



**HAL**  
open science

## Modèle bioéconomique appliqué à la gestion du sanglier, dégâts agricoles et prix des chasses en forêt

Carole Ropars-Collet, Philippe Le Goffe

### ► To cite this version:

Carole Ropars-Collet, Philippe Le Goffe. Modèle bioéconomique appliqué à la gestion du sanglier, dégâts agricoles et prix des chasses en forêt. 3. Journées de recherches en sciences sociales, Dec 2009, Montpellier, France. hal-01462436

**HAL Id: hal-01462436**

**<https://hal.science/hal-01462436>**

Submitted on 4 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

**Modèle bioéconomique appliqué à la gestion du sanglier, dégâts agricoles et  
prix des chasses en forêt domaniales**

**Carole Ropars-Collet**

*Agrocampus Ouest, UMR1302, F-35000 Rennes, France*

*INRA, UMR1302, F-35000 Rennes, France*

*65 rue de Saint-Brieuc CS 84215*

*35042 Rennes cedex*

*Email : [Carole.Ropars@agrocampus-ouest.fr](mailto:Carole.Ropars@agrocampus-ouest.fr)*

*Téléphone / Phone : +33 (0)2 23 48 56 91*

*Fax : +33 (0)2 23 48 54 17*

**Philippe Le Goffe**

*Agrocampus Ouest, UMR1302, F-35000 Rennes, France*

*INRA, UMR1302, F-35000 Rennes, France*



**3èmes journées de recherches en sciences sociales  
INRA SFER CIRAD  
09, 10 & 11 décembre 2009 –Montpellier, France**



## **Modèle bioéconomique appliqué à la gestion du sanglier, dégâts agricoles et prix des chasses en forêt**

### **Résumé**

Le sanglier est à la fois une ressource et un nuisible : gibier valorisé par les chasseurs et responsable de dommages collectifs, notamment agricoles. Le papier s'intéresse au contrôle des populations de gibier. Notre analyse est basée sur un modèle bioéconomique. La population optimale correspond à la maximisation de la valeur présente de la richesse collective liée à la présence du sanglier, c'est-à-dire le flux actualisé sur un horizon infini du consentement à payer des chasseurs diminué des dommages agricoles. Nous prenons en compte la perte de bien-être d'une réduction des populations supportée par tous les chasseurs. Pour l'analyse empirique, nous avons reconstruit la dynamique des populations de sanglier à partir des données sur les dégâts agricoles. L'analyse des prix des adjudications des chasses en forêt domaniale a permis de révéler la demande de chasse au sanglier, en utilisant la méthode des prix hédonistes. Les solutions d'équilibre de long terme obtenues permettent d'apporter un éclairage sur la politique optimale de contrôle des populations de sanglier.

**Mots-clefs :** Modèle bioéconomique, gestion, chasse, dégâts agricoles, prix hédonistes.

**Classification JEL :** Q2, Q57

## **Managing wild-boar: bioeconomic model, agricultural damages and hunting lease prices in French public forests**

**Abstract:** Wild-boar can be considered both as a resource and as a pest. It causes collective damages and is also valued resource for recreative activity as hunting. The paper treats the economy of controlling a hunting game. A bio-economic model is presented and used for the analysis. The optimal population of big game is the one minimizing the present value of the hunter willingness to pay less agricultural damages with an infinite time horizon. We take into consideration the loss of the hunter welfare from a decrease in game population. For the empirical analysis, we used data on agricultural damages caused by wild-boar in order to reconstruct their population dynamics. Hunter marginal implicit prices for game hunting were estimated using the hedonic price method on a sample of hunting lease prices in eastern French forests. The long term equilibrium solutions can provide elements for optimal control strategies of wild-boar.

**Key-words:** Bio-economic model, management, hunting, agricultural damages, hedonic approach.

**JEL Classification:** Q2, Q57.

## 1. Introduction

Le sanglier est considéré à la fois comme une ressource et un nuisible. C'est un bien économique pour lequel il existe une demande car il est valorisé par les chasseurs. Mais c'est aussi une peste car responsable de dommages collectifs importants. Il s'agit de dégâts agricoles, de collisions automobiles et de risques sanitaires. On assiste depuis une trentaine d'années à une explosion des populations de sanglier. Les prélèvements suivent la même tendance. Ils ont été multipliés par 10 entre 1973 et 2001, passant de 40 000 à 400 000. Les raisons de cette augmentation sont multiples mais l'une d'elles est la régulation de la pression de chasse par les chasseurs, dans le but d'augmenter les populations jugées insuffisantes à une certaine époque. La volonté d'augmenter la qualité du loisir a conduit à une gestion conservatrice depuis le début des années 90. Les mesures de gestion de l'espèce telles que les plans de chasse avec un tableau maximum, le tir sélectif protégeant les femelles, les bracelets payants pour chaque sanglier abattu, ont certainement contribué au développement de ces populations de sanglier. D'autres raisons ont également renforcé le fort potentiel reproducteur de cette espèce, notamment l'augmentation de la disponibilité alimentaire en raison du développement du maïs et le développement des friches dû à la déprise agricole. L'indemnisation des dégâts agricoles et la mise en place de mesures de préventions de ces dégâts ont aussi eu un rôle positif sur l'évolution des populations de sanglier, en réduisant les conflits entre agriculteurs et chasseurs, et donc en atténuant en quelque sorte son caractère nuisible. 80% des 20 millions d'euros d'indemnisation des dégâts agricoles dus au gros gibier, par an et à l'échelle nationale, concernent le sanglier. Considéré autrefois uniquement comme nuisible, le sanglier est devenu une espèce noble et la base de la chasse rurale, ce qui se retrouve dans le prix des chasses.

L'objectif de cet article est d'essayer d'interpréter l'évolution de l'activité de chasse mais aussi des populations de sanglier sur les dernières décennies en mobilisant les concepts de l'économie des ressources. D'une situation proche de la tragédie des communs qui gérait uniquement les dommages par une pression de chasse forte sur les populations, on est passé à un optimum pour les chasseurs. Cet optimum est lié à la prise de conscience d'externalités de stock positives à travers la demande de chasse. La régulation de la pression de chasse a conduit à augmenter les populations de sanglier, permettant d'augmenter la satisfaction des chasseurs. L'optimum social correspond à la maximisation de la richesse collective liée à la présence du gibier. Il prend donc en compte à la fois l'impact environnemental à travers les dommages liés à la présence de gibier et l'effet positif de ces populations sur la satisfaction des chasseurs. Le cadre d'analyse proposé doit permettre de fonder la quantification des phénomènes décrits précédemment à partir des données empiriques. L'enjeu est de pouvoir ensuite déboucher sur des recommandations en matière de gestion des populations de gibier, en termes de niveau des populations à conserver ou d'élaboration d'instruments de gestion notamment économiques.

La littérature sur les modèles bioéconomiques appliqués à la gestion de la faune sauvage ou à la chasse n'est pas très abondante et s'inscrit dans la tradition classique des modèles développés sur les pêcheries. Ces travaux sur la chasse ou les espèces sauvages cherchent l'efficacité économique dans le cadre de modèles d'optimisation multi-usages qui diversifient coûts et bénéfices. Zirvin et *al.* (2000) analysent ainsi la gestion d'une espèce à la fois ressource et nuisible, le sanglier en Californie. Ces auteurs cherchent à maximiser le profit d'un propriétaire terrien provenant des revenus de la chasse net des dommages agricoles. La demande de chasse dépend uniquement de la quantité prélevée quelle que soit l'abondance de cette espèce. Ils considèrent le potentiel récréatif de la chasse et donc l'effort de chasse,

comme une politique de contrôle possible des populations de sanglier. Horan et Bulte (2004) proposent une classification économique des espèces à la fois ressource et nuisance à l'aide d'un modèle bioéconomique similaire. Ces auteurs s'intéressent à l'éléphant d'Afrique avec interdiction de commerce et montrent que cette réglementation a des effets plutôt ambigus sur l'abondance de la faune sauvage. Ils comparent l'équilibre concurrentiel de libre accès à l'optimum. C'est également ce que font Skonhofs (2005, 2006), Rakotoarison et *al.* (2009) (comparaison entre plusieurs scénarii et à l'optimum). Rondeau (2001) analyse les effets de la réintroduction d'une espèce à la fois source de bénéfice mais aussi de conflits en particulier avec les hommes. L'analyse empirique porte sur les populations de cervidés. Skonhofs (2005), Skonhofs et Olausson (2005) modélisent les phénomènes de migration d'une espèce, l'élan, source de dommages dans certaines zones géographiques mais valorisé dans d'autres. Schwabe et *al.* (2002) s'interrogent sur les gains économiques potentiels d'une réduction des collisions automobiles avec les populations de cervidés. La partie empirique étudie les déterminants des collisions automobiles, en utilisant les prélèvements effectués par les chasseurs comme variable proxy du stock de cervidés. Rakotoarison (2007) fait une analyse coût-bénéfice de la régulation des populations de sanglier dans le Sud-Ouest de la France. Sa fonction de dommage fait apparaître le prélèvement comme indicateur de la densité des populations de sanglier.

Notre analyse repose également sur un modèle bioéconomique avec la spécification d'une fonction de production biologique pour les populations de gibier. On cherche à maximiser dans un cadre dynamique la richesse collective liée aux grands gibiers, différence entre la valeur de la chasse et les dommages causés par la présence de gibier. Mais la particularité de notre modèle est d'utiliser une fonction de demande (c'est ici le bénéfice net des chasseurs) dépendant à la fois des prélèvements mais aussi de l'abondance du stock de gibier, afin de mettre en évidence l'effet négatif de la baisse du stock sur la valeur de la chasse. L'autre particularité est d'avoir construit un indice d'abondance des populations de sanglier à partir des dégâts aux cultures, en l'absence de données sur le suivi des stocks, et de l'avoir utilisé pour reconstituer la dynamique de ces populations. Ainsi, en s'inspirant des pêcheries, nous avons estimé une fonction de croissance à partir de la relation statistique liant l'effort de chasse à l'indice d'abondance. La fonction de dommage se déduit ensuite de la construction de l'indice d'abondance.

Par ailleurs, parmi les grandeurs économiques de notre modèle, il a fallu évaluer la demande de chasse au sanglier. La littérature sur l'évaluation des actifs naturels est abondante. Mais, celle concernant la valeur de la chasse ou du gibier l'est moins, et concerne surtout des régions d'Amérique du Nord. La plupart des auteurs utilisent les marchés de droits de chasse (baux de chasse) pour déterminer la valeur de certains attributs, notamment la présence de la faune sauvage, en particulier le grand gibier. La méthode des prix hédonistes est souvent utilisée et consiste à révéler la demande gibier ou d'espèces sauvages en général. C'est celle utilisée par Livengood (1983) pour déterminer la demande de cerfs mais aussi par Pope et Stoll (1985), dans l'Etat du Texas. Messonier et Luzar (1990) montre que la possibilité de chasser le cerf est un attribut significatif de la valeur des baux de chasse en Louisiane. Ils utilisent une forme fonctionnelle flexible de type Box-Cox. Munn et *al.* (2004) utilisent également cette méthode pour déterminer les facteurs expliquant la différence de valeur des baux de chasse dans deux régions des Etats-Unis et montrent que les mesures de gestion de la faune sauvage sont fortement valorisées. Henderson et Moore (2006) analysent l'impact de la valeur des baux de chasse sur celle des terres agricoles au Texas avec un modèle de prix hédoniques. Luzar et *al.* (1992) analysent de façon simultanée les déterminants des droits d'accès aux sites de chasses et la qualité comme variable latente déterminante dans le choix

des usagers. Zhang et *al.* (2006) étudient de façon jointe le choix des propriétaires fonciers privés de mettre en location, ou pas, des terres pour des activités de chasse en Alabama. Ils utilisent un modèle Probit. Et pour ceux qui acceptent, ils expliquent ce qui fonde la valeur des baux de chasses (diversité du gibier notamment) en tenant compte du biais de sélection. D'autres méthodes ont été utilisées pour déterminer des consentements à payer en s'appuyant sur les intentions des chasseurs avec la méthode d'évaluation contingente (Hussain et *al.*, 2004 ; Loomis et *al.*, 2002 ; Gürlük S., 2006), ou sur la méthode des coûts de transport (Cocheba et Langford, 1978 ; Knoche et Lupi, 2007). La méthode des prix hédonistes s'est imposée de façon évidente puisque nous disposons des prix des adjudications de chasse en forêt domaniale en France. Mais à la différence de Livengood (1983), Pope et Stoll (1985), Messonier et Luzar (1990), nous introduisons dans la fonction de demande de gibier, la densité de gibier en plus des prélèvements. L'idée est ici de faire apparaître l'effet négatif d'une baisse du stock sur la valeur de la chasse.

Nous présentons dans une première partie le cadre analytique de la gestion des populations de gibier permettant de définir l'optimum collectif. Nous discutons et comparons alors les différents équilibre et optima (tragédie des communs, optimum des chasseurs et optimum collectif). L'application empirique utilise d'une part les dommages agricoles avec pour objectif de reconstituer la dynamique des populations des sangliers en raison de l'absence de données. Elle analyse d'autre part les déterminants du prix de location des chasses en forêt domaniale à l'aide de la méthode des prix hédonistes, l'intérêt étant d'en déduire la demande de chasse au sanglier. La confrontation des dommages à la valorisation de la chasse à partir du modèle développé permet ensuite de déterminer les différents optima en s'intéressant à une région en particulier, l'est de la France.

## **2. Le cadre analytique de la gestion optimale des populations de gibier : un modèle bioéconomique**

Le niveau optimal de la population de gibier est celui qui maximise la richesse collective générée par ce gibier. Il ne correspond pas forcément à la conservation des populations de sanglier. La politique optimale de gestion des populations de gibier peut être très différente selon que les dommages occasionnés par le gibier sont importants ou non par rapport aux bénéfices de la chasse. On suppose ici que la gestion de la population de gibier est confiée à un gestionnaire unique qui en a la pleine propriété. Il tire de la présence de ce gibier un bénéfice lié à la valorisation par la chasse. Mais il subit des dommages occasionnés par la présence de ce gibier, ainsi que des coûts liés aux moyens mis en œuvre pour prévenir ces dégâts. Son taux de préférence pour le présent fini et positif, le pousse à faire un arbitrage dans le temps entre privilégier l'activité chasse en laissant la population proliférer mais occasionner plus tard des dommages qui vont réduire la valeur totale liée à ce gibier, ou alors contrôler sa prolifération aujourd'hui de façon à réduire les dommages futurs. Le problème de ce gestionnaire est donc d'obtenir la valeur actualisée maximale du flux de bénéfice net tiré de la population de gibier, c'est-à-dire le bénéfice lié à la valeur de la chasse moins les dommages subis, sans autres contraintes que la dynamique de renouvellement de la ressource et la positivité des variables d'état et de contrôle.

On suppose que la population de gibier suit une loi de croissance logistique. On fait ainsi l'hypothèse que, au fur et à mesure que l'espèce prolifère, apparaissent des phénomènes de compétition et des interactions biologiques, qui conduisent l'espèce à proliférer de moins en moins à partir d'un certain niveau et donc à se stabiliser. La fonction de production naturelle

de la population, notée  $G(S)$ , est donc supposée strictement concave avec un maximum en  $S_{MSY}$ <sup>1</sup> qui est le rendement maximum biologique de l'espèce (cadran du bas de le graphique 2). Elle est croissante pour une population de gibier inférieure au  $S_{MSY}$  et décroissante pour une population comprise entre le  $S_{MSY}$  et la capacité de biomasse maximum que l'écosystème peut supporter, notée  $K$ . On pose donc les hypothèses classiques suivantes :

$$\begin{aligned} G(S) > 0 \text{ pour } 0 < S < K, \quad G(0) = G(K) = 0, \quad G_S(S) > 0 \text{ pour } S < S_{MSY}, \\ G_S(S) < 0 \text{ pour } S > S_{MSY}, \quad G_S(S_{MSY}) = 0 \text{ et } G_{SS}(S) < 0 \end{aligned} \quad (1)$$

Où  $G_S$  et  $G_{SS}$  désignent les dérivées premières et secondes de la fonction  $G(S)$  (ces notations s'appliqueront aux dérivées partielles des autres fonctions utilisées).

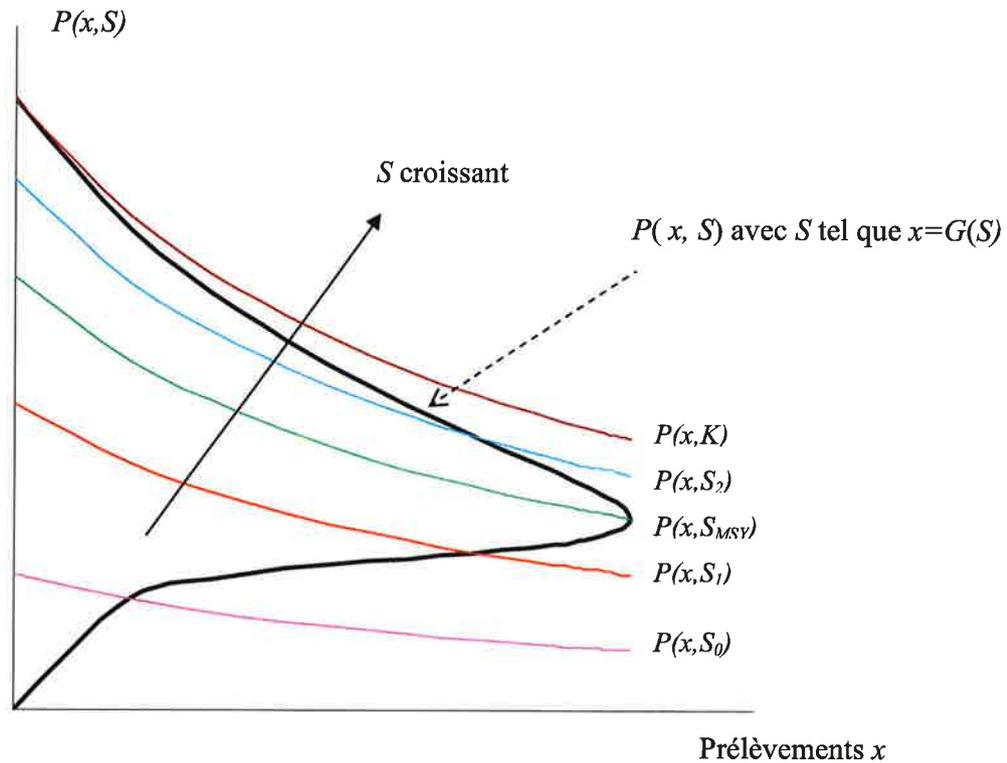
En présence d'un prélèvement  $x$  par les chasseurs, l'évolution naturelle de la biomasse du stock de gibier est modifiée et est régie par :  $\frac{dS}{dt} = G(S) - x$  (2)

La valeur de la chasse au sanglier, notée  $P(x, S)$ , que l'on peut assimiler au consentement à payer des chasseurs pour pouvoir abattre un sanglier supplémentaire, décroît avec la quantité de sangliers prélevée. Elle croît avec la densité de sangliers, mais à un taux probablement décroissant. Ce consentement à payer est net des dépenses occasionnées pour la pratique de la chasse. On est donc ici en présence d'externalités de stock positives, que l'on peut décomposer en deux effets. Un effet classique du stock comme dans le cas de la pêche, où le coût de l'effort est plus important si les populations ciblées sont rares, qui s'apparente à un coût en termes de localisation de la ressource. L'autre effet est lié au fait que la qualité de la chasse dépend également, pour les chasseurs, de la possibilité de voir du gibier même si celui-ci n'est pas prélevé. Ce second effet positif est lié uniquement à l'existence du gibier. D'ailleurs à ce titre, les chasseurs évoquent eux-mêmes le fait qu'ils souhaitent pouvoir chasser dans des populations nombreuses (Klein et al., 2000). A même niveau de prélèvement, le consentement à payer marginal est élevé quand la population de sanglier est abondante et inversement. D'où les hypothèses suivantes :

$$P(x, S) \geq 0 ; P(0, S) \rightarrow +\infty ; P(x, 0) = 0 ; P_x(x, S) < 0 ; P_S(x, S) > 0 ; P_{SS}(x, S) < 0 \quad (3)$$

Les fonctions de consentement à payer marginal en fonction du prélèvement pour un niveau de stock donné sont représentées par les courbes en trait fin (graphique 1). La courbe la plus haute correspond à la capacité maximum  $K$  de gibier. La courbe en trait gras est le lieu des points d'équilibre entre la croissance et le prélèvement, c'est-à-dire  $x = G(S)$  tel que  $\dot{S} = 0$ . La branche basse de la courbe correspond à un prélèvement d'équilibre croissant avec la population, on se trouve donc en deçà du  $S_{MSY}$  tandis que la branche haute correspond à un prélèvement décroissant avec l'augmentation de la population, on est donc au-delà du  $S_{MSY}$ . Le prélèvement maximal possible est celui pour lequel l'accroissement de la population de gibier est maximale ( $x_{MSY} = G(S_{MSY})$ ).

<sup>1</sup> *MSY* : Maximum Sustainable Yield



Graphique 1. Fonctions inverses de demande de chasse à stock constant et pour le stock d'équilibre croissance – prélèvement

La fonction de dommage, notée  $D(S)$ , est supposée continue et deux fois différentiable. On la suppose croissante et concave avec la taille de la population de gibier. On suppose ainsi que les dommages vont croître avec l'abondance du gibier, mais qu'une fois le gibier passé sur une surface cultivée, les cultures étant fortement endommagées, l'augmentation des dégâts dus au passage d'animaux supplémentaires sera de plus en plus faible.

$$D(S) > 0 ; D_S(S) > 0 ; D_{SS}(S) \leq 0 ; D(0) = 0 \quad (4)$$

En désignant par  $\delta$  le taux d'actualisation, on peut alors écrire le problème de la façon suivante :

$$\text{Max}_x \int_0^{+\infty} \left( \int_0^x P(r,S) dr - D(S) \right) e^{-\delta t} dt \quad (5)$$

Sous les contraintes :

$$\dot{S} = G(S) - x \quad (2)$$

$$S \geq 0 \quad (6)$$

$$x \geq 0 \quad (7)$$

On a donc un problème de contrôle optimal classique à horizon infini où le prélèvement est la variable de contrôle. On le résout ici par le principe du maximum en introduisant la fonction du Hamiltonien. Le Hamiltonien courant s'écrit :

$$\tilde{H} = \int_0^x P(r,S) dr - D(S) + \mu(G(S) - x) \quad (8)$$

Où  $\mu$  est la variable adjointe courante de la ressource, c'est-à-dire la valeur virtuelle du gibier. Les conditions nécessaires déduites de la maximisation du Hamiltonien courant sont les suivantes :

$$\frac{\partial \tilde{H}}{\partial x} = P(x, S) - \mu \leq 0, \quad x \geq 0, \quad x \cdot \frac{\partial \tilde{H}}{\partial x} = 0 \quad (9)$$

$$P(x, S) < \mu \Rightarrow x = 0 \quad (10a)$$

$$P(x, S) = \mu \Rightarrow x > 0 \quad (10b)$$

$$\dot{\mu} - \delta\mu = -\frac{\partial \tilde{H}}{\partial S} = -\int_0^x P_S(r, S) dr + D_S(S) - \mu G_S \quad (11)$$

$$\frac{\partial \tilde{H}}{\partial \mu} = \dot{S} = G(S) - x \quad (12)$$

$$\lim_{t \rightarrow +\infty} \mu \cdot e^{-\delta t} \cdot S = 0 \quad (13)$$

La condition nécessaire (10) nous dit que la valeur de la chasse doit être égale à la valeur virtuelle de la ressource pour avoir une solution intérieure. Si le consentement à payer marginal est une fonction strictement convexe en  $x$ , la valeur optimale de  $x$  sera unique et comprise entre 0 et  $x_{MSY}$  (pas de solution bang-bang). On peut alors trouver, pour  $\mu = P(x, S)$ , une fonction de prélèvement :  $P(x, S) = \mu \Leftrightarrow x(\mu, S) > 0$  (14)

Elle est croissante avec la taille de la population  $S$  et décroissante avec la valeur virtuelle de la ressource.

$$\frac{\partial x}{\partial S} = -\frac{P_S}{P_x} > 0 \quad (15)$$

$$\frac{\partial x}{\partial \mu} = \frac{1}{P_x} < 0 \quad (16)$$

La solution doit vérifier les équations différentielles (11) et (12), avec la fonction de prélèvement  $x(\mu, S)$  définie par la condition nécessaire (10). Une solution stationnaire intérieure, si elle existe, correspond à  $\dot{S} = 0$  et  $\dot{\mu} = 0$ . Elle doit donc satisfaire les relations suivantes :

$$\dot{S} = G(S) - x = 0 \quad (17)$$

$$\dot{\mu} = -\int_0^x P_S(r, S) dr + D_S(S) + \mu(\delta - G_S) = 0 \quad (18)$$

Si une solution stationnaire non nulle ( $\mu^*, S^*, x^*$ ) existe, elle doit donc vérifier la condition suivante :

$$\mu^* = P(x^*, S^*) = \frac{-\int_0^{x^*} P_S(r, S^*) dr + D_S(S^*)}{G_S(S^*) - \delta} \quad \text{avec } G(S^*) = x^* \quad (19)$$

A l'état stationnaire, la valeur de la variable adjointe de la population de gibier, autrement dit sa valeur virtuelle, doit être égale au consentement à payer marginal des chasseurs. Celles-ci doivent être égales à la valeur actualisée de la différence entre le dommage marginal et

l'externalité de stock (le taux d'actualisation utilisé (au signe près) étant ici  $\delta$  et la productivité marginale du stock de gibier).

$$\text{La condition (19) peut encore s'écrire: } G_S = \delta + \frac{D_S - \int_0^{x^*} P_S dr}{P(x^*, S^*)} \quad (20)$$

Dans le cas où le dommage marginal d'un sanglier en plus dépasse l'externalité de stock de ce sanglier supplémentaire, la condition (20) établit que, à l'optimum, la productivité marginale de la population (c'est-à-dire la pente de la courbe d'accroissement de la population en fonction de la densité du gibier) est positive. La taille de la population est alors en deçà de celle correspondant au MSY. Dans le cas où le dommage marginal est inférieur à l'externalité de stock, la productivité marginale du stock peut être positive ou négative en tout cas, elle sera inférieure au taux d'actualisation. La solution optimale est alors supérieure à  $\tilde{S}$  défini par  $G_S(\tilde{S}) = \delta > 0$  ( $\tilde{S} < S_{MSY}$ ), elle peut donc être à droite ou à gauche du MSY.

Pour que la solution corresponde à un maximum, le Hamiltonien doit être strictement concave par rapport à la variable d'état  $S$ , le long de la trajectoire optimale, soit :

$$\tilde{H}_{SS}^* = \int_0^{G(S)} P_{SS}(S, r) dr + G_S P_S - D_{SS} + (P_x G_S + P_S) G_S + P \cdot G_{SS} < 0 \quad (21)$$

Le signe de cette condition est ambigu. Seule l'application numérique permettra de confirmer que la solution correspond bien à un maximum.

### Comparaison des équilibres et optima

Les différents équilibre et optima selon le taux d'actualisation sont représentés sur le graphique 2. Le cadran du haut correspond à la courbe de demande à l'équilibre croissance de la population-prélèvement représenté sur le graphique 1. Le cadran du bas représente la courbe classique de croissance de la population de gibier en fonction de son abondance. Chaque point de cette courbe correspond à un équilibre tel que  $x = G(S)$ .

Le caractère commun de cette ressource en accès libre l'a exposé avant 1990 à la tragédie des communs. En l'absence de coopération, les chasseurs étaient incités à prélever beaucoup sur les populations de gibier sans se préoccuper de l'impact sur la taille et le renouvellement des populations. Cette situation est équivalente à un taux de préférence  $\delta$  pour le présent infini de la part des chasseurs. Sans droit de propriété sur la chasse et avec une population supposée exogène par les chasseurs, la condition (19) conduit à un consentement à payer marginal nul, soit :  $P(\hat{x}, \hat{S}) = 0$ . Comme  $\hat{x} = G(\hat{S})$ , la condition (20) indique alors une productivité marginale  $G_S$  très forte et positive, correspondant à un stock d'équilibre très faible. Les fonctions utilisées pour les simulations sur le graphique 2 conduisent à un stock nul pour la tragédie des communs. On peut envisager le cas de fonctions telles que les valeurs du consentement à payer marginal à l'équilibre croissance-prélèvement soient négatives pour certains niveaux de stock, dans ce cas la solution du libre accès est un stock positif (au-delà ou en deçà du  $S_{MSY}$ ). On sait cependant d'après nos hypothèses que  $P(x, S)$  est d'autant plus faible que le stock se raréfie.

Quant à l'optimum des chasseurs  $(\tilde{x}, \tilde{S})$ , il correspond à la prise en compte de la relation entre les prélèvements de gibier et les populations et en supposant l'existence d'externalités de

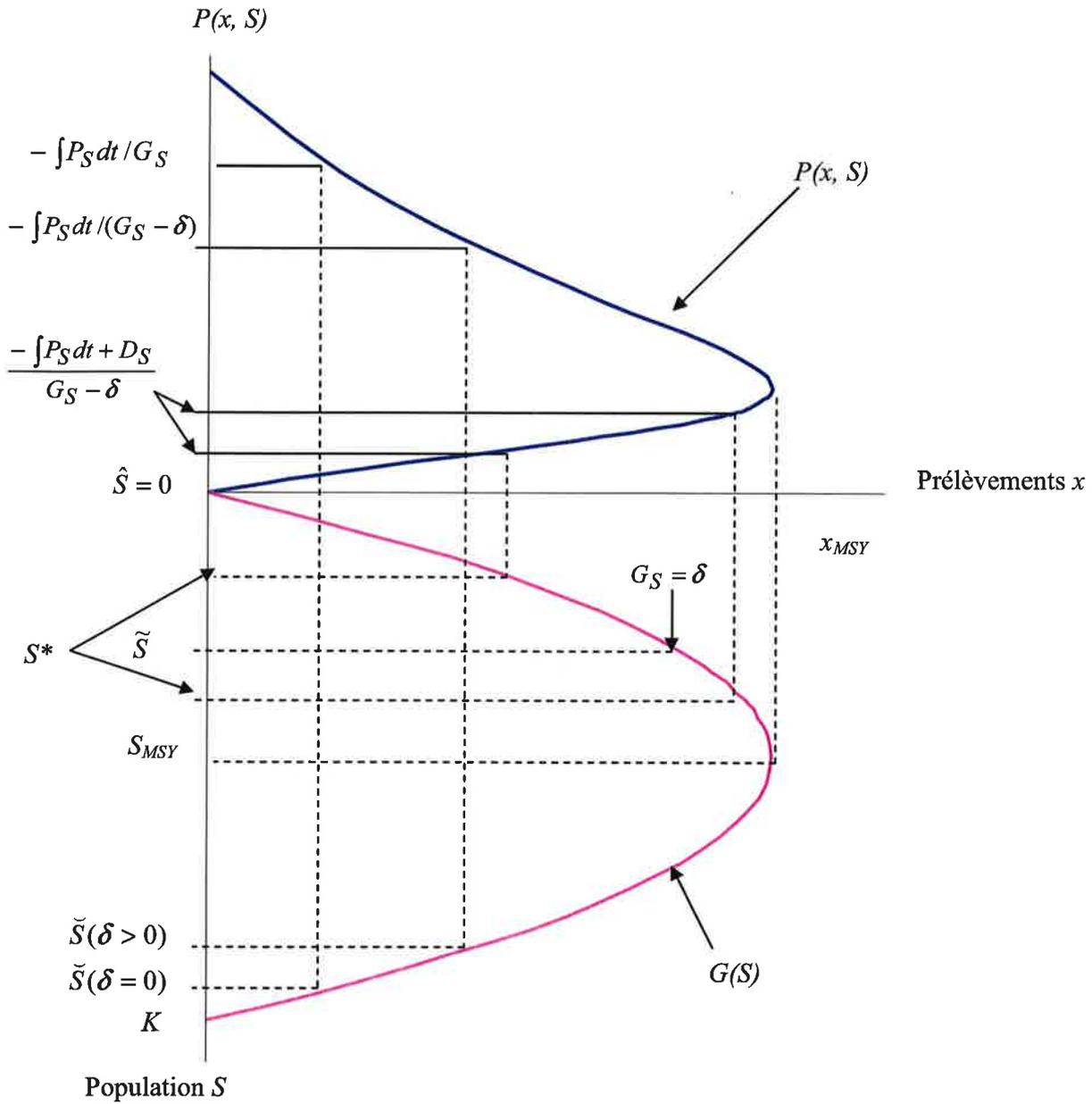
stock. Il est atteint à partir de la condition (19) qui devient :  $P(\bar{x}, \bar{S}) = \frac{-\int_0^{\bar{x}} P_S(r, \bar{S}) dr}{G_S(\bar{S}) - \delta}$  avec

$G(\bar{S}) = \bar{x}$ . Cette expression s'écrit encore :  $G_S(\bar{S}) = \delta - \frac{\int_0^{\bar{x}} P_S(r, \bar{S}) dr}{P(\bar{x}, \bar{S})}$ . Un taux de préférence

pour le présent  $\delta$  nul induit une productivité marginale du stock  $G_S$  négative correspondant à une population optimale  $\bar{S}$  au-delà du  $S_{MSY}$  (optimum statique). La conservation de la population de gibier est moindre avec un taux d'actualisation positif et fini. En effet, la pente, égale au taux d'actualisation diminué de l'externalité de stock, peut être positive ou négative. La population optimale  $\bar{S}$  est alors au-delà ou en deçà du  $S_{MSY}$ . Cependant, elle est toujours supérieure au niveau  $\tilde{S}$  (correspondant à un taux de rendement de la population de sanglier égal au taux  $\delta$ ). L'optimum des chasseurs serait un stock proche de zéro pour un taux d'actualisation infini, ce qui a peu de chance d'arriver.

A l'optimum collectif, la condition (20) donne une valeur de la productivité marginale du stock toujours plus élevée qu'à l'optimum des chasseurs, puisque l'on considère les effets environnementaux négatifs dus aux dommages marginaux. Si l'externalité de stock l'emporte sur le dommage marginal, le stock  $S^*$  se trouve au-delà de  $\tilde{S}$  ( $G_S < \delta$ ), mais toujours en deçà du stock  $\tilde{S}$  optimal pour les chasseurs. Sinon, en cas de dommage marginal prévalant sur l'externalité de stock, il est optimal pour le gestionnaire de diminuer fortement le stock à un niveau inférieur à  $\tilde{S}$  ( $G_S > \delta$ ). Ces deux solutions possibles pour  $S^*$  sont présentées sur le graphique 2 à partir des simulations. A la limite, la solution optimale peut être proche de l'équilibre de la tragédie des communs, si les dommages marginaux sont relativement élevés, ou si la demande de chasse est extrêmement faible.

Si la politique optimale est une réduction des populations, la transition vers cette situation se fera en exerçant une pression forte au début de façon à faire diminuer le stock. Il faut dans ce cas inciter les chasseurs à augmenter leurs prélèvements, ce que ne fait pas le système actuel de bracelet payant pour tout sanglier tué. A plus long terme, les prélèvements devront être maintenus à un niveau qui peut être en deçà ou au-delà de celui qui prévaut aujourd'hui.

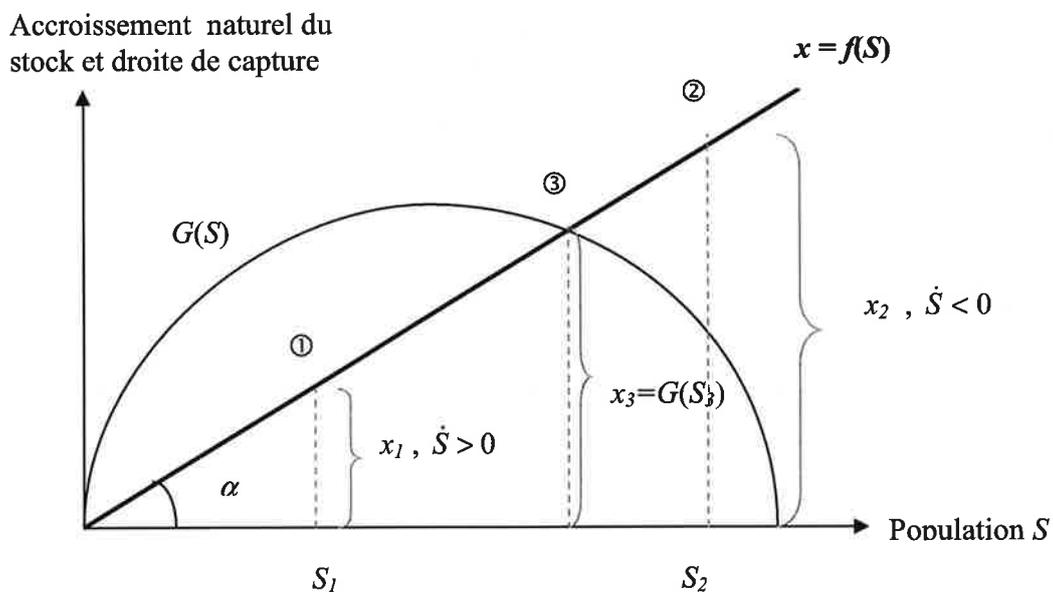


Graphique 2. Comparaison des différents équilibres et optima selon le taux d'actualisation

### 3. Dynamique des populations de sangliers : utilisation des dommages agricoles observés

Nous faisons dans notre modèle l'hypothèse classique que la population de sanglier est assimilable à une biomasse agrégée et indifférenciée, dont la croissance dépend de la densité et a une forme logistique standard. Pour l'application empirique de notre modèle, nous avons besoin d'estimer la fonction de croissance. Le problème est qu'on ne dispose pas de données nationales sur les densités de sanglier, qui nous permettrait d'estimer la dynamique de ces populations. Seules quelques rares populations sont suivies de manière détaillée dans le temps (Klein et al., 2004). Nous avons donc cherché un indice d'abondance des populations de sanglier.

Une première analyse des dommages agricoles (Ropars-Collet, Le Goffe, 2007) reposait sur l'hypothèse assez frustrante que le prélèvement de sanglier  $x$  reflète le stock  $S$  responsable du dommage :  $x = f(S) = \alpha S$ . Cette démarche est celle retenue également par Schwabe et al. (2002) et Rakotoarison (2007). L'hypothèse est alors celle de rendements constants où les prélèvements sont d'autant plus importants que l'effort de chasse est important à stock constant. Ceci correspond à la droite de capture du modèle bioéconomique classique de Gordon Schaefer. Cependant avec cette hypothèse, nous ne sommes jamais à l'équilibre où l'accroissement du stock est entièrement prélevé (③ sur le graphique 3). Selon la taille des populations, le prélèvement peut augmenter (①) ou diminuer (②) ces populations, si le même effort est maintenu.



Graphique 3. Courbe d'accroissement des populations de sanglier et droite de prélèvement

On observe bien une corrélation statistique entre les dommages et les prélèvements  $x$ , mais ce qu'on observe plus probablement, c'est une droite de prélèvement, mais à la condition que les dommages reflètent en partie le stock. Les dégâts agricoles correspondent à la recherche de nourriture hors des forêts, il existe donc une corrélation entre population et dégâts (Klein et

al., 2004). Notre démarche a donc été de reconstruire la dynamique des populations de sanglier à partir des données sur l'indemnisation des dégâts agricoles. Nous disposons de données départementales, sur une période allant de 1991 à 2003, soit un échantillon de 946 observations. Les données sur les prélèvements de sangliers proviennent de l'Office National de la Chasse (ONCFS). Les données sur l'indemnisation aux agriculteurs des dégâts aux cultures sont celles recueillies par l'ONCFS de 1991 à 1999 et par la Fédération Nationale des Chasseurs (FNC) de 2001 à 2003 (seule manque l'année 2000). Les montants des dommages portent sur les cultures en maïs grain et fourrage, les autres céréales, les prairies, les oléagineux, la vigne et les fruits. Les données départementales de surface des cultures principales, la surface agricole utile proviennent du Recensement Général Agricole de 1998 et 2000. Les surfaces boisées sont tirées de l'Inventaire Forestier National (IFN). 79% des indemnisations totales concernent les dégâts causés par les sangliers. Sur ce montant, 46% portent sur les dégâts sur le maïs, 26 % sur les autres céréales et 20% sur les prairies. Le montant des indemnisations des dommages aux cultures causés par le sanglier a été divisé par les prix à la production hors subvention ou par un indice de prix afin d'en déduire les dommages en quantité. Les données annuelles sur les prix et les indices de prix des principales cultures endommagées proviennent des séries Agreste.

Nous avons retenu comme zone d'étude l'est de la France. Nous avons d'abord calculé un indice d'abondance des populations de sangliers ( $IAC_i$ ) par culture. Nous l'avons construit en divisant le dommage physique à la culture par hectare de culture endommagée pour chaque observation  $i$  (département), à la moyenne régionale  $\bar{d}_c$ , soit :  $IAC_i = \frac{Dc_i / Sc_i}{\bar{d}_c}$ , où

$$\bar{d}_c = \frac{\sum_i^N (Dc_i / Sc_i)}{N} . Dc_i \text{ est le dommage sur la culture } c \text{ (en quantité), } Sc_i \text{ est la surface de la}$$

culture  $c$  endommagée et  $N$  est le nombre d'observations pour la région. Les moyennes et écarts-types de l'indice d'abondance sont proches pour les différentes cultures, il nous a donc paru légitime de calculer un indice moyen pondéré. Nous avons donc par la suite calculé un indice d'abondance ( $IA_i$ ), moyenne des  $IAC_i$  sur les trois cultures principalement endommagées, pondérée par les surfaces de ces cultures endommagées ( $Sc_i$ ), soit :

$$IA_i = \frac{\sum_c^3 IAC_i \cdot Sc_i}{\sum_c^3 Sc_i} . \text{ Il est possible que cet indice d'abondance varie en fonction de la surface en}$$

forêt et de la surface agricole utile du département, et ne soit pas uniquement lié à la présence de sanglier. Cependant, aucune relation statistique significative n'a été mise en évidence entre l'indice d'abondance et le pourcentage de surface agricole utile et/ou de surface forestière du département.

L'objectif est ensuite de relier l'indice d'abondance à l'effort de chasse. Il s'agit ainsi de trouver une relation similaire à la droite de Schaefer, dans le cas des pêcheries, qui associe effort de pêche et abondance d'un stock à l'équilibre croissance-pêche. Pour cela nous avons construit un multiplicateur d'effort ( $mE_i$ ). Nous l'avons défini comme le rapport entre le prélèvement en sanglier par hectare de surface rurale  $x_i$  (la surface rurale étant la somme de la surface forestière et de la surface agricole utile) et l'indice d'abondance  $IA_i$ , soit  $mE_i = \frac{x_i}{IA_i}$ .

Cependant, l'indice d'abondance observé et le multiplicateur d'effort associé ne correspondent pas à des points d'équilibre. Le niveau de l'indice d'abondance que l'on

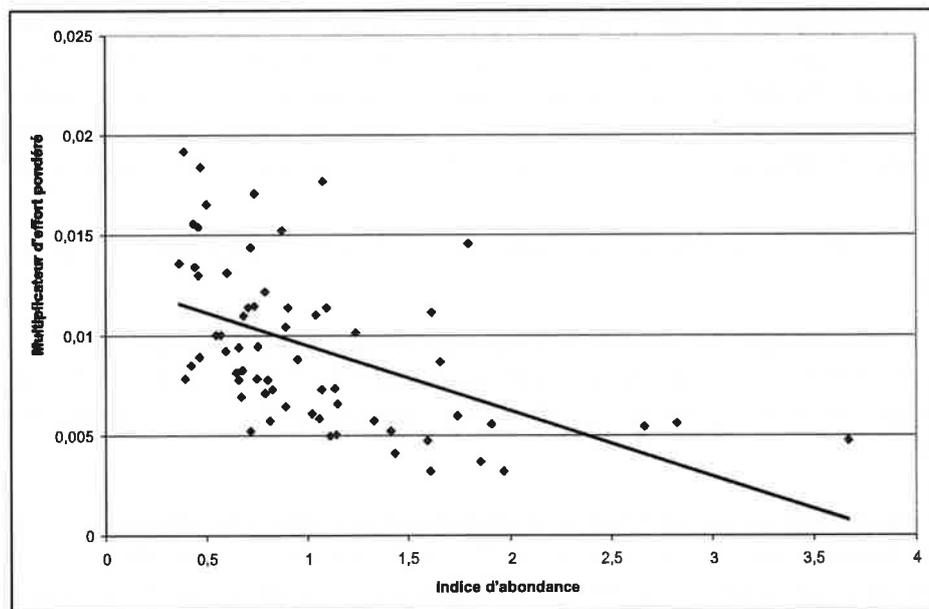
observe dépend certes du niveau d'effort de chasse présent, mais aussi des efforts passés. Nous l'avons donc relié à un multiplicateur d'effort pondérée sur plusieurs années ( $m\bar{E}_i = (3mE_i + 2mE_{i-1} + mE_{i-2})/(3 + 2 + 1)$ ). Ceci nous permet alors de se rapprocher d'un pseudo-équilibre entre effort de chasse et indice d'abondance.

L'ajustement de la fonction de réaction du stock de sanglier face à la pression de chasse a ensuite été estimé. Nous avons choisi un modèle linéaire. Les résultats de l'estimation par les moindres carrés ordinaires sont les suivants :  $\hat{IA} = 1,76 - 77,58.m\bar{E}$  (22)

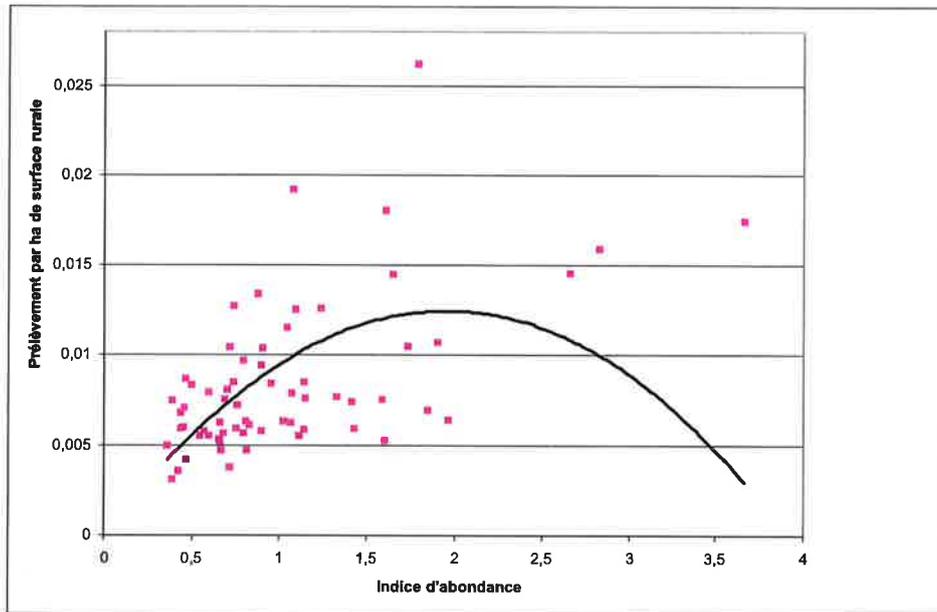
Les écart-types robustes (méthode de White) sont respectivement 10,19 et -4,58. Les paramètres sont donc significatifs au seuil de 1%. Cependant, la qualité de l'ajustement est médiocre ( $R^2 = 0,38$ ). D'autres formes ont été testées mais n'ont pas conduit à de meilleurs résultats.

La relation décroissante entre indice d'abondance et multiplicateur d'effort pondéré est présentée sur le graphique 4. On en déduit alors facilement une relation entre les prélèvements d'équilibre (par hectare de surface rurale) et l'indice d'abondance, en remplaçant  $m\bar{E}$  par  $\frac{x}{IA}$ .

Cette courbe d'équilibre entre  $x$  et  $IA$ , d'allure parabolique (graphique 5), est aussi la courbe de production biologique en fonction de l'abondance du stock, que nous noterons désormais  $G(IA)$  ( $IA$  reflète le stock  $S$  de sangliers). Les points sur le graphique 5 sont les prélèvements observés par hectare de surface de rurale associé à l'indice d'abondance calculé (à partir des dommages observés). Ces points correspondent à des niveaux d'effort différents et ne sont donc pas des points d'équilibre. Ce ne sont pas ceux qui ont servi à ajuster la courbe.



Graphique 4. Relation entre indice d'abondance et multiplicateur d'effort pondéré



Graphique 5. Relation entre indice d'abondance et prélèvement à l'équilibre

Nous exprimerons donc par la suite la condition pour un optimum, en fonction de l'indice

$$d'abondance IA, \text{ soit : } G_{IA}(IA) = \delta + \frac{D_{IA}(IA) - \int_0^x P_{IA}(r, IA) dr}{P(x, IA)} \quad (22)$$

Les dommages agricoles (en quantité) ont été utilisés pour retracer la dynamique des populations de sanglier. On peut alors retrouver la fonction de dommage (en valeur)  $D(IA)$ . Elle s'exprime de la manière suivante :  $D(IA) = \sum_c p_c \cdot IA_c \cdot S_c \cdot \bar{d}_c$  où  $p_c$  est le prix à la production hors subvention de la culture  $c$  endommagée. Les indices d'abondance calculés par culture ( $IA_c$ ) sont très fortement corrélés et du même ordre de grandeur. Nous avons donc fait une approximation avec l'hypothèse d'un indice d'abondance identique quel que soit la culture. De ce fait, on fait l'hypothèse d'une fonction de dommage linéaire en  $IA$ , soit :

$$D(IA) = IA \sum_c p_c \cdot S_c \cdot \bar{d}_c \quad (23)$$

Le dommage marginal s'exprime alors simplement :  $D_{IA}(IA) = \sum_c p_c \cdot S_c \cdot \bar{d}_c \quad (24)$

#### 4. La demande de chasse au sanglier

Le bénéfice des chasseurs ou encore le consentement à payer (net des dépenses occasionnées pour la pratique de la chasse) est révélée ici par l'analyse hédoniste du prix des chasses. La méthode des prix hédoniste consiste à révéler le prix implicite des différents attributs d'un bien à partir de son prix global. Elle analyse la formation des prix des biens différenciés définis par leurs caractéristiques. Les agents économiques valorisent les biens en termes d'un ensemble de caractéristiques qui constituent ces biens. Cette méthode trouve ses fondements dans les travaux de Lancaster (1966). C'est Rosen (1974) qui formalise le premier la méthode

des prix hédonistes. Il considère un bien différencié décrit par ses caractéristiques  $z = (z_1, \dots, z_n)$  dont le prix dépend de l'ensemble de ces caractéristiques  $P(z) = P(z_1, \dots, z_n)$ . Le consommateur a une fonction d'utilité,  $U(x, z_1, \dots, z_n)$ , où  $x$  est un bien composite de prix unitaire. Il choisit l'attribut  $i$  tel que :  $\frac{\partial P(z)}{\partial z_i} = \frac{\partial U / \partial z_i}{\partial U / \partial x}$ . A l'équilibre du consommateur, le prix

marginal implicite de la caractéristique  $z_i$  est égal au consentement à payer (CAP) marginal pour l'accroissement de cette caractéristique. Les fonctions de prix hédonistes sont généralement des équations de forme réduite tenant à la fois compte de l'offre et de la demande. La méthode consiste donc à estimer le prix d'un bien en fonction d'un ensemble de caractéristiques lors d'une première étape. La seconde étape consiste à estimer la fonction de demande inverse. On régresse alors le prix implicite de l'attribut  $i$ , sur les caractéristiques des individus et les quantités des différents attributs. Les études hédonistes appliquées à l'environnement sont nombreuses et utilisent des marchés substitués pour estimer la valeur de biens non marchands. Le Goffe (2000) présente les principes de la méthode et les difficultés rencontrées lors de l'application à l'évaluation des biens environnementaux. Nous allons utiliser cette méthode pour obtenir les fonctions de demande inverse de gibier, notamment de sanglier, en utilisant le prix de location des chasses en France. L'idée est donc de trouver les déterminants du prix des chasses et d'en déduire les prix implicites pour chacune des caractéristiques le composant. Nous chercherons à expliquer ces prix de location en fonction, entre autres, des différents stocks de gibiers présents dans les forêts françaises.

#### Les données et variables utilisées

En France, les forêts nationales sont gérées par l'Office National des Forêts (ONF). L'ONF gère la production de bois et la chasse. La plupart des baux de chasse sont vendus aux enchères ascendantes pour une durée d'environ 12 ans. Les articles (unité d'enchère unique et indivisible) peuvent correspondre à des forêts entières ou des morceaux de forêts et sont décrits dans des catalogues. Tous les articles d'une même zone sont mis aux enchères publiques le même jour, permettant ainsi aux enchérisseurs d'obtenir toute l'information sur les locations de chasse. Les enchérisseurs peuvent être des individus ou une entité légale telle qu'une société de chasse. L'enchère gagnante est l'enchère la plus haute supérieure au minimum établi par l'ONF avant l'enchère. Un schéma de priorité existe également : le dernier locataire est prioritaire sur un article s'il offre un prix au moins égal à la plus haute enchère (gagnante). Il n'a pas à enchérir mais à appliquer sa priorité. Les données proviennent donc des catalogues décrivant chaque article fournis par l'ONF et établis pour les enchères 2004. Il existe certainement une segmentation du marché entre les différentes régions. Nous avons restreint l'analyse sur la zone Est et notamment aux forêts des départements sur lesquels nous disposons de données sur l'indemnisation des dégâts agricoles, pour lesquels un indice d'abondance a été calculé et une fonction de production biologique estimée. Seuls les articles où la chasse à pied est autorisée et où il existe des prélèvements de sangliers, ont été pris en compte. Ils sont localisés sur cinq départements (Doubs, Jura, Haute-Marne, Haute Saône, Vosges), soit au total un échantillon de 150 observations. Nous supposons ce marché relativement homogène. En particulier, les conditions d'enchères et le format de description des forêts sont supposés similaires pour tous les articles. Les baux de chasse sont alloués à travers un mécanisme d'enchère, on suppose ce marché parfait. Le prix marginal implicite pourra donc être interprété comme un consentement à payer marginal. On suppose de plus que l'information dans les différents catalogues est disponible pour tous.

Le tableau 1 présente les statistiques descriptives des variables retenues comme variables explicatives du prix de location des chasses en forêt domaniale, par chasseur, sur l'est de la France. Le prix d'un lot a été calculé en divisant le prix de location annuel par le nombre maximum de chasseurs autorisés sur ce lot. La surface par chasseur, c'est-à-dire la surface totale du lot divisée par le nombre maximum de chasseurs autorisés, a été introduite comme variable explicative. Elle correspond à l'inverse de la densité de chasseurs sur le site. Cette variable peut refléter la congestion spatiale et les problèmes d'aménagement. On s'attend donc à un effet positif sur le prix. La distance à Paris et la distance à la métropole régionale ont également été utilisées. Si l'on suppose que les parisiens ou les citadins ont des revenus plus élevés, ces variables pourraient avoir un effet négatif sur les prix, plus les sites de chasse sont éloignés de Paris ou des métropoles régionales. Le consentement à payer devrait donc diminuer. Les variables qui apparaissent également pertinentes dans l'explication du prix sont les prélèvements moyens par an de sangliers, cerfs et chevreuils (moyenne des prélèvements sur les campagnes 2000-2001, 2001-2002, 2002-2003) avec un effet positif attendu. L'indicateur d'abondance des populations de sanglier calculé précédemment a aussi été introduit, l'idée étant de montrer l'existence d'une externalité d'abondance positive des stocks de sangliers. Les prix des bracelets sanglier (dans certaines régions), chevreuil et cerf ont été testés. Seul le prix du bracelet chevreuil a été gardé comme variable explicative, les autres n'étant pas ou peu significatives quelque soit la spécification de la fonction de prix retenue pour l'estimation. Le prix du bracelet devrait faire baisser le prix de location par chasseur. Le prix du bracelet cerf n'a jamais été significatif. C'est un gibier très prisé avec des prélèvements par chasseur extrêmement faibles. Le prix du bracelet influence donc certainement peu le prix de location des chasses par chasseur. Nous ne l'avons donc pas retenu comme variable explicative.

*Tableau 1. Statistiques descriptives des variables retenues pour l'estimation*

	<b>Moyenne</b>	<b>Ecart-type</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>
Prix par chasseur (€)	580,99	459,38	83,33	3408
Maximum de chasseurs	25,42	9,72	9	50
Surface par chasseur (ha)	23,49	11,19	5,16	62,94
Distance à Paris (km)	380,76	66,98	247,63	493,70
Distance métropole régionale (km)	123,93	39,22	28,91	185,84
Prélèvement sanglier / chasseur	0,66	0,81	0,06	5,14
Prélèvement chevreuil / chasseur	0,86	0,54	0,05	3,24
Prélèvement cerf / chasseur	0,08	0,28	0	2,36
Bracelet chevreuil (€)	20,34	2,68	14	22
Indice d'abondance du sanglier	3,37	1,28	0,76	4,51

Nombre d'observations : 150

#### Estimation de la fonction des prix hédonistes et calcul des CAP marginaux

La première étape est d'estimer une fonction de prix hédoniste. Il s'agit ici de régresser le prix de location par chasseur des chasses en forêt domaniale en fonction de différentes caractéristiques de ces forêts. Plusieurs formes fonctionnelles plus ou moins flexibles ont été testées (transformation Box-Cox, semi-log, log linéaire, log-log). La qualité de l'ajustement du modèle log-log étant la meilleure, nous avons choisi de ne présenter que celui-ci (équation 25). Cette spécification et la valeur des paramètres estimés assurent à la fonction de consentement à payer marginal  $P(x, IA)$  de respecter les propriétés supposées dans le modèle.

$$\ln PC_i = \alpha + \beta \ln(x_i \cdot IA_i) + \sum_k \gamma_k \ln Z_{ki} + \varepsilon_i \quad \text{pour } i=1, \dots, 150 \quad (25)$$

$PC_i$  est le prix de location par chasseur pour l'article  $i$ . Le prélèvement de sanglier par chasseur  $x_i$  pour l'article  $i$  est croisé avec l'indice d'abondance  $IA_i$ . L'effet du prélèvement sur le bien être des chasseurs n'est pas indépendant du niveau des populations de sanglier. Ce bien-être peut être important avec des prélèvements faibles, si cette activité de chasse se fait dans des populations abondantes. Les variables  $Z_{ki}$  sont la surface par chasseur, les distances à Paris et à la métropole régionale, les prélèvements par chasseur en cerf et chevreuil, et le bracelet cerf pour chaque site.  $\varepsilon_i$  est un terme d'erreur représentant l'ensemble des variables explicatives non observées du prix des chasses sur le site  $i$ . Ce modèle a été estimé par les moindres carrés ordinaires. L'hétéroscédasticité a été corrigée (méthode de White). Les résultats des estimations sont présentés dans le tableau 2.

Tableau 2. Modèle log-log d'explication du prix de location des chasses par chasseur

	Paramètres estimés
Constante	16,299*** (9,965)
Surface par chasseur	0,603*** (6,100)
Distance à Paris	-1,081*** (-6,467)
Distance métropole régionale	-0,266* (1,712)
Indice d'abondance X Prélèvement sanglier / chasseur	0,114*** (3,410)
Prélèvement chevreuil / chasseur	0,109 (1,285)
Prélèvement cerf / chasseur	0,0324*** (5,524)
Bracelet chevreuil	-1,338*** (-3,050)
R <sup>2</sup> ajusté	0,78

Les écarts-types robustes figurent entre parenthèses      Nombre d'observations : 150  
 \*\*\*, \*\*, \* désignent les variables significatives au seuil de 1%, 5% et 10% respectivement.  
 Les variables sont toutes transformées par leur logarithme dans le modèle, y compris le prix de location par chasseur.

La qualité de l'ajustement est plutôt bonne, puisque le modèle explique 78% de la variation du prix de location par chasseur, dans l'est de la France. Le signe des variables significatives est toujours celui attendu. La surface par chasseur est la variable la plus significative (avec la constante). Elle renseigne sur la perception de l'encombrement des sites de chasse, l'augmentation de la congestion ayant ici un effet négatif sur le prix de location par chasseur. Les prélèvements en sanglier et cerf sont significatifs, de même que l'indice d'abondance du sanglier. Par contre, le nombre de chevreuils prélevés par chasseur ne l'est pas. Ceci peut être lié à l'existence d'un plan de chasse pour ce gibier qui impose un prélèvement minimum. Les distances à Paris et à la métropole régionale sont significatives avec un effet négatif sur le prix. Ce signe peut s'expliquer par la différence de revenus entre zones rurales et urbaines, ou encore par le fait que les chasseurs ne souhaitent pas parcourir une trop longue distance pour

se rendre sur les sites de chasse. La moins forte significativité de la seconde variable est peut être due au fait que les distances des sites de chasses aux métropoles régionales sont relativement courtes et sont donc moins perçues comme des contraintes par les chasseurs. Les paramètres estimés du modèle sont en fait les élasticités du prix de location par chasseur par rapport à chacune des variables.

A l'issue de cette étape, nous avons calculé les différents consentements à payer marginaux. Les prix marginaux implicites pour chaque caractéristique sont donnés par :  $\partial PC / \partial x_i$ ,  $\partial PC / \partial IA_i$ ,  $\partial PC / \partial Z_{ki}$  (les formules sont données en annexe A). Les effets marginaux en pourcentage sont donnés par :  $(\partial PC / PC) / \partial x_i$ ,  $(\partial PC / PC) / \partial IA_i$  et  $(\partial PC / PC) / \partial Z_{ki}$ . Ces différents éléments, évalués au point moyen de l'échantillon, permettent d'analyser la composition du prix et sont présentés dans le tableau 3.

Tableau 3. Prix marginaux implicites des caractéristiques du prix

	Prix marginal implicite (€)	Prix marginal en %
Surface par chasseur (ha)	16,31***	2,81***
Distance à Paris (km)	-1,80***	-0,31***
Distance métropole régionale (km)	-1,37*	-0,24*
Prélèvement sanglier / chasseur	110,05***	18,94***
Prélèvement chevreuil / chasseur	80,57	13,87
Prélèvement cerf / chasseur	257,73***	44,36***
Bracelet chevreuil (€)	-41,77***	-7,19***
Indice d'abondance	21,55***	3,71***

\* significatif à 10%, \*\* significatif à 5%, \*\*\* significatif à 1%

A partir des paramètres estimés par le modèle et pour un prix moyen de location par chasseur de 581 € sur les sites sélectionnés dans l'échantillon, les chasseurs sont prêts à payer 110 € pour prélever un sanglier supplémentaire et jusqu'à 257 € pour un cerf (le prélèvement moyen est seulement de 0,08 unité par chasseur), soit respectivement 19% et 44% du prix. Ces deux types de gibier sont fortement valorisés par rapport au chevreuil dont le consentement à payer marginal peut être considéré comme nul puisque le paramètre qui lui est associé est non significatif. Un hectare de forêt en plus par chasseur augmente le prix des chasses de près de 3%, les chasseurs sont ainsi prêts à payer environ 16 € pour un hectare supplémentaire c'est-à-dire pour voir diminuer la congestion (la surface moyenne par chasseur est d'environ 23 hectares). L'effet marginal des distances est relativement faible mais peut être non négligeable pour de grandes variations. Le signe négatif du prix du bracelet chevreuil est celui attendu, cependant l'effet est très fort. En effet, 1€ supplémentaire du prix du bracelet diminue de près de 42 € le prix qu'un chasseur serait prêt à payer. Cette variable traduit peut-être des caractéristiques départementales. Le prix de location par chasseur augmente d'environ 0,11% avec une hausse de 1% de l'indicateur d'abondance, les chasseurs valorisent donc l'existence d'un stock abondant.

Le consentement à payer marginal par chasseur pour prélever un sanglier (*i.e.* la demande de chasse au sanglier par chasseur) est exprimé par la dérivée de la fonction de prix hédoniste par rapport au prélèvement  $x_i$ , soit  $\frac{\partial PC_i}{\partial x_i}$ . Il s'agit ici du CAP marginal par chasseur. Il s'exprime

$$\text{dans notre cas par : } P(x_i, IA_i) = \beta e^\alpha x_i^{\beta-1} IA_i^\beta \prod_k Z_{ki}^{\gamma_k} \quad (26)$$

L'étape supplémentaire ici serait d'estimer la fonction de demande inverse de chasse en régressant ce prix marginal implicite estimé du prélèvement de sanglier en fonction des différentes caractéristiques du site mais aussi des caractéristiques des chasseurs, ce dont nous ne disposons pas. Nous nous arrêterons donc à la première étape. Le CAP marginal par chasseur est bien décroissant par rapport au nombre de sangliers prélevés mais croissant par rapport à l'indice d'abondance de ces populations de gibier ( $0 < \hat{\beta} < 1$ ). Cette dernière propriété confirme l'existence d'une externalité d'abondance positive comme suggérée dans le modèle théorique.

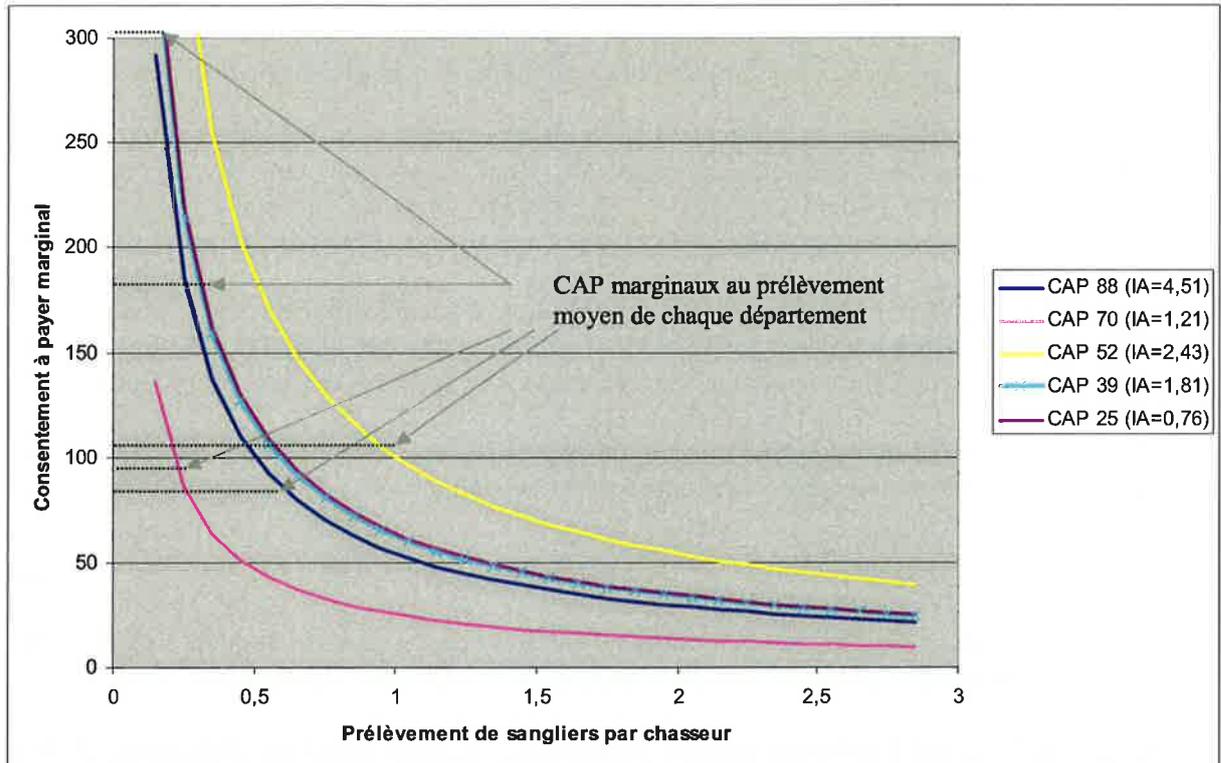
Le graphique 6 présente les courbes de CAP marginaux en fonction des prélèvements par chasseur, pour les cinq départements de la région (au point moyen des observations de chaque département présenté dans le tableau 3). On observe deux courbes extrêmes, la plus basse correspondant à la Haute-Saône (70), la plus haute à la Haute-Marne (52). Cette différence de positionnement des deux courbes s'explique en partie par un indice d'abondance relativement plus élevé, une distance à Paris plus faible et un prélèvement de cerf en Haute-Marne par rapport au département de la Haute-Saône. Les courbes de CAP marginal sont très proches pour les trois autres départements. Elles se chevauchent même pour le Doubs et le Jura. Le CAP marginal correspondant au prélèvement moyen varie entre 82 € et 308 € par chasseur selon les départements (tableau 4).

*Tableau 3. Valeurs moyennes par département des variables décrivant chaque article*

	Doubs	Jura	Haute-Marne	Haute-Saône	Vosges
Prix par chasseur (€)	963	836	780	540	392
Nombre maximum de chasseurs	15	10,28	24,17	11,87	28,58
Surface par chasseur (ha)	28,76	35,25	22,86	34,12	19,99
Distance à Paris (km)	445,47	413,13	285,46	382,96	416,13
Distance à la métropole régionale (km)	48,05	61,24	114,65	88,32	149,88
Prélèvement de sangliers / chasseur	0,17	0,33	0,96	0,22	0,62
Prélèvement de chevreuils / chasseur	2,29	0,83	0,92	0,85	0,75
Prélèvement de cerfs / chasseur	0	0	0,21	0	0,03
Prix du bracelet chevreuil (€)	14	14	21	22	21,65
Indice d'abondance du sanglier	0,76	1,81	2,43	1,21	4,51

*Tableau 4. Dommage marginal et CAP marginal par chasseur (point moyen du département)*

	Doubs	Jura	Haute-Marne	Haute-Saône	Vosges
Consentement à payer marginal (€)	308	169	104	97	82
Dommage marginal (€)	34	47	99	81	71



Graphique 6. Courbes de consentement à payer marginal pour prélever un sanglier en plus pour chaque département

## 5. Résolution du modèle

Le modèle de la section 2 maximise la somme des valeurs collectives actualisées, calculées comme la différence entre le consentement à payer collectif des chasseurs et les dommages agricoles qui sont fonction des populations de sangliers. A l'optimum, le CAP marginal est égal au dommage marginal diminué de l'externalité marginale d'abondance, le tout divisé par l'écart entre la productivité du stock et le taux d'actualisation (équation 27).

$$P(x, IA) = \frac{D_{IA}(IA) - \int_0^x P_{IA}(r, IA) dr}{G_{IA}(IA) - \delta} \quad (27)$$

Les fonctions de dommage, de production biologique des populations et de consentement à payer marginal ont été spécifiées et estimées. A partir de la demande de chasse au sanglier, on peut facilement exprimer l'externalité marginale d'abondance :

$$\int_0^x P_{IA}(t, IA) dt = \beta e^\alpha x_i^\beta IA_i^{\beta-1} \prod_k Z_{ki}^{\gamma_k} \quad (28)$$

Les solutions optimales (états stationnaires) ont été calculées pour chaque département. Elles sont représentées sur le graphique 9 pour les cinq départements étudiés. Le raisonnement doit se faire à l'échelle d'une forêt moyenne du département avec un groupe de chasseurs moyen. Cependant, pour la résolution du modèle (à l'aide du solveur d'Excel), nous avons exprimé les différents postes par chasseur, ce qui revient au même (nous avons estimé une fonction de

consentement à payer par chasseur). Le dommage marginal est exprimé par :  $D_{IA}(IA) = \sum_c p_c \cdot S_c \cdot \bar{d}_c$ . Nous avons donc calculé le dommage marginal par chasseur afin de pouvoir le comparer au consentement à payer marginal et à l'externalité marginale d'abondance tous deux exprimés par chasseur. Nous avons pour cela pris un nombre de chasseurs de grands gibiers égal à 71%<sup>2</sup> du nombre total<sup>3</sup> de chasseurs par département (annexe B).

Le modèle est dynamique. Nous avons pris un taux d'actualisation de 5% (Rondeau, 2001 (4%) ; Horan et Bulte, 2004 (5%, 10%, 15%) ; Zivin et al., 2000 (10%)) pour calculer pour chaque département différents optima (présentés dans le tableau 4 et sur le graphique 9) :

i) Nous avons tout d'abord cherché l'optimum des chasseurs. C'est celui qui maximise le bien être des chasseurs en négligeant les dommages. Il est défini par :

$$P(x, IA) = \frac{-\int_0^x P_{IA}(r, IA) dr}{G_{IA}(IA) - \delta} \quad (29)$$

A l'optimum des chasseurs, le CAP marginal est alors égal à la perte de bien être, supportée par tous les chasseurs, d'une diminution marginale du stock (à un facteur près).

ii) Le deuxième est l'optimum collectif restreint. C'est celui défini par l'équation 27. Il ne tient compte que des dommages externes liés aux dégâts sur les cultures agricoles.

iii) L'Optimum collectif élargi est calculé en doublant les dommages agricoles (équation 30).

$$P(x, IA) = \frac{2 \cdot D_{IA}(IA) - \int_0^x P_{IA}(r, IA) dr}{G_{IA}(IA) - \delta} \quad (30)$$

En effet, le sanglier est non seulement responsable de dégâts agricoles, mais aussi de collisions automobiles. L'augmentation importante de la fréquence des collisions automobiles impliquant le sanglier (5500 accidents annuels lié à cette espèce, Klein et al. (2004)) mériterait que l'on en tienne compte pour déterminer l'optimum collectif. Mais sans données chiffrées sur les dommages liés aux collisions automobiles, nous avons calculé l'optimum élargi, en supposant un montant équivalent aux dommages agricoles.

iv) Enfin, nous avons déterminé l'optimum sans externalité marginale du stock, où le CAP marginal est seulement égal au dommage marginal externe (à un facteur près). La perte de bien être de tous les chasseurs, du fait de la diminution marginale des populations, est négligée. On a alors la condition suivante :

$$P(x, IA) = \frac{D_{IA}(IA)}{G_{IA}(IA) - \delta} \quad (31)$$

<sup>2</sup> Ce pourcentage est tiré de l'enquête CSA (2006) « Les chasseurs qui sont-ils ? »

<sup>3</sup> Fédération Nationale des Chasseurs (2006). *Les chiffres clés de la chasse en France*.

Tableau 4. Valeurs optimales de l'indice d'abondance des populations de sanglier

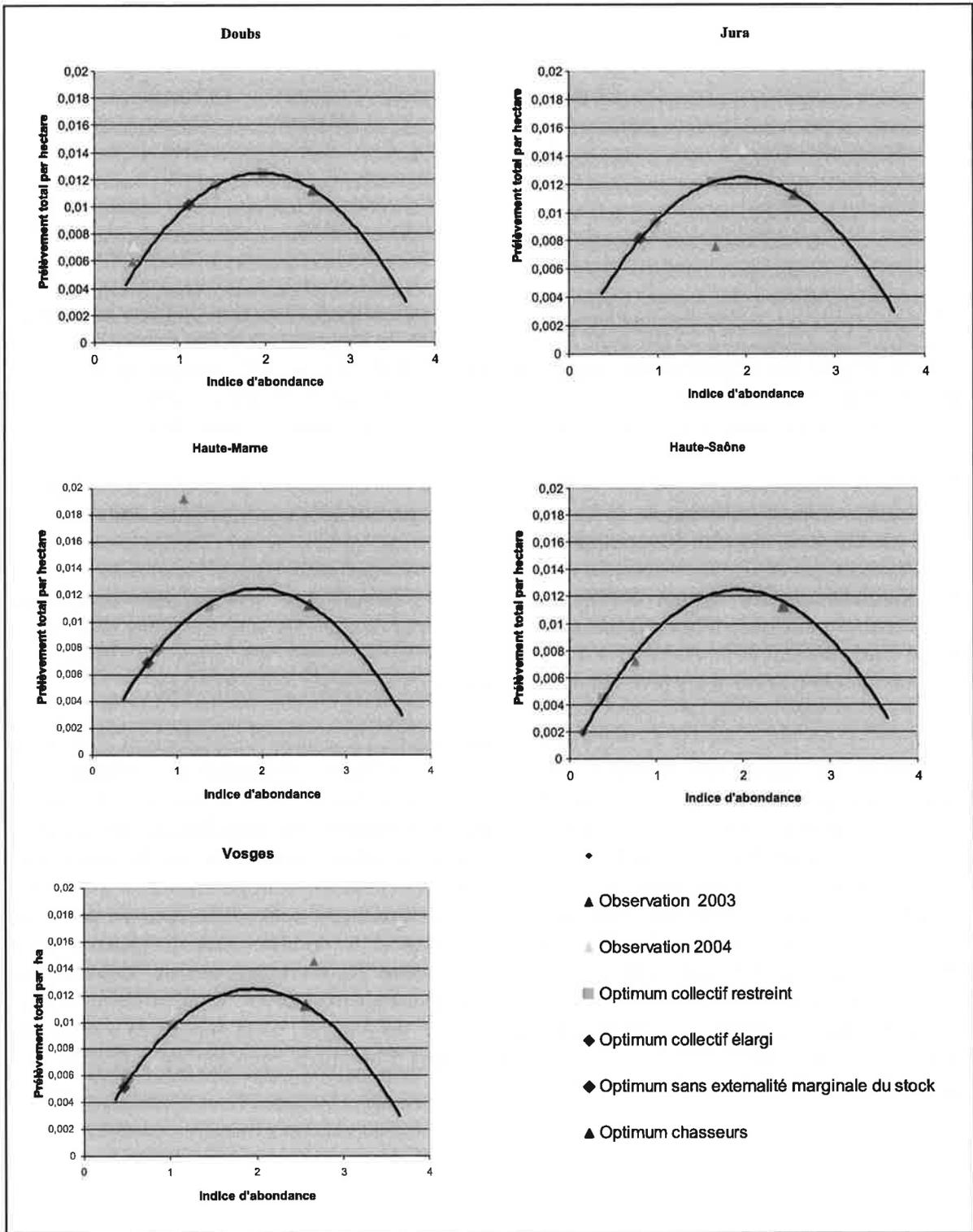
	<i>IA Doubs</i>	<i>IA Jura</i>	<i>IA Haute-Marne</i>	<i>IA Haute-Saône</i>	<i>IA Vosges</i>
Optimum des chasseurs	2,56	2,55	2,57	2,47	2,57
Optimum collectif restreint	1,98	1,62	1,39	0,40	1,05
Optimum collectif élargi	1,44	0,98	0,77	0,17	0,52
Optimum sans externalité de stock	1,12	0,80	0,66	0,15	0,46

Si l'on compare l'optimum des chasseurs à l'optimum collectif restreint, la prise en compte des dommages agricoles réduit bien le stock optimal de sanglier. Il passe en deçà du *MSY* pour la plupart des départements, excepté le Doubs. D'ailleurs, le *MSY* correspond au niveau optimal des populations à préserver (à l'optimum collectif restreint) dans ce département. Par contre, pour les Vosges et surtout la Haute-Saône, les stocks optimaux sont très bas.

Doubler les dommages contribue à réduire fortement les populations de sanglier par rapport à l'optimum collectif restreint, de 25 % pour le Doubs jusque 60% pour la Haute-Saône (on est alors proche de la tragédie des communs).

La comparaison des optima définis par ii) et iv) montre que si l'on tient compte de l'externalité marginale d'abondance, cela se traduit par de grandes variations des niveaux de stock optimal, de 40% (Doubs) à plus de 60% (Haute-Saône). On atteint d'ailleurs des niveaux de population assez proches de ceux définis à l'optimum collectif élargi.

La position des observations de 2003 et 2004 par rapport à la courbe de production biologique estimée et par rapport aux optima collectifs (restreint et élargi), préconise une réduction des populations pour les Vosges, la Haute-Marne et la Haute-Saône. Pour le Jura et le Doubs, la politique optimale serait au contraire de laisser proliférer les populations de sanglier. L'externalité marginale de stock est à peu près la même pour tous les départements. D'ailleurs, les niveaux de populations à l'optimum des chasseurs sont proches quel que soit le département. Les facteurs qui expliquent donc principalement cette différence de politique optimale sont les montants des dommages agricoles et le nombre total de chasseurs par département. Ces données sont présentées en annexe B. La Haute-Marne, département céréalier, a des dommages marginaux total et par chasseur très élevés. Pour la Haute-Saône, les dommages agricoles sont aussi importants. Pour les Vosges, c'est surtout le nombre de chasseurs relativement faible qui peut expliquer que l'optimum économique préconise des populations optimales réduites.



Graphique 9. Solutions optimales pour chaque département

## 6. Conclusion

Le modèle présenté s'applique au sanglier qui crée des dommages externes. La valeur collective à maximiser est le flux actualisé sur un horizon infini du consentement à payer des chasseurs diminué des dommages agricoles. L'optimum économique compare consentement à payer marginal au dommage marginal en tenant compte de la perte de bien-être supportée par tous les chasseurs, d'une réduction des populations. Nous nous sommes servis des données sur les dégâts agricoles pour reconstruire la dynamique des populations de sanglier. Nous avons ensuite retrouvé les dommages comme une fonction du stock. L'analyse des prix des adjudications des chasses en forêt domaniale a permis de révéler la demande de chasse au sanglier. Nous avons utilisé pour cela la méthode des prix hédonistes. Nous avons mis en évidence des différences de consentement à payer marginal selon les départements (entre 80 et 300 €). Plusieurs optima sont calculés, ils ne correspondent pas forcément à ce que l'on observe, mais permettent d'apporter un éclairage sur la politique optimale de conservation ou non des populations de sanglier.

En raison de l'organisation de la chasse en France, qui est majoritairement associative, c'est-à-dire quasi-publique, les droits de propriété sur la chasse ne sont pas appliqués. Le gibier et notamment le sanglier est devenu une ressource commune en accès libre, ce qui l'a exposé à la tragédie des communs. Cette défaillance du marché a été corrigée par les mesures de régulation que les chasseurs se sont imposés. Cependant, le caractère de ressource commune se retrouve aussi dans les dommages, d'autant plus qu'il est difficile de savoir d'où viennent les sangliers qui ont commis les dommages (un peu comme dans le cas de la pollution diffuse d'origine agricole). Cela ne facilite pas l'application du principe « pollueur-payeur », comme le montre le paiement collectif des dommages agricoles par les fédérations départementales de chasseurs, bien que des solutions plus incitatives soient envisagées (paiement à l'ha de forêt modulé en fonction de la densité de population de sangliers). Il y a contradiction entre les mesures de gestion conservatrice (limitation du tableau, bracelet payant par sanglier tué notamment) et la volonté de limiter les dégâts agricoles.

Une des limites de notre étude est d'avoir seulement tenu compte des dégâts aux cultures pour déterminer l'optimum collectif. Or le coût pour la collectivité des collisions automobiles dues au sanglier est certainement non négligeable. Cependant, même si nous avons l'information pour évaluer ces dommages, l'optimum économique pourrait être difficilement atteint. En effet, les conséquences des collisions automobiles sont supportées par les fonds d'assurance et les automobilistes et non par les chasseurs. Elles ne peuvent pas être imputées aux fédérations de chasse et/ou aux chasseurs comme le préconise le principe politique de l'optimum. Seulement, sans internalisation possible par les chasseurs, on ne peut atteindre cet optimum.

Nous avons travaillé à partir des données départementales sur l'indemnisation des dégâts agricoles. Des données communales permettraient certainement une analyse plus fine des dommages. Cela permettrait également de modifier l'échelle géographique sur laquelle nous avons essayé de reconstruire la dynamique des populations. Celle retenue n'est sûrement pas pertinente. Sans évaluation des stocks, sauf sur des zones très localisées, nous avons eu recours à un indicateur d'abondance, construit à partir des dommages sur les cultures. Sa définition et l'utilisation des dommages est aussi critiquable.

Nous avons utilisé un modèle global pour décrire la dynamique des populations, inspiré de la gestion optimale des pêches. Certes, un modèle structuré en âge serait plus réaliste. Seulement, il ne nous ne servirait que pour des simulations. L'intérêt du modèle global par

rapport à un modèle en cohortes est tout simplement d'avoir un modèle bioéconomique analytique permettant une meilleure compréhension des phénomènes économiques. Nous avons fait l'hypothèse d'une croissance logistique. Elle représente plutôt la dynamique des populations de femelles. Cependant pour l'analyse empirique, nous ne disposons de la distinction des sexes dans les données sur les prélèvements de sanglier.

Les perspectives sont maintenant d'améliorer et de renforcer la partie empirique sur la dynamique des populations. L'application porte sur le sanglier, mais notre modèle pourrait aussi s'adapter à d'autres espèces de gibier et à la biodiversité en général. La recherche empirique sur ce sujet est encore assez peu explorée en France.

## Références bibliographiques

- Cocheba D., Langford W. (1978). « Wildlife valuation: the collective good aspect of hunting », *Land economics*, 54(4), 490-504.
- Enquête CSA (2006) *Les chasseurs qui sont-ils ?*.
- Fédération Nationale des Chasseurs (2006). *Les chiffres clés de la chasse en France*.
- Gürlük S. (2006). « The estimation of ecosystem services' value in the region of Misi Rural Development Project : results from a contingent valuation survey », *Forest Policy and Economics*, 9(3), 209-218.
- Henderson J., Moore S. (2006). « The capitalization of wildlife recreation income into farmland values », *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 33(3), 597-610.
- Horan R.D., Bulte E.H. (2004). « Optimal and open access harvesting of multi-use species in a second best world », *Environmental and Resource Economics*, 28(3), 251-272.
- Hussain A., Zhang D., Armstrong J.B. (2004). « Willingness to pay for hunting leases in Alabama », *Southern Journal of Applied Forestry*, 28(1), 21-27.
- Klein F., Baubet E., Toigo C., Leduc D., Saint-Andrieux C., Said S., Frechard C., Vallance M. (2004). *La gestion du sanglier : des pistes et des outils pour réduire les populations*, Technique et faune sauvage, Brochure Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage, 32 p.
- Knoche S., Lupi F. (2007). « Valuing deer hunting ecosystem services from farm landscapes », *Ecological Economics*, 64(2), 313-320.
- Lancaster K.J. (1966). « A new approach to consumer theory », *Journal of Political Economy*, 74(1), 132-157.
- Le Goffe P. (1996). « La méthode des prix hédonistes : principes et applications à l'évaluation des biens environnementaux », *Cahiers d'Economie et de Sociologie Rurales*, 39-40, 180-198.
- Le Goffe P. (2000). « Hedonic pricing of agriculture and forestry externalities », *Environmental and Resource Economics*, 15(4), 397-401.
- Livengood K.R. (1983) « Value of big game from markets for hunting leases: The hedonic approach », *Land Economics*, 59(3), 287-291.
- Loomis J., Griffin D., Wu E., Gonzales-Caban A. (2002). « Estimating the economic value of big game habitat production from prescribed fire using a time series approach », *Journal of Forest Economics*, 8(2), 119-129.
- Luzar E.J., Gan C., Kanjilal B., Messonnier M. (1992). « Quality as a latent variable in recreation access analysis », *Southern Journal of Agricultural Economics*, 105-112.
- Messonnier M., Luzar E.J. (1990). « A hedonic analysis of private hunting land attributes using an alternative functional form », *Southern Journal of Agricultural Economics*, 22(2), 129-136.
- Munn I.A., Loden E.K., Grado S.C., Jones J.C., Jones W.D. (2004). « Comparing hunting lease prices: a price decomposition approach », *Proceedings of the Annual Southern Forest Economics Workshop*, 193-200.
- Olaussen J.O., Skonhøft A. (2004). « Managing a migratory species that is both a value and a pest », *Working papers series*, Department of Economics, Norwegian University of Science and Technology.
- Pope C.A., Stoll J.R. (1985). « The market value of ingress rights for white-tailed deer hunting in Texas », *Southern Journal of Agricultural Economics*, 17, 177-182.
- Rakotoarison H. (2007). « Contribution of spatial econometrics in a cost benefit analysis of a management of wild boars in Aquitaine », *1<sup>st</sup> annual Conference of the Spatial Econometrics*, Cambridge, july, 23 p.
- Rakotoarison H., Point P., Malfait J.J. (2009). « A dynamic model for estimating the economic costs of roe deer browsing in the Gascogne forests », *Colloque SFER « Chasse*,

territoires et développement durable, outils d'analyse, enjeux et perspectives », 25 et 26 mars, Clermont-Ferrand, 34 p.

Rondeau D. (2001). « Along the way back from the brink », *Journal of Environmental Economics and Management*, 42 (1), 156-182.

Ropars-Collet C., Le Goffe Ph. (2007). « La gestion des populations de gibier : modèle bioéconomique et dégâts du sanglier à l'agriculture », Journées INRA-SFER de Recherches en Sciences Sociales, 13 et 14 décembre 2007, AgroParisTech, Paris, 17 p.

Rosen S. (1974). « Hedonic prices and implicit markets: product differentiation in pure competition », *The Journal of Political Economy*, 82(1), 34-55.

Schwabe K.A., Schuhmann P.W., Tonkovich M.J., Wu E. (2002). « An analysis of deer-vehicle collisions : the case of Ohio », United States Department of Agriculture, Animal and Plant Health Inspection Service, National Wildlife Research Centre, Fort Collins, Colorado.

Skonhofs A. (2005) « The costs and benefits of a migratory species under different management schemes », *Journal of Environmental Management*, 76, 167-175.

Skonhofs A. (2006). « The costs and benefits of animal predation: an analysis of Scandinavian wolf re-colonization », *Ecological economics*, 58, p. 830-841.

Skonhofs A., Olausson J.O. (2005) « Managing a migratory species that is both a value and a pest », *Land Economics*, 81(1), 34-50.

Zhang D., Hussain A., Armstrong J.B. (2006). « Supply of hunting leases from non-industrial private forest lands in Alabama », *Human Dimensions of Wildlife*, 11, 1-14.

Zivin J., Hueth B.M., Zilberman D. (2000). « Managing a multiple-use resource: the case of feral pigs in California rangeland », *Journal of Environmental Economics and Management*, 39(1), 189-204.

## Annexe A. Calcul des prix marginaux implicites des caractéristiques du prix

$$\frac{\partial PC_i}{\partial x_i} = \beta e^\alpha x_i^{\beta-1} IA_i^\beta \prod_k Z_{ki}^{\gamma_k}$$

$$\frac{\partial PC_i}{\partial IA_i} = \beta e^\alpha x_i^\beta IA_i^{\beta-1} \prod_k Z_{ki}^{\gamma_k}$$

$$\frac{\partial PC_i}{\partial Z_{ki}} = \gamma_k e^\alpha x_i^\beta IA_i^\beta Z_{ki}^{\gamma_k-1} \prod_{l \neq k} Z_{li}^{\gamma_l}$$

## Annexe B. Statistiques

	Doubs	Jura	Haute-Marne	Haute-Saône	Vosges
Domage marginal total (€)	201634	299094	536626	473068	341297
Domage marginal par chasseur (€)	34	47	99	81	71
Nombre total de chasseurs	9904	8940	7968	8211	6735

