentaire permet déjà un progrès important (3).

1.3.1.3. — **Utilisation de c.p.u.e. partielles ou d'un indice d'abondance.** Si dans le cadre simple il suffit de disposer des captures et de l'effort, c'est notamment parce que la capturabilité étant supposée constante, les c.p.u.e. fournissent un bon indice d'abondance. Si donc on part de la définition c.p.u.e. = captures totales/effort total, disposant par exemple des c.p.u.e. pour une partie de la flottille, on en déduira l'effort total. Ceci est précieux dans le cas où plusieurs pays exploitent une pêcherie, où l'on ignore l'effort total des pays tiers mais où l'on connaît leurs captures. On peut tourner ainsi la difficulté, précédemment soulignée, d'une connaissance des captures et de l'effort totaux.

(3) Un séminaire a été organisé sur ce sujet à Brest en 1980. Les communications présentées feront l'objet d'une publication dans la série des rapports scientifiques et techniques du CNEXO, faisant suite à la présentation des modèles (Laurec et Le Guen, 1982).

L'organisation de la collecte des données devra se faire en fonction des procédés choisis de recalage des modèles. Dans cet ordre d'idées, si l'on connaît les captures totales mais que l'on estime ne pas pouvoir utiliser les c.p.u.e. comme indices d'abondance, il faudra procéder à des estimations directes d'abondance.

Il est enfin essentiel de noter que l'ajustement du modèle sera d'autant plus facile que l'on disposera de résultats relatifs à une large gamme d'efforts. A cet égard les données relatives au début d'une exploitation, à niveau d'effort très bas, sont extrêmement précieuses. Comme le note Troadec (1977), trop souvent on ne dispose de données qu'une fois l'effort installé à un haut niveau, quand apparaissent les problèmes.

1.3.2. — Modèles structuraux

1.3.2.1. — Détermination de la croissance. Elle utilise prioritairement deux voies : soit la lecture de l'âge sur une pièce dure, soit l'analyse de la distribution statistique d'un caractère, généralement la longueur. La première est nécessairement plus coûteuse. La seconde ne peut être utilisée avec succès que si la dispersion des tailles entre animaux de même âge est faible en regard de la différence entre animaux d'âges différents.

A ces deux approches essentielles, qui peuvent être combinées, il faut ajouter les études par marquages. Par ailleurs pour les crustacés une autre approche est concevable, voire indispensable : l'analyse des fréquences de mues, imposant au besoin une étude fine des stades intermues, et l'étude des croisances au moment des mues.

Enfin, comme le plus souvent c'est la croissance linéaire qui est déterminée dans un premier temps, une relation taille-poids doit être ajustée ultérieurement.

1.3.2.2. — Détermination de la mortalité. Dans tous les cas il faudra disposer d'une technique d'estimation des structures d'âge. Le problème est très lié aux études de croissance. La solution passe par la lecture directe de l'âge sur un échantillon, ou par la décomposition d'une distribution de longueurs en composantes associées aux différentes classes d'âge.

Dans le cas le plus simple, la capturabilité étant supposée constante, l'évolution de l'abondance des poissons au long de leur vieillissement est donnée par l'évolution correspondante des c.p.u.e. De l'évolution de l'abondance on déduit la mortalité totale, notée Z . Par ailleurs $Z = qf + M$, M étant la mortalité naturelle. Si on connaît la valeur de Z pour plusieurs niveaux de l'effort f , on en déduit par régression de Z sur f les valeurs de q et de M .

Quand on quitte le modèle simple pour admettre que la capturabilité peut varier avec l'âge, la situation se complique très vite. Il n'est plus possible de déduire de l'évolution des c.p.u.e. selon l'âge l'évolution correspondante des abondances. Un rendement moindre sur les poissons âgés peut par exemple

faire appel à une technique dite *analyse des cohortes*, ou *analyse des populations virtuelles* (Murphy, 1965 ; Tomlinson, 1970 ; Cadima, 1977 ; Pope, 1977). Actuellement, cette technique laisse subsister une part d'incertitude : il y a, par rapport au nombre d'équations dont on dispose, une inconnue en excès, même si l'on considère les mortalités naturelles comme connues. L'incertitude est souvent particulièrement grave pour le présent et le passé immédiat. Des estimations directes d'abondance peuvent contribuer à la lever, de même que des marquages.

La mortalité naturelle présente un problème en soi, sauf dans le cas le plus simple évoqué plus haut. Il est hautement souhaitable de disposer de données sur des stocks pratiquement vierges. Restera la possibilité d'une possible variation avec la taille du stock et donc le taux d'exploitation. Là encore, des marquages ou des estimations directes d'abondance pourront être envisagés. A défaut, on pourra conjecturer la mortalité naturelle en s'appuyant sur des analogies.

1.3.2.3. — Relation stock-recrutement. La reproduction étant le plus souvent annuelle, on ne disposera pour ajuster une courbe $R = \varphi(S)$ que d'un point par an. Comme de plus la relation exacte comporte un résidu de variance considérable, il apparaît que de très longues séquences sont requises. Elles sont rarement disponibles ; elles sont néanmoins précieuses, de sorte que la constance dans les études est à cet égard vitale.

Il est possible d'envisager une amélioration de la prédiction de recrutement en intégrant l'impact des conditions climatiques. On peut également envisager une analyse très fine des mécanismes régissant la survie des larves. On constate un effort original de modélisation, mais qui reste à l'heure actuelle pour l'essentiel sur le plan théorique. Même si on ne peut bâtir un modèle, des informations sur l'écologie larvaire pourront grandement éclairer les variations du recrutement et ses relations avec le stock parental.

2. — L'ÉCHANTILLONNAGE EN HALIEUTIQUE

La présentation des modèles fait apparaître la nécessité de certaines connaissances. Les procédures d'ajustement qui conduisent à estimer les paramètres des modèles à l'aide des données recueillies ont été discutées lors du séminaire du Groupe de Support Général de Gestion des Stocks (1980) et font l'objet d'un recueil de communications actuellement en préparation. Le choix d'une procédure particulière a nécessairement des implications sur l'organisation de l'échantillonnage. Faute d'un exposé détaillé sur les techniques d'ajustement, il est impossible de dépasser des généralités. Néanmoins les points essentiels peuvent être abordés : c'est essentiellement le propos de ce paragraphe, qui débutera par un bref panorama des sources d'information ; seront ensuite abordés les problèmes essentiels de deux types d'études : l'estimation des structures démographiques

par les échantillonnages à terre, et les études à la mer. Le paragraphe se terminera par une illustration des stratégies d'échantillonnage essentielles, tant pour les études à terre qu'en mer.

2.1. — Nature des données à recueillir et voies d'accès

2.1.1. — *Données souhaitées.* Ces données varieront évidemment selon le modèle utilisé et les techniques d'ajustement. Si on accepte de ne pas entrer dans les détails, les rubriques essentielles peuvent être cernées. En tout premier lieu apparaissent les données relatives aux efforts nominaux, puis celles permettant de calculer un effort effectif. A ce dernier titre, trois problèmes essentiels apparaissent : la ventilation du temps à la mer, la disposition spatio-temporelle de l'effort, et la standardisation. Si l'utilisation de modèles structuraux est envisagée, se poseront les questions de structures démographiques, des captures d'une part, du stock d'autre part. De prime abord, il pourrait sembler que les structures démographiques des captures n'ont pas en elles-mêmes une importance essentielle. En réalité leur intérêt est lié à l'utilisation de l'analyse des cohortes. Les problèmes de sélectivité interviendront éventuellement. Des connaissances biologiques seront également requises : au premier chef la croissance, mais aussi la fécondité, voire d'autres aspects (comportement et vulnérabilité, liens avec l'hydrologie, caractéristiques permettant d'analyser la structure des stocks et dans le détail desquelles il nous est impossible d'entrer ici). Les questions relatives aux rejets, et plus généralement à la mortalité indirecte induite par la pêche sans correspondre à des débarquements commercialisés, peuvent également être importantes. Il pourra encore être souhaitable de disposer d'estimations d'abondance directes soit d'une classe d'âge, soit du stock global, par pêche expérimentale, écho-intégration, éventuellement visualisation (avion en surface ; télévision sous-marine sur le fond), étude des œufs et larves. Des données écologiques, incluant éventuellement l'hydrologie, pourront être enfin utiles pour les problèmes de capturabilité et l'étude du recrutement.

Pour être complet, il faudrait aborder les questions de structure des stocks. Pour simplifier ce problème ne sera pas traité : le stock sera supposé bien défini et homogène.

2.1.2. — *Les sources d'information envisageables.* L'information peut être d'abord obtenue à partir des statistiques officielles ou des registres divers. Les échantillonnages à terre joueront ensuite un rôle souvent essentiel. L'information pourra être complétée d'après des carnets ou fiches de pêche remplies par les pêcheurs (voire par de simples interviews), ou par des observateurs scientifiques embarqués sur les navires professionnels. Enfin des campagnes scientifiques (sur des navires professionnels affrétés spécialement, sur des navires scientifiques, voire sur des avions) pourront être envisagées.

Les marquages constituent un aspect très important. Néanmoins ils ne seront pas évoqués ici car ils posent des problèmes complexes relevant plus de la planification d'expériences que de celle de l'échantillonnage.

2.1.3. — *Récapitulation.* Le tableau 11.1 donne une opinion globale sur l'intérêt d'une voie de collecte de l'information pour une rubrique particulière parmi les connaissances requises. Bien entendu ce tableau devrait être modifié selon les pêcheries, en prenant en compte l'espèce, les modes de pêche, les circuits du débarquement et de commercialisation, le niveau d'exploitation, l'état du stock (Trodec, 1980). Pour ne pas entrer dans les détails le tableau

TABLEAU 11.1. — Données requises et voies d'accès

	Statistiques officielles et registres divers	Echantillonnage au port	Carnets de pêche et interviews	Observateurs embarqués	Campagnes scientifiques
Débarquement (total ou par catégories)	X	X			
Effort nominal	X	X			
Effort — ventilation temps à la mer — allocation spatio-temporelle — puissances			X X X	X X X	
Structures démographiques captures	X(1)	X	X(2)		
Structures démographiques population (*)		X (3)			X(4)
Sélectivité (*)		X(5)			
Biologie (*) — croissance — fécondité/âge — autres		X X X			X X X
Mortalité — estimation rejets — taux de survie rejets indirecte (*) — animaux tués non remontés à bord			X	X	X X
Estimation — globale — classe exploitée (*) — classe préexploitée (*)	X } (6) X }	X } (6) X }	X } (6) X }		X X X
Ecologie/hydrologie					X

(1) Au cas où la distribution entre classes d'âge est si facile qu'elle est faite par les pêcheurs.

(2) Dans les catégories commerciales.

(3) Directement si la capturabilité ne dépend pas de l'âge, indirectement et *a posteriori*, à l'aide de l'analyse des cohortes dans le cas contraire.

(4) S'il est possible d'éliminer tout problème de capturabilité différentielle selon l'âge. A manipuler avec précaution, souvent impossible et dangereux.

(5) Indirectement par l'analyse des cohortes qui peut restituer une évolution de la capturabilité selon l'âge, mais ne sépare pas efficacité, efficacité et vulnérabilité, et n'isole donc pas le rôle de la sélectivité de l'engin quand d'autres phénomènes jouent.

(6) Directement d'après les c.p.u.e., éventuellement ramenées à des efforts effectifs, ou indirectement et *a posteriori* par analyse des cohortes. N'est pas toujours possible.

(*) Les rubriques marquées d'un astérisque (*) sont virtuellement sans intérêt pour les modèles globaux.

Les croix entourées d'un trait simple marquent la prépondérance d'une voie d'approche sur les autres. Un trait pointillé marque une prépondérance vraie uniquement pour certains stocks.

ne donne pas de nuance et indique simplement d'une croix les voies d'accès qui en moyenne paraissent importantes pour une rubrique. Les seules nuances sont introduites par les notes infrapaginales.

Lorsque deux voies d'accès sont cochées pour une même rubrique, il faudrait étudier sur chaque cas particulier si elles sont concurrentes ou complémentaires. La concurrence implique une réflexion sur les coûts respectifs afin de ne retenir que la voie la moins coûteuse. Ainsi, la croissance sera étudiée à moindre coût, et le plus souvent aussi bien, par échantillonnages à terre qu'à l'aide de campagnes scientifiques. Ces campagnes ne seront indispensables que pour des études fines et une maille spatiale fine sera alors rarement utile. Cette maille fine pourra en revanche être indispensable pour séparer les stocks par des caractéristiques biologiques (sous-rubrique "Biologie-autres").

La possibilité d'une complémentarité doit aussi être analysée. Elle proviendra le plus souvent d'une possibilité de contrôle mutuel par une comparaison, qui sera d'autant plus fructueuse que les sources d'erreur entachant les estimations selon l'une et l'autre voie sont différentes. Une estimation d'abondance par les c.p.u.e. ou par échantillonnage implique des sources d'erreurs différentes pour une large part (quoique pas en totalité). Pêches expérimentales et c.p.u.e. ont en commun certains problèmes : vulnérabilité, accessibilité etc.

Le tableau 11.1, faute d'être spécifique d'une pêcherie, ne permet pas d'effectuer cette réflexion. Il offre néanmoins une grille pouvant la guider dans chaque cas particulier.

2.2. — Échantillonnages des débarquements et estimation des structures démographiques

L'échantillonnage à terre est une voie d'accès privilégiée vers bien des connaissances importantes, comme le montre le tableau 11.1. Sans analyser tous les problèmes de l'échantillonnage, ce paragraphe traitera d'une question essentielle dans tous les modèles structuraux : l'estimation des structures démographiques.

2.2.1. — *Le cas simple : uniformité.* Considérons une pêcherie simple où les lieux et les conditions de pêche sont uniformes dans l'espace et dans le temps et où la flotille de pêche est homogène : tous les bateaux présentent la même sélectivité. Considérons alors un échantillonnage centré sur l'estimation des structures démographiques, le stock-unité étant associé à une population au sens halieutique. Les prélèvements sont opérés au débarquement des captures commerciales après qu'un rejet des animaux hors-taille soit intervenu.

Le rejet peut être lié à une question de taille légale ou à des problèmes commerciaux. Dans les deux cas un tri est opéré pour, en théorie, éliminer les animaux trop petits et en pratique en rejeter la plus grande partie. *De facto*, plus qu'une élimination brutale intervient une courbe de sélectivité liée au tri. Les animaux rejetés peuvent ou non survivre. Si la survie est totale, cas fort

improbable, le problème est négligeable. On traitera du cas inverse où tous meurent, ce qui est vraisemblable pour beaucoup de pêcheries de gadiformes. Cela est faux pour la langoustine, pour laquelle le taux de survie des rejets doit être étudié. On en restera au cas simple d'une survie nulle.

Deux problèmes seront successivement abordés, correspondant respectivement à l'estimation de la structure démographique des captures, puis à celle de la population. Dans les deux cas on supposera que l'âge des animaux peut être lu directement par analyse d'une pièce dure. Un troisième paragraphe sera consacré à l'estimation des structures démographiques d'après la distribution des longueurs.

2.2.1.1. — *Échantillonnage des captures.* On dispose généralement de chiffres officiels, au moins d'estimations des débarquements totaux en poids. Ces débarquements en poids peuvent être convertis en nombres si le poids moyen des poissons débarqués peut être estimé. Pour obtenir les captures en nombres d'individus par classes d'âge, les structures démographiques des débarquements doivent être estimées par échantillonnage. C'est d'ailleurs en général au cours de ce même échantillonnage que sera estimé le poids moyen, qui permettra de passer des poids aux nombres dans les débarquements. Une partie des poissons de l'échantillon sera pesée.

On obtient un *échantillon aléatoire simple* ou E.A.S. (cf. Chapitre 2, § 2) en obéissant à un certain nombre de précautions, notamment en se garantissant contre la tendance à prélever plus de gros poissons que de petits. A ce niveau élémentaire, les risques sont déjà multiples et l'expérience prouve qu'effectivement les animaux de grande taille sont facilement sur-représentés dans un échantillon prétendu aléatoire. On reviendra sur ce point. Dans l'immédiat, en se plaçant dans le cas le plus favorable, on pratiquera l'inférence de l'échantillon aux débarquements par les procédés classiques relatifs aux E.A.S. Pour remonter effectivement aux captures totales il faut corriger le phénomène de rejet. Ceci est possible si le pourcentage d'animaux gardés pour chaque taille ou âge concernés est connu. Muni de cette courbe de sélectivité due au tri, on peut corriger l'estimation des structures démographiques dans les débarquements pour parvenir à une estimation de ces structures dans les captures totales. Toutefois, si certaines classes d'âge sont totalement éliminées on ne pourra pas opérer de correction.

2.2.1.2. — *Estimation des structures démographiques de la population.* S'il est possible de remonter directement aux structures démographiques de la population au sens halieutique(4) correspondant au stock, le calcul des mortalités sera immédiat. C'est quelquefois envisageable, et le plus souvent délicat.

(A) *LES NIVEAUX D'INFÉRENCE.* La population-cible correspond d'abord à la population au sens halieutique. Pour saisir le processus d'échantillonnage,

(4) Ne pas confondre "population" au sens halieutique ou biologique, notée par son sigle S.H., et population au sens statistique (S.S.), ou "population parente", notion totalement différente.

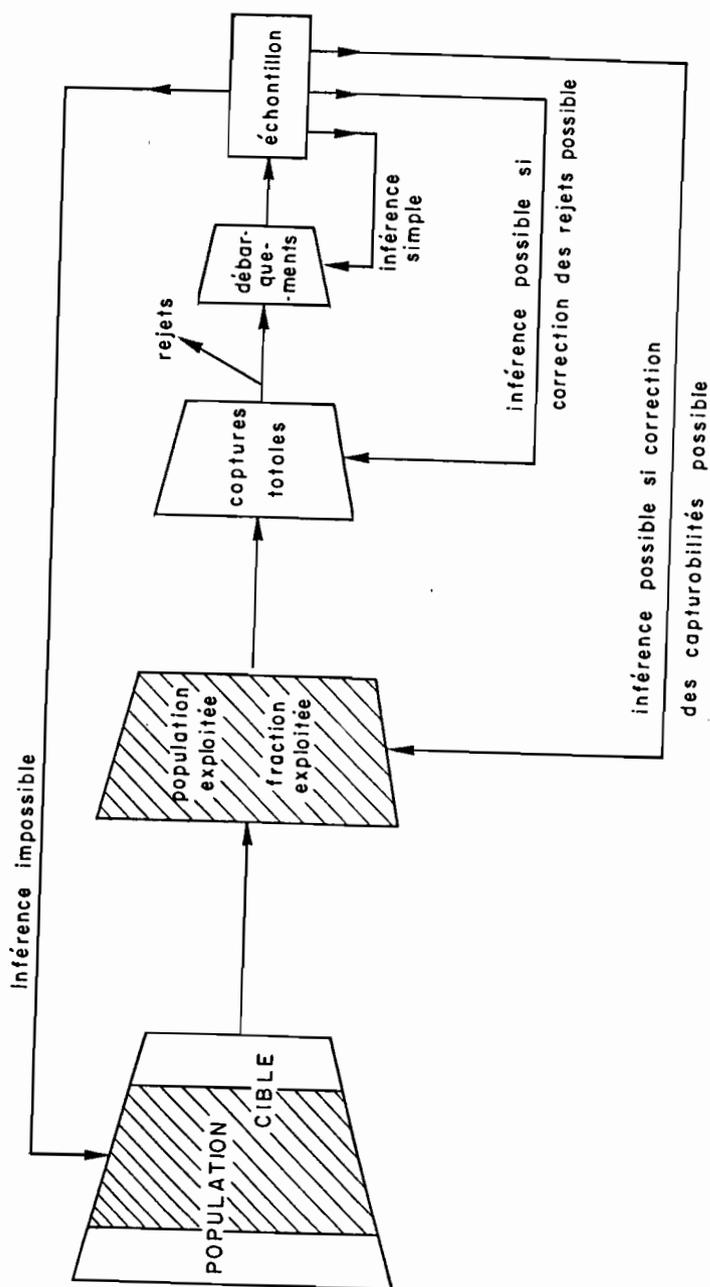


FIG. 11.2. — Echantillon et populations (au sens halieutique) envisageables.

plusieurs intermédiaires doivent être considérés entre la population-cible et l'échantillon. Ceci est résumé sur la figure 11.2, où nous avons distingué trois niveaux d'inférence possibles et une inférence pratiquement impossible : celle allant jusqu'à la population totale S.H. Nous verrons les raisons de cette impossibilité.

Il ne faut pas s'obnubiler sur le souci de remonter à la population totale, ni même à la population exploitable. L'information la plus complète est toujours souhaitable, mais ce qui fait prioritairement le souci du dynamique est la *fraction exploitée* de la population. Ceci est notamment vrai si dans la population S.H. existent des fractions totalement indisponibles, restant dans des zones où les engins de pêche ne peuvent travailler (zones refuges). Ces fractions peuvent jouer un rôle au niveau de la reproduction et de la maintenance du stock. Il demeure que l'on peut effectivement travailler avec une information limitée à la population exploitée.

(B) RELATIONS ENTRE LA POPULATION ET L'IMAGE QU'EN DONNENT LES CAPTURES. Les variations de capturabilité selon l'âge font que les rendements des bateaux sur les différentes classes d'âge peuvent donner une idée fautive de leurs abondances relatives. Pour passer des captures à la population exploitée on devra opérer une correction, fondée sur la sélectivité de l'engin. On ne pourra cependant pas en général remonter jusqu'à la population totale, ni même jusqu'à la population exploitable. En effet, il n'est pas concevable d'obtenir un renseignement sur les composantes inexploitées.

Pour récapituler les distorsions introduites par le passage d'un ensemble à l'autre et, par là, percevoir les biais que l'on pourrait introduire en négligeant, on peut représenter simultanément (fig. 11.3) la pyramide des âges réelle

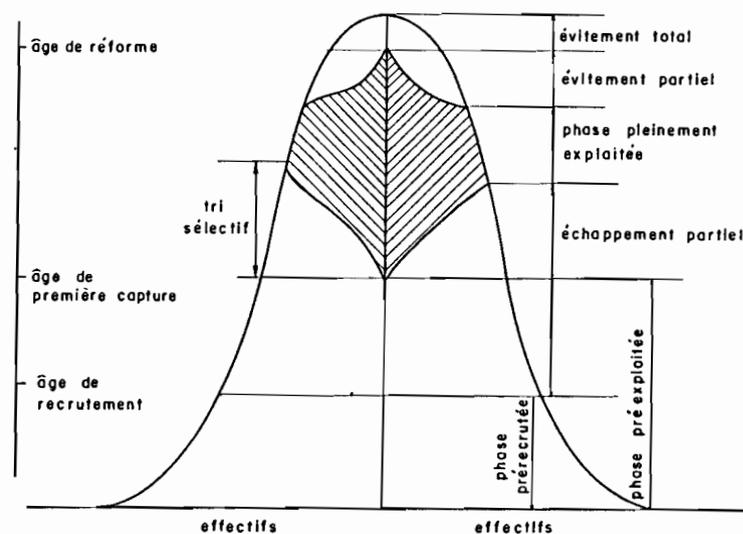


FIG. 11.3. — Pyramides des âges réelle (blanc) et apparentes (gris) selon les captures (partie droite) et selon les débarquements (partie gauche).

dans la population, et l'apparence qu'en donne la population exploitée, les captures totales (partie droite) et les débarquements (partie gauche).

2.2.1.3. — **Utilisation des distributions de longueurs.** La décomposition d'une distribution de longueurs en classes modales est une technique classique : elle a été utilisée par Harding (1949) et Cassie (1954) ; d'autres procédés ont été proposés depuis (Battacharya, 1967 ; Gheno et Le Guen 1968), certains relativement élaborés (Hasselblad, 1966 ; Schnute et Fournier, 1980). La revue la plus à jour est due à Gros (en préparation). Lorsque la croissance moyenne n'est pas connue, sauf dans des circonstances très favorables, ces méthodes peuvent être dangereuses. Quand cette croissance est bien cernée l'approche est grandement simplifiée. Nous n'entrons pas dans ce domaine particulier, néanmoins un problème d'échantillonnage analogue à celui posé par les structures démographiques se pose ici. La distribution des longueurs dans la population doit être estimée à partir d'un échantillon. Les problèmes sont suffisamment voisins pour que ce qui a été dit et le sera à propos des structures démographiques soit directement transposable.

2.2.2. — **Quelques complications.** Sans faire le tour des complications possibles, nous étudierons simplement deux questions : existence de plusieurs engins ; hétérogénéité du stock exploité.

2.2.2.1. — Existence de plusieurs engins

(A) **STRUCTURE DÉMOGRAPHIQUE DES CAPTURES.** Pour chaque engin le schéma précédent peut être repris. Cela conduit à une estimation des captures par classe d'âge, séparée pour chaque engin, les diverses estimations étant ultérieurement sommées. Pour ventiler le vecteur "mortalité par pêche" sur divers engins, les captures par âge de chaque engin doivent être connues. Leur estimation est donc intéressante en elle-même, et non seulement comme intermédiaire pour estimer les captures globales par âge.

Sur le plan pratique, la première difficulté est d'obtenir une estimation des captures par engin, en poids ou en nombre. L'information n'apparaît pas toujours dans les statistiques officielles publiées, et il faut parfois revenir aux données élémentaires ou procéder à une estimation par une autre méthode, par exemple d'après le nombre de bateaux dans la catégorie et les captures connues de quelques-uns. L'incertitude à ce niveau est parfois négligée à tort.

La deuxième difficulté peut être de séparer, au débarquement, les captures provenant de différents engins. C'est généralement réalisable en échantillonnant le plus tôt possible au moment du débarquement, et non par exemple chez un mareyeur qui aura mélangé les apports de diverses origines.

L'estimation séparée des captures par engin posant des problèmes, il est envisageable d'éviter cet intermédiaire pour estimer directement les captures globales par âge. Cela impose un minimum de précautions pour adopter une stratégie adaptée à l'existence de différentes catégories. Il est en particulier exclu de procéder à un E.A.S.

(B) **STRUCTURE DÉMOGRAPHIQUE DE LA POPULATION.** Là encore, pour chaque engin, les remarques du § 2.2.1. restent pertinentes. Si pour chaque engin la sélectivité est connue de même que les rejets, une estimation de la structure démographique de la population est déduite de celle relative aux captures de l'engin. Cela ouvre la voie à des vérifications possibles par comparaison des images obtenues. A titre d'exemple, les études les plus simples admettent qu'au moins sur une tranche d'âge, certains engins ne sont pas sélectifs. Si une même tranche d'âge est ainsi couverte par deux engins et qu'il apparaît une divergence des images qu'ils offrent, c'est qu'au moins l'un d'entre eux (voire les deux) est en réalité sélectif.

2.2.2.2. — **Hétérogénéité du stock.** Très souvent les structures démographiques du stock varient selon les secteurs. C'est ce problème qui fera l'essentiel du paragraphe, les variations spatio-temporelles n'étant qu'effleurées. Pour une espèce, les grands individus se trouveront plutôt dans des eaux plus froides et/ou plus profondes. C'est le cas notamment pour l'ensemble des thonidés et pour le Merlu (*Merluccius merluccius*) qui voit son habitat évoluer régulièrement avec l'âge.

Pour chaque secteur, les remarques du cas simple s'appliquent. La situation est en fait très voisine de la précédente, car la filière la plus simple conduit à obtenir des estimations particulières pour chaque zone, en vue d'opérer ultérieurement une combinaison.

(A) **STRUCTURE DÉMOGRAPHIQUE DES CAPTURES.** La difficulté principale au débarquement est d'identifier le lieu de capture. Lorsque certain port ou certain engin ne travaille que sur un secteur, la situation est relativement simple. Elle n'est guère plus complexe lorsque le bateau effectue toute sa marée sur un secteur. S'il passe d'une zone à l'autre rapidement, l'échantillonnage au débarquement ne peut plus suffire. Dans certains cas la séparation des classes d'âge est pratiquement faite d'après la taille et le poids par les pêcheurs eux-mêmes. C'est le cas de la pêcherie de surface du germon (*Thunnus alalunga*) dans le golfe de Gascogne. Des carnets de pêche bien remplis peuvent résoudre le problème (Dao *et al.*, 1972). En général il faudra soit demander au pêcheur de bien vouloir isoler un échantillon identifié provenant d'une zone déterminée, soit embarquer des observateurs.

Pour combiner les estimations par zone en une estimation globale, les captures dans chaque secteur devront être connues. Des carnets ou fiches de pêche pourront fournir des captures en poids qu'une estimation du poids moyen, pratiquée au cours de l'analyse des structures démographiques, permettra de convertir en nombres. Dans d'autres cas on ne disposera par zones que de données d'effort, il faudra donc une estimation des c.p.u.e. pour estimer les captures, estimation qui pourra être fournie, là encore, par la fraction de bateaux remplissant des fiches de pêche.

Enfin on peut espérer obtenir une estimation globale de la structure des captures sans passer par les intermédiaires relatifs aux différentes zones. Ces intermédiaires recèlent cependant une information précieuse sur la

les abandonner sans réflexion. Si cette voie est néanmoins choisie, la stratégie d'échantillonnage devra être soigneusement définie pour que l'hétérogénéité du stock ne vienne pas biaiser les estimations.

(B) STRUCTURE DÉMOGRAPHIQUE DE LA POPULATION. Si elles peuvent être obtenues, les estimations par zones poseront, pour la définition d'une estimation globale, un problème de pondération plus grave encore que précédemment. Le coefficient attribué à un secteur est lié non pas aux captures dans ce secteur comme en (A), mais à l'abondance de la population sur cette zone. Les c.p.u.e. peuvent fournir une information relative utile mais si la vulnérabilité varie selon le secteur, ce n'est plus possible. Par ailleurs, il se peut que dans certains secteurs aucune pêche n'intervienne : il est alors impossible d'estimer l'importance et les caractéristiques de l'ensemble des poissons présents sur ces zones.

(C) VARIATIONS SPATIOTEMPORELLES. Les variations dans le temps de la sélectivité posent des problèmes analogues. Cela est vrai même au niveau de variations jour/nuit. Pour remonter aux captures, il faut appliquer une pondération tenant compte de l'importance relative des captures de jour et de nuit, fondée comme précédemment sur les nombres.

Remonter à la population exploitée peut entraîner moins de difficultés que précédemment si c'est le même ensemble d'animaux qui est pêché de jour et de nuit, ce qui n'est pas le cas lorsqu'on compare des zones.

Globalement, on pourra combiner variations spatiales et temporelles pour aboutir à des structures spatio-temporelles. Le problème est très proche de celui posé par les variations simplement spatiales.

(D) INTERACTION DES VARIATIONS TEMPORELLES AVEC L'HÉTÉROGÉNÉITE DE LA FLOTILLE. Deux engins différents exploitent souvent deux zones qui ne se recouvrent que partiellement : les interactions sont donc plus la règle que l'exception. Elles ne posent pas de problème original et les considérations des pages précédentes s'appliquent. Le plus souvent on procédera à des estimations séparées par secteur et par engin, ultérieurement recombinaison avec des coefficients de pondération reposant sur les captures ou abondances en nombres.

2.2.2.3. — *Difficulté de la définition de l'E.A.S.* La procédure (cf. Chapitre 2, § 2) suppose que les échantillons sont constitués de telle façon que :

- les individus de la population ont tous la même probabilité d'apparaître dans l'échantillon ;
- d'un individu à l'autre il y a complète indépendance dans le fait qu'ils appartiennent ou non à l'échantillon ;
- la taille de l'échantillon n'est pas aléatoire mais prédéterminée.

Dès lors que l'on sort du cas simple pour être confronté à des engins de sélectivités différentes et à des variations spatiotemporelles de la structure démographique, il est souvent plus pratique de passer par des intermédiaires par

engin et par secteur. En pratique, il est presque impossible de réaliser un échantillonnage aléatoire simple : on peut croire procéder ainsi alors que les conditions ne sont pas respectées en réalité.

(A) ÉQUIPROBABILITÉ. Supposons que 100 bateaux opèrent, dont 50 capturent chacun 20 gros poissons et les 50 autres, chacun 40 petits. Un bateau est tiré au sort, sur lequel on prélève 10 poissons.

Les captures sont composées de 1000 gros poissons et 2000 petits. La probabilité qu'à un gros poisson donné d'apparaître dans l'échantillon est $\frac{1}{100} \cdot \frac{10}{20} = \frac{1}{200}$ (en effet, 1/100 est la probabilité pour que le bateau qui l'a pris soit sélectionné, 10/20 est la probabilité pour qu'il appartienne à l'échantillon de 10) ; pour un petit poisson cette probabilité est $\frac{1}{100} \cdot \frac{10}{40} = \frac{1}{400}$. Un

gros poisson a donc plus de chances qu'un petit d'être sélectionné par l'échantillonnage à deux niveaux : celui-ci n'est pas un E.A.S. On peut tourner la difficulté en prélevant non pas un nombre fixe de poissons sur chaque bateau, mais une proportion constante, et en tenir compte dans la définition des estimations finales de captures numériques, mais l'exemple prouve qu'il convient de prendre des précautions et de réfléchir.

(B) INDÉPENDANCE. La notion d'indépendance entre les divers individus d'un échantillon est essentielle et, en halieutique, on rencontre souvent le problème. Nous avons évoqué le cas où le débarquement s'effectuait par caisses de gros et petits poissons : les tailles de deux poissons d'une même caisse ne seront pas indépendantes. Plus globalement, les caractéristiques présenteront dans l'espace et dans le temps des dépendances stochastiques entre prélèvements proches dans l'espace ou le temps (cf. Chapitre 1, § 7). Supposons qu'il existe des zones à gros et des zones à petits poissons, et que l'échantillon analysé corresponde aux captures d'un bateau choisi de façon strictement aléatoire. Le problème de l'indépendance se pose alors, car si le premier individu de l'échantillon est un gros poisson, il y a de fortes chances que les suivants soient également des gros (et réciproquement). Même si l'on a pris des précautions pour qu'aucun biais n'intervienne, l'échantillon ne peut être considéré comme un E.A.S.

Le phénomène de groupement des poissons par tailles ou âges, que nous venons d'évoquer pour des variations macroscopiques de zone à zone, peut se retrouver au niveau de structures beaucoup plus fines, notamment dans le cas des poissons pélagiques au niveau des bancs, qui présentent souvent une certaine homogénéité de tailles. Ainsi, un échantillon prélevé dans un seul banc ne constituera pas un E.A.S. Même en opérant dans plusieurs bancs, on n'obtiendra pas pour autant un E.A.S. dès lors que l'on prélève des ensembles de poissons dans chaque banc et, en négligeant ce fait, on peut aboutir à des conclusions erronées. On peut par exemple vouloir comparer la taille moyenne des poissons dans deux zones. Pour ce faire, on raisonne sur des échantillons prélevés dans

ces deux zones en pratiquant par exemple un test statistique ou en définissant des intervalles de confiance. Si 100 poissons sont pris dans chaque zone, et dans chaque cas dans un seul banc, on sera tenté de se référer aux techniques classiques relatives aux E.A.S., et conclure que la différence constatée sur les échantillons est significative en se fondant sur le nombre élevé d'individus mesurés. En fait, on sera simplement tombé par hasard sur un banc de gros et un banc de petits; le nombre d'individus mesurés est illusoire, et ce qu'il aurait fallu faire c'est multiplier le nombre de bancs échantillonnés.

En général, le problème de la non indépendance existe quand existent des structures dans la population échantillonnée, conditionnant la constitution de l'échantillon, et que l'on raisonne comme sur un E.A.S. c'est-à-dire sans tenir compte de ces structures.

(C) PRÉDÉTERMINATION DE LA TAILLE DE L'ÉCHANTILLON. Les procédures qui conduisent à des échantillons de taille aléatoire sont nombreuses. Si dans l'exemple donné plus haut en (A) on décide de tirer un bateau au hasard et d'étudier un dixième des poissons capturés, selon que le bateau retenu est un bateau à gros ou à petits poissons l'échantillon sera de 2 ou de 4 poissons. Plus généralement, chaque fois que l'on utilise un *taux d'échantillonnage fixe* dans des unités d'effectif aléatoire, le problème de la taille de l'échantillon se pose. Il peut ne pas être grave mais peut aussi conduire à d'importants problèmes de biais. Si on utilise des moyennes, celle-ci s'obtenant en divisant par l'effectif N de l'échantillon, N étant aléatoire, les calculs se compliquent car on utilise alors des rapports de variables aléatoires, pour lesquels les techniques d'estimation sont délicates (cf. Chapitre 2 : variables quotients).

2.3. — Campagnes scientifiques et estimations directes

Deux points essentiels pour les problèmes d'halieutique seront ici abordés : estimations d'abondance, et structures démographiques. Les campagnes scientifiques peuvent avoir d'autres motivations, centrées sur l'environnement des espèces exploitées, mais cela nous ramène à l'océanographie générale que nous n'envisagerons pas ici; de même nous avons signalé que nous ne traiterions pas des marquages.

2.3.1. — *Estimations d'abondance.* Les c.p.u.e. peuvent être très difficiles à utiliser comme indices d'abondance. Cette question a été passée en revue par un groupe de travail organisé par la F.A.O. en 1975 (Anon. 1976). Les *analyses de cohortes* fournissent certes une estimation d'abondance indépendante des c.p.u.e., mais d'une part elles ne sont pas universellement praticables, d'autre part l'estimation n'est obtenue en général qu'avec quelques années de retard. Par ailleurs analyse des cohortes et c.p.u.e. supposent un accès à des statistiques de débarquement fiables. Les données peuvent être inexistantes faute d'organisation, ou suspectes (par exemple pour des raisons politiques). Enfin il peut être

son entrée en phase exploitée : les pêches commerciales ne peuvent alors apporter que des informations accidentelles et éparées. Tous ces facteurs justifient les efforts mis en œuvre pour obtenir des estimations directes d'abondance. Elles porteront sur la biomasse totale ou bien sur une classe d'âge. Divers procédés sont utilisés : pêches expérimentales, visualisation directe, techniques acoustiques, abondance des œufs et larves. Ils seront rapidement passés en revue et une bibliographie sommaire sera fournie, l'article le plus synthétique sur ce sujet étant dû à Ulltang (1977).

(A) VARIABILITÉ DES RÉSULTATS ET VARIANCE DES ESTIMATIONS. Dans le milieu marin, nombre de grandeurs sont extrêmement variables, y compris à l'intérieur de toutes petites zones, en raison des phénomènes de micro-répartition (*microdistribution* des anglophones), d'agroupement ou d'agrégation. La formation de bancs en est l'exemple même. Cela crée dans les estimations de très fortes variances. Estimer l'abondance par l'intermédiaire de pêches expérimentales conduit à des résultats hautement variables et, à moins de disposer de nombreuses données, les estimations seront très imprécises : les estimations d'un navire isolé, qu'il soit scientifique ou non, ne donneront que des informations imprécises. Dans le cas de la pêcherie de germon (*Thunnus alalunga*) Laurec (1977) a montré qu'en tant qu'estimation de rendements potentiels moyens par jour, les captures d'un navire isolé sur une journée seraient assorties d'un intervalle de confiance à 95 pour cent dont la borne supérieure serait égale à quatre fois la borne inférieure. De même sur le gisement de coquilles Saint-Jacques (*Pecten maximus*) Buestel (com. pers.) a montré que pour obtenir une précision de ± 10 pour cent avec un seuil de confiance de 95 pour cent, 300 coups de drague de cinq minutes chacun étaient nécessaires. Pour des résultats de chalutages expérimentaux Pennington et Grosslein (1978) fournissent une analyse détaillée du problème; on retiendra à titre d'exemple que pour obtenir une précision de ± 10 pour cent, sur la base d'un intervalle de confiance à 95 pour cent, plus de 500 coups de chaluts seraient nécessaires. Ces chiffres ne sont que des indications, mais ils montrent toute l'importance du phénomène de variabilité dans les estimations d'abondance par pêche expérimentale. Ils seront au moins aussi graves avec les autres techniques d'estimations directe d'abondance.

(B) ESTIMATIONS ABSOLUES ET RELATIVES; PROBLÈMES DE BIAIS. En procédant à une estimation directe on peut éliminer certaines sources de biais affectant les c.p.u.e. en tant qu'indices d'abondances, mais pas nécessairement toutes. D'autres, par contre, peuvent être introduites. Il est de façon générale difficile de les éliminer toutes; pour parvenir à une estimation de l'abondance absolue il est néanmoins indispensable de les rendre négligeables. Quand il n'en va pas ainsi, on peut toutefois espérer des estimations qui sans être isolément utilisables, soient comparables d'une zone ou d'une année sur l'autre. C'est surtout le deuxième cas qui est important, et la constitution de séries pluri-annuelles permettra de suivre l'évolution de l'abondance. On parle alors d'estimation d'abondance relative. Elle est possible quand d'une année sur l'autre les sources de biais interviennent de la même façon.

(C) UNE GRILLE D'ANALYSE DES PROCÉDÉS D'ESTIMATION DIRECTE. Si les mérites des divers procédés varient selon les stocks, un ensemble de critères communs peut être dégagé, dérivant de ceux proposés par Ulltang (1977) :

– *Fraction du stock étudiable.* Les pêches commerciales ne permettent d'étudier que la fraction exploitée du stock. Les autres procédés pourront eux aussi être limités à une seule fraction du stock, par exemple parce que certains animaux se trouvent dans des parages totalement inaccessibles. Si tel est le cas, on ne pourra obtenir que des estimations relatives d'abondance, dont la validité repose sur l'hypothèse que d'une année sur l'autre la fraction étudiable est constante.

– *Surfaces et volumes échantillonnés.* Le volume d'eau ou la surface étudiés ne constituent qu'une fraction de ce que l'on souhaiterait connaître. Il est plus ou moins facile selon les procédés d'obtenir une fraction importante. Ulltang (1977) parle de couverture spatio-temporelle : l'expression est ambiguë car elle peut aussi recouvrir le problème précédent, il faut cependant distinguer les deux questions : la première est relative au décalage entre population-cible et population échantillonnée ; dans la seconde, c'est le taux d'échantillonnage qui est concerné.

– *Séparation des espèces.* Pour certaines techniques elle est très difficile directement, sauf ségrégation géographique.

– *Séparation des classes d'âge.* Le problème est plus délicat encore que pour l'identification des espèces. La séparation est cependant nécessaire pour estimer l'abondance d'une classe. L'estimation des classes préexploitées constitue un problème important. Si elles sont géographiquement isolées le problème se simplifie.

– *Variabilité et précision.* La variabilité dans le milieu est la première cause des problèmes de précision. Les problèmes les plus délicats sont liés aux microrépartitions. Sur le plan statistique, cela peut déboucher sur des problèmes de non normalité des distributions nécessitant d'éventuelles transformations non linéaires (Frontier, 1973a). Ces transformations sont à manipuler avec précaution compte tenu du fait que l'on doit revenir, pour l'estimation finale, à des données non transformées (ce n'est pas l'abondance logarithmique qui est recherchée mais l'abondance vraie) et il n'est pas toujours possible de simplement soumettre l'estimation sur la grandeur transformée à la transformation inverse. Des corrections peuvent être nécessaires (Laurent, 1963) et la définition d'intervalles de confiance sur le résultat même corrigé peut être délicate (Elliot et Decamps, 1973 ; Pennington et Grosslein, 1979).

Les problèmes de précision se poseront pour tous les procédés, pouvant être plus aigus pour certains. Plus grave encore, il est dans certain cas impossible de quantifier la précision.

– *Estimations absolues.* Elles sont possibles ou non. Quand elles le sont, c'est toujours au prix d'hypothèses qu'il faut détailler en analysant les sources de biais.

– *Variation du biais et estimations relatives.* Il ne va pas de soi que les sources de biais jouent de la même façon d'une année ou d'une zone à l'autre. Quand variation il y a, elle peut prendre la forme d'un bruit de fond sans tendance, ou plus dangereusement faire varier le biais avec l'abondance, le temps ou la zone. Un examen du rôle de chaque source de biais doit être fait pour distinguer la variabilité annuelle simple et les risques de distorsion.

Les points qui précèdent correspondent aux problèmes d'estimation : précision et biais. Les sources d'erreur doivent être systématiquement inventoriées pour être rattachées à un des problèmes évoqués et pour que leur action puisse être étudiée.

– *Retombées annexes.* Une étude centrée sur une estimation d'abondance peut conduire à l'acquisition d'autres données. Il faut être prudent pour ne pas tomber dans un des travers les plus graves et les plus courants : la multiplication des buts de l'étude, qui mène à des campagnes "attrape-tout", aux objectifs dilués et aux résultats disparates. Sur un grand nombre de sujets on obtient, dans ce cas, une poussière de renseignements anecdotiques mais aucune estimation quantitative de qualité connue.

Il ne faut néanmoins pas perdre de vue complètement l'intérêt des données externes aux estimations d'abondance, sur des problèmes bien délimités.

– *Équipement nécessaire et coûts en matériel.* La disponibilité et le coût du matériel requis sont un critère essentiel. La taille et le type du navire nécessaire constituent souvent en eux-mêmes un problème crucial. Les études de coût devront couvrir non seulement l'acquisition du matériel mais aussi celui de sa mise en œuvre et de sa maintenance.

– *Personnel requis.* L'étude doit porter sur le personnel à la mer indispensable, sa qualification et aussi sur le temps nécessaire à la préparation des campagnes et surtout au dépouillement des résultats.

Les caractéristiques des différentes techniques utilisées sont récapitulées dans le tableau 11.2. Les différentes techniques peuvent être combinées, comme le fait Doubleday (1976) pour les méthodes acoustiques et le chalutage expérimental. En fait, toutes les techniques ayant leurs limitations, il est souvent essentiel d'en utiliser plusieurs simultanément pour contrôler et recouper.

2.3.2. – Estimation des structures démographiques

2.3.2.1. – *Structure démographique de la population.* Pour parvenir à une estimation de la structure démographique il faut remplir deux conditions : (i) disposer d'un engin non sélectif et (ii) couvrir l'ensemble de la zone, sauf si les structures démographiques sont spatialement homogènes.

(A) *SELECTIVITÉ DES ENGINS.* Il est possible de réduire certaines sources de sélectivité en utilisant des engins exempts de certaines caractéristiques, à cet égard regrettables, des engins professionnels. C'est ainsi qu'on sera souvent conduit à utiliser des engins à petite maille. Il faudra toutefois être extrêmement prudent : il est facile de réduire la sélectivité, il est beaucoup plus difficile de l'éliminer ; ceci est cependant parfois possible, au moins pour les arts trainants, à partir d'un certain âge.

(B) *COUVERTURE SPATIALE DES ÉTUDES.* Si la structure démographique varie selon les secteurs, dès lors que certains, susceptibles d'être associés à des structures particulières, sont inaccessibles, il n'est pas possible d'obtenir des estimations des structures démographiques de la population. C'est souvent hélas le cas pour les arts trainants : certains fonds sont non chalutables ou non draguables et, par ce fait même, non exploités. Si le taux d'échange avec les secteurs exploités n'est pas très fort, ces fonds seront caractérisés par une plus grande abondance relative d'animaux âgés.

Même lorsqu'il n'existe pas de secteur inaccessible, il faudra se soucier d'obtenir des estimations de structures démographiques provenant de différents secteurs, puis de les recombinaison de façon adéquate c'est-à-dire d'une façon qui prenne en compte les effectifs totaux dans les différentes zones. Ces effectifs ne peuvent être connus dans l'absolu que si l'efficacité de l'engin est connue. En fait, ce sont souvent les abondances relatives qui importent : elles peuvent être déduites des abondances apparentes correspondant aux rendements des pêches expérimentales, à condition que l'efficacité de l'engin (donc la vulnérabilité des animaux) ne change pas d'une zone à l'autre. Cette dernière condition est très souvent enfreinte car souvent les différents secteurs sont associés à un gradient de vulnérabilité.

TABLEAU 11.2

Méthode Critère	Chalutage (ou dragage) expérimental	Enchointégration	Sonar latéral	Oufs et larves	Visualisation en surface	Télévision sous-marine trainée
Fraction étudiable	Zones chalutables au fond ou au voisinage du fond	Limitée verticalement (fonds, surface et subsurfaces exclus)	Surface et subsurface	Femelles mûres	Animaux en surface	Animaux "exo-gées" présents sur des fonds "durs"
Surfaces et/ou volumes échantillonnés	Médiocres	Importants	Importants	Faibles	Forts par avion Moyens par bateau	Moyens
Séparation des espèces	Très bonne	Médiocre	Médiocre	Bonne, sauf exception	Variable mais possible	Bonne
Séparation des classes d'âge	Très bonne	Médiocre à nulle	Médiocre à nulle	Nulle	Médiocre sauf exception	Médiocre
Précision	Cernable mais médiocre	Difficile à cerner	Difficile à cerner	Mauvaise en général	?	Cernable mais médiocre à moyenne
Estimation absolue	Impossible sauf correction difficile efficacité	Soumise à calibration	Soumise à estimation taille des bancs et définition bande de partie efficace	Difficile	Difficile	Possible dans certains cas
Variabilité simple comme estimation relative	Modérée (liée aux variations de vulnérabilité et de distribution)	Liée à la répartition et aux variations de la fraction étudiable	Aux problèmes d'écho-intégration s'ajoutent de possibles variations de taille des bancs	Forte (variations dans réussite, maturation, ponte, survie œufs et larves)	Forte si variation de - taux de présence en surface (hydrologie) - taille des bancs	Faible

Risque distorsion des abondances relatives	Faible sauf saturation des engins	Faible, lié à saturation par effet d'ombrage	Faible sauf variations non remarquées de taille des bancs	Limité, sauf variation de fécondité selon la taille du stock	Limité sauf variation non détectée de la taille des bancs	Faible
Autres produits	Matériel biologique ad libitum	Cartographie rapide de l'abondance Aide à la pêche		Ecologie larvaire Indice sur abondance classe d'âge (prudence)	Aide à la pêche en temps réel si avion	Microrépartition Comportement Matériel pédagogique
Matériel	Bateau + chalut robuste ou drague	Bateau + équipements acoustique et électronique		Bateau + filet à plancton	Avion ou bateau	Bateau + télévision + support tractable
Personnel pendant opération	Modéré	Faible		Modéré	Faible	Faible
Personnel pour préparation et dépouillement	Croît très vite avec ambitions biologiques	Faible		Considérable	Faible	Faible
Avantage(s) majeur(s)	Identification espèces et âges Calculs de précision simples	Taux d'échantillonnages Rapidité de l'exploitation		Profiter concentrations génésiques	Surface échantillonnée Temps réel	Vertus pédagogiques
Problème(s) majeur(s)	Limitation taux échantillonnage	Identification des espèces Calibration	Identification Taille des bancs à estimer	Précision insuffisante Nécessité couverture sur zone et saison de ponte	Limitation fraction étudiable Taille des bancs à estimer	Coût Limitation des espèces et fonds étudiés
Cible(s) normale(s)	Espèces benthiques et démersales	Espèces munies de vessie natatoire distribuées, au moins dans certains cas, ni en surface, ni au fond	Espèces surface et subsurface	Espèces à œufs ou larves pélagiques, à reproduction concentrée (espace et temps)	Cétacés Pélagiques océaniques	Grosses espèces benthiques peu mobiles Eventuellement espèces vivant dans terriers

nombreuses sont les espèces, notamment démersales, où ce gradient interfère avec l'âge des poissons. Hélas l'efficacité des chaluts varie, elle aussi, avec la profondeur...

En conclusion, sauf à travailler sur des zones homogènes avec des arts trainants qui ne posent pas de problème d'évitement, il est très difficile d'obtenir une estimation de la structure démographique d'une population halieutique par des pêches expérimentales.

2.3.2.2. — **Structure démographique des captures.** Pour obtenir dans les pêches expérimentales une structure démographique similaire à celle des pêches commerciales, il faut que la sélectivité du scientifique soit identique à celle du pêcheur. Il est possible d'utiliser le même engin — même si c'est parfois moins simple qu'on pourrait le croire. Il est plus difficile de le mettre en œuvre exactement de la même façon. Il est plus difficile encore d'appliquer les mêmes tactiques et stratégies de pêche. Très souvent, le pêcheur adapte la conduite des opérations à la recherche de classes d'âge diverses en fonction du marché ; il est donc généralement dangereux de prétendre exercer pendant une campagne scientifique la même sélectivité que les pêcheurs professionnels, et en négligeant ce décalage on peut aboutir à des erreurs graves.

Dans l'étude de *Pseudotolithus elongatus* au Congo, Le Guen (1971) a montré que l'on ne pouvait accorder aucune confiance aux coefficients de mortalité trouvés à partir d'un navire de recherche, pour l'application à la dynamique de l'espèce pêchée. En effet, si l'on admettait comme coefficient de mortalité celui trouvé à partir des campagnes scientifiques, aux 653 147 poissons d'une classe d'âge débarqués en 1965 auraient dû correspondre 85 688 poissons du même contingent en 1967 ; or il en a été réellement pêché 200 144. Il est donc difficile d'utiliser les structures démographiques des échantillons expérimentaux : on court le risque qu'elles ne puissent être extrapolées ni à la population halieutique, ni aux captures commerciales. Cette situation peut se retrouver pour d'autres caractéristiques, telles que la *sex-ratio*. Si celle-ci varie d'un secteur à l'autre et si la vulnérabilité est liée au sexe, il sera très difficile d'utiliser des pêches expérimentales dont les résultats pourront, là encore, ne refléter ni les caractères de la population, ni ceux des captures.

2.4. — Application de diverses stratégies d'échantillonnage

Il est difficile, voire impossible, de collecter des E.A.S. et le méconnaître est extrêmement dangereux. Il est indispensable de recourir à des stratégies d'échantillonnages adaptées à la structures des ensembles échantillonnés. Sans procéder à une étude exhaustive, nous en présenterons les illustrations les plus importantes.

2.4.1. — Echantillonnages stratifiés

2.4.1.1. — **Echantillonnage à terre.** Pour estimer des structures démographiques, deux types de stratification sont particulièrement importants : la stratification d'après les catégories commerciales et la stratification par catégories de bateaux.

2.4.1.2. — **Etudes à la mer.** Très généralement, la stratification par référence à un découpage spatial est très utile (Grosslein, 1969, 1974 ; Brown *et al.*, 1976 ; Clark, 1979) mais ce n'est pas nécessairement le procédé optimal. Il a le très grand mérite d'être simple et est utile pour pratiquement toutes les estimations directes. Les strates sont généralement définies d'après des critères simples : bathymétrie, sédimentologie.

Si on considère les chalutages expérimentaux, la taille de la strate correspond à la surface pour laquelle on fait une estimation d'abondance. Si l'on ambitionne une estimation de structure démographique, il faudra se référer au nombre de poissons sur la strate et non à la surface couverte. Ce problème a été abordé précédemment ; il est sans solution quand l'efficacité du chalut varie de façon notable mais inconnue d'une strate à l'autre.

On remarquera que les problèmes abordés dans le paragraphe 2.2.2. correspondent dans une large mesure à des questions de stratification.

2.4.2. — **Echantillonnages par grappes.** Bien que des applications aux études à la mer soient envisageables, c'est surtout dans les échantillonnages à terre que la référence à ce type de plan est utile.

2.4.2.1. — **Estimations des captures ou de l'effort.** Dans les pêcheries artisanales, il se peut que les statistiques officielles ne permettent pas d'estimer correctement captures et efforts totaux. Des enquêtes seront donc nécessaires. Si les points de débarquement sont nombreux et peu importants, il est judicieux de considérer chaque port comme une grappe. Un nombre limité de ports sera retenu dans l'échantillon et chacun sera étudié exhaustivement.

2.4.2.2. — **Estimations des distributions de longueurs ou d'âges.** Le débarquement s'effectue le plus souvent par caisses ou par paniers, ou par toute autre unité analogue. Il n'est pas facile d'échantillonner à l'intérieur de telles unités sans introduire de biais. Il arrive que le pêcheur mette à la surface de la caisse les plus belles captures, de sorte qu'en prélevant la surface de la caisse on introduit un biais. Le problème est d'autres fois plus pernicieux car moins évident, mais n'en est pas moins important. La probabilité que possède un animal d'être pris dans l'échantillon croît vite avec sa taille : un gros poisson attire l'œil, ou bien peut être simplement plus facile à agripper. Quelle qu'en soient les raisons il est difficile de ne pas sur-représenter les grandes tailles. On prélèvera donc, quand c'est possible, exhaustivement tous les individus d'une unité de débarquement, telle que caisse ou panier, qui constitue alors une grappe.

2.4.3. — Échantillonnage à plusieurs niveaux

2.4.3.1. — **Estimation des distributions de longueurs et d'âge.** Considérons un port ou un débarquement, un ensemble de navires, les débarquements de chacun étant répartis en caisses. Si dans l'échantillon apparaît un certain nombre de bateaux, et pour chaque bateau une fraction des caisses débarquées, cela correspond typiquement à un schéma d'échantillonnage à deux niveaux, avec pour premier niveau le bateau et pour unité d'échantillonnage la caisse. Plus la variabilité de caisse à caisse est forte par rapport à celle de bateau à bateau, plus il faudra limiter le nombre de bateaux étudiés au profit du nombre de caisses par bateau.

On s'aperçoit souvent en pratique qu'il faut au contraire multiplier les bateaux, quitte à n'étudier qu'un nombre limité de caisses dans chacun d'eux, car la variabilité inter-bateaux est souvent prépondérante. Pour définir un optimum on prendra en compte le coût (généralement en temps) d'une caisse supplémentaire par rapport à celui d'un bateau supplémentaire. Dans la pratique on essaiera d'aller aussi loin que possible dans la direction voulue, tout en respectant les contraintes de terrain, parmi lesquelles on doit compter la nécessité de consacrer à chaque bateau le temps nécessaire à la courtoisie (ce qui est une contrainte statistique peut être en l'occurrence agrément sur le plan humain).

On peut concevoir des échantillonnages à trois niveaux, encore que dans la pratique les applications n'en soient pas nombreuses. Ainsi, il se peut que l'on renonce à étudier intégralement les caisses, à l'intérieur desquelles on procédera à un sous-échantillonnage (bien conçu afin d'éviter les risques de biais précédemment évoqués) : on aura réalisé un échantillonnage à trois niveaux.

2.4.3.2. — **Échantillonnage en mer.** Le sous-échantillonnage est une pratique courante. Il conduit à ne trier qu'une fraction d'un coup de chalut ou d'un trait de plancton.

Sur ce dernier point, on est ramené aux problèmes classiques en planctologie (Frontier, 1972 ; Venrick, 1971, 1978). Le sous-échantillonnage est même insuffisamment utilisé : les planctologistes sont souvent trop préoccupés par l'erreur commise en estimant le total du trait de plancton à partir du comptage d'un sous-échantillon, alors que la variabilité entre traits est souvent beaucoup plus importante. Une optimisation doit être recherchée. Très vite en général, dans la méthode classique, le nombre de traits devient le facteur limitant. On peut ainsi multiplier les traits et n'effectuer sur chacun d'eux que des estimations d'abondance approximatives et rapides, l'ensemble de la procédure s'étant relevé beaucoup plus apte à fournir de l'information que la procédure opposée, consistant à étudier en détail un petit nombre de récoltes (Frontier, 1969a, 1973a et b et dans cet ouvrage Chapitre 1, § 2.3 et 7.4). Certains auteurs ont aussi préconisé, si le temps disponible pour les comptages est faible, de mélanger plusieurs traits puis de sous-échantillonner ("échantillonnage composite" de Brown et Fischer, 1972 ; Rhode, 1976). La

difficulté essentielle réside encore dans les problèmes de traçonnage. Il y aurait beaucoup à gagner en élaborant des dispositifs réduisant autant que possible la variabilité entre sous-échantillons.

2.4.4. — **Échantillonnage systématique.** On peut rattacher à l'échantillonnage systématique les études par échantillonnage, où les mesures sont faites selon un pas régulier. En fait la question est beaucoup plus complexe car le problème réel est bidimensionnel. Actuellement cette question n'a pas reçu, à notre connaissance, de traitement simple satisfaisant. L'échantillonnage systématique bidimensionnel est en revanche utilisé lorsque les prélèvements sont effectués selon une grille régulière de stations. Faute d'information extérieure, ce procédé est précieux. Au plan de la précision des informations, il peut avantageusement se comparer aux échantillonnages stratifiés. Les traitements statistiques peuvent cependant être compliqués. Dans ce cas le recours à des strates de petite taille, formant éventuellement un découpage régulier, avec de prélèvements en nombre réduit, aléatoirement distribués dans chaque strate, permet de ne guère perdre de précision par rapport à l'échantillonnage systématique, tout en simplifiant les traitements (Grosslein, 1982).

2.4.5. — **Double échantillonnage.** Même si l'intérêt est centré sur une caractéristique, il arrive souvent qu'on s'intéresse à une variable auxiliaire très liée à la première. En halieutique, l'exemple le plus net est fourni par l'âge et la longueur : même si le but ultime de l'échantillonnage est l'estimation des structures démographiques, on utilise souvent les distributions de la longueur. Si cette distribution est connue on pourra utiliser comme strates les différentes gammes de longueurs. Si elle est peu connue, on l'estimera à travers un échantillon, puis dans chaque segment de l'histogramme on procédera à un échantillonnage pour estimer par lectures d'écaillés ou d'otolithes les structures démographiques. Une telle opération relève d'un schéma de "double échantillonnage". S'y rattachent toutes les questions de clés âge-longueur (Brander, 1973 ; Kimura, 1977). Là encore on peut chercher à optimiser l'échantillonnage en répondant à la question : vaut-il mieux accroître le nombre de poissons dont l'âge est lu, ou mesurer plus de poissons ? La réponse est liée au coût relatif des deux opérations. On pourra trouver chez Mackett (1963) un développement sur ce thème et il existe même un programme Fortran sur le sujet, publié par Abramson (1971).

2.4.6. — **Combinaison de plans d'échantillonnage.** Une pêcherie développée est en général un objet si complexe qu'une combinaison de stratégies d'échantillonnage diverses est toujours indispensable, différents types de sondages s'appliquant aux différentes échelles d'observation.

Par exemple, s'il s'agit d'établir une statistique des débarquements, une première stratification correspondra à la délimitation des zones de pêche. À l'intérieur de chaque zone un sondage en grappes pourra s'appliquer aux ports et aux points de débarquement, et/ou aux navires à échantillonner. La pêche de chaque navire sera partitionnée suivant un système de strates fondé sur les catégories de taille établies pour le conditionnement de la marchandise. Le

système pourra être complété par une combinaison d'échantillonnages systématiques et de sondages au hasard : par exemple un certain nombre de caisses, choisies au hasard, sont vidées poisson par poisson et un poisson sur vingt est retenu. Chaque classe de taille des poissons ainsi prélevés peut ensuite faire l'objet d'un E.A.S. pour estimer l'âge à partir des pièces dures, le rapport gonadosomatique etc.

A chaque niveau d'observation se pose le problème de l'échantillonnage optimal : nombre de strates ou de grappes, allocation de chacune d'elles, nombre de classes de tailles et dans chacune d'elles nombre de poissons à choisir pour la lecture de l'âge, etc. L'optimisation peut être calculée en fonction des gains de précision et des coûts, selon des algorithmes précis (cf. Chapitre 2).

3. — CONCLUSION

La dynamique des populations marines exploitées a bénéficié d'une chance : la pêche elle-même est souvent le premier facteur réglant l'abondance du stock, et ce facteur est d'une part quantifiable, d'autre part variable. Par ailleurs une flottille de pêche est une source d'informations considérable, au moins par la quantité sinon par la qualité des données. Enfin, le débarquement constitue un goulot d'étranglement où l'on peut collecter l'information.

Cependant la récolte et la gestion des données supposent une organisation considérable. Souvent les problèmes d'estimation se heurtent plus à l'absence de données adéquates qu'au manque de techniques mathématiques. La réflexion sur la collecte de l'information est donc essentielle : qualitativement, elle doit délimiter des priorités sur la nature des connaissances à acquérir ; quantitativement, pour chaque descripteur retenu une planification soignée doit permettre d'accroître la qualité des estimations à coût égal.

La réflexion doit prendre en compte le rapport entre coût et précision pour chaque paramètre, et veiller à l'"homogénéité" des précisions. L'importance de la rapidité de l'acquisition de l'information doit encore être soulignée. Ces divers points ont été résumés par Troadec (1977) : "Lorsque'il s'agit de suivre l'évolution d'une pêcherie, on constate qu'*exactitude*, *précision* et *opportunité* sont trois qualités interdépendantes dont l'importance respective varie suivant les étapes du développement d'une pêcherie. Trop souvent une importance excessive est donnée à la précision, et cela au détriment de l'exactitude et surtout du besoin d'obtenir des renseignements même approximatifs au moment voulu (opportunité). Si l'on pense que, comme pour la variance, les besoins en information — et donc son coût et ses délais d'acquisition — croissent beaucoup plus vite que le gain de précision qu'on en tire, on comprend que la précision peut être ennemie de l'exactitude et surtout de l'opportunité".

On peut aussi s'inquiéter de voir se concentrer l'effort de recherche sur l'uti-

Centrale, deux écueils sont en fait à éviter. La première erreur consiste à ne pas recentrer la collecte des données sur les besoins des modèles (cf. Chapitre 13). La seconde conduit au contraire à se limiter aux données nécessaires aux modèles dans leur état présent, ce qui conduit à freiner toute remise en cause et toute évolution. Trop souvent c'est encore le premier travers qui l'emporte, et de très loin. La collecte des données de base doit avoir la priorité, ce qui suppose avant tout une organisation fine de la collecte de statistiques, d'abord au port, ensuite par le moyen des fiches de pêche, et une acquisition de matériel biologique pour estimer croissance et structures démographiques. C'est dans un deuxième temps — qui selon les stocks peut venir très vite — que se pose la question des collectes de données à la mer. Dans ce dernier cas ce seront généralement des données précises qui seront recherchées, par opposition aux résultats des campagnes dites exploratoires, sans mission déterminée. Les aspects les plus importants correspondent aux estimations directes d'abondance, soit globale, soit pour les classes pré-exploitées.

Le second écueil est pour l'instant théorique en halieutique et ne saurait être utilisé comme argument comme un meilleur encadrement des programmes de collecte des données. Il est bon toutefois de le garder à l'esprit et admettre qu'il est souhaitable qu'une partie (limitée) des études échappe au cadre étroit défini par les modèles.

Laurec A., Le Guen Jean-Claude, Frontier Serge. (1983).

Collecte de l'information pour une gestion rationnelle des stocks halieutiques.

In : Frontier Serge (ed.). Stratégies d'échantillonnage en écologie. Paris ; Laval : Masson ; Presses de l'Université Laval, (17), 385-415.

(Collection d'Ecologie ; 17).