

Modélisation et gestion d'un système complexe d'exploitation de ressources communes renouvelables. Le cas des pêcheries de la Manche

Bertrand Le Gallic, Clara Ulrich, Jean Boncœur

Résumé

Les ressources halieutiques sont à la fois renouvelables et communes. La combinaison de ces deux caractéristiques est à l'origine de phénomènes de surcapacité et de surexploitation, formant la base de l'intervention publique dans le secteur des pêches. La difficulté de cette intervention est amplifiée par le fait que les pêcheries constituent souvent des systèmes complexes, caractérisés par un jeu d'interactions entre stocks, techniques de capture et stratégies d'exploitation.

On présente ici un modèle bioéconomique du système halieutique complexe formé par les pêcheries de la Manche. Appuyé sur un important travail de collecte et de traitement de l'information relative à ces pêcheries, le modèle a pour objet principal de décrire les interactions entre flottilles exploitant les stocks de la Manche selon différentes techniques, et les conséquences biologiques et économiques de ces interactions. Il permet de simuler l'impact de diverses mesures de gestion. Au-delà du cas particulier de la Manche, le modèle constitue un cadre de cohérence permettant d'articuler les aspects biologiques, techniques et économiques d'un système halieutique complexe et d'explorer les conséquences d'un choc ponctuel sur les différents composants du système.

Après avoir caractérisé le problème économique de l'aménagement d'une pêcherie complexe, l'article décrit la structure du modèle, puis présente deux simulations concernant des scénarios d'aménagement de la pêcherie. Des voies d'amélioration du modèle sont esquissées en conclusion.

Citer ce document / Cite this document :

Le Gallic Bertrand, Ulrich Clara, Boncœur Jean. Modélisation et gestion d'un système complexe d'exploitation de ressources communes renouvelables. Le cas des pêcheries de la Manche. In: Politiques et management public, vol. 18, n° 4, 2000. Numéro spécial - "Le management public et la mesure : des lettres aux chiffres" pp. 157-182.

doi : 10.3406/pomap.2000.2650

http://www.persee.fr/doc/pomap_0758-1726_2000_num_18_4_2650

Document généré le 17/10/2015

MODÉLISATION ET GESTION D'UN SYSTÈME COMPLEXE D'EXPLOITATION DE RESSOURCES COMMUNES RENOUVELABLES LE CAS DES PÊCHERIES DE LA MANCHE¹

Bertrand LE GALLIC*
Clara ULRICH**
Jean BONCŒUR*

Résumé

Les ressources halieutiques sont à la fois renouvelables et communes. La combinaison de ces deux caractéristiques est à l'origine de phénomènes de surcapacité et de surexploitation, formant la base de l'intervention publique dans le secteur des pêches. La difficulté de cette intervention est amplifiée par le fait que les pêcheries constituent souvent des systèmes complexes, caractérisés par un jeu d'interactions entre stocks, techniques de capture et stratégies d'exploitation.

On présente ici un modèle bioéconomique du système halieutique complexe formé par les pêcheries de la Manche. Appuyé sur un important travail de collecte et de traitement de l'information relative à ces pêcheries, le modèle a pour objet principal de décrire les interactions entre flottilles exploitant les stocks de la Manche selon différentes techniques, et les conséquences biologiques et économiques de ces interactions. Il permet de simuler l'impact de diverses mesures de gestion. Au-delà du cas particulier de la Manche, le modèle constitue un cadre de cohérence permettant d'articuler les aspects biologiques, techniques et économiques d'un système halieutique complexe et d'explorer les conséquences d'un choc ponctuel sur les différents composants du système.

Après avoir caractérisé le problème économique de l'aménagement d'une pêcherie complexe, l'article décrit la structure du modèle, puis présente deux simulations concernant des scénarios d'aménagement de la pêcherie. Des voies d'amélioration du modèle sont esquissées en conclusion.

* Centre de Droit et d'Economie de la Mer, Université de Bretagne Occidentale (Brest).

** Laboratoire d'Halieutique, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes.

Revue POLITIQUES ET MANAGEMENT PUBLIC, Volume n° 18, n° 4, décembre 2000.

© Institut de Management Public - 2000.

¹ La recherche dont les résultats sont présentés ici a bénéficié d'un financement européen (DG XIV) dans le cadre du programme FAIR-CT-96-1993. La construction du modèle *BECHAMEL* a bénéficié de l'aide précieuse de Patrick Berthou (IFREMER, Brest), Christian Dinthèer (IFREMER, Boulogne), Matt Dunn (CEFAS, Lowestoft), Didier Gascuel (ENSAR, Rennes), Jérôme Guillon (ENSAR, Rennes) et Sean Pascoe (CEMARE, Portsmouth), à qui les auteurs adressent leurs sincères remerciements.

Introduction

Bénéficiant de l'évolution rapide des techniques de propulsion, de détection, de capture et de conservation à bord (Le Floc'h, 1998), le secteur des pêches maritimes a connu, à l'échelle mondiale, un spectaculaire développement de ses capacités de capture pendant la seconde moitié du XX^{ème} siècle. La pêche reste cependant une activité plus proche de la cueillette que de l'agriculture, au sens où elle ne contrôle pas les processus biologiques de croissance et de renouvellement des ressources qu'elle exploite. Dès lors, le rapide développement des capacités de capture au cours du dernier demi-siècle a créé une situation où ces ressources sont aujourd'hui, dans leur majorité, considérées comme « pleinement exploitées » ou « surexploitées » (Anon., 1994). Une telle évolution pose avec acuité la question de l'adaptation des mécanismes institutionnels régissant l'accès aux ressources halieutiques (Troade, 1994). Celles-ci étant à la fois renouvelables et « communes »¹ (Gordon, 1954 ; Copes, 1998), le problème de leur gestion est caractérisé par l'interférence permanente de trois types de considérations, entre lesquels les autorités en charge de l'aménagement des pêcheries s'efforcent de dégager des compromis plus ou moins stables (Charles, 1992) : conservation des ressources, équité dans l'accès aux ressources, efficacité de leur exploitation.

La théorie économique des pêches est apparue dans les années cinquante (Gordon, 1954 ; Scott, 1955 ; Schaeffer, 1957). Elle se présente comme une application conjointe de l'économie publique et de l'économie des ressources naturelles renouvelables, et s'appuie largement sur le développement de modèles qualifiés de « bioéconomiques » parce qu'intégrant une représentation de la dynamique des stocks exploités par les pêcheurs (Clark, 1976 ; Junqueira Lopes, 1985 ; Hannesson, 1993). Instrument d'investigation théorique, la modélisation bioéconomique se veut aussi outil de diagnostic et d'aide à la décision dans le cadre de l'aménagement des pêcheries. A cette fin, les modèles initiaux se sont progressivement enrichis et diversifiés. Cependant, dans de nombreux cas, la pénurie de données fiables reste un facteur limitant l'utilisation des modèles bioéconomiques à des fins opérationnelles.

Le modèle présenté dans cet article a été développé par une équipe d'économistes et de biologistes dans le cadre d'un programme européen consacré à la modélisation bioéconomique des pêcheries de la Manche. Son objet est double : 1) représenter le fonctionnement de ces pêcheries, conçues non comme des entités séparées mais comme les composants interactifs d'un système complexe ; 2) simuler l'incidence de divers scénarios d'aménagement sur l'état des stocks et les résultats économiques de leur exploitation. La construction du modèle s'appuie sur un important travail de collecte et de traitement des données relatives aux pêcheries de la Manche. Au-delà du cas particulier de la zone étudiée, le modèle constitue un cadre de cohérence permettant d'articuler les aspects biologiques, techniques et économiques du

¹ Berkes et al. (1989) définissent les ressources communes par l'association de deux propriétés : 1) la « soustractivité », qui implique que leur consommation, à la différence de celle des biens collectifs purs de Samuelson (1954), est divisible, de sorte que le prélèvement effectué par les uns vient en déduction de la quantité disponible pour les autres ; 2) la « non exclusivité », qui désigne l'impossibilité pratique d'allouer *ex ante* des fractions identifiées de ces ressources à des utilisateurs individuels. Dans le cas de la pêche, cette impossibilité résulte du caractère « fugitif » et mal connu des ressources halieutiques (Copes, 1998). Sur le plan juridique, celles-ci ont généralement le statut de *res nullius*, pour lesquelles l'acte de capture (effectué conformément à la réglementation) vaut appropriation.

fonctionnement d'un système halieutique complexe, et d'explorer les conséquences d'un choc exogène en un point du système sur l'ensemble de ses composantes.

Après avoir caractérisé le problème économique de l'aménagement d'une pêcherie complexe (1), l'article décrit la structure du modèle (2) puis présente deux simulations concernant des scénarios d'aménagement de la pêcherie (3). Des voies d'amélioration du modèle sont esquissées en conclusion.

Le problème économique de l'aménagement d'une pêcherie complexe

Une fois les ressources halieutiques entrées dans la sphère économique des ressources rares, le problème de leur gestion tire sa spécificité du fait qu'elles sont à la fois renouvelables et communes. De la seconde de ces deux caractéristiques, il résulte que l'exploitation d'un stock¹ par un ensemble de navires s'accompagne d'externalités croisées négatives entre ces navires. Lorsque n navires participent à l'exploitation d'un même stock, la fonction de production de chaque navire peut en effet s'écrire schématiquement :

$$Y_i = f_i(E_1, \dots, E_n) \quad i = 1, \dots, n$$

avec :

$$\partial Y_i / \partial E_i > 0, \quad \partial Y_i / \partial E_j < 0 \quad \forall j \in \{1, \dots, n\}, j \neq i$$

où :

Y_i représente le volume des captures du navire i

E_k représente l'effort de pêche² du navire k ($k = 1, \dots, n$)

La présence, parmi les arguments de la fonction de production d'un navire, des efforts de pêche des autres navires participant à la pêcherie résulte du caractère « soustractif » de la ressource exploitée en commun : lorsqu'un navire accroît sa pression individuelle sur le stock commun, il diminue la quantité capturable par les autres. Ces externalités suscitent un écart entre productivité marginale « privée » et productivité marginale « sociale » de l'effort de pêche, une partie au moins du surcroît de capture qu'un navire tire de l'augmentation de son effort individuel étant contrebalancée par une réduction des captures des autres navires exploitant le même stock. En appelant Y le volume global des captures à l'échelle de la pêcherie, on peut en effet écrire :

$$Y = Y_i + \sum_{j \in \{1, \dots, n\}, j \neq i} Y_j$$

$$\Rightarrow \partial Y / \partial E_i = \partial Y_i / \partial E_i + \sum_{j \in \{1, \dots, n\}, j \neq i} \partial Y_j / \partial E_i$$

Du fait de l'externalité croisée négative entre pêcheurs exploitant le même stock, on a :

$$\sum \partial Y_j / \partial E_i < 0$$

¹ Le terme stock désigne en halieutique la fraction exploitable d'une population.

² Ce terme désigne un indice synthétisant les services du capital et du travail mis en oeuvre par les pêcheurs. Sur les problèmes que pose la construction de cet indice, voir Rodgers (1996).

d'où l'on tire :

$$\partial Y / \partial E_i < \partial Y_i / \partial E_i$$

Par suite, lorsque la pêcherie est exploitée par plusieurs entreprises distinctes (ce qui est presque toujours le cas), son équilibre manifeste une tendance spontanée à ne pas respecter le critère de Pareto, car le niveau d'effort optimal d'un point de vue individuel s'avère généralement excessif à l'échelle de la pêcherie : à l'équilibre, le coût unitaire de l'effort de pêche, exprimé en termes « réels », excède normalement sa productivité marginale sociale. Il en résulte une dissipation plus ou moins large de la rente halieutique, c'est-à-dire de la rente liée au caractère limité du potentiel de renouvellement des ressources exploitées par la pêche.

Cette inefficacité se manifeste généralement dans la mise en oeuvre de capacités de capture trop importantes au regard des ressources disponibles. La surcapacité, qui doit être regardée comme un état normal de fonctionnement d'une pêcherie dès lors que la ressource est rare, a tendance à s'accroître au fil du temps, l'écart entre les deux productivités marginales de l'effort de pêche se creusant généralement au fur-et-à mesure de la raréfaction de la ressource. Outre son incidence négative sur la rente halieutique, la surcapacité génère des conflits entre pêcheurs, l'accroissement de la capacité de capture des uns constituant une menace directe pour l'accès des autres à la ressource. Le problème d'efficacité se double ainsi d'un problème d'équité.

Divers modèles de dynamique des populations (Schaefer, 1957 ; Pella et Tomlison, 1969) suggèrent en outre que la surcapacité peut aisément conduire à une surexploitation des stocks, définie comme une situation où le prélèvement sur la ressource est trop important par rapport à ses capacités de renouvellement (« surexploitation de recrutement »). Si elle ne débouche pas sur un effondrement du stock, cette situation l'amène à se stabiliser à un niveau inférieur à celui qui maximiserait à long terme le revenu généré par la pêche.

Si le ressort essentiel de la surcapacité est l'existence d'externalités négatives croisées entre pêcheurs, et si le lien entre surcapacité et surexploitation est peu contestable, il n'en résulte pas pour autant que la suppression des externalités entre pêcheurs suffirait à garantir une exploitation durable et efficace des ressources halieutiques. Sans doute, le fait de confier une pêcherie à un exploitant unique pour une période suffisamment longue (Scott, 1955) doit normalement conduire celui-ci à adopter une stratégie de maximisation de la rente halieutique. Mais cette stratégie peut très bien, selon le taux d'actualisation retenu par l'exploitant, aller de pair avec une exploitation « minière » du stock conduisant celui-ci vers une extinction programmée. Si la collectivité attribue au stock une valeur d'existence, de legs ou d'option, elle doit faire en sorte que ceux qui l'exploitent intègrent la contrainte de soutenabilité dans leur stratégie d'exploitation.

Ces considérations de soutenabilité, d'efficacité et d'équité sont au coeur du débat sur les objectifs et les méthodes de l'intervention publique dans le secteur des pêches, fréquemment désignée sous le vocable « aménagement des pêcheries ». Dans de

nombreux cas, en particulier dans le secteur des pêches côtières, la difficulté de cet aménagement est amplifiée par le fait que les pêcheries forment des systèmes complexes. Cette complexité peut s'appréhender à trois niveaux : stocks exploités, techniques de capture, stratégies d'exploitation.

Un premier facteur de complexité tient au caractère souvent plurispécifique des pêcheries. Plusieurs stocks distincts peuvent être exploités par un même ensemble de navires, de façon simultanée ou séquentielle. La première hypothèse correspond à une situation de production jointe, qui n'est pas nécessairement volontaire dans la mesure où la sélectivité imparfaite des engins de pêche conduit à des prises accessoires parfois très importantes, et souvent rejetées à la mer avec un taux de mortalité élevé. En outre il peut exister, entre les divers stocks coexistant au sein de la pêcherie, diverses interactions biologiques et écologiques (compétition trophique, prédation).

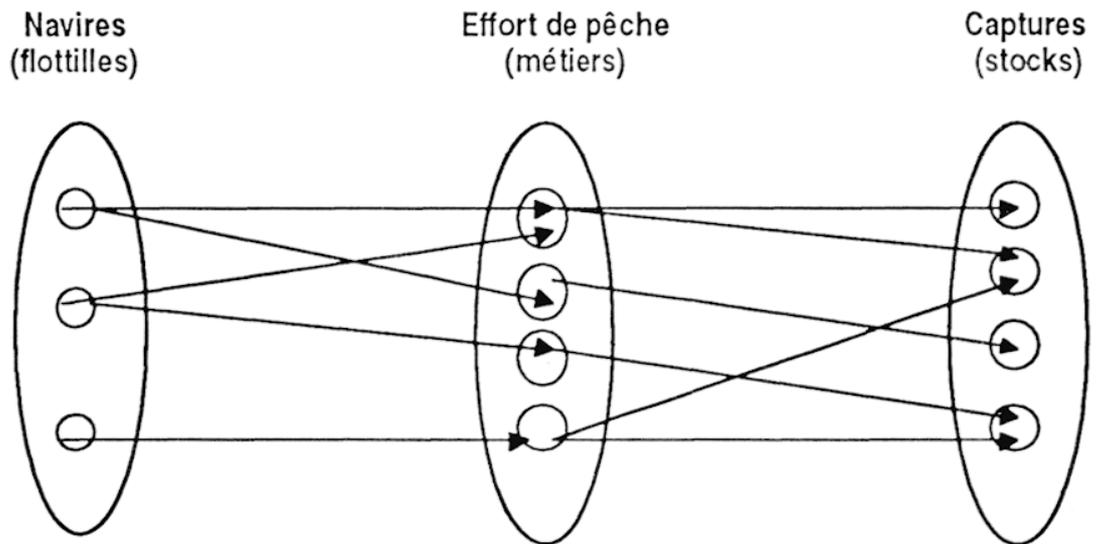
Un second facteur de complexité réside dans la pluralité des techniques mises en oeuvre pour cibler un même stock, ou plusieurs stocks présents sur un même lieu de pêche. Entre divers « métiers »¹ peuvent exister plusieurs types d'interactions techniques (Tétard, Boon et al.) : interactions par la ressource lorsque plusieurs métiers ciblent la même espèce ou le même groupe d'espèces, ou lorsqu'une espèce ciblée par un métier constitue une prise accessoire pour un autre métier ; interactions par l'espace lorsqu'il existe une incompatibilité entre la pratique simultanée de certains métiers dans une même zone ; interactions par l'activité lorsque plusieurs métiers concourent à la formation du revenu annuel tiré de l'exploitation du navire.

Un troisième facteur de complexité est constitué par la présence permanente ou occasionnelle, au sein d'une même pêcherie, de navires ayant des caractéristiques techniques et des stratégies d'exploitation diversifiées. On désigne fréquemment sous le vocable « flottille » un ensemble de navires présentant des caractéristiques techniques voisines et adoptant le même type de stratégie d'exploitation. Si des flottilles distinctes pratiquent souvent des métiers différents, plusieurs métiers peuvent être pratiqués au sein d'une même flottille (les typologies de flottilles font souvent référence à des associations de métiers considérées comme « structurantes »). Les flottilles intervenant dans une même zone de pêche sont susceptibles d'interagir par l'intermédiaire des stocks qu'elles exploitent et des métiers qu'elles pratiquent.

Les relations techniques entre flottilles, métiers et stocks au sein d'une pêcherie complexe peuvent être illustrées à l'aide du schéma ci-dessous :

¹ Terme désignant, en halieutique, l'association d'un engin de pêche, d'une espèce-cible ou d'un groupe d'espèces-cibles et d'une zone de pêche.

Figure 1
Représentation schématique des interactions techniques
au sein d'une pêcherie complexe



Comme l'indique le schéma, au sein d'une pêcherie complexe :

- un même stock peut être exploité par plusieurs métiers,
- plusieurs stocks peuvent être exploités par un même métier (soit au titre d'espèces-cibles, soit en tant que prises accessoires),
- un même métier peut être pratiqué par plusieurs flottilles,
- une même flottille peut pratiquer, en alternance, plusieurs métiers.

Pour ces raisons, au sein d'une pêcherie complexe les externalités entre pêcheurs ciblant un même stock avec le même type d'engins se doublent d'externalités entre flottilles utilisant des engins différents (ce qui complique généralement les problèmes de cohabitation entre pêcheurs) et/ou ciblant des espèces différentes (une espèce ciblée par une flottille pouvant constituer une capture accessoire pour une autre flottille). Du fait des interactions biologiques entre stocks et des interactions techniques entre flottilles, métiers et stocks au sein d'une pêcherie complexe, les notions de rente halieutique, de surcapacité et de surexploitation ne peuvent généralement pas y être appréhendées stock par stock, mais doivent l'être au niveau de l'ensemble du système. Ce phénomène complique sérieusement le diagnostic sur l'état de la pêcherie. Il en va de même pour l'analyse des mesures d'aménagement susceptibles d'être mises en oeuvre, car une intervention sur un composant de la pêcherie (un stock, un métier ou une flottille) est susceptible d'avoir des répercussions importantes sur de nombreux autres composants du système.

**Un modèle de
simulation du
fonctionnement
d'une pêcherie
complexe**

Le modèle présenté ici¹ a pour objet de décrire le fonctionnement des activités de pêche professionnelle en Manche, et d'évaluer l'incidence de divers scénarios d'aménagement sur les résultats économiques de ces activités et sur l'état des stocks. Les pêcheries de la Manche sont exploitées commercialement par environ 4 000 navires, essentiellement britanniques (2 200 unités) et français (1 700 unités). Ces navires, de taille généralement modeste, appartiennent presque tous au secteur de la pêche artisanale. La valeur annuelle totale des débarquements réalisés par les navires français et britanniques travaillant en Manche est estimée à environ 210 millions d'Euros en 1993-95. Du côté français, ces débarquements représentent environ 20 % de la valeur totale des débarquements de la pêche fraîche française.

Les pêcheries de la Manche constituent un cas remarquable de système halieutique complexe, combinant un nombre élevé de flottilles pratiquant une grande variété de métiers et ciblant des espèces très diverses. Tétard, Boon et al. (1995) recensent au total 72 métiers pratiqués en Manche par les flottilles françaises, britanniques, anglo-normandes et belges. Ces métiers ciblent les espèces les plus variées (poissons, crustacés, mollusques, algues), parmi lesquelles une quarantaine d'espèces jouent un rôle significatif dans la valeur des débarquements. Les analyses des calendriers d'activité des navires permettent de distinguer une quinzaine de flottilles françaises, et une dizaine de flottilles britanniques (non compris les navires extérieurs venant occasionnellement travailler en Manche). Ces flottilles sont le plus souvent polyvalentes, chaque navire pratiquant en moyenne 2,5 métiers au cours d'une année. Si les interactions biologiques entre stocks sont mal connues, en revanche les interactions techniques entre métiers ont fait l'objet d'analyses détaillées, quoique surtout qualitatives (Tétard, Boon et al., 1995). Du fait de l'ampleur et de la multiplicité de ces interactions, il semble plus juste de considérer la Manche comme une vaste pêcherie, multi-flottilles, multi-métiers, multi-spécifique et plurinationale, que comme une juxtaposition de pêcheries disjointes.

Le modèle bioéconomique simulant le fonctionnement de cette pêcherie complexe articule les activités de 29 flottilles (elles-mêmes ventilées en 6 classes de longueur), exploitant 53 stocks à travers la pratique de 68 métiers. C'est un modèle déterministe, statique, décrivant une situation d'équilibre de long terme sur le plan biologique, mais de courte période sur le plan économique (ce qui n'est pas contradictoire car les pas de temps qu'impliquent le renouvellement des stocks et celui des flottilles sont sensiblement différents). Il se compose de deux modules : un module biologique et technique reliant les volumes de captures à l'effort de pêche, et un module économique décrivant les coûts et revenus liés à l'activité des flottilles. Les données nécessaires au paramétrage du module économique ont été collectées par voie d'enquêtes auprès de deux échantillons de patrons-pêcheurs de la Manche, représentant un total de 260 bateaux (Boncoeur et Le Gallic, 1998 ; Pascoe et al., 2000)².

¹ Modèle BECHAMEL (pour BioEconomic CHannel ModEL).

² Pour une présentation détaillée de la construction, de la validation et de la gestion informatique du modèle, cf. Boncoeur et Le Gallic (1998), Le Gallic, Ulrich et al. (1999) et Ulrich (2000).

Module biologique et technique

Ce module propose une représentation, structurée en termes de flottilles, métiers et stocks, de la fonction de production du système halieutique étudié. Cette représentation tient compte du caractère vivant, et donc renouvelable des ressources exploitées. Elle est établie sous l'hypothèse d'équilibre biologique, c'est-à-dire de stocks stabilisés. Les étapes permettant d'établir la relation entre effort de pêche et captures sont résumées ci-après.

L'effort de pêche déployé dans le cadre d'un métier m est appréhendé à partir du temps de pêche annuel total consacré à ce métier par l'ensemble des navires des flottilles f concernées par sa pratique:

$$E_m = \sum_f E_{f,m}$$

Une difficulté réside dans l'hétérogénéité des puissances de pêche, ou capacités de capture, entre navires pratiquant un même métier. Ce paramètre étant généralement bien corrélé à la longueur du navire (Jaffry, 1995), les navires ont été répartis en six classes de longueur et un effort de pêche « standardisé » a été calculé, pour chaque métier, sur la base des débarquements et des temps de pêche comparés des navires de différentes classes de longueur pratiquant ce métier. L'effort de pêche E_m déployé dans un métier m est ainsi exprimé en termes de jours-navires-standard.

On passe de l'effort de pêche au taux de mortalité par pêche à l'aide d'un *coefficient de capturabilité*. Dans le cas le plus simple, la relation entre l'effort de pêche E_m déployé dans un métier m et le taux de mortalité par pêche $F_{m,s}$ qui en résulte pour un stock s est donnée par la relation :

$$F_{m,s} = q_{m,s} E_m$$

où $q_{m,s}$ représente le coefficient de capturabilité des individus du stock s par le métier m . Pour certains stocks, les coefficients de capturabilité sont différenciés par classe d'âge, de sorte que la relation ci-dessus devient :

$$F_{m,s,a} = q_{m,s,a} E_m$$

où $q_{m,s,a}$ représente le coefficient de capturabilité des individus de la classe d'âge a du stock s par le métier m , et $F_{m,s,a}$ le taux de mortalité par pêche correspondant. Lorsque différents métiers participent à l'exploitation d'un même stock, le taux de mortalité par pêche total s'obtient par addition des taux de mortalité propres à chaque métier. La relation s'écrit :

$$F_s = \sum_m F_{m,s} = \sum_m q_{m,s} E_m \quad \text{ou} \quad F_{s,a} = \sum_m F_{m,s,a} = \sum_m q_{m,s,a} E_m$$

selon que le stock est traité globalement ou différencié par classes d'âge. Les taux de mortalités par pêche sont à leur tour reliés aux captures et aux niveaux des stocks à l'aide de *modèles de dynamique des populations*, décrivant l'évolution des stocks

concernés comme le résultat conjugué de leur dynamique propre et de la mortalité par pêche. Le modèle de dynamique des populations correspondant à un stock déterminé permet d'exprimer le volume de captures, à l'équilibre, comme une fonction du taux de mortalité par pêche (et donc de l'effort de pêche) qui est appliqué à ce stock.

Selon le mode de représentation des stocks qu'ils adoptent, les modèles de dynamique des populations sont de type « global » ou « analytique » (Laurec et Le Guen, 1981). Dans un modèle global, le stock est considéré comme un ensemble indifférencié, dont l'équation d'état peut s'écrire :

$$dB_s / dt = f_s(B_s) - F_s B_s$$

où B_s représente la biomasse du stock s et f_s sa loi de variation à l'état vierge. A l'équilibre, les captures compensent exactement l'accroissement naturel du stock :

$$dB_s / dt = 0 \quad \Leftrightarrow F_s B_s = f_s(B_s)$$

En résolvant en B_s l'équation ci-dessus, on peut exprimer la biomasse d'équilibre comme une fonction du taux de mortalité par pêche :

$$B_s = g_s(F_s)$$

ce qui permet, ensuite, d'écrire le volume Y_s de captures à l'équilibre également comme une fonction du taux de mortalité par pêche :

$$Y_s = F_s B_s = F_s g_s(F_s)$$

Dans un modèle analytique, le stock est décomposé en classes d'âge. Sa dynamique résulte, pour un flux de recrutement donné, du franchissement des différentes classes d'âge par chaque cohorte. A l'équilibre, le total Y_s des captures par période peut s'écrire comme la somme des captures sur les différentes classes d'âge composant le stock :

$$Y_s = \sum_a Y_{s,a}$$

Selon le modèle de production par recrue (Thompson et Bell, 1934), le poids total des captures réalisées sur une classe d'âge a est lui-même une fonction du poids moyen des individus à cet âge ($W_{s,a}$), du nombre d'individus recrutés par période (R_s), des taux de mortalité naturelle ($M_{s,i}$, $i = 1, \dots, a$) et par pêche ($F_{s,i}$, $i = 1, \dots, a$) aux différents âges depuis le recrutement jusqu'à l'âge considéré :

$$Y_{s,a} = R_s \left(\prod_{i=1}^{a-1} e^{-(F_{s,i} + M_{s,i})} \right) \frac{W_{s,a} \cdot F_{s,a}}{F_{s,a} + M_{s,a}} \left(1 - e^{-(F_{s,a} + M_{s,a})} \right)$$

Le choix d'une méthode de représentation est, en pratique, conditionné par la disponibilité de l'information requise pour paramétrer le modèle : si le recours à un modèle analytique est souvent plus satisfaisant en théorie, ce choix impose de disposer d'une quantité d'informations plus importante que celle que requiert le paramétrage d'un modèle global. Les informations disponibles sur les stocks de la Manche et leur exploitation ont permis d'utiliser un modèle analytique dans 27 cas sur

53. Pour chacun de ces stocks, le recrutement a été traité comme une variable exogène. Pour les autres stocks, moins bien documentés, il a été nécessaire de s'en tenir à un modèle global. Selon les stocks, on a retenu un modèle de Schaefer ou un modèle de Fox¹ pour représenter la loi de variation naturelle du stock et le volume de captures à l'équilibre :

$$f_s(B_s) = r_s B_s (1 - B_s / K_s) \Rightarrow Y_s = F_s K_s (1 - F_s / r_s) \quad (\text{Schaefer})$$

$$f_s(B_s) = r_s B_s (1 - \ln B_s / \ln K_s) \Rightarrow Y_s = F_s K_s e^{-(F_s \ln K_s) / r_s} \quad (\text{Fox})$$

(où K_s est le niveau d'équilibre de la biomasse du stock s à l'état vierge). Dans le cas d'un stock formalisé à l'aide d'un modèle global, la part des captures totales que l'on peut attribuer à un métier est proportionnelle au taux de mortalité partiel que ce métier fait subir au stock, ce qui donne, pour chacun des deux modèles globaux présentés ci-dessus :

$$Y_{m,s} = F_{m,s} K_s (1 - F_s / r_s) \quad (\text{Schaefer})$$

$$Y_{m,s} = F_{m,s} K_s e^{-(F_s \ln K_s) / r_s} \quad (\text{Fox})$$

Dans le cas d'un stock traité selon un modèle analytique, la proportionnalité des captures par métier au taux de mortalité partiel s'applique à chaque classe d'âge :

$$Y_{m,s,a} = R_s \left(\prod_{i=1}^{a-1} e^{-(F_{s,i} + M_{s,i})} \right) \frac{W_{s,a} \cdot F_{m,s,a}}{F_{s,a} + M_{s,a}} \left(1 - e^{-(F_{s,a} + M_{s,a})} \right)$$

Quel que soit le mode de représentation adopté, la participation de plusieurs métiers à l'exploitation d'un même stock crée une externalité négative croisée entre ces métiers. Les dérivées partielles :

$$\partial Y_{m,s} / \partial F_s \text{ et } \partial Y_{m,s,a} / \partial F_{s,a}$$

des fonctions de production par métier sont négatives, ce qui signifie que les captures réalisées par un métier diminuent sous l'effet de l'augmentation de l'effort de pêche dans les autres métiers exploitant le même stock, cette augmentation raréfiant la ressource disponible pour le métier considéré. Ce mécanisme constitue la projection, au niveau des relations entre métiers, des externalités entre navires rencontrées dans une pêcherie simple.

¹ Ces deux modèles constituent des cas particuliers du modèle généralisé de Pella-Tomlison (1969).

Module économique

Alors que le module biologique et technique transforme l'effort de pêche en captures, le module économique transforme les captures en recettes et l'effort de pêche en coûts, puis calcule des indicateurs de performances économiques à partir de la confrontation des recettes et des coûts.

— Recettes

Les recettes des navires dépendent des quantités débarquées et des prix à la première vente. Les débarquements annuels (assimilés aux captures en l'absence de prise en compte des rejets) sont obtenus, pour chaque classe de longueur à l'intérieur de chaque flottille, en affectant à ce groupe de navires, au sein de chaque métier auquel il participe, une part des captures annuelles proportionnelle à sa part dans l'effort de pêche annuel total déployé dans le métier. En ce qui concerne les prix, deux cas sont distingués. Le premier est celui des espèces pour lesquelles les quantités annuelles débarquées n'exercent pas d'influence significative sur le prix annuel moyen à la première vente. Ces espèces sont en général celles pour lesquelles le marché n'est approvisionné que de façon marginale par les pêcheries de la Manche, et leur prix est traité dans le modèle comme une variable exogène. Le second cas concerne les espèces manifestant une flexibilité significative du prix par rapport aux débarquements en provenance de la Manche¹. Les prix de ces espèces, pour lesquelles la Manche représente en général une source importante d'approvisionnement du marché, ont été endogénéisés au moyen de relations log-linéaires du type :

$$\ln P_{s,z} = \alpha_{s,z} \ln Y_{s,z} + \beta_{s,z}$$

où $Y_{s,z}$ représente le poids annuel moyen des débarquements du produit s dans la zone z , $P_{s,z}$ le prix annuel moyen à la première vente de ce produit dans cette zone, et $\alpha_{s,z}$ le coefficient de flexibilité du prix par rapport aux quantités débarquées. L'équation ci-dessus néglige les phénomènes d'élasticité-prix croisée de la demande. Des phénomènes de ce type ont pu être mis en évidence pour un certain nombre de produits de la pêche, mais ces cas ont généralement été observés à une échelle plus large que celle du modèle présenté ici (Jaffry, Pascoe et Robinson, 1997). Dans celui-ci, les espèces à prix endogènes ne représentent qu'un cinquième de la valeur totale des débarquements des pêcheries de la Manche en 1993-95. Ce pourcentage, faible en apparence, reflète en réalité le caractère aujourd'hui largement international des marchés des produits de la mer (Guillotreau et al., 1998)².

La valeur annuelle totale des ventes brutes réalisées au titre d'un métier m par les navires appartenant à la classe l d'une flottille f s'obtient en multipliant les captures

¹ Coefficient $(\partial P/\partial Y).(Y/P)$ significativement différent de zéro. Sous l'hypothèse d'un marché en équilibre, ce coefficient est égal à l'inverse du coefficient d'élasticité de la demande par rapport au prix.

² Un cas extrême est constitué par l'exploitation du goémon, dont le Nord-Finistère détient le quasi-monopole à l'échelle nationale, mais dont le marché est totalement internationalisé (Kervarec, Arzel et Guyader, 1999).

annuelles de chaque espèce réalisées par ces navires dans le cadre du métier m par les prix correspondants, et en additionnant les valeurs par espèce ainsi obtenues :

$$VB_{i,f,m} = \sum_s P_{s,z} \cdot Y_{i,f,m,s}$$

On obtient ensuite les ventes nettes en soustrayant de la valeur des ventes brutes les frais de débarquement. Ces frais sont calculés en appliquant aux ventes brutes des taux différenciés selon les catégories de navires et les métiers pratiqués.

— Coûts

Les coûts pris en compte dans le modèle sont des coûts *économiques*, c'est-à-dire indépendants de la structure de financement des entreprises de pêche. Deux critères de différenciation des coûts présentent un intérêt particulier du point de vue du fonctionnement du modèle.

Un premier critère repose sur le lien qualitatif entre coûts et nature des activités pratiquées. Ce critère conduit à distinguer les coûts directs des coûts indirects : alors que les premiers peuvent être imputés sans ambiguïté à la pratique d'une activité déterminée, les seconds sont liés au fonctionnement général de l'entreprise et ne peuvent être imputés que de façon conventionnelle à telle ou telle activité.

Dans le modèle, les coûts directs sont les coûts spécifiques à un métier, alors que les coûts indirects sont liés à l'exploitation générale du navire. Un second critère de classification repose sur le lien quantitatif entre niveaux de coûts et niveaux d'activités. Il débouche sur la distinction entre coûts variables et coûts fixes, qui dépend elle-même du pas de temps considéré. Dans le cas du modèle, les deux critères se recoupent presque exactement : à l'exception des licences liées à la pratique de certains métiers, on peut assimiler les coûts directs à des coûts variables, alors que tous les coûts indirects peuvent être considérés comme fixes eu égard au pas de temps du modèle. La répartition des coûts retenue dans le modèle est présentée dans le tableau ci-après :

Le mode de rémunération des équipages propre à la pêche artisanale impose de procéder à une distinction supplémentaire parmi les coûts variables. Alors que les consommations intermédiaires dépendent de l'effort de pêche, la détermination des salaires obéit à une logique plus complexe, dite du « salaire à la part ». Dans ce système, la valeur des ventes nettes, déduction faite de certaines consommations intermédiaires appelées « frais communs »¹, est partagée selon une clé fixée a priori entre équipage et armement, et la part-équipage ainsi obtenue est elle-même répartie entre les différents membres de l'équipage selon une série de clés prédéfinies. Il résulte de ce mécanisme que la rémunération de l'équipage dépend pour partie des

¹ Le plus souvent : carburant, lubrifiant, appâts, glace, vivres.

résultats de la pêche (par l'intermédiaire des ventes nettes), et pour partie de l'effort de pêche (par l'intermédiaire des frais communs).

Tableau 1. Ventilation des coûts économiques

Coûts	directs (spécifiques à un métier)	Indirects (non spécifiques à un métier)
fixes	Licences par métier	Entretien et réparation du navire Assurances Gestion et divers Amortissement économique ^b Coût d'opportunité du capital ^c
variables ^d	Carburant, lubrifiant, appâts, glace, vivres Entretien-renouvellement des engins Salaires bruts Cotisations sociales employeur ^d	-

^a non compris les frais de débarquement, déjà pris en compte lors du calcul des ventes nettes.

^b calculé sur la base du prix d'achat du navire (corrigé du taux d'inflation) et de sa durée de vie normale¹.

^c 8% de la valeur assurée du navire (et de la valeur des licences transférables dans le cas britannique).

^d France uniquement (ces cotisations sont calculées selon un mode spécifique au secteur de la pêche, qui fait intervenir les caractéristiques du navire et de son équipage, et le nombre de jours de mer).

A l'exception des salaires, les coûts répertoriés dans le tableau ci-dessus ont été déterminés, pour chaque catégorie de navire (classe de longueur et flottille), à partir des deux enquêtes réalisées en 1997-98 auprès des patrons-pêcheurs français et britanniques travaillant en Manche. Les coûts variables sont exprimés par jour de mer, les coûts fixes par an. Pour les salaires, les enquêtes ont permis d'établir la liste des frais communs et les clés de partage entre part-équipage et part-armement.

— Résultats économiques

Les résultats économiques de l'exploitation des pêcheries de la Manche sont calculés par le modèle pour chaque catégorie de navire (classe de longueur, flottille) et, le cas échéant, pour chaque métier. Ils peuvent ensuite être agrégés à différents niveaux.

Les performances d'un groupe de navires peuvent s'apprécier par métier ou globalement. A l'échelon du métier, le modèle détermine tout d'abord la marge sur coût variable journalière moyenne. Pour un navire appartenant à la classe de longueur l de la flottille f et pratiquant le métier m , cette marge s'écrit :

$$MCV_{l,f,m}^{JM} = (VN_{l,f,m}^{JM} - FCom_{l,f,m}^{JM}) \cdot (1 - \lambda_{l,f} \cdot (1 - \mu_{l,f})) - Var_{l,f,m}^{JM}$$

où :

¹ Le mode de calcul de l'amortissement économique est présenté de façon détaillée dans Boncoeur et Le Gallic, 1998.

$VN_{i,l,m}^M$	est la valeur journalière moyenne des ventes nettes
$FCom_{i,l,m}^M$	est le montant journalier moyen des frais communs
$\lambda_{i,l}$	est le taux moyen de la part-équipage brute
$\mu_{i,l}$	est la proportion moyenne de la part-équipage brute revenant au patron
$Var_{i,l,m}^M$	est la valeur journalière moyenne des coûts variables hors frais communs

La prise en compte du nombre annuel de jours de mer consacrés au métier m et, éventuellement, du coût annuel de la licence qu'implique son exercice permet ensuite de calculer la marge brute annuelle moyenne que le patron-artisan¹ tire de ce métier :

$$MB_{i,f,m}^M = MCV_{i,f,m}^{JM} \cdot J_{i,f,m}^M - Lic_{i,f,m}^M$$

où :

$J_{i,l,m}^M$	est le nombre annuel moyen de jours de mer consacrés au métier m par un navire appartenant à la classe l de la flottille f
$Lic_{i,f,m}^M$	est le coût annuel moyen de la licence pour la pratique du métier m par ce navire

La marge sur coût variable et la marge brute par métier constituent des indicateurs pertinents pour l'analyse de l'allocation de l'effort de pêche d'un ensemble donné de navires entre différents métiers substituables. En l'absence de barrières naturelles, techniques ou institutionnelles entre différents métiers, on peut en effet s'attendre à ce que les pêcheurs dirigent en priorité leur effort vers le métier dégageant la marge brute la plus élevée (la validité de cette hypothèse a été testée empiriquement par Robinson et Pascoe, 1997). Dans ce cas, l'arbitrage entre métiers dépend du niveau des marges sur coût variable et des coûts des licences par métier.

La somme des marges brutes annuelles procurées par les différents métiers doit permettre de couvrir les coûts fixes non spécifiques du navire (cf. supra, tableau 1). Le solde constitue le revenu net d'activité du patron-artisan² :

$$RNAPA_{i,f}^M = \sum_m MB_{i,f,m}^M - Fix_{i,f}^M$$

où :

$RNAPA_{i,f}^M$	est le revenu annuel moyen net d'activité du patron-artisan d'un navire appartenant à la classe l de la flottille f
$MB_{i,l,m}^M$	est la marge brute annuelle moyenne dégagée par ce navire dans le métier m
Fix_n^M	est son coût fixe économique non spécifique annuel moyen

¹ Le modèle considère que tous les patrons des navires opérant en Manche sont propriétaires de leur navire, ce qui correspond à la grande majorité des cas dans toutes les classes de longueur.

² Ce revenu, indépendant de la structure financière de l'entreprise, ne se confond avec le revenu effectif du patron-artisan que si ses frais financiers nets sont égaux au coût d'opportunité du capital qu'il utilise.

Ce revenu a une nature composite : il représente à la fois la rémunération du travail du patron en tant que marin-pêcheur et son profit d'entrepreneur. Ces deux aspects sont difficiles à séparer en pratique. En effet, le système du salaire à la part institutionnalise la participation de l'équipage aux bénéfices de l'activité, de sorte que les revenus issus de la part-équipage (y compris celui du patron) ne s'assimilent pas de façon simple à un coût d'opportunité du travail, par ailleurs difficile à évaluer de façon indirecte compte tenu des fortes particularités du métier de marin-pêcheur. Aussi, le choix a été fait de maintenir dans le modèle le revenu net d'activité du patron-artisan en tant qu'indicateur synthétique des performances de son activité personnelle de pêcheur-entrepreneur, sans chercher à délimiter, au sein de ce revenu, la part imputable à son travail de pêcheur et celle qui correspond à son profit d'entrepreneur. Dans le cas des pêcheries artisanales de la Manche, le revenu net d'activité du patron-artisan se révèle un indicateur de performance dont le pouvoir explicatif est nettement supérieur à celui d'un indicateur plus classique comme le taux de rentabilité du capital (excédent net d'exploitation rapporté à la valeur assurée du navire), en ce qui concerne l'analyse des comportements d'investissement et de désinvestissement (Boncoeur, Le Gallic et Pascoe, 1998).

L'addition du revenu net d'activité du patron-artisan et des salaires nets des autres membres de l'équipage forme le revenu net d'activité procuré par l'exploitation du navire aux hommes qui travaillent à son bord. Ce revenu peut également se définir comme la différence entre la valeur des ventes nettes et l'ensemble des coûts économiques, à l'exception des salaires nets de l'équipage (supra, tableau 1). A l'échelle du navire, le revenu net d'activité agrège les rémunérations du facteur-travail et de la fonction entrepreneuriale, catégories que les spécificités de la pêche artisanale ne permettent pas de séparer aisément.

Exemples de simulations réalisées à l'aide du modèle

Calé initialement sur la période 1993-97, le modèle BECHAMEL permet de simuler diverses variantes d'aléas et d'aménagement. Les premières peuvent être de type biologique (modification des paramètres concernant la dynamique de certains stocks) ou économique (modification de certains prix, ou des paramètres des fonctions de demande inversée pour les espèces à prix endogènes). Les secondes peuvent affecter les coefficients de capturabilité (réglementation des engins de pêche), les coûts de production (taxes / subventions) ou l'effort de pêche (contrôle du nombre de navires et / ou du temps de pêche)¹.

A titre d'illustration, on présente ici deux variantes d'aménagement relatives à une réduction de 20% de l'effort de pêche d'un segment d'une flottille². Dans la première variante, cette réduction est obtenue par une diminution du nombre de navires, dans

¹ On peut également simuler à l'aide du modèle l'effet de l'introduction de TAC (Totaux Autorisés de Captures) sur certains stocks.

² Chalutiers de fond français de plus de 20 mètres opérant en Manche occidentale. Cette catégorie de navires a été retenue en raison des interactions importantes que suscite son activité.

la seconde par une réduction de leur temps de pêche annuel¹. Produisant les mêmes effets sur la mortalité par pêche, ces deux variantes se distinguent par leurs conséquences sur l'emploi et la rentabilité des navires. Au-delà de leurs effets directs, le modèle BECHAMEL permet d'appréhender les effets des mesures envisagées sur les autres catégories de navires². Ces effets indirects résultent essentiellement des externalités de stocks : la diminution de l'effort de pêche d'une catégorie de navires améliore les captures réalisées sur les stocks exploités en commun, à effort de pêche constant, par les autres catégories de navires.

Le tableau ci-après décrit l'incidence des mesures étudiées sur la catégorie de navires qu'elles visent directement et sur l'ensemble des autres navires opérant en Manche (conformément à la structure du modèle, cette incidence est appréciée en termes de statique comparative : la question des mesures de transition n'est pas abordée ici).

Tableau 2. Incidence d'une réduction de 20% de l'effort de pêche des chalutiers de fond français de Manche-Ouest ayant une longueur supérieure à 20 mètres (simulation réalisée à l'aide du modèle BECHAMEL)

	Incidence sur la catégorie de navires directement visée		Incidence sur les autres navires de la Manche ³
	Variante I ¹	Variante II ²	
<i>Valeurs annuelles totales (MF)</i>			
● Chiffre d'affaires	-30	-30	+15
● Revenu net d'activité ⁴	-13	-20	+15
● Revenu net d'activité du patron-artisan ⁵	-6	-13	+10
<i>Valeurs annuelles moyennes par navire (KF)</i>			
● Chiffre d'affaires	+138	-871	+4
● Revenu net d'activité ⁴	+95	-585	+4
● Revenu net d'activité du patron-artisan ⁵	+64	-381	+3

¹Diminution de 20% du nombre de navires.

²Diminution de 20% du temps de pêche annuel par navire.

³A effort de pêche inchangé.

⁴Ventes nettes - coûts économiques sauf salaires nets de l'équipage (cf. supra, tableau 1).

⁵Revenu net d'activité - salaires nets de l'équipage, patron excepté.

1 Les modalités de réduction de l'effort de pêche font aujourd'hui l'objet d'un débat important à l'échelle européenne, dans la perspective de la révision de la Politique commune de la pêche qui doit intervenir en 2002 (Anon., 2000).

2 Ces effets indirects sont *mécaniques*, i.e. mesurés en supposant inchangé l'effort de pêche des autres catégories de navires.

Les deux variantes se traduisent par une même réduction de 30 MF du chiffre d'affaires annuel total de la catégorie-cible. Cette diminution, de l'ordre de 18%, est plus faible que celle de l'effort de pêche (- 20%). Pour l'essentiel, l'écart est dû au caractère décroissant de la productivité marginale de l'effort de pêche de la catégorie de navires concernée, les prix de la plupart des espèces exploitées par ces navires ayant dans le modèle un caractère exogène.

Pour moitié environ, la baisse du chiffre d'affaires de la catégorie de navires visée par la réduction de l'effort de pêche est compensée par une augmentation du chiffre d'affaires des autres navires opérant en Manche (+15 MF au total). Les externalités de stock qui sont à l'origine de ce phénomène concernent une vingtaine de flottilles (autres chalutiers et fileyeurs principalement). Elles se manifestent aussi à l'intérieur même de la catégorie de navires dont l'effort de pêche est restreint : dans le cas d'une diminution du nombre de navires (variante I du tableau ci-dessus), le chiffre d'affaires cumulé des navires de la même catégorie restant dans la pêcherie augmente de près de 4 MF.

Lorsque la réduction de l'effort de pêche se réalise à travers une diminution de la capacité de capture (variante I), le bilan global est nettement plus favorable en termes de revenu net d'activité qu'en termes de chiffre d'affaires. En effet, au sein de la catégorie de navires directement concernée par la mesure, la baisse des recettes est en partie compensée par une réduction des coûts, alors que dans le reste de la flotte l'accroissement des recettes s'opère pour l'essentiel à coûts constants. Par suite, en dépit du fait que le revenu net d'activité baisse de 13 MF (dont 6 MF pour les patrons) dans la catégorie de navires dont l'effectif est réduit, à l'échelle de l'ensemble des pêcheries de la Manche il augmente de 2 MF, et cette augmentation atteint 4 MF pour les seuls patrons. Ce résultat illustre le fait qu'au sein d'un système halieutique complexe, le problème de la surcapitalisation doit être abordé de façon globale : dans le cas considéré, la surcapitalisation ne se manifeste que si l'on prend en compte les effets indirects de la mesure étudiée.

Si la réduction de l'effort de pêche s'effectue par le biais d'une diminution du temps de pêche à capacité de capture inchangée (variante II), le bilan en termes de revenus est moins favorable car on assiste alors à une augmentation des coûts fixes unitaires supportés par les navires contraints de réduire leur activité. A l'échelle de l'ensemble du système halieutique étudié, le bilan global de la mesure envisagée est négatif en termes de revenu net d'activité, pour l'ensemble des hommes embarqués (- 5 MF par an) comme pour les seuls patrons (- 3 MF par an). A contrario, la variante II permet, au moins en première approche, de sauvegarder l'emploi alors que la variante I se traduit par la perte d'une cinquantaine d'emplois directs. La comparaison des deux variantes permet d'évaluer à un peu plus de 140 KF par an et par emploi direct le coût d'opportunité (en termes de revenu net d'activité) de la préservation de l'emploi par la variante II. Il se peut toutefois que cette préservation soit compromise par la baisse de rentabilité que subissent les navires dont le temps de pêche est restreint (le revenu net d'activité des patrons-propriétaires de ces navires diminue d'un tiers selon la simulation réalisée).

Conclusion

Dans un système halieutique complexe, les problèmes classiques posés par le caractère commun et renouvelable des ressources sont surdéterminés par le jeu des interactions entre stocks, métiers et flottilles. Dans un tel système, les phénomènes de surcapacité, de surexploitation et de conflits d'accès aux ressources doivent être analysés de façon globale, et il en va de même pour les mesures d'aménagement susceptibles d'être mises en oeuvre.

Incorporant 53 stocks, 68 métiers et 29 flottilles subdivisées en 6 classes de longueur, le modèle bioéconomique présenté dans cet article vise à représenter, à l'échelle des pêcheries de la Manche, le jeu des interactions entre catégories de navires par le biais des métiers pratiqués et des stocks exploités. Il permet notamment de simuler certaines conséquences indirectes de mesures d'aménagement affectant de façon directe un ou plusieurs éléments du système. A ce titre, il constitue donc un réel outil d'aide à la décision pour les gestionnaires des pêcheries. Ainsi, dans l'exemple présenté ci-dessus, la réduction de capacité affectant une catégorie de navires, si elle se traduit pour celle-ci par une diminution du revenu net d'activité, n'en induit pas moins une augmentation du revenu net d'activité à l'échelle de l'ensemble du système halieutique considéré.

La modélisation des interactions au sein d'un système halieutique complexe comme celui de la Manche implique un lourd travail de collecte et de traitement de l'information biologique, technique et économique relative à ce système. S'il bénéficie de l'apport de la meilleure information actuellement disponible à l'échelle internationale sur les pêcheries de la Manche, le modèle présenté ici comporte cependant d'importantes limites. Certaines d'entre elles sont susceptibles d'être repoussées par des investigations complémentaires, d'autres ont un caractère plus structurel.

Parmi les limites du premier type, il convient de mentionner en premier lieu la qualité inégale de l'information relative aux captures, conduisant à des représentations parfois assez approximatives de la dynamique de certains stocks. Ce problème a deux aspects. En effet, aux incertitudes concernant les débarquements hors criée, vient s'ajouter le caractère encore très lacunaire des connaissances en matière de rejets. L'amélioration de la transparence concernant les débarquements et le développement des études sur les rejets en mer conditionnent fortement l'élévation des performances prédictives des modèles bioéconomiques en général, et du modèle BECHAMEL en particulier. L'information sur les coûts appelle le même type d'observation¹.

Sur un plan plus structurel, le modèle présenté ici souffre de deux limites majeures, partiellement interdépendantes en pratique. La première de ces limites tient au caractère statique du modèle (qui se traduit notamment par le fait que les stocks sont supposés en équilibre), la seconde à l'exogénéité des comportements des pêcheurs en matière d'intensité et d'allocation de l'effort de pêche. Alors que le caractère

¹ La question du développement de bases de données économiques sur les flottilles européennes est aujourd'hui officiellement considérée comme prioritaire dans le cadre de la Politique commune de la pêche.

statique du modèle ne lui permet pas d'aborder le problème critique des transitions entre régimes d'aménagement, la façon dont il traite les comportements des pêcheurs le cantonne à l'analyse des incidences mécaniques de chocs exogènes. La dynamisation du modèle faciliterait sans doute l'endogénéisation de l'allocation de l'effort de pêche¹. Ainsi, dans le cas de la Mer Celtique, Charuau et Biseau (1989) modélisent la dynamique des comportements de pêche à l'aide de deux coefficients : un coefficient « d'adhérence » traduisant le poids des habitudes acquises, et un coefficient de « préférence » lié à l'attrait économique de certains métiers. Compte tenu de la taille et de la non-linéarité du modèle BECHAMEL, sa dynamisation poserait toutefois des problèmes sérieux, avec le risque d'un comportement chaotique et d'une sensibilité extrême aux conditions initiales.

La prise en compte de ces limites structurelles plaide en faveur d'une attitude pragmatique à l'égard du modèle et de ses utilisations possibles. Son objet consiste à fournir un cadre de cohérence permettant de représenter, de façon forcément simplificatrice, le jeu des interdépendances entre un grand nombre d'activités au sein d'un système halieutique complexe. Il n'est pas de décrire avec toute la finesse possible chacun des composants du système. Lorsqu'une approche plus fine que l'approche standard est possible et intéressante pour certains de ces composants, l'élaboration d'un modèle satellite susceptible de dialoguer avec le modèle central peut constituer un moyen efficace de tirer parti de l'information disponible aux deux niveaux².

¹ Entièrement différente dans sa philosophie, une autre voie d'endogénéisation possible de l'effort de pêche consiste à transformer le modèle de simulation en modèle d'optimisation. Dans le cadre du programme de recherche ayant donné naissance au modèle présenté ici, cette voie a été explorée par Pascoe et Mardle (1999). Leur modèle est constitué à partir d'une version simplifiée du modèle BECHAMEL, dans laquelle des degrés de liberté ont été introduits par endogénéisation des effectifs des flottilles.

² Un modèle de ce type a été élaboré pour l'analyse bioéconomique d'une interaction entre flottilles causée par les rejets saisonniers que pratique l'une d'entre elles sur une espèce ciblée par les autres (Boncoeur, Fifas et Le Gallic, 1998). Le recours au modèle BECHAMEL permet d'explorer les conséquences indirectes des mesures d'aménagement étudiées dans le cadre du modèle périphérique.

BIBLIOGRAPHIE

Anonyme (1994) *Pêches maritimes et droit de la mer : 10 ans de mutations.*, FAO, circulaire sur les pêches n°853, Rome. 66 p.

Anonyme (2000) *Rapport de la Commission sur les réunions régionales organisées par la Commission en 1998-1999 sur la politique commune de la pêche après 2002.* /*COM/2000/0014final*/. UE, Bruxelles.

BERKES F. et al. (1989) The benefits of the commons. *Nature* 340, p.391-393.

BERTHOU P., TALIDEC C., JÉZEQUEL M. et LESPAGNOL P. (1999), *La flotte de pêche commerciale bretonne. Description des métiers et des flottilles.* IFREMER, Brest et Lorient. 128 p + annexes.

BEVERTON R.J.H. et HOLT S.J. (1957), On the dynamics of exploited fish populations. *Fishery Investigations*. Series II, vol. 19. HMSO, Londres.

BONCŒUR J., FIFAS S. et LE GALLIC B. (2000), Un modèle bioéconomique d'évaluation du coût social des rejets au sein d'une pêcherie complexe, *Economie et Prévision*, n° 143-144, p. 185-199.

BONCŒUR J., LE GALLIC B. et PASCOE S. (1998), On economic performance for small boats derived from fisher surveys : is small more profitable ? In A. Eide and T. Vassdal (eds) *Proceedings of the 9th International Conference of the International Institute of Fisheries Economics and Trade*, p.464-472. The Norwegian College of Fishery Science, University of Tromsø.

BONCŒUR J. et LE GALLIC B. (1998), *Enquête économique sur la pêche professionnelle française en Manche.* Programme FAIR CT 96-1993. CEDEM, Université de Bretagne Occidentale, Brest. 81 p.

CHARLES A. (1992) Fisheries conflicts : a unified framework. *Marine policy*, sept. 1992, p.379-393.

CHARUAU A. et BISEAU A. (1989). *Etude d'une gestion optimale de langoustines et de poissons démersaux en Mer Celtique* (3 tomes). Rapport interne IFREMER/DRV-89 009, 010, 011, Lorient.

CLARK C.W. (1976), *Mathematical Bioeconomics*, John Wiley and Sons, New-York.

COPEL P. (1998), The extended economy of an innate common use resource : the fishery. In A. Eide and T. Vassdal (eds.), *Proceedings of the 9th International Conference of the International Institute of Fisheries Economics and Trade*, p. 889-895. The Norwegian College of Fishery Science, University of Tromsø.

DINTHEER C. et al. (1995a.) Les grands métiers de la Manche. Réflexions et propositions pour la conservation de la ressource et la gestion des pêcheries. *La Pêche Maritime*, 1388, p.181-195.

DINTHEER C. SMITH M.T. De CLERCK R. et COPIN F. (1995b), *Base de données internationales en vue de l'évaluation biologique et économique des stocks de la Manche (BAHAMAS)*. IFREMER (France), MAFF-DFR (Royaume-Uni), RVZ (Belgique). Rapport final du projet européen BIOECO 93.018. 164 p.

GUILLOTREAU P. (ed.) (1998) *Foreign trade and seafood prices : implications for the CFP*. LEN-CORRAIL (Université de Nantes), CFE, (Bergen), CEMARE (Université de Portsmouth), DEA (Université de Valence). Rapport final du projet européen FAIR CT95- 082. 181 p.

GORDON H.S. (1954) The economic theory of a common property resource : the fishery. *Journal of Political Economy* 62, p.124-142.

HANNESSON R. (1993) *Bioeconomic analysis of fisheries*. Fishing News Books, Oxford, UK.

JAFFRY S. (1995) *Determinants of fishing powers of UK otter trawlers operating in the English Channel*. CEMARE, University of Portsmouth, UK.

JAFFRY S., PASCOE S. et ROBINSON C. (1997) Long run price flexibilities for high valued species in the UK : a cointegration systems approach. In J. Boncoeur et J.P. Boude (eds.) *Proceedings of the 9th Annual Conference of the European Association of Fisheries Economists*, p.334-348. CEDEM, Université de Bretagne Occidentale, Brest / Laboratoire Halieutique, ENSAR, Rennes.

JUNQUEIRA LOPES R. (1985), *L'économie des ressources renouvelables*. Economica, Paris.

KERVAREC F., ARZEL P. et GUYADER O. (1999), *Fisher behaviour and economic interactions between fisheries : examining seaweed and scallop fisheries of the Brest district (Western Brittany, France)*. 11ème conférence annuelle de l'EAFE, 7-10 Avril 1999, Dublin.

LASKER R. (1989) Les déterminants du recrutement. In J.P. Troadec (ed.), *L'homme et les ressources halieutiques*, p.189-222. IFREMER, Brest.

LAUREC A. et LE GUEN J.C. (1981), *Dynamique des populations marines exploitées*. Tome I. CNEXO, Brest.

LE FLOC'H P. (1998), *Economie de l'innovation et industrie de l'exploitation des ressources halieutiques*. Thèse pour l'obtention du diplôme de doctorat de l'ENSAR (mention Economie de l'agriculture et des ressources) présentée et soutenue publiquement le 28 avril 1998. ENSAR, Rennes. 411 p.

LE GALLIC B., ULRICH C. et al. (1999) *BECHAMEL. A bioeconomic simulation model for the fisheries of the English Channel*. 11ème conférence annuelle de l'EAFE, 7-10 Avril 1999, Dublin.

MYERS R.A. et BARROWMAN N.J. (1996) Is fish recruitment related to spawner abundance ? *Fishery Bulletin* 94 (4), p.702-724.

MORIZUR Y., POUVREAU S. et GUÉNOLÉ A. (1996), *Les rejets dans la pêche artisanale française de la Manche occidentale*. IFREMER, Brest.

PARRÈS A. (1997), *Affirmer la place des pêches maritimes françaises face aux défis mondiaux*. Rapports du Conseil économique et social, année 1997 n° 16. JORF, Paris.

PASCOE S. et MARDLE S. (1999), *Optimal effort levels in the English Channel : a multi-objective programming approach*. 1999 World Conference on Natural Resource Modelling. Halifax, Juin 1999, Canada.

PASCOE S. (Ed.) (2000), *Bioeconomic modelling of the fisheries of the English Channel*. FAIR CT 96-1993 Final Report, CEMARE Research report 53, Université de Portsmouth, Royaume-Uni.

PELLA J.J. et TOMLISON P.K. (1969) A generalized stock production model. *Bull. IATTC*, 13, p.419-496.

ROBINSON C. et PASCOE S., (1997), Fisher behaviour : exploring the viability of the profit maximising assumption. In J. Boncoeur et J.P. Boude (eds.), *Proceedings of the 9th Annual Conference of the European Association of Fisheries Economists*, p.167-183. CEDEM, Université de Bretagne Occidentale, Brest / Laboratoire Halieutique, ENSAR, Rennes.

RODGERS P. (1996) Another economist's problems with fishing effort. In A. Hatcher (ed.) *Proceedings of the 7th Annual Conference of the European Association of Fisheries Economists*, p.25-32. CEMARE, University of Portsmouth, UK.

REVILL A. (1997), *The biological and economic impacts of discarding by the UK (East coast) brown shrimp fishing fleet*. MAFF funded study, final report. University of Lincolnshire and Humberside, UK.

SAMUELSON P.A. (1954) The pure theory of public expenditures. *Review of Economic Studies and Statistics* 36, p.387-389.

SCHAEFER M.B. (1957) Some considerations of population dynamics and economics in relation to the management of commercial marine fisheries, *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 14, p.669-681.

SCOTT A. (1955), The fishery : the objectives of sole ownership. *Journal of Political Economy*. 63 (2), p.116-124.

TÉTARD A., BOON M. et al. (1995), *Catalogue international des activités des flottilles de la Manche. Approche des interactions techniques*. IFREMER, Brest.

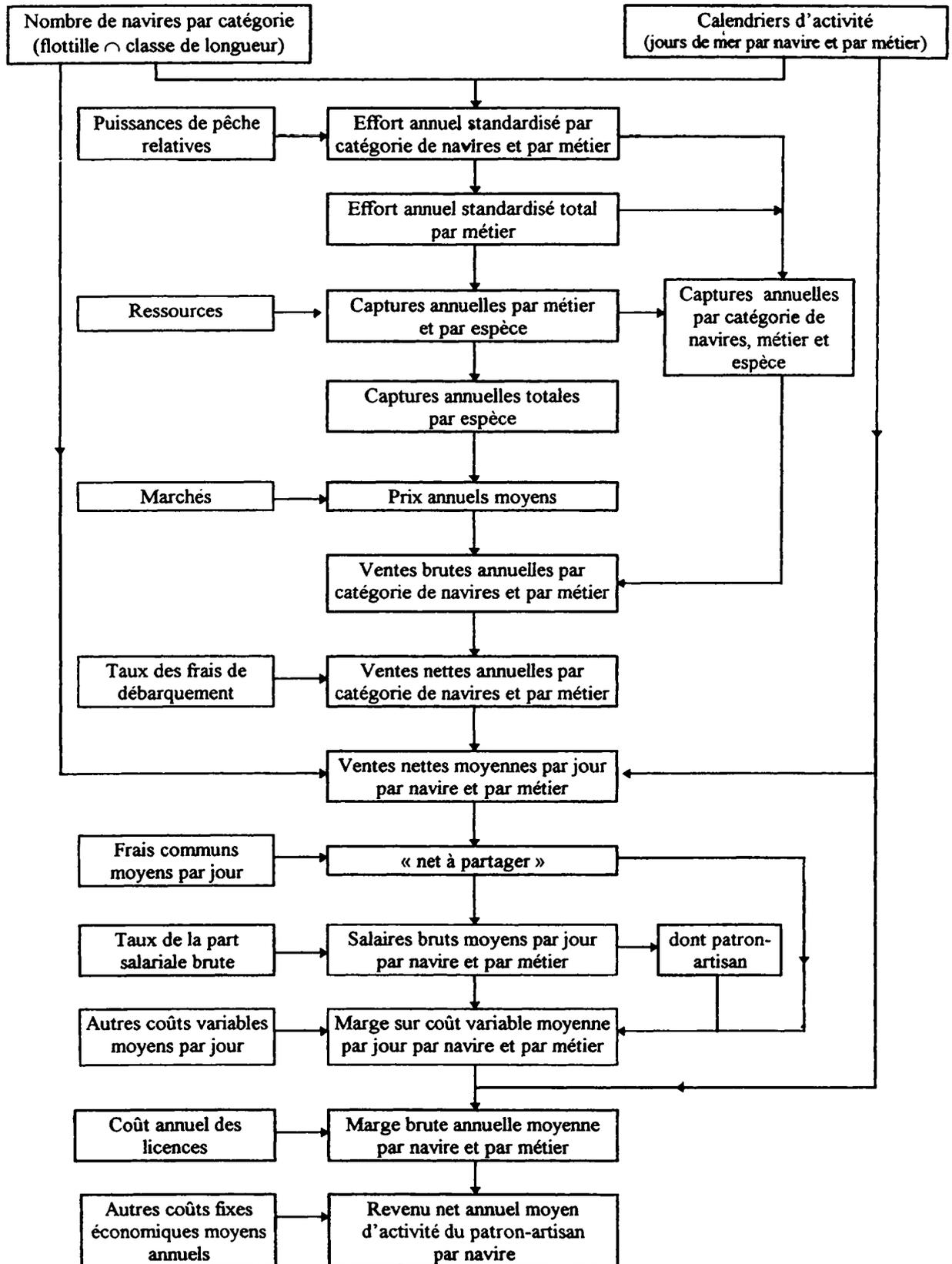
THOMPSON W.F. et BELL F.H. (1934), Biological statistics of the Pacific halibut fishery. 2 : Effect of changes in intensity upon total yield and yield per unit of gear. *Rep. Int. Fish. (Pacific Halibut). Comm.*, 8, 49 p.

TROADEC J.P. (1994) Le nouvel enjeu de la pêche : l'ajustement des institutions aux nouvelles conditions de rareté des ressources. *Comptes rendus de l'Académie d'agriculture*. 80 n° 3, p.41-60.

ULRICH C. (2000), ***Modélisation multi-flottes et multi-métiers des pêcheries artisanales de la Manche. Evaluation plurispécifique des stocks, étude des interactions techniques et intégration dans la modélisation bioéconomique.*** Thèse pour l'obtention du diplôme de doctorat de l'ENSAR (mention Halieutique) présentée et soutenue publiquement le 17 mars 2000. ENSAR, Rennes. 350 p.

ULRICH C., GASCUEL D. et MAURY O. (1998), ***A proposal for stock assessment and management in mixed stock fisheries : the In/Out model. Application to Western English Channel Cod stock component and management.*** ICES CM 1998/AA : 11, 11 p.

ANNEXE 1 VUE SCHÉMATIQUE DE LA STRUCTURE DU MODÈLE



ANNEXE 2

PRINCIPALES VARIABLES ET PRINCIPAUX PARAMÈTRES DU MODÈLE

Nota :

Le terme « catégorie » dans la liste ci-dessous signifie « classe de longueur au sein d'une flottille »

Variables exogènes et paramètres

- Nombre de bateaux par catégorie
- Nombre annuel moyen de jours de mer par bateau de chaque catégorie dans chaque métier
- Puissances de pêche relatives des navires de différentes classes de longueur dans chaque métier
- Coefficients de capturabilité par métier, stock et éventuellement classe d'âge
- Paramètres biologiques des différents stocks
- Prix annuels moyens au débarquement par pays (produits à prix exogènes)
- Coefficients des fonctions de demande inverses (produits à prix endogènes)
- Taux des frais de débarquement par catégorie de navire et par métier
- Taux moyen de la part salariale brute par catégorie de navire
- Proportion de la part salariale brute revenant au patron, par catégorie de navire
- Frais communs journaliers moyens par bateau de chaque catégorie dans chaque métier
- Coût variable journalier moyen hors frais communs, par bateau de chaque catégorie dans chaque métier
- Coût annuel moyen des licences, par bateau de chaque catégorie dans chaque métier
- Coût fixe non spécifique annuel moyen par bateau de chaque catégorie

Variables endogènes

- Effort standardisé annuel par catégorie de navire et par métier
- Taux de mortalité par pêche, par métier, par stock et éventuellement par classe d'âge
- Captures annuelles par métier, par stock et éventuellement par classe d'âge
- Débarquements annuels par stock et par pays
- Prix annuels moyens au débarquement par pays (produits à prix endogènes)
- Ventes brutes annuelles totales par catégorie de navires et par métier
- Ventes nettes annuelles totales par catégorie de navires et par métier
- Ventes nettes journalières moyennes par bateau de chaque catégorie et par métier
- Marge sur coût variable journalière moyenne par bateau de chaque catégorie et par métier
- Marge brute annuelle moyenne par bateau de chaque catégorie et par métier
- Marge brute annuelle moyenne par bateau de chaque catégorie

- Revenu net annuel moyen d'activité du patron-artisan par bateau de chaque catégorie
- Salaires nets annuels moyens des membres de l'équipage (patron exclu) par bateau de chaque catégorie
- Revenu net annuel moyen d'activité du patron-artisan et de son équipage par bateau de chaque catégorie