



*The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library*

**This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.**

**Help ensure our sustainability.**

Give to AgEcon Search

AgEcon Search

<http://ageconsearch.umn.edu>

[aesearch@umn.edu](mailto:aesearch@umn.edu)

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

*No endorsement of AgEcon Search or its fundraising activities by the author(s) of the following work or their employer(s) is intended or implied.*

---

## Économie des actions collectives de maîtrise des maladies animales endémiques. Proposition d'un cadre d'analyse

*Collective management of communicable endemic animal diseases: developing a bio-economic framework*

**Olivier Rat-Aspert et Stéphane Krebs**

---



### Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/economierurale/4154>

DOI : 10.4000/economierurale.4154

ISSN : 2105-2581

### Éditeur

Société Française d'Économie Rurale (SFER)

### Édition imprimée

Date de publication : 15 novembre 2013

Pagination : 47-59

ISSN : 0013-0559

### Référence électronique

Olivier Rat-Aspert et Stéphane Krebs, « Économie des actions collectives de maîtrise des maladies animales endémiques. Proposition d'un cadre d'analyse », *Économie rurale* [En ligne], 338 | novembre-décembre 2013, mis en ligne le 15 novembre 2015, consulté le 04 mai 2019. URL : <http://journals.openedition.org/economierurale/4154> ; DOI : 10.4000/economierurale.4154

---

# Économie des actions collectives de maîtrise des maladies animales endémiques

## *Proposition d'un cadre d'analyse*

**Olivier RAT-ASPERT** • INRA, UMR1041 Centre d'Économie et Sociologie Appliquées à l'Économie et aux Espaces Ruraux (CESAER), Agrosup Dijon ; UMR1300 Biologie, Épidémiologie et Analyse de Risque en Santé Animale, Nantes, LUNAM Université, École Nationale Vétérinaire, Agro-alimentaire et de l'Alimentation Nantes Atlantique, Oniris, UMR BioEpAR, Nantes ; olivier.rat-aspert@dijon.inra.fr

**Stéphane KREBS** • UMR1300 Biologie, Épidémiologie et Analyse de Risque en Santé Animale, Nantes, LUNAM Université, École Nationale Vétérinaire, Agro-alimentaire et de l'Alimentation Nantes Atlantique, Oniris, UMR BioEpAR, Nantes

Cet article se propose de développer un cadre général d'analyse permettant l'évaluation d'actions collectives de maîtrise des maladies animales endémiques transmissibles. En partant d'un état de l'art des travaux réalisés tant sur la décision des éleveurs de mettre en place des moyens de maîtrise que sur l'impact des stratégies collectives de gestion de la santé animale, les auteurs montrent que prendre en compte à la fois l'épidémiologie de la maladie et la décision individuelle est justifié quand les décisions de maîtrises sont à l'origine d'une externalité et que l'évolution de la situation épidémiologique a un impact sur la décision individuelle, conduisant à une interaction entre les deux. Les auteurs proposent comme méthodologie l'utilisation de modèles bioéconomiques couplant un modèle épidémiologique et de décision afin d'analyser l'impact des décisions individuelles de maîtrise et celui de stratégies collectives d'incitations à la gestion.

**MOTS-CLÉS** : économie de la santé animale, modélisation microéconomique, modèles bioéconomiques, maladies animales endémiques transmissibles, externalités

### ***Collective management of communicable endemic animal diseases: developing a bio-economic framework***

*This article aims to develop a general framework for the study of collective management of communicable endemic animal diseases. Starting from a review of the economic literature on on-farm control of animal diseases and on the impact of collective strategies to control animal diseases, we show that taking both the epidemiology of the disease and the individual decision into account is justified when individual decisions lead to an externality and when the spread of the disease has an impact on individual decision, leading to an interaction between farmers' decisions and epidemiology. The authors propose to couple bio-economic models with an epidemiological model and a decision model in order to analyze the impact of individual decisions, and to assess the impact of incentives schemes. (JEL: Q12, Q57).*

**KEYWORDS**: animal health economics, microeconomic modelling, bio-economic models, communicable endemic animal diseases, externalities

La maîtrise de la santé des animaux d'élevage constitue un enjeu crucial pour les filières de productions animales. Les maladies animales constituent en effet une source importante de vulnérabilité économique, liée à la diversité de leurs impacts

potentiels. Elles engendrent d'abord des manques à gagner substantiels pour les exploitations d'élevage, en altérant leurs performances technico-économiques. Elles peuvent également induire, pour certaines d'entre elles, des pertes de débouchés. La

maîtrise des maladies animales implique enfin qu'on y alloue des ressources, tant *ex ante*, en termes de surveillance ou de prévention, qu'*ex post*, par la mise en place de mesures curatives destinées à atténuer les conséquences économiques et sanitaires en cas de survenue. Ces divers manques à gagner et coûts induits par la maladie pèsent fortement sur l'économie de l'exploitation d'élevage et altèrent plus largement la compétitivité des filières animales. Une bonne maîtrise de la santé animale à l'échelle des bassins de production – ou des filières qui y sont représentées – est par conséquent de nature à constituer un atout.

En fonction des risques que font peser les maladies sur les exploitations, le secteur agricole dans son ensemble, voire même la santé publique (cas des maladies zoonotiques), les moyens de maîtrise implémentés diffèrent. Une distinction doit ainsi être opérée entre les maladies épidémiques (comme la fièvre aphteuse), généralement absentes d'un territoire mais susceptibles d'avoir un impact particulièrement fort du fait de leur haut degré de contagiosité et de leur caractère fortement pathogène pour l'animal et/ou l'homme, et les maladies endémiques, présentes à l'échelle des territoires mais dont l'impact demeure plus limité à l'échelle des exploitations concernées. Les maladies épidémiques, qu'elles présentent ou non un caractère zoonotique<sup>1</sup>, sont généralement réglementées, ce qui implique que les réponses comportementales des éleveurs sont étroitement influencées par la réglementation. *A contrario*, pour les maladies endémiques, l'initiative de la maîtrise est essentiellement laissée à l'appréciation des éleveurs, qui peuvent décider de s'organiser collectivement sur une base

volontaire pour maîtriser, voire éradiquer, ces maladies.

Le présent article met l'accent sur les actions collectives de maîtrise de ces maladies animales endémiques. Il vise à proposer un cadre général d'analyse permettant d'appréhender la gestion collective des maladies animales et à présenter les principales implications en termes de besoins de recherche. Après avoir brièvement présenté une typologie des maladies animales et de leurs modalités de gestion, justifiant de notre intérêt pour la gestion des maladies endémiques non réglementées, nous développons ce cadre général d'analyse et examinons plus en détail les quatre étapes principales qu'implique son élaboration.

### Typologie des maladies animales et de leurs modalités de gestion

La loi de modernisation de l'agriculture et de la pêche n° 2010-874 du 27 juillet 2010 pose les bases d'une classification des maladies animales en trois catégories, selon les risques qu'elles font peser sur la santé publique et l'économie des filières animales (Seegers *et al.*, 2011). L'appartenance à une de ces catégories implique des modalités de gestion différentes. Ainsi, pour les maladies relevant de la première catégorie (maladies épidémiques), susceptibles de porter une atteinte grave à la santé publique ou à la santé des animaux, ou de perturber gravement l'économie d'une filière, les mesures de prévention, de lutte et de surveillance relèvent de l'autorité administrative (responsabilité directe de l'État). Les maladies relevant de la seconde catégorie présentent une gravité moindre mais peuvent impliquer une intervention de l'autorité administrative dans leur gestion (arrêté ministériel ou préfectoral). Les maladies de la troisième catégorie relèvent enfin pour leur maîtrise de la seule initiative privée. Dans le présent article, l'accent est mis sur la gestion des maladies animales endémiques, qui

1. Le caractère zoonotique qualifie une maladie pouvant se transmettre de l'animal à l'homme, et donc étant potentiellement à l'origine d'un risque pour la santé humaine, pour le consommateur de produits animaux ou pour les personnes en contact avec les animaux.

relèvent principalement de la seconde catégorie et – dans une moindre mesure – de la troisième catégorie distinguées par la loi d'orientation agricole.

Au sein des maladies endémiques, il convient encore d'opposer les maladies selon leur degré de transmissibilité entre élevages. Dans le cas des maladies non ou faiblement transmissibles entre élevages, la décision de gestion relève en premier lieu de l'éleveur, et les facteurs influençant la présence de ces maladies dans l'élevage sont généralement individuels (hygiène, par exemple). Nous pensons ici à des maladies animales multifactorielles comme les mammites, ou à des maladies non infectieuses, comme les maladies métaboliques. La maîtrise des maladies transmissibles entre élevages revêt quant à elle une dimension collective plus marquée. Les modes de transmission de ces maladies sont variés et peuvent renvoyer à des contacts directs entre animaux issus de troupeaux différents (au pâturage, par exemple), à des achats d'animaux, à des contaminations de l'environnement, ou encore à des échanges de matériel ou de personnels entre exploitations. Certaines maladies sont également transmises par des vecteurs animaux (insectes, petits mammifères, faune sauvage). La diarrhée virale bovine (Bovine Viral Diarrhoea – BVD) ou maladie des muqueuses, dont les principales voies de transmission sont le voisinage (contacts des animaux au pâturage) et les achats d'animaux (introduction dans le troupeau d'un animal infecté), constitue un exemple caractéristique de maladie endémique transmissible. L'éleveur a la possibilité de se prémunir individuellement contre cette maladie, en vaccinant son troupeau ou en s'astreignant à des mesures de biosécurité (quarantaine, par exemple). Mais l'efficacité de la maîtrise demeure étroitement liée aux décisions de gestion prises par les autres éleveurs avec lesquels il est en relation (risque de réintroduction de la maladie dans le troupeau), d'où la

nécessité d'assurer une coordination des actions individuelles de maîtrise.

Dans le contexte français, les acteurs privés impliqués dans cette gestion collective du risque sanitaire sont les groupements de producteurs et les Groupements de défense sanitaire (GDS). Historiquement créés avec le soutien de l'administration sanitaire française pour l'accompagner dans la mise en place de prophylaxies obligatoires (Cassagne, 2004), le rôle des GDS a progressivement évolué au cours du temps avec la mise en place de conseils aux éleveurs et de gestion des maladies non réglementées. À l'heure actuelle, ces structures sont impliquées dans la définition de politiques sanitaires à l'échelle d'un territoire et des filières, visant à l'éradication ou au contrôle de la propagation de ces maladies. L'implication des GDS dans la mise en place de mesures de gestion demeure cependant variable selon les bassins de production et les ressources dont ils disposent. L'exemple de la maîtrise de la BVD est à ce titre intéressant, avec des mesures extrêmement variables selon les zones (Petit, 2003). Les mesures prises par les gestionnaires collectifs peuvent consister en la mise en place des plans de maîtrise individualisés au niveau des élevages (tests de dépistage, mesures d'assainissement). Les GDS peuvent également inciter financièrement les éleveurs à s'engager dans la maîtrise de la maladie, en subventionnant par exemple les démarches de vaccination. Afin d'éviter d'introduire des animaux infectés dans un troupeau sain, l'organisation de réseaux d'échanges d'animaux en fonction de leur statut sanitaire est également possible. Enfin, pour les éleveurs engagés dans un dispositif collectif de maîtrise, l'existence de systèmes de couverture (caisses « coups durs ») permet d'indemniser les éleveurs les plus durement touchés par la maladie.

À l'heure actuelle, l'efficacité des dispositifs collectifs de gestion des maladies animales transmissibles demeure

principalement évaluée sur la seule base d'approches épidémiologiques, qui présupposent que les mesures seront systématiquement implémentées par leurs adhérents. Elles omettent le fait que les décisions individuelles de mettre – ou non – en œuvre les mesures préconisées sont prises sur une base volontaire et résultent d'un arbitrage propre à chaque éleveur, qui ne tient pas nécessairement compte dans sa prise de décision de l'objectif collectif poursuivi par la structure. Cela peut conduire cette dernière à prendre des décisions erronées (gaspillage de ressources, choix des modes d'intervention erronés). L'action collective pourrait ainsi gagner en efficacité, par le biais de mesures incitatives par exemple, destinées à lever les freins à l'observance des mesures préconisées.

### Élaboration du cadre d'analyse

La nature transmissible des agents pathogènes, ainsi que la liberté individuelle dans la prise de décision des éleveurs en matière de gestion des maladies endémiques, génèrent des problèmes d'externalités. Les décisions prises isolément à l'échelle d'un élevage ont des répercussions sanitaires – et par conséquent économiques – sur la situation des élevages avec lesquels il est en relation. Un éleveur qui déciderait de protéger son troupeau contre une maladie en le vaccinant ou en adoptant des mesures strictes de biosécurité (hygiène, quarantaine, par exemple) serait à l'origine d'une externalité positive, puisque son action bénéficierait à d'autres éleveurs présents à l'échelle d'une zone géographique en diminuant la pression d'infection (risque de survenue de la maladie). *A contrario*, un éleveur pourrait être incité à adopter un comportement de passerager clandestin en cherchant à bénéficier des efforts entrepris par ses voisins, sans en supporter le coût. Un tel comportement engendrerait alors une externalité négative, en contribuant à entretenir des foyers

résiduels de la maladie au sein de la zone géographique considérée. Il en résulte ainsi une interdépendance forte des décisions individuelles de maîtrise des maladies animales, à l'échelle d'un territoire donné.

Pour prendre en compte cette interdépendance entre décision individuelle et épidémiologie, l'idée force développée dans cet article est celle du couplage de modèles économiques et épidémiologiques. Toute la difficulté réside en effet dans le fait que les décisions individuelles s'inscrivent dans un contexte épidémiologique donné et qu'en retour, ce contexte est influencé par les décisions individuelles. La finalité des travaux à réaliser réside dans la construction d'un outil d'aide à la décision, permettant de revisiter les modalités d'action collective en matière de gestion de la santé animale en tenant explicitement compte du caractère décentralisé de la prise de décision. La mise en œuvre de cette démarche implique la réalisation successive de quatre types de travaux, à savoir :

- la création de modèles épidémiologiques décrivant la propagation de la maladie dans et entre les élevages ;
- la formalisation microéconomique des décisions individuelles de maîtrise de la santé animale ;
- le couplage de modèles épidémiologiques et économiques à l'échelle d'un ensemble d'élevages, et le cas échéant ;
- l'intégration, dans les modèles couplés, de mécanismes incitatifs.

Les enjeux de ces recherches se situent à un double niveau. Au plan sociétal, il s'agit de mettre à la disposition des gestionnaires privés du risque sanitaire des outils d'aide à la décision plus performants. Au plan académique, les travaux proposés constituent un défi pour l'analyse économique. Cette dernière dispose en effet d'outils développés dans différents sous-champs



disciplinaires (économie agricole, mais également économie de la santé humaine, économie de l'environnement, économie du risque et de l'incertain, théorie de l'agence, etc.) qui pourraient être judicieusement combinés pour élaborer un cadre pertinent d'analyse. Il s'agit également de dépasser et d'enrichir les approches économiques standards par l'intégration d'apports de la modélisation épidémiologique.

### La modélisation de la propagation de la maladie

La première étape consiste en la représentation mathématique de l'évolution de la maladie dans un troupeau et entre les troupeaux.

La représentation la plus simple est probablement celle rendue possible par les modèles SIR (susceptibles, infectieux, retirés ou protégés), utilisés en épidémiologie pour modéliser la diffusion d'une maladie au sein d'une population. Ces modèles représentent les transitions, au cours du temps, des individus d'une population entre l'état sensible, l'état infectieux (réservoir de la maladie) et l'état protégé (qui suppose qu'après la période d'infection, l'individu est protégé par son immunité naturelle). Les transitions entre états dépendent de la proportion d'individus dans chaque état, le risque de transmission étant fonction de la prévalence de la maladie dans la zone (Hoch *et al.*, 2008). De nombreux modèles ont été proposés au niveau intra-troupeau, permettant d'étudier la persistance de la maladie en fonction de moyens de maîtrise mis en œuvre. Au niveau inter-troupeau, la modélisation épidémiologique d'une maladie intégrant des moyens de maîtrise suppose que l'on ait une idée de la proportion d'éleveurs mettant en place ces moyens de maîtrise. C'est une des limites des modèles épidémiologiques, qui justifie qu'ils soient couplés à des modèles économiques.

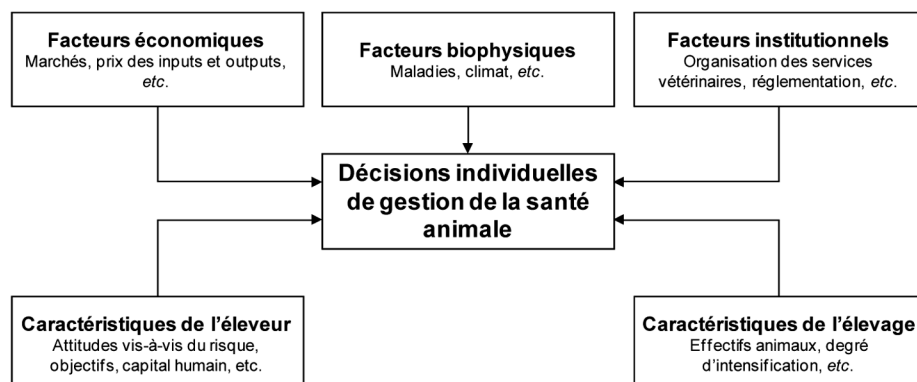
### Formalisation microéconomique des comportements individuels

Cette deuxième étape consiste à mobiliser les outils de l'analyse microéconomique pour formaliser le comportement d'un éleveur en matière de gestion de la santé animale.

Les décisions prises en matière de gestion de la santé animale interviennent dans un contexte plus général d'allocation des ressources, impliquant que l'éleveur réalise des arbitrages. Le comportement de l'éleveur est ainsi influencé par différents facteurs, liés au contexte économique, à l'environnement institutionnel, aux caractéristiques de l'éleveur et de l'élevage, ainsi qu'à des facteurs biotechniques au rang desquels émergent les problèmes de santé animale (Chilonda et Van Huylenbroeck, 2001) (*figure 1*). Dans ce processus de prise de décision interviennent des ressources monétaires, mais également non monétaires comme le temps de travail ou sa pénibilité, qui peuvent à eux seuls constituer des freins à l'adoption de mesures de maîtrise par les éleveurs.

L'enjeu en termes de modélisation des comportements individuels des éleveurs au regard de la santé animale est de tenir compte du fait que les décisions individuelles de maîtrise sont prises en fonction de la maladie, à deux échelles : (1) au niveau de l'élevage, la situation sanitaire du troupeau (prévalence interne, expression de la maladie) aura un impact sur la production ; (2) l'environnement sanitaire, c'est-à-dire la prévalence inter-troupeau, aura un impact sur la probabilité pour une exploitation de la zone d'être infectée. Afin de pouvoir formaliser ces comportements individuels, il devient nécessaire de modéliser l'impact d'une maladie sur la production d'une part, puis d'établir une relation entre la production et les mesures de maîtrise de la maladie mises en œuvre d'autre part. Enfin, le modèle se doit de prendre en

Figure 1. Principaux facteurs influençant les décisions individuelles en matière de gestion de la santé animale



Source : d'après Chilonda et Van Huylenbroeck (2001).

compte le caractère incertain de l'infection d'un troupeau.

La littérature économique ne s'est que peu et tardivement intéressée à la formalisation dans un cadre néoclassique des comportements des éleveurs en matière de gestion de la santé animale. Les premiers travaux ont en effet vu le jour à la fin des années 1980 au Royaume-Uni (McInerney, 1996). Les travaux menés, qui s'appuient sur le concept de fonction de production, ont cherché : 1) à montrer comment la maladie pouvait modifier la forme de la fonction de production (McInerney, 1988) ; puis 2) à définir le concept de frontière pertes-dépenses, qui fait ressortir l'arbitrage opéré par l'éleveur entre les pertes de production induites par la maladie d'une part, et les dépenses de maîtrise d'autre part (McInerney, Howe et Schepers, 1992). L'optique retenue est celle de la minimisation du coût économique de la maladie (entendu comme la somme des pertes induites et des dépenses de maîtrise). La question du profil de la frontière a ensuite été discutée par Tisdell (1995), qui a également étendu le cadre d'analyse à la gestion multi-maladies. S'inspirant des développements de la littérature économique relatifs

à l'utilisation des pesticides (*damage abatement function*), les travaux de Chi *et al.* (2002) ont enfin repris le problème de la formalisation du comportement des éleveurs, dans l'optique de traiter la question de l'arbitrage entre dépenses préventives et curatives. Dans ce modèle, les décisions de l'éleveur sont fonction de l'importance de la maladie, qui recouvre simultanément sa prévalence et sa sévérité.

La principale limitation de ces premières tentatives de formalisation des comportements des éleveurs en matière de santé animale réside dans le fait qu'elles considèrent une exploitation isolément. Elles ne tiennent compte que de la situation épidémiologique propre de l'élevage, et la situation épidémiologique de l'élevage ne dépend que des mesures mises en place au sein l'élevage. Cette hypothèse peut être valide dans le cas de maladies non transmissibles, mais elle limite la portée de la modélisation à celles-ci. Il est raisonnable de supposer que l'éleveur tient avant tout compte de la situation sanitaire de son propre troupeau dans sa prise de décision concernant la maîtrise de la santé, mais le risque d'infection (ou de réinfection) demeure néanmoins influencé par la



prévalence inter-troupeaux à l'échelle de la zone géographique considérée.

La modélisation des comportements individuels des éleveurs implique donc de prendre en considération (1) la situation épidémiologique interne propre à l'exploitation, (2) la situation épidémiologique extérieure à l'exploitation, constituant un risque.

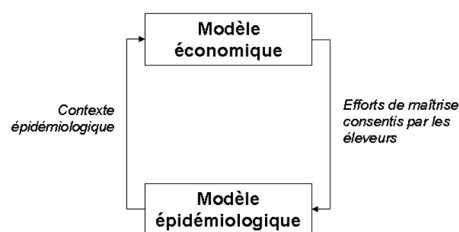
Un élément crucial pour notre propos concerne la prise en compte du temps dans la modélisation. Le choix d'un type de modèle (statique *versus* dynamique) demeure intimement lié au système de production considéré (qui implique des cycles d'élevage plus ou moins longs), aux caractéristiques de la maladie ainsi qu'aux mesures de maîtrise disponibles (décision unique sur l'horizon de planification *versus* décisions répétées). Pour des décisions répétées impliquant des choix pleinement réversibles, un modèle statique peut être employé. S'intéressant à une décision annuelle de vaccination du troupeau, Rat-Aspert et Fourichon (2010) ont ainsi formalisé le comportement de l'éleveur sur la base d'un arbre de décision. Mais lorsque les décisions ne sont pas pleinement réversibles et/ou lorsque l'évolution du statut sanitaire de l'élevage intervient dans le processus de prise de décision, le recours à des techniques mathématiques d'optimisation intertemporelle s'avère nécessaire. Cette question délicate soulève par ailleurs la question de l'horizon temporel de planification de l'éleveur (raisonnement tenant compte de la dynamique *versus* raisonnement à l'état stationnaire). La nature des décisions à modéliser (choix discret comme la décision de vacciner *versus* choix continu comme le choix d'un effort de maîtrise) implique l'emploi d'outils différents. Pour la modélisation d'un choix discret, le modèle peut s'appuyer sur la construction d'un arbre de décision, tandis que dans le choix d'un continuum d'actions, la formalisation de la décision

individuelle par le biais d'un programme de maximisation du profit (qui implique préalablement une fonction de production) doit être envisagée. Seul ce dernier type d'outil permet d'analyser l'arbitrage réalisé en matière d'allocation des ressources entre dépenses de maîtrise et autres facteurs de production.

En fonction des caractéristiques des agents économiques et de la maladie considérée, il est également concevable d'améliorer le réalisme du modèle sous différents aspects. La modélisation des comportements individuels des agents sous la forme d'un programme de maximisation sous contrainte du revenu de l'éleveur, ou d'un flux actualisé de revenus, présuppose que l'agent économique décide de manière rationnelle et dispose d'une information parfaite concernant les différents éléments qui entrent dans sa prise de décision. Dans les faits, cette hypothèse demeure néanmoins discutable, du fait de biais cognitifs, le statut sanitaire du troupeau n'étant par exemple pas nécessairement observable ou l'efficacité des mesures de maîtrise disponibles n'étant pas nécessairement connue *a priori*. Plusieurs alternatives sont possibles pour tenir compte de ces biais informationnels dans la formalisation des comportements individuels. Il est par exemple possible de supposer en premier lieu que certaines informations ont un coût. En second lieu, il est possible de supposer que l'information dont dispose l'agent est déformée par rapport à la réalité, du fait d'un biais cognitif ou d'une asymétrie d'information. De ce fait, les paramètres du programme d'optimisation ne constituent pas les valeurs réelles des paramètres, mais plutôt les valeurs perçues par les agents. En matière de décision de gestion de la santé animale, ces problèmes informationnels revêtent une importance particulière. Outre l'incertitude pesant sur l'efficacité des facteurs de production (et en particulier des instruments de maîtrise de la maladie), il peut exister un manque

d'information quant au niveau de la maladie, tant au sein du troupeau qu'en dehors de l'élevage. Ce niveau de la maladie peut être révélé soit au moyen de tests diagnostiques, soit par une observation de l'état de santé du troupeau et de ses performances. Enfin, la maladie et ses conséquences étant source d'incertitude, il est légitime de se poser la question de l'aversion des éleveurs vis-à-vis du risque lors de la modélisation de leurs décisions.

Figure 2. Principe du couplage épidémiéo-économique



Source : les auteurs.

### Couplage épidémiéo-économique

La précédente étape de formalisation des comportements individuels ne prend pas en compte une caractéristique importante des maladies animales : l'évolution de la situation sanitaire interne des troupeaux (prévalence de la maladie intra-troupeau) à un impact sur la situation épidémiologique externe à l'élevage (que l'on peut approcher par la prévalence de la maladie inter-troupeaux), et inversement.

Les modèles destinés à représenter le comportement des éleveurs et les modèles épidémiologiques au niveau inter-troupeaux, présentés précédemment, se doivent par conséquent d'être couplés de manière à rendre compte de l'évolution au cours du temps du statut sanitaire des élevages et de la circulation de l'agent pathogène lorsqu'un moyen de maîtrise est – ou non – implémenté à l'échelle des élevages.

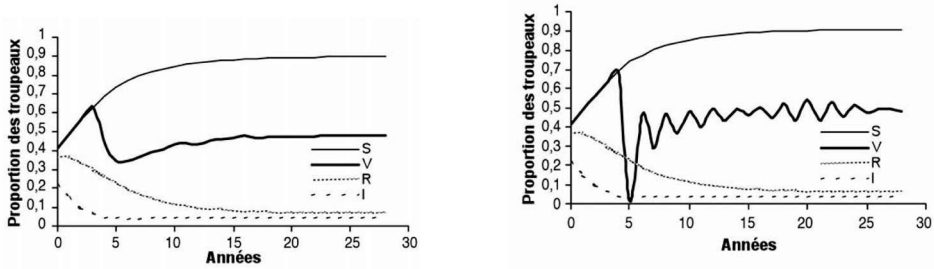
L'idée du couplage de modèles économiques et épidémiologiques a émergé il y a près de deux décennies en économie de la santé humaine, donnant naissance au sous-champ disciplinaire de l'épidémiologie économique (Brito *et al.*, 1991 ; Philipson, 1999 ; Gersovitz et Hammer, 2003, 2004). Ce n'est que très récemment que des premières tentatives de transposition de cette démarche à la question de la maîtrise collective des maladies animales endémiques ont vu le jour (Gramig, 2008 ; Rat-Aspert et Fourichon, 2010 ; Gramig

et Horan, 2011). Ce raisonnement peut être illustré sur la base des travaux de Rat-Aspert et Fourichon (2010) (figure 2).

Le modèle épidémiologique se doit de représenter l'évolution de la maladie entre les élevages et le statut des élevages vis-à-vis de la maladie. Une partie des travaux réalisés antérieurement et prenant en compte l'externalité liée à la maîtrise de la maladie ne formalisait pas explicitement ce modèle épidémiologique, faisant l'hypothèse selon laquelle le niveau de maladie est directement fonction de la proportion d'individus ou d'éleveurs mettant en place une action de maîtrise (Brito *et al.*, 1991 ; Hennessy, 2007). Cependant, le lien entre mesures de maîtrise implémentées dans les élevages et risques d'infection fait appel à des processus épidémiologiques, qui peuvent être formalisés à l'aide d'un modèle de transmission de la maladie. Les moyens de maîtrise de la maladie peuvent être intégrés dans ces modèles. En santé humaine, la décision est prise à l'échelle de l'individu, qui constitue par ailleurs l'unité épidémiologique de base (Coudeville, 2004). En santé animale, l'unité de décision est le troupeau. Le modèle épidémiologique doit donc être adapté pour représenter non pas un statut individuel, mais un statut du troupeau (Rat-Aspert et Fourichon, 2010).

Dans le cas d'une décision de maîtrise répétée dans le temps (*i.e.* l'éleveur décide à chaque pas de temps d'agir ou non

Figure 3. Évolution au cours du temps de la proportion de troupeau dans les états Susceptibles (S), Infectieux (I) Retirés (R) et Vaccinés (V)



a) dans le cas d'une forte hétérogénéité des niveaux de pertes induites par la maladie entre les troupeaux

b) dans le cas d'une faible hétérogénéité des niveaux de pertes entre les troupeaux

Source : Rat-Aspet et Fourichon (2010).

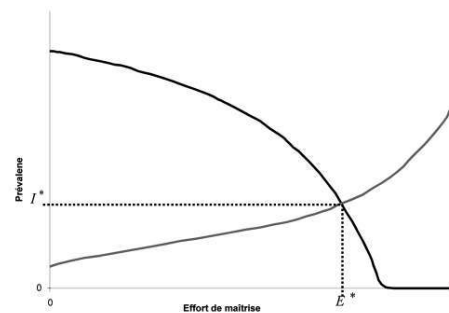
vis-à-vis de la maladie), une telle approche permet de suivre l'évolution au cours du temps de la prévalence de la maladie et du niveau d'effort consenti par les éleveurs. Les rétroactions entre décisions individuelles et prévalence débouchent sur des fluctuations, liées au fait que les efforts de maîtrise consentis par l'éleveur sont fonction du risque externe. Ce niveau d'effort élevé a un impact sur la prévalence de la maladie au sein de la zone, ce qui en retour peut conduire les éleveurs à réviser leurs niveaux d'efforts. Il s'ensuit des fluctuations de la prévalence de la maladie qui peuvent – ou non – déboucher sur un équilibre (figure 3).

Le couplage de modèles économiques et épidémiologiques autorise également l'étude de la situation épidémiologique et économique à l'équilibre. La figure 4 en constitue une illustration. Sur cette figure, le modèle économique détermine en effet le niveau d'effort consenti par les éleveurs, en fonction de la prévalence de la maladie. Le modèle épidémiologique fournit quant à lui la valeur de la prévalence en fonction de l'intensité des efforts de maîtrise des acteurs.

La prévalence inter-troupeaux constituant un indicateur de la probabilité pour une exploitation d'être touchée par la

maladie, le niveau d'effort de maîtrise consenti par les éleveurs, issu du modèle économique est, dans notre exemple, une fonction croissante de la valeur de la prévalence (matérialisée par la courbe grise sur la figure 3). C'est le cas pour une maîtrise de la maladie par la vaccination : plus la prévalence est élevée, plus le risque d'infection est élevé et plus les éleveurs sont

Figure 4. Équilibre endémique de la maladie



Note : Dans cet exemple, la valeur de l'effort de maîtrise correspond à la proportion d'éleveurs qui décident de vacciner leur troupeau. La courbe grise traduit le niveau d'effort de maîtrise en fonction du niveau de prévalence (contrainte économique). La courbe noire représente la prévalence atteinte pour un effort de maîtrise donné (contrainte épidémiologique). Le croisement des deux courbes donne la valeur de la prévalence  $I^*$  et le niveau d'effort  $E^*$  à l'équilibre endémique.

Source : Rat-Aspet et Fourichon (2010).

incités à protéger leur troupeau<sup>2</sup>. D'un autre côté, l'effort de maîtrise fait diminuer la prévalence du fait de l'externalité positive liée à la maîtrise de la maladie (courbe noire). La confrontation du modèle épidémiologique et du modèle économique permet alors de déterminer la prévalence et l'effort de maîtrise des acteurs à l'équilibre endémique, atteint lorsque l'effort consenti par les acteurs pour un niveau de prévalence donné correspond à celui permettant d'obtenir cette prévalence. Cette représentation simple de la confrontation entre décision et épidémiologie présente des traits communs avec les représentations des marchés et de la concurrence pure et parfaite. L'atomicité des acteurs fait que ceux-ci prennent leur décision en fonction de la prévalence, mais n'ont pas le pouvoir de fixer la prévalence. En effet, la modification de comportement d'un éleveur aura un impact négligeable sur le niveau de prévalence. L'homogénéité des acteurs et de la prévalence (libre circulation du pathogène) induit un risque commun et partagé entre tous les acteurs : chaque éleveur subit la même pression de prévalence. L'information parfaite est aussi une hypothèse clé de l'obtention de l'équilibre : les acteurs disposent d'une connaissance parfaite de la prévalence inter-troupeaux, leur permettant d'ajuster leur effort de maîtrise en fonction des évolutions de la prévalence.

L'illustration qui précède repose sur des hypothèses fortes, qu'il serait intéressant de relâcher (prise en compte de l'information imparfaite des éleveurs concernant la prévalence de la maladie au sein de la zone, irréversibilité des moyens de maîtrise, par exemple). La relative simplicité apparente de cette illustration ne doit pas

occulter la complexité des modèles (épidémiologiques particulièrement) sous-jacents. Notons également que des éléments de théorie des jeux pourraient être mobilisés pour formaliser d'éventuels comportements stratégiques des éleveurs (comportements de passager clandestin, par exemple). L'hypothèse est faite dans l'illustration présentée ici que l'éleveur ne prend sa décision qu'en fonction de la situation épidémiologique à un instant  $t$ . Cette composante stratégique de la décision est forte dans le cas des maladies épidémiques, pour lesquels la décision est prise avant la survenue de la maladie dans la zone, on pense par exemple aux vaccinations contre la grippe (Bauch *et al.*, 2005) ou dans le cas où le risque dépend de la stratégie du voisin (Kobayashi et Melkonyan, 2011).

### Mise en place de mesures incitatives

La dernière étape de ce cadre conceptuel consiste en la prise en compte dans les modèles épidémiologiques et économiques de l'intervention collective. La prédiction des résultats de ces actions collectives de gestion de la santé animale est rendue difficile puisqu'elle doit prendre en compte les choix individuels des acteurs dans la mise en œuvre des actions de maîtrise. Ainsi, l'intégration des moyens de gestion collective dans les modèles épidémio-économiques est de nature à constituer un outil puissant d'aide à la décision pour des décideurs collectifs. Il s'agit plus spécifiquement d'introduire dans le modèle de décision un effet lié aux moyens de gestion collective mis en place (incitations financières à la gestion individuelle, par exemple). Ce type de modèles permet de tester des scénarios de maîtrise et aussi d'optimiser les moyens de gestion collective. Il convient de distinguer deux étapes dans la mise en œuvre de l'action de maîtrise. Dans un premier temps, des actions sont mises en place, elles ont un impact

---

2. Il peut exister des moyens de maîtrise pour lesquels l'effort sera inversement proportionnel à la prévalence. Par exemple, la dépopulation (remplacement du cheptel par un cheptel sain), mise en place dans le cas du Syndrome dysgénésique et respiratoire porcin (SDRP), sera plus facilement mise en place si le risque de réinfection est faible.

sur la situation épidémiologique. Dans un second temps, un équilibre de la situation épidémiologique est atteint. La modélisation devra s'intéresser à ces deux étapes. En particulier, dans le cas d'une éradication, la situation à l'équilibre sort du cadre des maladies endémiques. Ainsi, dans le cas de la Bretagne, qui a quasiment éradiqué la BVD de son territoire (Joly *et al.*, 2005), la gestion de la maladie consiste maintenant en une surveillance pour prévenir la réintroduction de celle-ci.

L'objectif poursuivi par le gestionnaire est généralement épidémiologique, ce dernier visant l'éradication de la maladie à l'échelle d'une zone géographique ou la limitation de la circulation virale. Mais le cadre d'analyse proposé ici permettrait également de poursuivre un objectif économique, tel que la maximisation du bien-être collectif, qui est moins intégré dans la prise de décision des gestionnaires collectifs. Ainsi, l'équilibre épidémiologique souhaité peut être un résultat du modèle (équilibre maximisant la fonction objectif du gestionnaire) ou peut être exogène au modèle (lorsque l'objectif du gestionnaire est épidémiologique : éradication ou objectif en termes de réduction de la prévalence). La recherche d'un optimum ne requiert pas nécessairement l'emploi d'un modèle dynamique dans la mesure où les résultats à l'équilibre peuvent être calculés (voir par exemple les résultats de Rat-Aspert, 2010). Cependant, pour des modèles plus complexes, les valeurs à l'équilibre sont issues de simulations de l'évolution de la maladie et des décisions des éleveurs obtenues au moyen de modèles dynamiques. La modélisation dynamique est également nécessaire pour optimiser les moyens d'atteindre l'équilibre dans le cas d'un équilibre défini de manière exogène, mais aussi pour vérifier que l'équilibre est atteignable dans le cas de l'optimisation d'une fonction objectif du gestionnaire collectif.

Dans le cas de maximisation d'une fonction objectif, il convient de tenir compte des coûts pour le gestionnaire et des bénéfices retirés par les éleveurs. La question de la fonction à optimiser dépend de l'objectif et des moyens réels du gestionnaire. En effet, pour prendre l'exemple des Groupements de défense sanitaire, une grande partie des fonds alloués à la maîtrise provient des cotisations des éleveurs eux-mêmes. Puisque la gestion n'est pas réglementée, une recherche d'optimum avec un équilibre incitation/pénalités tel que proposé par Brito *et al.* (1991) ne semble pas possible. En effet, un Groupement de défense sanitaire pourra facilement proposer des incitations à la gestion, mais la mise en place de pénalités semble difficilement concevable, eu égard à l'adoption sur une base volontaire des mesures individuelles de maîtrise. La gestion collective relevant d'une coordination horizontale correspond donc essentiellement à une réallocation des ressources provenant des éleveurs.

\*

\* \*

Du fait des rétroactions entre les décisions individuelles de maîtrise des éleveurs et l'évolution de la maladie, il est nécessaire, pour l'étude des maladies endémiques transmissibles et non réglementées, de coupler un modèle épidémiologique décrivant l'évolution de la maladie au sein d'une zone géographique et d'un modèle économique décrivant les décisions des éleveurs en fonction de la situation sanitaire de leur élevage et du contexte épidémiologique local. Le cadre d'analyse proposé dans cet article doit servir de base à l'élaboration de modèles intégrés, permettant de tester et d'optimiser des outils de maîtrise collective des maladies animales. Son implémentation pour des maladies d'intérêt constitue à cet égard un enjeu de recherche important dans le champ de l'économie de la santé animale. Il s'agit également d'apporter aux



décideurs impliqués une aide à l'élaboration de schémas d'interventions sanitaires efficaces, tant du point de vue économique que du point de vue épidémiologique. Ce couplage de l'épidémiologie et de l'économie est également susceptible de trouver d'autres applications dans le cadre de la gestion d'agents pathogènes responsables d'externalités pesant sur la qualité sanitaire du produit, impliquant l'aval de la filière et justifiant la mise en place de dispositifs de coordination verticale des actions de maîtrise.

Trouvant des applications pour de nombreuses entités biologiques particulières, la

portée de ces travaux n'en demeure pas moins générique. Le cadre d'analyse devra néanmoins être adapté au cas par cas au type de maladies considéré, à la situation épidémiologique des territoires concernés, aux moyens de maîtrise susceptibles d'être mis en œuvre par les éleveurs et aux moyens et objectifs des décideurs collectifs. ■

*Cette recherche a bénéficié du soutien financier du programme INRA PSDR (Pour et Sur le Développement Régional) Grand Ouest, dans le cadre du projet Sancre (Santé animale, sécurité de l'aliment et compétitivité des filières animales régionales).*

---

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bauch C. (2005). Imitation dynamics predict vaccinating behavior. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 272, p. 1669-1675.
- Brito D. L., Sheshinski E., Intriligator M. D. (1991). Externalities and compulsory vaccinations. *Journal of Public Economics*, vol. 45, p. 69-90.
- Cassagne M.-H. (2004) La participation des éleveurs au contrôle des épizooties dans les pays développés : l'exemple de la France. *Revue Scientifique et Technique de l'Office International des Épizooties*, vol. 23, p. 157-164.
- Chi J., Weersink A., VanLeeuwen J. A., Keefe G. P. (2002). The Economics of Controlling Infectious Diseases on Dairy Farms. *Canadian Journal of Agricultural Economics*, vol. 50, n°3, p. 237-256.
- Chilonda P., Van Huylenbroeck G. (2001). A conceptual framework for the economic analysis of factors influencing decision-making of small-scale farmers in animal health management. *Revue Scientifique et Technique de l'Office International des Épizooties*, vol. 20, p. 687-700.
- Coudeville L. (2004). Comportement individuel en matière de vaccination : une approche bayésienne. *Revue Économique*, vol. 55, p. 745-765.
- Gersovitz M., Hammer G. S. (2003). Infectious Diseases, Public Policy, and the Marriage of Economics and Epidemiology. *World Bank Research Observer*, vol. 18, p. 129-157.
- Gersovitz M., Hammer G. S. (2004). The economical control of infectious diseases. *Economic Journal*, vol. 114, p. 1-27.
- Gramig B. M. (2008). *Essays on the economics of livestock disease management: On-farm biosecurity adoption, asymmetric information in policy design, and decentralized bioeconomic dynamics*. PhD Thesis, Michigan State University, Department of Agricultural Economics, 101 p.
- Gramig B. M., Horan R. D. (2011). Jointly determined livestock disease dynamics and decentralised economic behaviour. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, vol. 55, p. 393-410.
- Hennessy D. A. (2007). Behavioral Incentives, Equilibrium Endemic Disease, and Health Management Policy for Farmed Animals. *American Journal of Agricultural Economics*, vol. 89, p. 698-711.
- Hoch T., Fourichon C., Viet A.-F., Seegers H. (2008). Influence of the transmission



- function on a simulated pathogen spread within a population, *Epidemiology and infection*, vol. 136, p. 1374-1382.
- Joly A., Fourichon C., Beaudeau F. (2005). Description and first results of a BVDV control scheme in Brittany (western France). *Preventive Veterinary Medicine*, vol. 72, p. 209-213.
- Kobayashi M., Melkonyan T. (2011). Strategic Incentives in Biosecurity Actions: Theoretical and Empirical Analyses. *Journal of Agricultural and Resource Economics*, vol. 36, p. 242-262.
- McInerney J. (1996). Old Economics for New Problems: Livestock Disease. *Journal of Agricultural Economics*, vol. 47, p. 395-314.
- McInerney J. P. (1988). The economic analysis of livestock disease: the developing framework. *Proceedings of the 5th International Symposium on Veterinary Epidemiology and Economics (ISVEE)*, Copenhagen (Denmark), p. 64-74.
- McInerney J. P., Howe K. S., Schepers J. A. (1992). A framework for the economic analysis of disease in farm livestock. *Preventive Veterinary Medicine*, vol. 13, p. 137-154.
- Petit H. (2003). Différentes stratégies de lutte contre la BVD menées en France par les Groupements de Défense Sanitaire. *Rencontres autour des recherches sur les ruminants*, p. 277-280.
- Philipson T. (1999). *Economic Epidemiology and Infectious Diseases*. Working Paper No W7037, University of Chicago, National Bureau of Economic Research (NBER), March., 44 p.
- Rat-Aspert O., Fourichon C. (2010). Modeling collective effectiveness of voluntary vaccination with and without incentives. *Preventive Veterinary Medicine*, vol. 93, p. 265-275.
- Seegers H., Ezanno P., Krebs S., Rat-Aspert O., Viet A.-F., Belloc C., Charron M., Malher X., Fourichon C. (2011). *Modélisation et aide aux décisions en gestion de la santé animale*. 18<sup>es</sup> Journées Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants <<http://www.journees3r.fr/spip.php?article3178>>
- Tisdell C. (1995). *Assessing the Approach to Cost-Benefit Analysis of Controlling Livestock Diseases of McInerney and Others*. Research Papers and Reports in Animal Health Economics, n° 3, Department of Economics, University of Queensland, 44 p.