



**HAL**  
open science

# ET SI CE QUE J'AI FAIT HIER INFLUAIT SUR MON PROFIT AUJOURD'HUI? Un modèle bio-économique de libre accès où les agents apprennent seuls.

Nariné Udumyan, Juliette Rouchier, Dominique Ami

► **To cite this version:**

Nariné Udumyan, Juliette Rouchier, Dominique Ami. ET SI CE QUE J'AI FAIT HIER INFLUAIT SUR MON PROFIT AUJOURD'HUI? Un modèle bio-économique de libre accès où les agents apprennent seuls.. 2008. halshs-00349410

**HAL Id: halshs-00349410**

**<https://shs.hal.science/halshs-00349410>**

Preprint submitted on 30 Dec 2008

**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.

# **GREQAM**

**Groupement de Recherche en Economie  
Quantitative d'Aix-Marseille - UMR-CNRS 6579  
Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales  
Universités d'Aix-Marseille II et III**

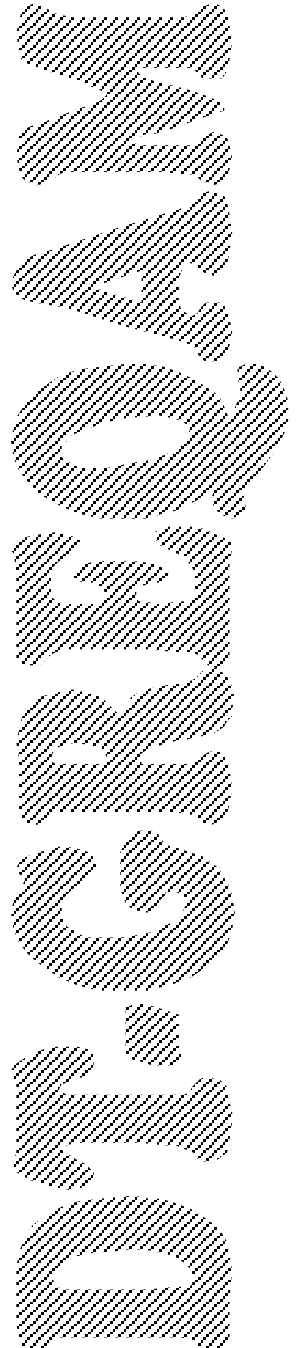
**Document de Travail  
n°2008-64**

## **ET SI CE QUE J'AI FAIT HIER INFLUAIT SUR MON PROFIT AUJOURD'HUI?**

**Un modèle bio-économique de libre accès où les  
agents apprennent seuls**

**Nariné Udumyan  
Juliette Rouchier  
Dominique Ami**

**Décembre 2008**



# ET SI CE QUE J'AI FAIT HIER INFLUAIT SUR MON PROFIT AUJOURD'HUI?

## Un modèle bio-économique de libre accès où les agents apprennent seuls

Narine Udumyan<sup>1</sup>, Juliette Rouchier<sup>1</sup>, Dominique Ami<sup>2</sup>

<sup>1</sup>GREQAM, 2, rue de la Charité 13002 Marseille - FRANCE  
narine.udumyan@univmed.fr, juliette.rouchier@univmed.fr

<sup>2</sup>IDEP DESMID, 2, rue de la Charité 13002 Marseille - FRANCE  
dominique.ami@univmed.fr

**Résumé** – Dans cette étude, nous soulignons l'importance d'un facteur s'avérant significatif dans les problèmes des dilemmes sociaux. Il s'agit de la perception par les usagers d'une ressource renouvelable commune de leurs actions passées et de leur rôle dans la formation du profit. La dynamique d'apprentissage a alors un impact sur les profits actuels. Pour ce faire, nous travaillons dans un cadre dynamique qui permet de modéliser l'impact des actions passées des usagers sur l'état de la ressource et, donc, sur leurs profits. Nous analysons les équilibres de la ressource renouvelable commune en fonction des trois modèles d'apprentissage adaptés du modèle de Roth-Erev qui décrit les différentes perceptions de ce problème. Certaines recommandations sont fournies en rapport avec les résultats des simulations. Les paramètres du modèle dynamique utilisé sont calibrés pour le cas de la pêche à Marseille.

**Mots clés** – **Modèle bioéconomique de pêche, Systèmes multi-agents, Ressource à accès libre, Tragédie des communs**

## 1 Introduction

Dans ces dernières années, beaucoup d'études biologiques signalent la disparition accélérée des populations et des espèces dans les écosystèmes marins (voir par exemple, [7], [17], [18]). En dépit des fluctuations de l'offre et de la demande liées à la situation changeante des ressources marines, les pêcheries restent une source importante d'alimentation, d'emploi et de revenus dans de nombreux pays [7].

L'échec des mesures de gestion est la raison la plus importante de ces disparitions et plus généralement de la dégradation de l'écosystème [6]. Des éléments de plusieurs ordres peuvent expliquer ces échecs : le manque d'informations concernant la dynamique de la ressource, mais aussi une mauvaise prise en compte des usages locaux, qui rendent les choix institutionnels caducs ou peu légitimes. Or, le milieu côtier, qui nous intéresse ici, est particulièrement touché par les risques de surexploitation. Un des facteurs principaux de l'échec de gestion est le manque d'information. Il est en particulier difficile de connaître l'état de la ressource et sa dynamique, la quantité réelle de débarquements, mais aussi les conditions sociales et culturelles dans lesquelles les acteurs locaux effectuent leurs choix. Bien sûr, le recueil et l'analyse d'information sont

possibles, mais ils se révèlent d'autant plus coûteux qu'ils sont précis. Pourtant, c'est seulement grâce à cette précision qu'on pourrait concevoir des mesures de gestion efficace.

C'est pourquoi, l'étude des conditions de l'émergence des ressources soutenables autogouvernées est d'un intérêt particulier. Il en existe beaucoup d'exemples (par exemple, [1]), mais identifier les conditions d'une auto-gouvernance réussite est devenu une problématique d'actualité face aux problèmes de gestion des ressources naturelles. Les acteurs réels, usagers des ressources renouvelables communes ont, de toute évidence, des informations qui peuvent être inaccessibles au gestionnaire (ou accessibles à des coûts prohibitifs). Dans les pêcheries côtières, où l'on trouve principalement de la pêche artisanale, le suivi et le recueil des données est le plus délicat. Il est donc envisageable qu'il faille y valoriser l'apparition de systèmes autogouvernés soient plus durables, afin que le manque d'information centralisées soient palliées par des processus d'organisation émergents.

Dans cet article, nous nous concentrons, à travers un modèle simple, sur l'impact des informations utilisées par les agents lors de leur choix. En considérant des données qui pourraient être prises en compte aisément par les individus, mais ne le sont pas toujours, on observe en quoi la quantité d'information peut avoir un impact sur la dynamique d'exploitation d'une ressource, toutes choses étant égales par ailleurs. Dans le modèle présenté, l'accès à la ressource n'est pas réglementé. Les agents choisissent leur effort, qui se traduit en captures en fonction de l'état de la ressource. Deux agents, identiques au départ, apprennent par renforcement et identifient par là l'effort qui leur permet un plus grand profit. L'originalité du modèle présenté est que les agents peuvent associer à leur profit tout à la fois à leur action présente et l'action précédente, et ce en attribuant plus ou moins d'influence relative à ces deux actions. On montre que de prendre en compte les actions passées pour comprendre le profit présent permet d'établir des situations soutenables dans l'exploitation de la ressource.

L'article est divisé en quatre parties. Dans la partie 2, nous expliquons les motivations de cette étude. Ensuite nous développons un modèle de pêcherie à l'accès libre avec apprentissage qui est basé sur le modèle bioéconomique de Schaefer-Gordon. Dans les parties 4 et 5, nous calibrons le modèle, tournons des simulations et présentons leurs résultats. Dans le reste du papier, nous discutons des résultats obtenus et explorons les perspectives de cette étude.

## 2 Motivations

Les idées fondamentales du problème du passager clandestin ont été expliquées par Hardin dans son étude séminale intitulée *The Tragedy of the Commons* [9]. Selon Hardin, l'accès libre et la demande illimitée pour une ressource limitée condamnent la ressource à la surexploitation. Pourtant, les études empiriques portées sur des exemples concrets des dilemmes sociaux contredisent cette prédiction (voir par exemple, [12], [14]). Ils montrent que les individus tendent à coopérer dans ces dilemmes et plus encore, qu'ils ont tendance à coopérer en retour face à une attitude collaboratrice observées.

En utilisant plusieurs modèles de prise de décision individuelle largement acceptés, Janssen et Ahn comparent des simulations à un ensemble d'expérience de jeux répétés de contribution à un bien commun [10]. Ils ont en effet pour hypothèse que l'hétérogénéité des joueurs est une explication possible aux données recueillies lors de ces jeux et impossibles à reproduire en utilisant un unique algorithme d'apprentissage. De leurs tests statistiques, ils concluent que la plupart des sujets ont une aversion pour l'inégalité et des préférences conditionnellement coopératives.

Nous suggérons que dans un contexte de ressource renouvelable commune, l'hétérogénéité des actions peut aussi être liée aux différentes perceptions de la dynamique de la ressource par les

usagers. Or ceux-ci n'ont que peu de critères pour l'estimer, si ce n'est la quantité de captures qu'ils réussissent et par là, leur profit. Mais rien ne dit que les acteurs n'aient pas conscience que leur action passée a un impact sur les résultats présents au moins aussi grand que leurs actions passées. Cardenas et al. [2] conçoivent les expériences de laboratoire en prenant en compte la dynamique de la ressource où la dépendance de l'état de la ressource des actions des usagers leur est clairement exposée. Dans ce cadre, les joueurs ne choisissent pas l'équilibre de Nash. En outre, les caractéristiques temporelles et spatiales de la dynamique de la ressource restent difficiles à comprendre pour les participants tout au long de l'expérience. Ces conclusions indiquent implicitement que certains usagers comprennent mieux la dynamique de la ressource que d'autres. Ainsi, nous pouvons effectivement supposer l'hétérogénéité des différentes perceptions de la dynamique de la ressource même si nous traitons uniquement son aspect temporel.<sup>1</sup>

Le nouvel élément que nous introduisons dans cette étude est, en filigrane, une perception de la dynamique de la ressource par les agents. Le principe de l'apprentissage par renforcement est que l'agent attribue une valeur à une action à travers un calcul systématique qui lie action et profit. Dans notre représentation, l'agent associe le profit à l'action présente, mais aussi à l'action précédente avec un certain poids, tout comme un usager de la ressource peut être conscient du fait que l'effort employé pour extraire la ressource hier a un impact sur l'état de la ressource aujourd'hui (et donc sur son profit). Dans cet article, tous les choix passés ne sont pas pris en compte, mais seulement les deux actions les plus récentes (aujourd'hui et hier).

Le problème que nous abordons ici ne peut pas être étudié dans un cadre statique comme dans les articles empiriques auxquels nous nous référons. En effet, notre question principale repose dans l'analyse des impacts des actions des agents sur l'état de la ressource, nous considérons un cadre dynamique permettant d'exprimer explicitement l'influence des décisions actuelles des agents non seulement sur leur profit actuel mais aussi sur leurs profits futurs.

### **3 Le modèle**

Nous étudions en quoi la perception des conséquences de ses actions à moyen terme plutôt qu'à court terme transforme la prise de décision de pêcheurs qui n'ont aucune information sur l'état de la ressource où ils évoluent. Pour cela, nous construisons un modèle de simulation contenant deux agents qui agissent une fois par pas de temps, en fixant leur effort de pêche, et apprennent en conséquence. Ces agents n'ont pas de connaissance de l'état ou de la dynamique de la ressource ; ils n'ont aucune information sur les actions des autres ni même de conscience de leur existence ; nous les dotons d'un modèle simple d'apprentissage, développé par Erev et Roth, où le profit relatif apporté par chaque action lui donne une probabilité d'être tirée par la suite. Ce modèle, très largement utilisé est ici légèrement modifié. Nous plaçons nos agents dans un environnement représenté par un modèle standard de dynamique d'usage de ressource, celui de Schaefer-Gordon, dans lequel aucune contrainte n'est posée à l'action de ces agents.

#### **3.1 Le modèle de ressource**

Nous considérons un environnement bio-économique où les paramètres biologiques ainsi qu'économiques du système sont pris en compte. Les paramètres biologiques caractérisent l'évolution de la ressource renouvelable commune dans le temps tandis que les paramètres économiques décrivent les activités économiques liées à l'exploitation de la ressource.

---

<sup>1</sup> L'aspect spatial de l'exploitation de la ressource n'est pas pris en compte dans cet article.

L'environnement biologique consiste d'une zone unique et d'une ressource unique (une espèce représentative) et suit le modèle bio-économique de Schaefer-Gordon [8], [16]:

$$X_{t+1} = X_t + F(X_t) - H(E, X_t), \quad (1)$$

où  $X_t$  définit la biomasse de la population de poissons au temps  $t$ ,  $F(X)$  est une fonction donnée qui représente la croissance naturelle de la population de poissons,  $E$  est une variable d'effort composé et où  $H_t$  est une fonction des prélèvements totaux au temps  $t$  (de tous les usagers de la ressource). Les hypothèses standards sont formulées sur les dernières fonctions (pour plus de détails, voir [3]). La composante économique du modèle est décrite par le profit généré par la ressource halieutique à chaque niveau donné de l'effort :

$$\Pi_t = pH_t - cE_t, \quad (2)$$

où  $\Pi_t$  est le profit de toute l'industrie de la pêche à la période  $t$ ,  $p$  est le prix d'une unité de ressource,  $H_t$  sont des prélèvements à la période  $t$ ,  $c$  définit le coût d'une unité d'effort et  $E_t$  est l'effort total à la période  $t$ . Le premier terme représente les revenus de la pêcherie et le second définit les coûts totaux. Ces coûts sont appelés variables et peuvent inclure les coûts du carburant, de l'approvisionnement et la fourniture, du bateau et de l'entretien de l'équipement et la main-d'œuvre [4]. Nous supposons ici que le prix  $p$  et le coût  $c$  sont fixés. Nous prenons l'hypothèse que la courbe de la demande pour la ressource prélevée est infiniment élastique aux prix mondiaux de marché et les agents sont preneurs des prix (le prix marginal de vente est fixe et exogène).

### 3.2 Le modèle d'apprentissage

Nous analysons ici des variations sur la base du modèle d'Erev et Roth, ce qui nous fait distinguer trois modèles d'apprentissage ; modèle de Roth-Erev standard [15] (abrégé ci-dessous comme ER), modèle ERPast et modèle ERMix. La règle ER standard associe le profit reçu par l'agent à l'action qui l'a généré. Dans la première variation (ERPast), l'agent associe le profit à l'action utilisée avant celle qui l'a généré. Cela signifie que l'agent croit que le profit perçu à la période  $t$  est dû à l'action qu'il a employée précédemment, en  $t - 1$ , et non pas dû à l'action actuelle (à la période  $t$ ) comme dans ER. Dans la seconde variation (ERMix), l'agent associe le profit de la période  $t$  à l'action actuelle (période  $t$ ) ainsi qu'à l'action passée (période  $t - 1$ ). Le profit est associé à l'action passée avec un poids  $1 - \theta$  et sa partie  $\theta$  est associée à l'action actuelle.

Nous avons choisi cette représentation afin d'intégrer le fait que chaque action (effort de pêche) transforme l'environnement pour le pas de temps suivant (et donc la matrice de gains des agents) et ainsi a un impact sur les profits futurs<sup>2</sup>. De ce point de vue, le paramètre  $\theta$  définit la perception des agents du lien entre leurs actions passée et présente et leurs profits.

Nous généralisons le modèle de Roth-Erev en introduisant un paramètre supplémentaire  $\theta$ . Supposons que, à la période  $t$ , le joueur  $i$  joue l'action  $k$  et reçoit un profit de  $x$ . Soit  $R(x) = x - x_{\min}$ , où  $x_{\min}$  est le profit minimal dans l'ensemble de tous les profits obtenus jusqu'à la période  $t$  incluse<sup>3</sup>. D'après notre modèle généralisé, le joueur  $i$  met à jour sa tendance à jouer l'action  $j$  selon la règle suivante :

$$q_{ij}(t+1) = (1 - \phi)q_{ij}(t) + \theta(1 - \varepsilon) R(\Pi) + (1 - \text{sgn}(\theta)) \varepsilon R(\Pi)/(N - 1), \text{ if } j = C, \quad (3)$$

<sup>2</sup> La quantité de poissons pêchés influencent la quantité de poissons présents dans la mer, et la quantité pêchée dépend de la quantité présente : nous pouvons alors conclure que l'état actuel de la ressource est influencé par les quantités pêchées par le passé.

<sup>3</sup> Cette définition de  $R(x)$  correspond à celle décrite dans un cas particulier du modèle de Bereby-Meyer et Erev (variation du modèle de Roth-Erev).

$$q_{ij}(t+1) = (1 - \phi)q_{ij}(t) + (1 - \theta)(1 - \varepsilon) R(\Pi) + (\text{sgn}(\theta - 1) + 1) \varepsilon R(\Pi)/(N - 1), \quad (4)$$

if  $j = P$ ,

$$q_{ij}(t+1) = (1 - \phi)q_{ij}(t) + \varepsilon R(\Pi)/(N - 1), \text{ if } j = NC \quad (5)$$

où

$\phi$  est un paramètre d'oubli que réduit graduellement le rôle de l'expérience passé,  $\varepsilon$  est un paramètre d'exploration qui tient compte de la possibilité d'expérimentation,  $\theta$  est un poids associé à l'action actuelle<sup>4</sup>;

$C$  (*current*) est l'action choisie à la période  $t$  (action actuelle),  $P$  (*past*) est l'action choisie à la période  $t - 1$  (action passée) et  $NC$  (*not chosen*) sont tous les autres actions possibles, qui n'ont pas été choisies aux périodes  $t$  and  $t - 1$ .

La probabilité  $p_{ij}(t)$  que l'agent  $i$  joue l'action  $j$  à la période  $t$  est construite à partir de la règle de choix exponentielle suivante :

$$p_{ij}(t) = \exp(\beta q_{ij}(t)) / \sum_m \exp(\beta q_{im}(t)), \quad (6)$$

où  $\beta$  est un paramètre supplémentaire qui mesure la sensibilité des probabilité aux renforcements i.e. le paramètre de distinction. Le paramètre  $\beta$  renforce les différences entre les tendances  $q_{ij}(t)$ . Plus élevé est la valeur de ce paramètre, plus distinctes sont les valeurs de  $q_{ij}(t)$  et plus il est probable que le système converge à l'équilibre.

Si le paramètre  $\theta = 1$ , nous avons le modèle standard de Roth-Erev ( $q_{iP}$  est mise à jour de la même manière que  $q_{iNC}$ ). L'action passée n'est pas prise en considération. Les agents sont donc myopes dans le sens où ils ne sont pas capables (ou n'ont pas l'envie) de voir le lien entre leurs actions passées et leurs profits. L'action, que j'ai choisie aujourd'hui, a déterminé mon gain aujourd'hui.

Nous obtenons le modèle ERPast pour  $\theta = 0$  ( $q_{iC}$  est mise à jour de la même manière que  $q_{iNC}$ ). Uniquement l'action passée importe ici. L'action, que j'ai choisie hier, a déterminé mon gain aujourd'hui.

Enfin, si  $0 < \theta < 1$ , nous avons le modèle ERMix. Les agents prennent en compte l'action actuelle ainsi que l'action passée avec certains poids qui déterminent l'importance de chacune des deux actions dans la formation du profit. Les agents ayant ce genre de perception de l'impact de leurs actions sont considérés comme non myopes.

## 4 Paramètres du modèle et indicateurs observés

Nous considérons deux pêcheurs qui apprennent selon les modèles d'apprentissage identiques et ayant les mêmes caractéristiques économiques. Les paramètres du modèle bioéconomique ont été ajustés selon les données réelles fournies par Jouvenel et Faure [11] pour la baie du Prado, Marseille. Nous faisons varier quatre paramètres d'apprentissage :  $\phi \in \{0.1, 0.3, 0.6, 0.9\}$ ,  $\varepsilon \in \{0.1, 0.2, 0.4\}$ ,  $\beta \in (0, 100]$ ,  $\theta \in \{0, 0.25, 0.5, 0.75, 1\}$ . Le paramètre  $\beta$  est ajusté individuellement pour chaque ensemble de paramètres  $\phi$  et  $\varepsilon$ . Plus élevée est la valeur de  $\beta$ , plus vite le système converge vers un équilibre. En choisissant la valeur de  $\beta$ , nous favorisons une forte distinction entre les tendances afin d'obtenir des résultats plus stables.

Nous faisons tourner 100 simulations pour chaque ensemble de paramètres. La durée des simulations est fixée à 10000 périodes. Nous observons plusieurs indicateurs bio-économiques tels que le profit moyen par agent, profit global minimal, hétérogénéité des profits, biomasse de la

<sup>4</sup> Notons que, afin de garder la structure du modèle de Roth-Erev, le paramètre  $\theta$  appartient à l'intervalle  $[0,1]$ .

ressource et indicateur des scénarios économiquement non soutenables. Le dernier décrit la fréquence des simulations où la ressource génère des profits négatifs au moins une fois.

Grâce à ces indicateurs, nous mesurons la « soutenabilité » du système. Le système est soutenable si deux contraintes sont vérifiées. La première est une contrainte biologique : la biomasse de la ressource à la période finale n'est pas inférieure au niveau MSY (Maximum Sustained Yield) auquel la productivité de la ressource est maximisée (pour les paramètres choisis,  $X_{MSY} = 250$ ). La seconde est une contrainte économique : le profit journalier par agent assure la rémunération des facteurs de production (les profits sont positifs pour toutes les périodes). Quand le profit s'approche du niveau MEY (Maximum Economic Yield),  $\Pi_{MEY} = 0.6$  (où les profits à l'équilibre biologique sont maximisés), le système satisfait l'objectif économique simple de maximisation de profit.

## 5 Résultats et Discussion

### 5.1 Calibrage du modèle

Nous constatons que le système converge<sup>5</sup> (en 10000 périodes) plus souvent pour  $\phi = 0.3$  et si les deux variations de la règle ER sont appliquées. Tous les modèles d'apprentissage considérés ont montré leurs meilleurs résultats pour les valeurs relativement petites des paramètres  $\phi$  and  $\varepsilon$ . Les agents apprennent : 1) s'ils oublient à un certain point afin de s'adapter à l'environnement constamment en évolution et 2) s'ils ont une tendance modérée à explorer. Cette observation est en adéquation avec le résultat rapporté par Erev et Roth [5]. Ils obtiennent que les valeurs des paramètres  $\phi$  et  $\varepsilon$  s'échelonnant dans les diapasons  $0 < \phi < 0.20$  et  $0.02 < \varepsilon < 0.30$  correspondent le mieux aux données expérimentales couvrant douze types distincts de jeux. La valeur de  $\phi$  que nous avons retenue excède légèrement les diapasons rapportés par Erev et Roth. Cela peut être expliqué par le cadre dynamique dans lequel les décisions des agents ont désormais un impact sur l'état de la ressource dans la période suivante. La nécessité d'adapter plus vite les actions à un environnement constamment changeant résulte de cette nouvelle propriété du « jeu ».

### 5.2 Comparaison des modèles d'apprentissage

Nous présentons ci-dessus un tableau résumant tous les résultats des simulations (voir le Tableau 1). Puisque les scénarios où  $\theta \in \{0.5, 0.75, 1\}$  ne sont presque jamais soutenables, les résultats dans le cadre du tableau ne sont pas donnés mais expliqués textuellement.

Les agents, qui utilisent le modèle ER standard, ont tendance à employer des efforts élevés car ils engendrent plus de profits que les efforts bas quand la ressource génère encore des profits positifs. Selon le modèle ER, ces profits élevés sont entièrement associés aux efforts élevés qui produisent ces profits. Les actions correspondant à ces efforts élevés sont alors choisies plus fréquemment et les efforts bas sont rapidement éliminés de l'ensemble de choix des agents ce qui conduit à la destruction de la ressource et la pêche. Une autre propriété du modèle d'apprentissage qui contribue à ce résultat non souhaitable que les actions qui génèrent des profits négatifs peuvent être associées à des tendances positives (et sont encore susceptibles d'être choisies).

Avec le modèle ERMix avec  $\theta = 0.5$  or  $0.75$ , les agents réduisent leur effort uniquement dans les cas où ils sont confrontés aux profits négatifs tandis que les agents, qui utilisent ERPast et ERMix avec  $\theta = 0.25$ , réduisent leur effort quand les profits sont encore positifs. Cela signifie que les

---

<sup>5</sup> Nous supposons que le système converge si la somme des efforts des agents est constante pendant les dernières 5000 périodes.



agents, apprenant selon la règle ERMix avec une préférence plus prononcée pour l'action actuelle, doivent affronter des problèmes financiers avant de choisir une action correcte. Ils ont également besoin d'une certaine période d'exploration avant de ne plus choisir les efforts élevés. Du point de vue économique, il est peu probable que les agents subissent des pertes pendant une longue période de temps. Ainsi, les agents considérant l'action actuelle comme plus importante que l'action passée, n'arrivent pas à apprendre à choisir bien leurs efforts.

A l'opposé, les modèles ERPast et ERMix avec  $\theta = 0.25$  impliquent un apprentissage plus rapide pour les agents, qui ont besoin de moins de temps pour ne choisir que des efforts suffisamment bas. C'est la raison pour laquelle les derniers modèles ont montré des résultats plus stables. La différence entre ces deux modèles réside dans les priorités accordées aux objectifs biologique et économique. Comme nous l'avons noté précédemment, quand la ressource est encore capable de fournir des profits positifs, des efforts élevés génèrent des profits élevés. Du point de vue des agents qui utilisent le modèle ERPast, ces profits élevés sont obtenus non grâce aux efforts élevés qui leur sont associés mais grâce aux actions, éventuellement des efforts bas, utilisés précédemment. Les efforts passés sont alors plus renforcés que les premiers. Cette propriété du modèle d'apprentissage conduit à des résultats biologiquement soutenables. La surexploitation n'arrive presque jamais. Puisque les efforts bas peuvent être fortement renforcés, la ressource peut éventuellement être économiquement sous-exploitée. C'est pourquoi, le modèle ERMix avec  $\theta = 0.25$  implique parfois des meilleurs résultats économiques. Les efforts élevés peuvent aussi être suffisamment renforcés dans ce scénario. Les agents peuvent alors réussir à choisir une action qui satisfait l'objectif économique simple de la maximisation du profit.

En récapitulant, le critère de la soutenabilité est essentiellement vérifié pour  $\theta = 0$  or  $0.25$  et les valeurs modérées de  $\phi$  et  $\varepsilon$ . Les modèles peuvent être classifiés en fonction de la priorité des objectifs biologique et économique. Si la performance économique est plus importante que biologique, alors les agents attribuant le poids de  $0.25$  à l'action actuelle et  $0.75$  à l'action passée surpassent les agents valorisant uniquement l'action passée. Inversement, les derniers surpassent les premiers si l'objectif biologique est prioritaire.

On peut noter que si l'on se fixe un objectif « social » de distribution équitable des revenus, il est loin d'être atteint pour le modèle d'apprentissage considéré. Simplement, la pêcherie se maintient pour les ensembles des paramètres d'apprentissage ci-dessus (le profits ne sont pas négatifs).

L'importance des actions passées dans la formation du profit peut être expliquée par la dépendance non-linéaire entre celles-ci et l'état actuel de la ressource via la fonction de reproduction, à la différence de l'action actuelle qui a un impact linéaire sur l'état de la ressource ainsi que sur les profits actuels.

**Tableau 1.** Statistique de 100 simulations pour  $\theta \in \{0, 0.25\}$ ,  $\phi = 0.3$ ,  $\varepsilon \in \{0.1, 0.2, 0.4\}$ . Les valeurs affichées représentent la moyenne des indicateurs sur 100 simulations. Entre les parenthèses, nous présentons l'écart type de chaque indicateur.

$\theta$	$\varepsilon$	$\phi$	$\beta$	Scénarios économiquement soutenables (%)	Biomasse finale	Profit Moyen	Profit Minimal	Hétérogénéité des profits
0	0,1	0,3	30	0	305 (108)	0,4385 (0,1337)	0,1498 (0,0946)	0,5924 (0,3618)
0	0,2	0,3	30	5	228 (84)	0,4799 (0,1114)	0,1068 (0,0838)	0,2296 (0,1459)
0	0,4	0,3	45	1	270 (84)	0,5004 (0,0942)	0,0847 (0,0724)	0,2411 (0,1608)
0,25	0,1	0,3	35	8	243 (84)	0,4841 (0,1187)	0,1069 (0,0960)	0,2801 (0,1912)

0,25	0,2	0,3	40	6	235 (83)	0,4833 (0,1010)	0,1001 (0,0800)	0,2226 (0,1493)
0,25	0,4	0,3	60	4	251 (87)	0,4842 (0,0966)	0,1179 (0,0847)	0,2734 (0,1601)

## 7 Conclusion

Afin d'expliquer l'incohérence entre résultats expérimentaux et résultats théoriques sur le sujet des ressources renouvelables communes, Ostrom [13] met en avance l'importance des trois facteurs clés : réputation, réciprocité et confiance qui peuvent soutenir la coopération pour des jeux répétés avec la possibilité de la communication face-à-face. Dans cet article, nous soulignons l'importance d'un autre facteur significatif qui peut avoir un rôle majeur dans les problèmes des dilemmes sociaux. Il s'agit de la perception par les usagers d'une ressource renouvelable commune de leurs actions passées et leur rôle dans la formation du profit. Si un certain niveau de confiance est établi dans la société, i.e. les usagers ne sont pas intéressés par l'observation des efforts des uns des autres mais aussi aucune considération pour le bien-être social n'est pas prise en compte, la perception correcte de ce problème pourrait éviter la surexploitation de la ressource. Ainsi, la compréhension de la manière dont les individus interprètent les raisons des profits élevés ou bas est un facteur important qui affecte leurs décisions et donc leurs profits via l'état de la ressource.

Nous construisons ainsi un modèle d'apprentissage qui capte les différences dans la perception de la dynamique de la ressource. Les usagers d'une ressource renouvelable commune peuvent, de façon totalement individuelle, obtenir des résultats stables et efficaces s'ils réussissent à faire le lien entre les profits actuels et leurs actions passées. En d'autres termes, dès que les usagers prennent en compte le fait que leurs actions passées se répercutent sur leurs profits via l'état de la ressource, ils sont capables, au moins, de préserver la ressource de l'effondrement. Les expériences de terrain peuvent alors se focaliser sur la question de la manière dont ce nouvel élément est lié au traitement individuel de l'information et influe sur le comportement. Les données recueillies dans ces expériences pourraient être utilisées pour mieux formaliser la relation entre la perception d'un individu des conséquences de ses actions passées sur ses bénéfices actuels.

Les résultats des simulations montrent également l'importance de la perception correcte de la dynamique temporelle de la ressource. Cet élément important peut être intégré dans les campagnes de sensibilisation visant à renseigner les communautés locales sur les problèmes environnementaux. Les usagers des ressources renouvelables communes doivent acquérir un bon niveau de conscience des conséquences de leur comportement. Une compréhension améliorée de ce rapport entre les comportements actuel et passé et les bénéfices actuels, tirés des prélèvements de la ressource, peut les favoriser à considérer minutieusement leurs actions avant de les employer. Ce rapport devenant de plus en plus transparent à l'aide des campagnes de sensibilisation, il est possible d'augmenter la motivation de la conservation de la ressource auprès de ses usagers. Cela peut, par conséquent, devenir un outil puissant pour stimuler une exploitation plus raisonnable de la ressource.

## Références

- [1] Bromley, D.W., D. Feeny, M. McKean, P. Peters, J. Gilles, R. Oakerson, C.F. Runge, and J. Thomson, eds. (1992), *Making the Commons work: Theory, practice, and policy*. San Francisco, CA: Institute for Contemporary Studies Press.

- [2] Cardenas J.-C., M. Janssen, F. Bousquet (2008), Dynamics of Rules and Resources: Three New Field Experiments on Water, Forests and Fisheries. Chapter submitted for a *Handbook on experimental Economics and the Environment* edited by John List and Michael Price (Edward Elgar Publishing).
- [3] Clark, C.W. (2005), *Mathematical Bioeconomics, The optimal management of renewable resources*, John Wiley.
- [4] Clark C.W. (2006), *The Worldwide Crisis in Fisheries. Economic Models and Human Behavior*. Cambridge University Press.
- [5] Erev, I., A. E. Roth (1998), Predicting How People Play Games with Unique, Mixed-Strategy Equilibria, *American Economic Review*, **vol. 88**, p. 848-881.
- [6] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), ed. Scialabba, Nadia (1998), *Integrated coastal area management and agriculture, forestry and fisheries. FAO Guidelines*, Rome. 256 p.
- [7] Food and Agriculture Organization of the United Nations (2000), *La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture*.
- [8] Gordon, H.S. (1954), The economic theory of a common property resource, *Journal of Political Economy*, **vol. 62**, p. 124-142.
- [9] Hardin, G. (1968), The tragedy of the Commons. *Science*, **vol. 162**, p. 1243-1248.
- [10] Janssen, M.A., and T.K. Ahn (2006). Learning, signaling, and social preferences in public-good games, *Ecology and Society*, **vol. 11(2)**, p. 21.
- [11] Jouvenel, J.-Y., Faure, V. (2005), *Etat zéro de la « pêche artisanale aux petits métiers » dans la baie du Prado (rade sud de Marseille) - Rapport final*. Contrat P2A Développement - Ville de Marseille, Direction de la Qualité de Vie Partagée, Division Mer et Littoral, octobre 2005 : 92 p.
- [12] Ledyard, J.O. (1995), Public goods: A survey of experimental research. In *Handbook of Experimental Economics*, ed. Kagel, J. and A. Roth. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- [13] Ostrom, E. (1998), A behavioral approach to the rational choice theory of collective action. *American Political Science Review*, **vol. 92**, p. 1-22.
- [14] Ostrom, E., R. Gardner, and J. Walker (1994), *Rules, games, and common-pool resources*. Ann Arbor, Michigan: University of Michigan Press.
- [15] Roth, A.E., Erev, I. (1995), Learning in Extensive Form Games: Experimental Data and Simple Dynamic Models in the Intermediate Run, *Games and Economic Behavior*, **vol. 6**, p. 164-212.
- [16] Schaefer, M.B. (1954), Some aspects of the dynamics of populations important to the management of commercial marine fisheries, *Inter-American Tropical Tuna Commission, Bulletin*, 1, p. 25-26.
- [17] Sinclair M., Arnason R., Csirke J., Karnicki Z., Sigurjonsson J., Skjoldal H., et al. (2002), Responsible Fisheries in the Marine Ecosystem. *Fisheries Research*, **vol. 58**, p. 255-65.
- [18] Worm B., E.B. Barbier, N. Beaumont, J.E. Duffy, C. Folke, B.S. Halpern, J.B.C. Jackson, H.K. Lotze, F. Micheli, S.R. Palumbi, E. Sala, K.A. Selkoe, J.J. Stachowicz, R. Watson (2006), Impacts of Biodiversity Loss on Ocean Ecosystem Services, *Science*, **vol. 314**, p. 787 – 790.