



**HAL**  
open science

## Un modèle économique de Quota Individuel Transférable : une première simulation sur la coquille St Jacques en baie de St Brieuc

L.P. Mahé, C. Ropars, . Association Française d'Halieumétrie

### ► To cite this version:

L.P. Mahé, C. Ropars, . Association Française d'Halieumétrie. Un modèle économique de Quota Individuel Transférable : une première simulation sur la coquille St Jacques en baie de St Brieuc. 5. Forum halieumétrique : Halieutique : compléxité et décision, Jun 2001, Lorient, France. 16 p. hal-02278979

**HAL Id: hal-02278979**

**<https://hal.science/hal-02278979>**

Submitted on 7 Jun 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0  
International License

5<sup>ème</sup> forum halieumétrique  
Lorient, 26 au 28 juin 2001, palais des Congrès

HALIEUTIQUE : COMPLEXITE ET DECISION

UNIVERSITÉ DE BRETAGNE OCCIDENTALE

**Un modèle économique de Quota Individuel Transférable : une première  
simulation sur la coquille St Jacques en baie de St Brieuc**

**ENSA - ECONOMIE**  
**DOCUMENTATION**  
rue Adolphe Bobierre  
C.S. 61103  
35011 RENNES CEDEX  
Tél. 02 23 48 56 11

Louis Pascal Mahé et Carole Ropars  
Département d'Economie et Gestion  
Ecole Nationale Supérieure Agronomique  
65, rue de Saint-Brieuc – 35042 Rennes cedex  
Tél : 02 23 48 54 11 Fax : 02 23 48 54 17  
Email : [mahe@agrorennes.educagri.fr](mailto:mahe@agrorennes.educagri.fr)  
[ropars@agrorennes.educagri.fr](mailto:ropars@agrorennes.educagri.fr)

DOCUMENTATION ÉCONOMIE RURALE RENNES



\* 0 0 7 5 5 8 \*

## Résumé

Plusieurs pêcheries sont surexploitées ou exploitées de façon inefficace. La restriction de l'accès par des licences et/ou par le temps de pêche est souvent insuffisante pour restaurer l'efficacité. L'exploitation optimale d'une ressource renouvelable par des agents décentralisés et hétérogènes est abordée ici dans un cadre d'optimisation dynamique. Les auteurs rappellent d'abord, sans les démontrer leurs résultats antérieurs : les conditions d'une exploitation optimale, par des agents en situation coordonnée, exigent que les coûts marginaux de chaque agent soient égaux au prix de marché diminué de la valeur adjointe de la ressource en stock ; un système de quotas individuels transférables (QIT) est susceptible de soutenir l'optimum en fixant le seul niveau global des captures au niveau de l'optimum soutenable, c'est la capture admissible totale (CAT) ; le prix d'équilibre du marché de location des quotas est la valeur adjointe courante de la ressource à l'optimum stationnaire. La contribution nouvelle du papier porte sur l'application : une simulation sur la pêcherie de la coquille St Jacques en baie de St Brieuc, désagrégée en six classes de bateaux, montre la valeur des QIT à l'équilibre stationnaire et les échanges de quotas qui auraient lieu à la suite d'une répartition des droits en fonction de la main d'œuvre.

## 1 - Introduction

Les ressources renouvelables, et les pêcheries en particulier, sont exposées au risque bien connu de surexploitation lorsque les conditions techniques ne permettent pas de définir des droits de propriétés. Bien des ressources sont de ce fait soumises à une réglementation d'accès ou d'usage par la puissance publique ou par des accords internationaux. La restriction de l'accès à un nombre limité d'usagers s'avère être elle-même souvent insuffisante pour restaurer l'efficacité en raison des externalités entre agents. Les effets externes de stock, par exemple, sont négligés par des usagers indépendants car ils n'ont pas d'incitation à prendre en compte les conséquences de leur propre capture sur les autres usagers. Des restrictions complémentaires aux licences d'accès, comme la taille des bateaux et des filets ou le temps de pêche, sont fréquemment imposées. Elles n'annulent pas non plus les risques d'inefficacité dont le plus connu est sans doute la surcapitalisation.

Depuis longtemps l'idée a été suggérée de limiter la capture par des quotas. Des quotas globaux ont été mis en place dans quelques pêcheries, à la manière des quotas d'émissions de pollution dont l'usage devient plus fréquent. Le respect du quota global est parfois assuré par la restriction du temps de pêche, parfois par des quotas individuels transférables (QIT). Le mérite supposé des QIT est qu'ils permettent de restaurer la minimisation des coûts tout en limitant la capture totale ou l'émission totale pour un polluant. Ce résultat est connu dans une modélisation statique, au moins pour la pollution. Pour une ressource renouvelable donnée où le problème majeur d'inefficacité est l'externalité de stock et la surexploitation, on peut aussi penser qu'une gestion efficace de l'exploitation serait possible par des quotas, c'est à dire un contrôle du volume du prélèvement qui n'altère pas la combinaison productive dictée par les prix des facteurs. On attend donc qu'une limitation des captures totales autorisées et la répartition de ces captures entre les navires par l'attribution de droits d'usage individuels échangeables apportent une solution. Cette combinaison évite à la fois la surexploitation, assure la minimisation des coûts et restaure l'efficacité. C'est la base économique des quotas individuels transférables.

Le dernier point, concernant l'efficacité des QIT, a été surtout étudié dans le cadre d'une approche statique (Squires et Kirkley, 1991 ; Weninger, 1998). Le système des QIT a aussi été critiqué par plusieurs auteurs car il peut faire apparaître de nouveaux problèmes qui limitent son efficacité. Anderson (1991) a montré dans un modèle statique que l'existence de gros acteurs sur le marché des quotas leur donne un pouvoir de marché susceptible de compromettre les conditions d'égalisation des coûts marginaux. Copes (1986) a aussi mis en doute la capacité des QIT à réguler de façon efficace une pêcherie en soulignant qu'ils rendent plus difficile le suivi de la ressource à cause de l'incitation à la fraude sur les quantités prélevées et débarquées. Un modèle dynamique a été construit par Boyce (1992) mais sans une fonction de coût restreint générale comme dans le modèle proposé ici. De plus, cet auteur s'intéresse à un autre problème, celui de la répartition des captures dans une campagne donnée. Il ne traite donc pas le problème d'allocation des captures entre campagnes. Par contre, il prend en compte les externalités techniques entre agents dans la capture en cours de campagne et montre qu'alors les QIT ne suffisent pas à restaurer la répartition optimale et peuvent conduire à une inefficacité. Il est clair que les QIT ne résolvent pas toutes les inefficacités et tous les problèmes d'une régulation.

Garcia-Gil (1998) a construit un modèle de pêcherie à deux flottes appliqué à la pêche au merlu de la zone ibéro-atlantique, et analyse dans un cadre dynamique un problème semblable à celui traité ici. La différence principale est que la technologie y est représentée sous l'angle

primal et que l'auteur se limite à l'examen des conditions nécessaires du premier ordre alors qu'ici nous abordons la question sous l'angle dual qui permet d'étudier la solution optimale stationnaire. L'avantage de l'approche par la fonction de coût est la possibilité d'écrire formellement le marché des quotas et de caractériser plus facilement son équilibre puisque les fonctions de coût marginal restreint sont les fonctions d'offre dont se déduisent, par simple soustraction des droits de capture, les offres et demandes de QIT.

Un système de quotas individuels transférables a été analysé à partir d'une modélisation dynamique intégrant les fonctions individuelles de coût des agents et la fonction de reproduction de la ressource (Mahé et Ropars, 1998, 2001a et b). Cette modélisation fait le lien formel entre l'équilibre issu d'un marché de location des quotas et l'optimum. Les règles d'exploitation optimale avec plusieurs unités de capture (bateaux de pêche par exemple) en situation coordonnée, correspondant au cas du « planificateur bienveillant » sont définies analytiquement. Elles requièrent que les coûts marginaux individuels soient égaux et que toutes les unités d'extraction respectent le même écart entre prix et coût marginal, écart qui correspond à la valeur de la ressource, c'est à dire au coût d'opportunité collectif du prélèvement d'une unité supplémentaire.

On montre dans ces contributions que l'efficacité d'exploitation peut être restaurée par la fixation de la capture autorisée totale (CAT) correspondant au niveau optimal du stock et par l'attribution de quotas échangeables sur un marché de location. L'échange des quotas sur un marché de location permet de minimiser la somme des coûts d'exploitation par l'égalisation des coûts marginaux individuels. Il est montré que l'équilibre sur un marché de location détermine un prix égal au différentiel entre le prix de vente (des captures) et les coûts marginaux individuels, requis par les conditions nécessaires d'optimalité.

Ce papier est organisé de la façon suivante. La section 2 résume l'analyse d'un modèle économique dynamique, avec des fonctions individuelles de coût restreint, tenant compte du stock de ressource. La section 3 présente la relation entre le marché des QIT et les conditions d'optimalité de la solution stationnaire et met en évidence la formation du prix des quotas. La section 4 est une illustration du calcul de l'optimum et des échanges de droits de pêche, une fois atteint le stock optimal. La trajectoire vers cet optimum est définie mais non simulée.

## **2 – Exploitation optimale d'une pêcherie par plusieurs bateaux (technologie flexible)**

Le problème d'optimisation est écrit à l'aide des fonctions de coût restreint individuel des bateaux. L'exploitation optimale pour l'ensemble des usagers est définie ici comme celle qui maximise la somme des profits actualisés de tous les pêcheurs. On en déduit le niveau optimal des captures globales à partir de la fonction de reproduction de la ressource, ainsi que la répartition optimale des prélèvements entre les différents utilisateurs de la ressource. On en tire alors les conditions pour qu'une gestion décentralisée, où chaque pêcheur choisit son niveau de capture, soit optimale. Le problème traité considère que le nombre  $n$  des utilisateurs de la ressource est donné par les licences accordées. Il s'écrit de la façon suivante :

*Problème 1 : Exploitation optimale par plusieurs pêcheurs*

$$(1) \quad \text{Max}_{y_t^i} \int_0^{+\infty} e^{-rt} \sum_i (py_t^i - C^i(y_t^i, w, k^i, Z_t)) dt$$

sous les contraintes suivantes :

$$(2) \quad \dot{Z}_t = F(Z_t) - \sum_i y_t^i = F(Z_t) - Y_t \quad \text{où} \quad \sum_i y_t^i = Y_t$$

$$(3) \quad Z_t = Z_0 \text{ pour } t = 0$$

$$(4) \quad y_t^i \geq 0$$

$$(5) \quad Z_t \geq 0$$

Une ressource renouvelable est caractérisée par une relation entre le stock et l'accroissement de la biomasse : sa fonction de reproduction naturelle. Lorsque cette ressource est exploitée, la croissance nette peut s'exprimer par la différence entre la croissance naturelle et la capture d'où l'équation de mouvement (2) de la ressource exploitée.  $Z_t$  est le stock de la ressource ou biomasse,  $\dot{Z}_t$  la dérivée du stock par rapport au temps,  $y_t^i$  le prélèvement individuel sur la ressource et  $Y_t$  le prélèvement agrégé ou capture totale. L'argument  $p$  est le prix de vente des captures,  $w$  est le vecteur des prix des facteurs de production variables à court terme,  $k_i$  est le niveau du capital individuel fixe à court terme et  $r$  est le taux d'actualisation.  $F(Z_t)$  est la fonction de reproduction naturelle de la ressource. On considère une ressource dont la croissance est positive lorsque le stock est positif et compris entre une valeur basse  $\underline{Z}$  et une valeur haute  $\bar{Z}$  qui correspond à la capacité maximale du milieu naturel. Le seuil inférieur (positif) du stock, en deçà duquel la croissance devient négative, traduit la possibilité d'extinction. La fonction  $F(Z)$  est supposée strictement concave avec un maximum en  $Z_M$  qui définit le rendement maximum soutenable (RMS) ou maximum biologique. La forme quadratique qui donne une évolution naturelle du stock en fonction du temps d'allure logistique est en effet souvent retenue par les biologistes.

La technologie de capture est représentée par une fonction de coût restreint comprenant comme arguments le stock de la ressource, le stock de capital individuel, le volume des captures individuelles et les prix des facteurs variables à court terme.

$$(6) \quad C(y^i, w, k^i, Z) = \text{Min}_{x^i} w \cdot x^i \text{ sous la contrainte } y^i \in T(x^i, k^i, Z)$$

Où  $x^i$  est le vecteur des facteurs variables du bateau  $i$  et  $T(\cdot)$  est l'ensemble de production. La décroissance du coût par rapport à  $Z$  traduit l'externalité de stock, c'est à dire la plus grande difficulté de capture quand le niveau de la ressource est bas. La technologie individuelle de capture est supposée être à rendements marginaux et globaux décroissants.

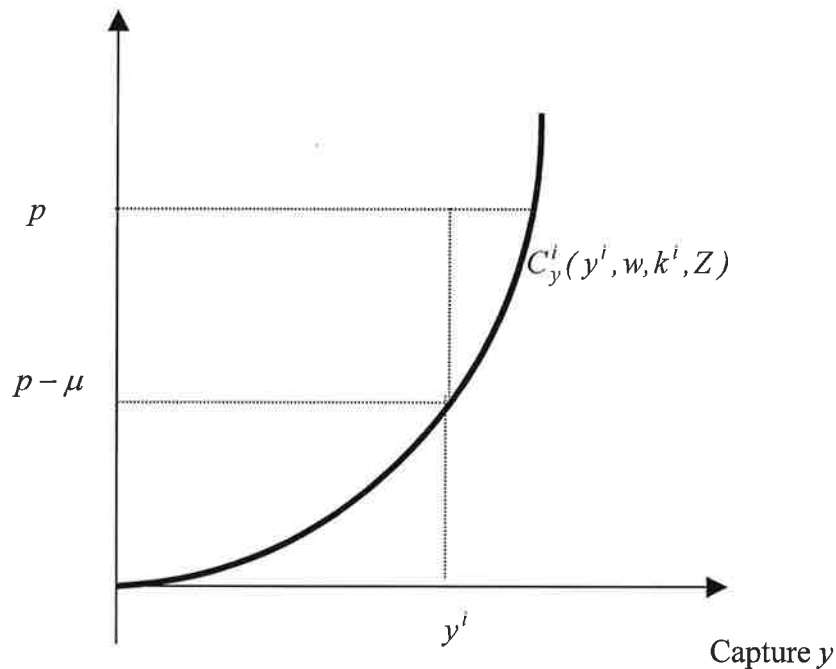
Les conditions nécessaires d'optimalité sont présentées en détail dans Mahé et Ropars (2001a). Une condition importante est qu'un niveau de capture individuel positif exige que le coût marginal soit égal au prix du produit diminué de la valeur adjointe de la ressource en stock  $\mu$ .

$$(7) \quad y^i > 0 \Rightarrow C_y^i(y^i, w, k^i, Z) = p - \mu$$

La position optimale du pêcheur individuel dans une pêcherie régulée par un planificateur est illustrée par la *figure 1*. On constate que le producteur doit choisir un volume de production qui est plus faible que celui issu de l'équilibre concurrentiel où le volume correspond à l'égalisation du prix au coût marginal. La situation optimale exige de reconnaître l'externalité

de stock qui présente une similarité avec une externalité négative comme la pollution. La valeur de la variable adjointe du stock de ressource  $\mu$  représente le coût d'opportunité du prélèvement d'une unité supplémentaire de la ressource. Le prix diminué de  $\mu$  s'interprète comme la valeur sociale du produit de la capture,  $p$  étant la valeur privée.

Figure 1 : Capture individuelle optimale



L'analyse de la solution stationnaire montre que, sous certaines conditions suffisantes, une solution unique acceptable existe pour  $\mu^*$  et  $Z^*$ . Les solutions stationnaires pour les captures individuelles optimales doivent alors satisfaire les relations suivantes (l'indice  $t$  est désormais omis pour alléger les notations).

$$(8) \quad C_y^i(*) = C_y^j(*) = p - \mu^* \quad ; \quad i, j = 1, \dots, n; \quad \text{où} \quad \mu^* = \frac{\sum C_Z^i(*)}{F_Z(Z^*) - r}$$

$$(9) \quad F(Z^*) = \sum y^{i*} = Y^*$$

Pour la valeur de  $\mu^*$  et de  $Z^*$  correspondant à l'équilibre stationnaire, ces relations définissent de façon unique les niveaux de captures optimales individuelles. Les relations (8) et (9) peuvent se résumer en une seule (10) en tirant de (8) les fonctions d'offre restreinte individuelles  $y^{i*} = y^i(p - \mu^*, w, k^i, Z^*)$  et en les reportant dans (9).

$$(10) \quad F(Z^*) = \sum y^i(p - \mu^*, w, k^i, Z^*) = Y^*$$

### 3 – Un système de Quotas Individuels Transférables sur un marché de location

Lorsqu'une pêcherie est exploitée par plusieurs agents la difficulté de gestion est de limiter les captures à la CAT optimale sans induire des surcoûts de fonctionnement. De tels surcoûts sont connus quand on rationne un facteur (comme le temps de pêche). On induit alors en général une surcapitalisation par substitution factorielle<sup>1</sup>. Un inconvénient, du même ordre car il grève les coûts, mais différent car il n'est pas dû à une distorsion des coûts individuels, va apparaître si la régulation de la pêcherie consiste à fixer une fois pour toutes les droits individuels de capture. La répartition des droits a peu de chance d'être celle correspondant à la répartition optimale définie par les relations (8) et (9) et la *figure 1*. Cette dernière est la seule qui minimise les coûts de la capture totale.

Cette minimisation des coûts peut alors être rétablie par la mise en place d'un système de QIT. Il s'agit ici d'un marché de location des QIT en régime stationnaire. Un marché d'acquisition définitive des quotas nécessiterait la prise en compte des anticipations sur la persistance du système des quotas et du mode de régulation, sur les prix et sur le changement technique. On devrait aussi prendre en compte les éventuels coûts d'entrée irrécupérables et les économies d'échelle qui peuvent exister dans la grande pêche industrielle. L'analyse traiterait alors de l'évolution structurelle de la branche. Il n'est pas évident que les résultats qui suivent resteraient alors valables dans ces situations.

Le quota global de capture par campagne en régime stationnaire doit être fixé par le régulateur au niveau optimal, pour un niveau de stock également optimal, ce qui nécessite un suivi par une autorité de régulation indépendante. Les quotas individuels vérifient donc  $\sum \bar{y}^i = Y^*$ , où  $\bar{y}^i$  est le quota individuel alloué au départ à chaque pêcheur. La possibilité d'échanger les quotas permet aux pêcheurs  $i$  dont les coûts marginaux sont relativement faibles d'acheter des unités de quota (désignées par  $e^i > 0$ ). D'autres pêcheurs  $j$  seront prêts à céder en location une partie de leur quota ( $e^j < 0$ ) si leurs coûts marginaux sont relativement élevés.

Pour un pêcheur individuel, le prix de marché des quotas est donné si les agents sont suffisamment nombreux pour que le marché des quotas soit concurrentiel. Il est désigné par  $\mu$ . Le problème du pêcheur individuel est alors de prendre en location ou de mettre en location une quantité de quota suffisante pour avoir un niveau de capture optimisant son profit en tenant compte du prix de location. Le programme du pêcheur en régime de location de QIT est le suivant :

*Problème 2 : Marché de location des quotas de capture*

$$(11) \quad \underset{y^i}{\text{Max}} \quad py^i - C^i(y^i, w, k^i, Z) - \mu e^i \quad \text{où } y^i = \bar{y}^i + e^i \geq 0 ; \quad i=1, \dots, n.$$

où  $\bar{y}^i$  est le quota initial attribué au pêcheur  $i$ . Les conditions du premier ordre<sup>2</sup> sont alors :

$$(12) \quad p - C_y^i(\hat{y}^i, w, k^i, Z) - \mu = 0 ; \quad i=1 \text{ à } n.$$

<sup>1</sup> La perte de revenu due à la surcapitalisation a été évaluée dans le cadre d'une modélisation globale dans la pêcherie de coquille de la baie de St Brieuc (Mahé et Ropars, 1998, 2001)

<sup>2</sup> Les conditions plus générales (Mahé Ropars 2001a) se simplifient comme dans (12) en supposant les coûts marginaux sont nuls pour un niveau nul de capture, tous les pêcheurs produisent tant que le prix de location  $\mu$  est inférieur à  $p$ , c'est à dire toujours, sinon le profit sera négatif pour tout le monde.



où  $\hat{y}^i$  est le niveau optimal de capture pour le pêcheur individuel en présence d'un marché des QIT. La quantité désirée de quota par le pêcheur  $i$  sera alors  $\hat{e}_i$  telle que  $\hat{y}^i = \bar{y}^i + \hat{e}^i$ .

Certains pêcheurs  $i$  souhaiteront acheter des unités de quota tant que  $p - C_y^i(\bar{y}^i, w, k^i, Z) - \mu > 0$ , comme c'est le cas des pêcheurs de type 1 sur la figure 2. En effet le quota  $\bar{y}^i$  alloué au pêcheur  $i$  ne lui permet pas d'être dans une situation optimale, son coût marginal étant faible relativement. Il va donc chercher à obtenir des unités de quota d'une quantité  $\hat{e}^i = \hat{y}^i - \bar{y}^i > 0$ , telle que  $p - \mu = C_y^i(\hat{y}^i, w, k^i, Z)$ . Les pêcheurs  $j$  de type 2 vont inversement céder des unités de quota tant que  $p - C_y^j(\bar{y}^j, w, k^j, Z) - \mu < 0$ , et ce jusqu'à ce qu'il y ait égalité entre les offres et les demandes de QIT.

Comme les fonctions de coût marginal sont croissantes, on peut résoudre les expressions (12) pour obtenir les  $y^i$  en fonction des prix, de  $\mu$  et de  $Z$ , c'est à dire les fonctions d'offre individuelles en présence d'un marché de location des quotas, soit  $\hat{y}^i = \hat{y}^i(p - \mu, w, k^i, Z)$ . Le prix d'équilibre  $\hat{\mu}$  sur le marché des quotas est déduit de l'égalisation entre les fonctions d'offre et de demande de quotas, soit encore entre la somme des offres de capture et le niveau de la capture autorisée totale (CAT)  $\bar{Y}$  :

$$(13) \quad \sum \hat{y}^i = \sum (\bar{y}^i + \hat{e}^i) = \sum \bar{y}^i = \bar{Y}$$

Le prix d'équilibre  $\hat{\mu}$  du marché des QIT est donc donné par l'équation (14).

$$(14) \quad \sum (\hat{y}^i(p - \hat{\mu}, w, k^i, Z) - \bar{y}^i) = \sum \hat{e}^i(p - \hat{\mu}, w, k^i, Z) = 0,$$

Si les rendements sont décroissants, les courbes d'excès d'offre de quota sont monotones et il existe alors, pour un niveau du stock donné, un prix de marché des quotas  $\hat{\mu}$  unique, déterminé par l'équilibre entre l'offre et la demande de quotas.

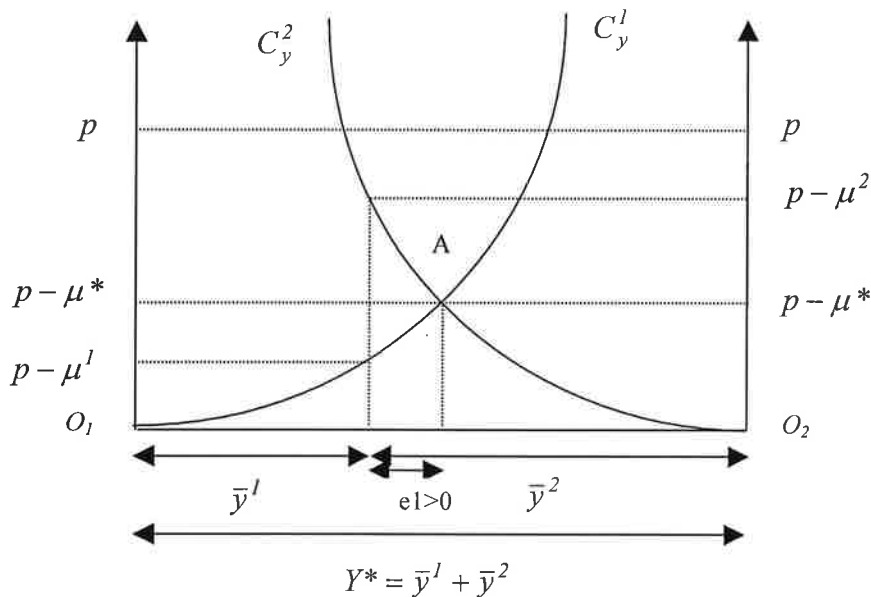
Lorsque la capture admissible totale (CAT) est fixée de façon optimale en  $Y^*$  et quand le stock est en  $Z^*$ , les quotas individuels  $\bar{y}^i$  alloués au départ à chaque pêcheur vérifient  $\sum \bar{y}^i = Y^*$ . Le prix d'équilibre  $\hat{\mu}$  des quotas sera alors défini par l'égalité (15). On peut montrer qu'il est égal à la valeur adjointe  $\mu^*$  de l'équilibre stationnaire (car il vérifie également (10)).

A l'équilibre sur le marché des quotas, la somme des coûts est par suite minimisée. Au niveau optimal du stock et de la capture totale (CAT), solutions de l'optimisation dynamique, correspond une allocation individuelle optimale des captures. Cette allocation peut être assurée par le système des QIT. L'efficacité économique, à la fois dans un sens statique et dynamique, peut être ainsi restaurée par les QIT, dans le cadre de nos hypothèses.

La Figure 2 illustre la formation de l'équilibre sur le marché de location des quotas dans le cas de deux pêcheurs. Les coûts marginaux sont croissants. Chaque pêcheur se voit attribuer un

quota  $\bar{y}^1$ . La longueur du segment  $O_1O_2$  est égale à la CAT. La possibilité d'échanger des quotas entre les individus, incite le premier à acquérir des unités de quotas car son coût marginal évalué au niveau de son quota initial est plus faible que celui du pêcheur 2. Sa rente marginale est plus élevée dans la dotation initiale. Le second, qui a un coût marginal plus élevé au niveau de son quota initial et donc une rente plus faible, sera prêt à céder une partie de ses droits de capture. Tant que le prix du quota offert par le pêcheur 1 sera supérieur à la rente du pêcheur 2, ce dernier tirera un gain des unités cédées. L'équilibre sur le marché des quotas est en A. Il est tel que  $\hat{y}^1 + \hat{y}^2 = \bar{y}^1 + e^1 + \bar{y}^2 + e^2 = \bar{y}^1 + \bar{y}^2$ . En ce point, la surface sous les coûts marginaux est minimisée.

Figure 2 : Marché de quotas échangeables (état stationnaire)



Lorsque la CAT est fixée au niveau de la solution optimale stationnaire, le prix d'équilibre est aussi égal à la valeur adjointe de la ressource correspondant à la solution optimale et les niveaux de capture individuels sont conformes à l'optimum, quelle que soit la répartition initiale des quotas.

En pratique, lorsque la fonction de reproduction naturelle a un maximum, il y a deux niveaux du stock compatibles avec un même niveau de CAT. La fixation de la CAT, au niveau de l'état stationnaire, n'assure pas que l'exploitation soit optimale, s'il n'est pas vérifié que le stock est aussi au niveau optimal. S'il advenait que le régulateur ouvre un marché des licences pour un niveau optimal de CAT, le stock étant inférieur à l'état stationnaire, les courbes de coût marginal seraient décalées vers le haut car le stock a un effet négatif sur le coût marginal. Cette situation donnerait lieu à un prix de location des quotas plus faible qu'à l'optimum. Le coût total de capture ne serait pas minimisé, le niveau faible du stock obérant les coûts (Mahé et Ropars 2001b).

#### 4 – Illustration empirique

##### a) La convergence vers l'équilibre d'état stationnaire

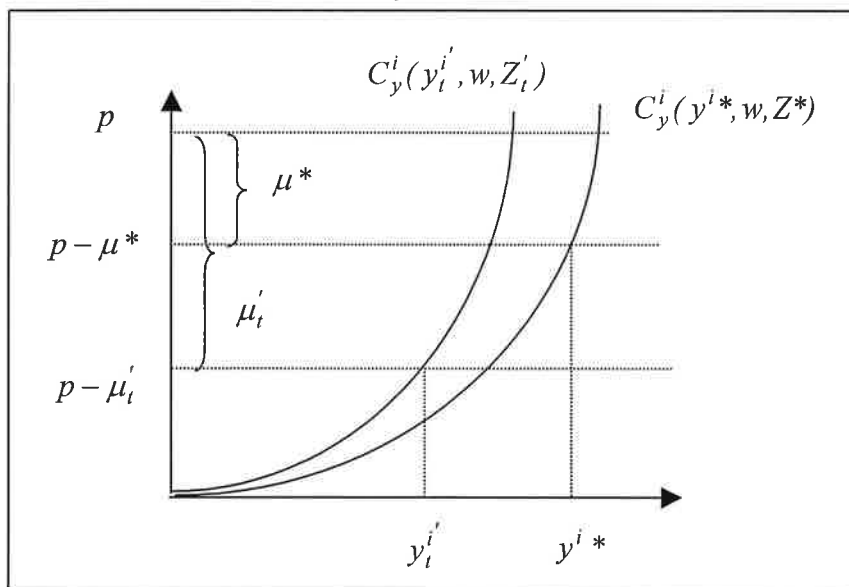
L'optimum à l'état stationnaire est définie par les relations (8) et (9).

La trajectoire optimale  $(Y'_t, Z'_t, \mu'_t)$  convergeant, d'un point où la ressource est surexploitée, vers l'état stationnaire  $(Y^*, Z^*, \mu^*)$  et partant donc d'un stock  $Z_0 > \hat{Z}$  mais  $< Z^*$ , peut être mise en œuvre par un marché des QIT, en fixant la CAT annuelle au niveau  $Y'_t < Y^*$ , correspondant au point  $(Z'_t, \mu'_t)$  sur la trajectoire (la séparatrice) convergeant vers l'équilibre d'état stationnaire et qui vérifie :

$$(15) \quad p - C_y^i(y_t^i, w, Z_t') = \frac{\sum C_Z^i(y_t^i, w, Z_t')}{F_Z(Z_t') - r} = \mu'_t$$

Le stock de la ressource  $Z'_t$  étant inférieure à  $Z^*$ , la valeur adjointe  $\mu'_t$ , correspondant à  $Z'_t$ , est supérieure à celle définie à l'état stationnaire, celle-ci augmentant avec la rareté de la ressource (Clark, 1976 ; Mahé et Ropars, 2001a). Afin de rejoindre l'état stationnaire, le prix du quota doit être supérieur à celui défini à l'état stationnaire. Il existe un  $\mu'_t$  associé au niveau de stock  $Z'_t$ , sur la trajectoire convergeant vers l'équilibre de long terme, qui définit la quantité globale à prélever. Comme l'indique la figure ci-dessous, les captures individuelles  $y_t^i$ , définies avec un prix du quota  $\mu'_t$ , sont plus faibles que celles optimales  $y^{i*}$  à l'état stationnaire. Pour atteindre l'optimum, une CAT plus faible est donc nécessaire.

Figure n°3 Capture individuelle et valeur du quota en régimes transitoire et stationnaire



b) Simulation d'un marché des quotas : le cas d'une pêche côtière

L'illustration empirique concerne l'exploitation de la coquille Saint-Jacques en baie de Saint-Brieuc. La détermination de la solution optimale à l'état stationnaire nécessite la spécification de la fonction de reproduction de la ressource et de la technologie de production.

*La fonction de reproduction*

Nous avons fait l'hypothèse que la fonction de reproduction avait une forme quadratique. C'est ce qui est supposé en général dans la littérature sur ce sujet bien que d'autres fonctions, où la dérivée de la fonction de reproduction par rapport au stock reste positive et décroissante, soient pertinentes dans certains cas. Il n'est pas certain que ce soit la meilleure spécification, mais faute de résultats empiriques validant une forme analytique, elle est retenue à ce stade de la recherche.

$$(16) \quad F(Z) = \rho Z \left(1 - \frac{Z}{\bar{Z}}\right)$$

Avec  $\bar{Z}$  est la capacité biotique de la ressource et  $\rho$  le taux de croissance intrinsèque de la ressource.

Les résultats des estimations sur données globales de la pêcherie sont les suivants :  $\rho = 0,535$ ,  $\rho / \bar{Z} = 0,176 \times 10^{-4}$ . Les  $t$  de Student sont respectivement de 3,01 et 2,6. Le  $R^2$  est de 0,4 et le Durbin Watson de 2,16. L'ajustement n'est pas très bon ce qui peut être en partie dû à la mauvaise connaissance du stock de biomasse. Les estimations des paramètres de la fonction de reproduction nous permettent de déterminer le  $Z^{RMS}$  (15173 tonnes) et le  $\bar{Z}$  (30346 tonnes).

*La technologie*

La technologie de production retenue, pour l'instant dans cette application, est de type Cobb-Douglas. Ce choix n'est justifié que pour sa simplicité. Il impose une élasticité de substitution unitaire entre facteurs, sans doute excessive. Cette fonction s'écrit dans le cas présent :

$$(17) \quad y^i = f(x_1^i, x_2^i, x_3^i, Z) = A x_1^{a1} x_2^{a2} x_3^{a3} Z^{a4}$$

La variable  $x_1^i$  représente le travail des matelots,  $x_2^i$  est le nombre d'heures de pêche pour l'activité coquille, dont le coût est lié aux consommations intermédiaires correspondantes,  $x_3^i$  est le capital  $k_i$  (représenté par la puissance motrice des bateaux) pour le bateau  $i$  et  $Z$  la biomasse disponible exploitable. Les  $a_j$  sont les élasticités associées aux facteurs.  $A$  est un paramètre d'efficience.

La fonction de production ainsi définie a été estimée à partir de données sur plusieurs individus et quelques années. Ces données empilées représentent un échantillon de 290 observations. Les résultats de l'estimation sur la technologie de production sont donnés dans le tableau 1.

Tableau 1 Résultats d'estimation de la technologie d'effort de pêche

	A	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	a <sub>4</sub>
Coefficients estimés	5.10 <sup>-3</sup>	0,359	0,469	0,179	0,501
t de Student	5,24	5,15	3,81	2,06	5,42

La fonction de coût dual associé à cette technologie de production est obtenue en minimisant la somme des coûts des facteurs variables. Le capital individuel est fixe à court terme ainsi que le niveau du stock de la ressource. On a alors une fonction de coût restreint qui s'écrit :

$$(18) \quad C^i(y^i, w_1^i, w_2^i, k^i, Z) = \sigma \prod_j \left( \frac{w_j^i}{a_j} \right)^{a_j/\sigma} y^{i/1/\sigma} A^{-1/\sigma} k^{i-a3/\sigma} Z^{-a4/\sigma} \text{ avec } \sigma = \sum_{j=1}^2 a_j$$

$w_j$  est le prix du facteur  $x_j$ .  $\sigma$  (0,828) est la somme des élasticités des facteurs de production variables.

Cette fonction de coût fait bien apparaître l'existence d'externalités de stock, puisqu'elle est décroissante en  $Z$ . Elle possède les propriétés suivantes, croissante et convexe en  $y^i$ , croissante et concave par rapport aux prix des facteurs de production et décroissante et convexe par rapport aux facteurs quasi fixes  $k_i$  et  $Z$ .

La solution optimale du Problème I doit satisfaire les  $(n+1)$  conditions suivantes :

$$(19) \quad p - C_y^i(y^{i*}, w_1^i, w_2^i, k^i, Z^*) = \frac{\sum C_z^i(y^{i*}, w_1^i, w_2^i, k^i, Z^*)}{F_Z(Z^*) - r} = \mu^* \quad i = 1 \text{ à } n$$

$$(20) \quad F(Z^*) = \sum_i y^{i*} = Y^*$$

Ce système d'équations contient donc 291 équations. Par souci de simplicité nous avons construit des classes (6) selon la puissance des bateaux et nous avons supposé qu'à l'intérieur de chacune, les individus étaient homogènes, que tous les bateaux avaient la même technologie de production.

Etant donné le prix de marché de la coquille Saint-Jacques, ceux des facteurs variables et le niveau du capital, la biomasse optimale définie par les conditions ci-dessus  $Z^* = 16208$  tonnes, elle correspond à une capture admissible globale  $Y^* = 4040$  tonnes. Par rapport à la biomasse observée en moyenne sur l'échantillon (7600 tonnes), le stock optimal est nettement supérieur, ce qui a pour but de réduire les coûts d'exploitation. Le niveau optimal de la ressource se trouve à droite du  $Z^{RMS}$  (15173 tonnes). Le niveau de la capture globale augmente également par rapport à la moyenne sur l'échantillon qui est de 2020 tonnes. Ceci a un effet positif sur les recettes et donc sur le revenu. L'étude (Mahé et Ropars, 2001a) à partir d'un modèle sur données agrégées avait permis de définir, à l'état stationnaire, un stock optimal de la ressource et un niveau optimal de la capture totale ( $Z^*=19907$  tonnes et  $Y^*=3667$  tonnes), proche de ceux définis notre modèle décentralisé.

#### Simulation d'un marché des quotas

D'après l'analyse théorique, le prix d'équilibre  $\hat{\mu}$  sur un marché des quotas est égal à la valeur adjointe de la ressource à l'optimum  $\mu^*$  (indicateur de rareté de cette ressource),

quelle que soit la distribution initiale des quotas entre les pêcheurs. De même, la capture individuelle optimale  $y^i *$  est égale à la quantité individuelle désirée  $\hat{y}^i$  en présence d'un marché des quotas, indépendamment du quota  $\bar{y}^i$  alloué au départ à chacun. Par contre, la quantité échangée dépend de l'allocation initiale :  $e^i = \hat{y}^i - \bar{y}^i$ .

On suppose un marché de location des QIT en régime stationnaire. Le quota global est la CAT optimale définie à l'équilibre stationnaire soit ici  $Y^* = 4040$  tonnes. L'exploitation de la ressource ne sera optimale que s'il est vérifié que le stock est aussi à son niveau optimal. En effet, compte tenu de la forme quadratique de la fonction de reproduction, à un niveau de capture global, correspondent deux niveaux de stock de ressource. L'analyse théorique a montré que seul le niveau le plus élevé (16208 tonnes contre 14141 tonnes) permet d'assurer l'optimum, et correspond à des coûts d'exploitation plus faibles.

Ici, nous faisons l'hypothèse que les unités de quotas alloués au départ à chaque pêcheur sont identiques et égales à la CAT divisée par le nombre de licences. En pratique, les considérations politiques conduisent souvent à une répartition basée sur l'historique des captures ou sur les caractéristiques des bateaux. Les quotas alloués dans notre illustration sont identiques pour tous les patrons-pêcheurs et égaux à 13,9 tonnes (ce qui est supérieur aux captures observées par bateau dans notre échantillon). D'autres simulations correspondant à des répartitions initiales différentes sont aisément réalisables.

En régime de location des QIT, un quota  $\bar{y}^i$  (13,9 tonnes) est attribué initialement à chaque bateau. Chacun va maximiser son profit en choisissant un niveau de capture optimale  $\hat{y}^i$ , indépendamment du quota alloué. Dans le cas d'une technologie Cobb Douglas avec deux facteurs variables, ce prélèvement individuel optimal est tel que :

$$(21) \quad \hat{y}^i = (p - \hat{\mu})^{\sigma/(1-\sigma)} \prod_j (w_j^i / a_j)^{-a_j/(1-\sigma)} (A k_i^{a_3} Z^{a_4})^{1/(1-\sigma)}$$

Parmi les groupes retenus, quatre souhaitent acquérir des unités de quotas et deux groupes souhaitent en céder (groupe 2 et 3). Le prix d'équilibre  $\hat{\mu}$  sur le marché des quotas est déduit de l'égalisation entre les fonctions d'offre et de demande de quotas entre les pêcheurs. Ce prix vérifie l'expression (15), et dans le cas de la technologie Cobb Douglas, il est équivalent à :

$$(22) \quad \hat{\mu} = p - (Y^*)^{1/\sigma-1} (AZ^{*a_4})^{-1/\sigma} \left[ \sum_i k_i^{a_3/(1-\sigma)} \prod_j (w_j^i / a_j)^{-a_j/(1-a_j)} \right]^{1-1/\sigma}$$

Le tableau 2 présente les résultats de l'illustration sur la pêcherie de coquilles Saint-Jacques exploitée dans la baie de Saint-Brieuc.

Tableau 2 Flux d'échanges de quotas à l'optimum

Groupe n°	Puissance (CV)	$p-Cm^i(\text{quota}=13,9)$	$\mu^* = \hat{\mu} = 9957(F)$	Acquisition	Cession	Capture optimale $y^{j*}$	Capture observée
1	$k^i < 150$	10007	$> \mu^*$	0,51		14,41	8,83
2	$150 < k^i < 200$	9482	$< \mu^*$		3,79	10,11	10,64
3	$200 < k^i < 250$	9660	$< \mu^*$		2,53	11,37	10,124
4	$250 < k^i < 300$	10533	$> \mu^*$	7,25		21,15	11,06
5	$300 < k^i < 350$	10090	$> \mu^*$	1,39		15,29	10,22
6	$k^i > 350$	10494	$> \mu^*$	6,64		20,54	10,36

$Y^* = 4040$  tonnes  $Z^* = 16208$  tonnes ; prix moyen de la coquille sur l'échantillon  $p=16854$  francs par tonne

Le prix d'équilibre des quotas pour un quota global  $Y^*$  (4040 tonnes) et un niveau de stock  $Z^*$  (16208 tonnes) à l'état stationnaire, est égal à 9957 francs par tonne. Les groupes n°1, 4, 5, 6 ayant une différence entre prix et coût marginal supérieure à ce prix d'équilibre sur le marché des quotas, vont donc acheter des unités de quotas et ce jusqu'à ce qu'il y ait égalité. Inversement, les groupes n°2 et 3 ayant une différence entre prix et coût marginal inférieure au prix du quota vont souhaiter vendre des unités de quotas.

Ce prix d'équilibre sur le marché des quotas correspond également à la valeur d'opportunité de la ressource, définie par la condition (8). Dans le cas de la fonction de production Cobb Douglas, la valeur de  $\mu^*$  est telle que :

$$(23) \quad \mu^* = \frac{\sum_i \left[ -a_i Z^{*-a_i/\sigma-1} \prod_j (w_j^i / a_j)^{a_j/\sigma} (y^i * A^{-1} k^{i a^3})^{1/\sigma} \right]}{(a - 2bZ^* - r)}$$

Elle vaut 9957 francs et correspond au prix du quota obtenue de l'égalisation entre les fonctions d'offre et de demande de quotas, des différents groupes d'individus. Ce prix d'équilibre des quotas est un indicateur de la rareté de la ressource. La convergence vers la situation optimale, à l'état stationnaire,  $Z^* = 16208$  tonnes et la CAT  $Y^* = 4040$  tonnes, nécessite de prendre un prix des quotas  $\mu'_t$ , sur la trajectoire convergeant vers l'équilibre de long terme, plus élevé que  $\mu^* = 9957$ . La CAT  $Y'_t$ , correspondant à  $\mu'_t$  pour un niveau de stock  $Z'_t$ , doit être inférieure à la CAT optimale  $Y^* = 4040$ , afin d'atteindre l'équilibre d'état stationnaire.

Des études de sensibilités ont déjà été réalisées, par exemple : un niveau de puissance des bateaux plus faibles correspond un niveau de stock plus élevé, mais une valeur du quota plus faible, jusqu'à 5000 francs par tonne au lieu de 9000. Ces études doivent être prolongées.

## 5 – Conclusion

Sur la base d'un modèle décentralisé d'une pêcherie, avec effort de pêche représenté par une technologie flexible et des unités de pêche hétérogènes, on a rappelé les conditions d'exploitation optimale correspondant à l'état stationnaire (stock et capture constant). Tous les pêcheurs doivent respecter un même écart entre prix et coûts marginaux, écart qui est la valeur d'opportunité de la ressource en stock.

Cet état stationnaire optimal peut être soutenu par un marché des QIT, qui va assurer la minimisation des coûts en permettant aux bateaux les plus efficaces de louer des droits de pêche aux autres. Le prix des QIT est égal à la valeur de la ressource à l'optimum stationnaire si le stock et la CAT sont fixés à leur niveau optimal. Lorsque la fonction de reproduction est quadratique, le choix de la CAT ne peut être fait indépendamment de la vérification qu'elle correspond à un niveau du stock plus élevé que le RMS. Un niveau plus faible du stock donnerait lieu, pour une même capture, à un prix des quotas faible par rapport à la valeur de la ressource correspondant à l'optimum.

La simulation du marché des QIT dans le cas de la pêcherie de la baie de St Brieuc, avec un regroupement des bateaux en six groupes de puissance donne, pour des valeurs optimales du stock et de la capture nettement plus élevés que les niveaux actuels, un prix des quotas de l'ordre de 9900 francs/tonne. Ce prix correspond au niveau actuel de capital. Un niveau plus faible de capital correspondrait à un stock plus élevé et un prix des quotas plus faible.

L'étude décrit le cheminement de convergence vers cet optimum stationnaire. Pour atteindre cet optimum, une CAT plus faible sera nécessaire et assurera une élévation de la valeur des quotas avant de converger en direction de la valeur optimale. La quantification précise reste à faire.

Certains problèmes liés à la mise en œuvre des quotas, le contrôle des débarquements, la fraude ou la répartition inefficace des captures dans la saison, n'ont pas été abordés ici. Ils méritent d'être pris en compte pour assurer l'efficacité de cette méthode de régulation. De même la structure concurrentielle du marché des licences est une condition importante de la restauration de l'efficacité des coûts. Le problème de l'acquisition définitive des quotas nécessiterait une analyse spécifique. La présence d'une autorité de régulation faisant respecter la CAT est importante. Les QIT peuvent être un élément de solution à la tragédie des communs mais ils ne sont pas, à eux seuls, la panacée.



## Références bibliographiques

- Anderson L.G. (1991).** « A note on market power in ITQ fisheries », *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 21, n°3, pp. 291-296.
- Boyce J.R. (1992).** « Individual transferable quotas and production externalities in a fishery », *Natural Resource Modelling*, vol. 6, n°4, pp. 385-408.
- Clark C.W. (1990).** *Mathematical bioeconomics : The optimal management of a renewable resource*, 2<sup>nd</sup> Edition, Wiley.
- Clark C.W., Munro G.R. (1975).** « The economics of fishing and modern capital theory : a simplified approach », *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 2, pp. 92-106.
- Conrad J.M., Clark C.W. (1987).** *Natural resource economics : Notes and problems*, Cambridge University Press.
- Copes P. (1986).** « A critical review of the individual quota as a device in fisheries management », *Land Economics*, vol. 62, n°3, pp. 278-291.
- Dasgupta P.S., Heal G.M. (1979).** *Economic theory and exhaustible resources*, Cambridge University Press.
- Diewert W.E. (1973).** « Functional forms for profit and transformation functions », *Journal of Economic Theory*, vol. 6, pp. 284-316.
- Dupont D.P. (1990).** « Rent dissipation in restricted access fisheries », *Journal of Environmental Economic and Management*, vol. 19, pp. 26-44.
- Faucheux S., Noël J.F. (1995).** *Economie des ressources naturelles et de l'environnement*, Armand Colin.
- Garcia-Gil D. (1998).** « ITQ systems in multifleet fisheries : an application for Iberoatlantic hake », *Environmental and Resources Economics*, vol. 11, n°1, pp. 79-92.
- Gordon H.S. (1954).** « The economic theory of common property resource : the fishery », *Journal of Political Economy*, vol.62, pp. 124-142.
- Hardin G. (1968).** « The tragedy of the commons », *Sciences*, vol. 162, pp.1243-1247.
- Intriligator M.D. (1971).** *Mathematical optimization and economic theory*, Prentice-Hall.
- Kamien M.I., Schwartz N.L. (1981).** *Dynamic optimization. The calculus of variations and optimal control in economics and management*, North-Holland, Amsterdam.
- Leonard D., Ngo Van Long (1992).** *Optimal control theory and static optimization in economics*, Cambridge University Press.

**Lopes R.J., Michel P., Rotillon G. (1993).** « Gestion bio-économique d'une population et environnement: l'écrevisse *Procambarus Clarkii* », *Cahiers d'Economie et de Sociologie Rurales*, vol. 29, pp 5-19.

**Mahé L.P. et Ropars C. (1998)** « Régulation de l'exploitation d'une ressource renouvelable : inefficacité d'un rationnement d'input et efficacité des quotas », Journées de l'Association Française de Science Economique: Toulouse, 11 et 12 mai 1998, Colloque sur l'Economie de l'Environnement et des Ressources Naturelles.

**Mahé L.P. et Ropars C. (2001a).** « L'exploitation régulée d'une ressource renouvelable : inefficacité d'un rationnement factoriel et efficacité des quotas individuels transférables », *Economie et Prévision* (à paraître été 2001).

**Mahé L.P. et Ropars C. (2001b).** « Un modèle économique des quotas individuels transférables appliqués à une ressource renouvelable », *Actes de la 3<sup>ème</sup> Conférence Internationale 21-24 juin 2000, Droits de propriété, Economie et Environnement*, M. Falque Editeur.

**Plourde C.G. (1970).** « A simple model of resplenshable natural resource exploitation », *American Economic Review*, vol. 68, p.518-522.

**Seierstad A., Sydsaeter K. (1987).** *Optimal control theory with economic applications*, North-Holland, Amsterdam.

**Shaefer M.B. (1957).** « Some considerations of population dynamics and economics in relation to the management of marine fisheries », *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, vol. 14, pp. 669-681.

**Squires D. (1987).** « Fishing effort : its testing, specification and internal structure in fisheries economics and management », *Journal of Environmental Economic and Management*, vol. 14, pp. 268-282.

**Squires D., Allaudin M., Kirkley J. (1994).** « Individual transferable quota markets and investment decisions in the fixed gear sablefish industry », *Journal of Environmental Economic and Management*, vol. 27, n°2, 185-204.

**Squires D., Kirkley J. (1991).** « Production quota in multiproduct Pacific fisheries », *Journal of Environmental Economic and Management*, vol. 21, pp. 109-126.

**Weninger Q. (1998).** « Assessing efficiency gains from individual transferable quotas : an application to the mid-atlantic surf clam and ocean quahog fishery », *American Journal of Agricultural economics*, vol. 80 (November), pp. 750-764.