

La maîtrise collective de la santé animale à l'épreuve des choix individuels : approche théorique de la décision de vaccination des animaux

RAT-ASPERT O. (1), PETIT E. (2), FOURICHON C. (1)

(1) UMR1300 bio agression - épidémiologie et analyse de risque - ENVN - INRA - Atlanpole-Chantrerie - BP 40706 - 44307 Nantes Cedex 03

(2) FRGDS de Bourgogne - 42 rue de Mulhouse - 21000 Dijon

RESUME - L'efficacité des stratégies collectives de maîtrise de la santé animale dépend de leur acceptation et de leur mise en pratique par les éleveurs. Elle peut être inférieure à ce qui est attendu, notamment du fait de comportements opportunistes. L'approche proposée ici a pour objectif d'évaluer l'efficacité, au niveau d'une région, d'une stratégie d'intervention contre une maladie transmissible reposant sur la vaccination, en intégrant la possibilité d'un choix individuel des agriculteurs. Ces derniers sont supposés maximiser l'utilité de leurs décisions, dans un monde économique certain. Nous prenons l'exemple d'une maladie transmissible endémique pouvant être prévenue par la vaccination, en nous référant à l'épidémiologie et aux impacts financiers observés pour la diarrhée virale bovine (BVD). Pour ce type de maladie, la prévention individuelle a un impact sur le risque pour la collectivité, puisque la proportion de troupeaux vaccinés peut influencer l'évolution de la prévalence de la maladie (et donc le risque d'infection pour les autres troupeaux). La vaccination est donc à l'origine d'une externalité positive qui en retour peut influencer la prise de décision des éleveurs. Ces impacts sont ici étudiés de façon dynamique, en couplant un modèle de prise de décision des éleveurs à un modèle épidémiologique.

Dans les conditions du modèle, la vaccination permet de limiter la prévalence de la maladie. Cependant, même avec des mesures incitatives en faveur de la vaccination, l'éradication n'est pas atteinte, sauf dans le cas extrême de la compensation totale du coût (ou gratuité) de la vaccination.

Mots-clefs : vaccination, externalités, gestion collective de la santé, choix individuels

Collective management of animal health put to the test of individual behaviour: theoretical approach of the decision to vaccinate animals

RAT-ASPERT O. (1), PETIT E. (2), FOURICHON C. (1)

(1) UMR1300 Bioagression - Epidemiology and Risk Analysis - ENVN-INRA - Atlanpole-Chantrerie - B.P. 40706 - 44307 Nantes Cedex 03

SUMMARY - The efficiency of collective management of animal health depends on its adoption by farmers. It can be less than expected because of their opportunistic behaviour. Our approach aims at evaluating the efficiency of a regional control strategy against endemic diseases relying on vaccination, taking into account the individual behaviour of farmers. Farmers are assumed to maximise their utility, in a certain economic world. We study the case of a contagious endemic disease that can be prevented by vaccination, inspired by epidemiology and economic losses of BVDV (*bovine viral diarrhoea virus*). For such a disease, individual prevention impacts collective risk, because the proportion of herds vaccinated impacts the evolution of the prevalence (and so the risk of infection for other herds). Vaccination leads to a positive external effect that in return can impact the decision of the farmers. These impacts are studied in this paper by coupling a decision model with an epidemiologic model.

Given the assumptions of the model, vaccination based on individual decisions allows reducing the prevalence of the disease in a region. An increase in subsidies for vaccination decreases the prevalence of the disease among farms. Nevertheless, the proportion of farms that vaccinate at equilibrium cannot allow eradication of the disease, except in the case of a costless vaccination (for farmers).

Keywords : Vaccination, Externalities, Collective management of health, Individual choices.

INTRODUCTION

Les maladies animales peuvent être classées en deux catégories selon qu'elles sont réglementées ou non. Dans le cas des maladies réglementées, telles que la tuberculose ou la fièvre aphteuse, les pouvoirs publics peuvent imposer des moyens de maîtrise aux agriculteurs (tests de dépistage, vaccination). Pour les autres maladies, la gestion de la santé est laissée à l'initiative des agriculteurs. Ceux-ci, organisés en GDS (groupements de défense sanitaire), peuvent mettre en place des moyens de gestion collective, mais la coordination est limitée par le fait que chacun est libre d'accepter ou non les moyens proposés. La gestion de la BVD (*bovine viral diarrhoea*), maladie endémique des bovins en France, illustre bien ce problème. Différents moyens de gestion sont mis en place selon les régions suivant les contraintes liées aux productions. En Bourgogne, dans une région où le suivi du virus est rendu difficile du fait d'une production bovine essentiellement allaitante, la vaccination est mise en avant comme moyen principal de

limitation de l'expression clinique de la maladie et de sa circulation (Petit, 2005). Ainsi, le GDS communique sur la protection vaccinale des troupeaux. Pour favoriser l'adoption de la vaccination en vue d'améliorer la situation sanitaire d'une région, des mesures incitatives financières pourraient être envisagées. Toutefois, même si communication ou incitation peuvent influencer la décision de l'éleveur, c'est à ce dernier que revient le choix de vacciner ou non son troupeau, en fonction du risque perçu, des contraintes, du coût et de l'efficacité escomptée.

Cette situation doit être prise en compte pour envisager l'allocation de ressources pour une gestion collective. La vaccination, dont l'intérêt pour l'éleveur est la protection individuelle de son cheptel, est à l'origine d'une externalité positive : elle diminue la prévalence de la maladie dans la zone et limite l'exposition des cheptels voisins au virus. En retour, cette diminution du risque peut influencer négativement la volonté des exploitants à vacciner.

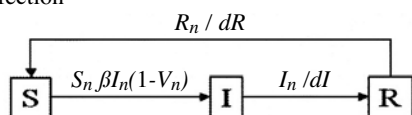
La question du comportement individuel en matière de vaccination a été étudiée en santé humaine par Brito *et al.*, (1990), qui se sont intéressés aux externalités engendrées par la vaccination. Elle n'a cependant pas été abordée dans le domaine de la vaccination animale. Notre travail étudie, à l'aide d'un modèle théorique, les évolutions de la maladie et de la couverture vaccinale ainsi que les impacts de mesures incitatives pour la vaccination lorsque le choix final est laissé aux éleveurs. Il vise à alimenter la réflexion sur la pertinence de la gestion par la vaccination des maladies animales non réglementées et sur les moyens de coordination de la vaccination.

1. MATERIEL ET METHODE

1.1. MODELE EPIDEMIOLOGIQUE

Pour ce travail, dont la portée est théorique, le modèle épidémiologique se veut simple. Nous considérons que chaque unité représente un troupeau. Dans notre modèle, dit « modèle SIR », l'état des troupeaux évolue au cours du temps entre les états S sensible, I infectieux ou R résistant (figure 1).

Figure 1 : modèle SIR : transition entre états des troupeaux vis-à-vis de l'infection



S_n, I_n et R_n : proportion de troupeaux d'état S (*sensible*), I (*infectieux*) et R (*résistant*) l'année n ; β : taux de transmission ; V_n : proportion de troupeaux d'état S vaccinés l'année n ; dl et dR : durées moyennes de résistance et d'infection d'un troupeau.

Le modèle, en définissant les états I et R comme des états d'infection et de résistance moyens d'un troupeau, est une représentation simplifiée. Cette maladie, si elle a des impacts importants sur les troupeaux, ne remet pas en cause leur viabilité. Nous supposons donc que leur nombre n'évolue pas en fonction de l'état de santé des troupeaux et du niveau de prévalence. Nous faisons également les hypothèses suivantes : la vaccination protège les troupeaux sensibles S, avec une efficacité totale ; la vaccination d'un troupeau résistant R ou infectieux I n'a aucun impact sur les durées d'infection et de résistance de ces troupeaux ; seuls les troupeaux S sont susceptibles d'être vaccinés. Dans le cas de la BVD, la vaccination protège le troupeau pendant une année, la prise de décision concernant la vaccination est annuelle, le pas de temps retenu pour le modèle est de ce fait l'année. La proportion βI_n d'exploitations susceptibles d'être infectées qui le sont pendant l'année n est proportionnelle à la prévalence. La proportion de troupeaux susceptibles de passer de l'état S à I pendant l'année n est égale à $S_n(1-V_n)$ (figure 1 pour la signification des lettres). Elle diminue quand la proportion de troupeaux vaccinés augmente. Les changements d'état d'une année à l'autre peuvent être exprimés par les équations suivantes :

$$\begin{cases} S_{n+1} = S_n - S_n \beta I_n (1 - V_n) + R_n / dR \\ I_{n+1} = I_n + S_n \beta I_n (1 - V_n) - I_n / dl \\ R_{n+1} = R_n + I_n / dl - R_n / dR \end{cases} \quad (1)$$

1.2. MODELE DE DECISION

Nous avons fait des hypothèses sur les mesures de maîtrise. Le seul moyen de lutte à disposition des producteurs est la vaccination. La vaccination protège l'ensemble du troupeau contre l'infection avec une efficacité totale. La vaccination protège le troupeau une année sans effet sur la protection l'année suivante, ni sur le coût de la vaccination l'année suivante. Le choix de vaccination est donc totalement réversible d'une année à l'autre.

Nous supposons que les producteurs sont guidés par une rationalité économique conduisant à une maximisation de l'utilité espérée en connaissance parfaite des conséquences de leurs choix. L'utilité reflète ici la satisfaction d'un producteur liée à une espérance de gain. Cette satisfaction dépend de son aversion au risque. L'utilité est calculée en fonction du revenu espéré avec \emptyset le revenu annuel d'une exploitation indemne, M les pertes pour une exploitation consécutives à l'infection du troupeau, et Cv le coût de la vaccination. Pour simplifier le modèle, nous avons concentré l'ensemble des pertes dues à l'infection sur l'année d'infection.

La fonction d'utilité permet de décrire les choix en incertitude et est utilisée en économie agricole (Reynaud, 2004). Nous avons pour un gain Π , une utilité $U_\alpha(\Pi)$ égale à :

$$U_\alpha(\Pi) = \frac{1}{1-\alpha} \Pi^{1-\alpha} \quad (2)$$

α est le coefficient relatif d'aversion au risque, propre à chaque agriculteur. Dans notre modèle, l'aversion au risque dans la population d'agriculteurs suit une distribution uniforme plus ou moins dispersée autour d'une moyenne égale à 0,2 correspondant à une population plutôt averse au risque.

Le producteur vaccine lorsque l'utilité espérée de la vaccination est supérieure à l'utilité espérée de la non vaccination, soit :

$$U_\alpha(\emptyset - Cv) > \beta I_n U_\alpha(\emptyset - M) + (1 - \beta I_n) U_\alpha(\emptyset) \quad (3)$$

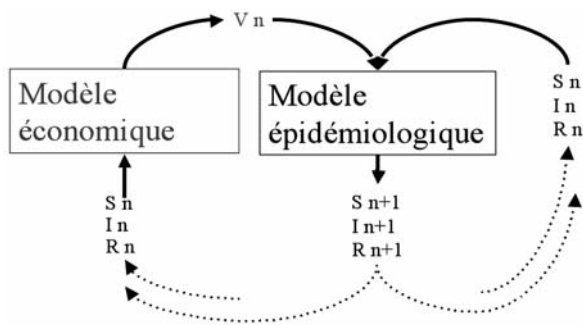
L'utilité espérée de la vaccination est ici l'utilité du gain $\emptyset - Cv$ alors que l'utilité espérée de la non vaccination est l'utilité du gain \emptyset multipliée par la probabilité de ne pas être infecté additionnée de l'utilité du gain $\emptyset - M$ multiplié par la probabilité d'être infecté.

La probabilité d'être infecté est donnée par le modèle épidémiologique et est égale à βI_n . Nous supposons ici que cette probabilité est parfaitement connue par les exploitants. La décision de vacciner est prise chaque année n . Un producteur ne peut vacciner que si son exploitation a un statut S. L'agrégation des choix de l'ensemble des exploitants donne V_n , la proportion d'exploitants de statut S qui vaccinent leur troupeau pendant l'année n .

1.3. COUPLAGE DES MODELES

Les deux modèles (épidémiologique et décisionnel) sont interdépendants. La vaccination influence la prévalence de la maladie et la prévalence de la maladie influence le choix de vaccination, tel que décrit dans la figure 2.

Figure 2 : relations entre les modèles économique et épidémiologique



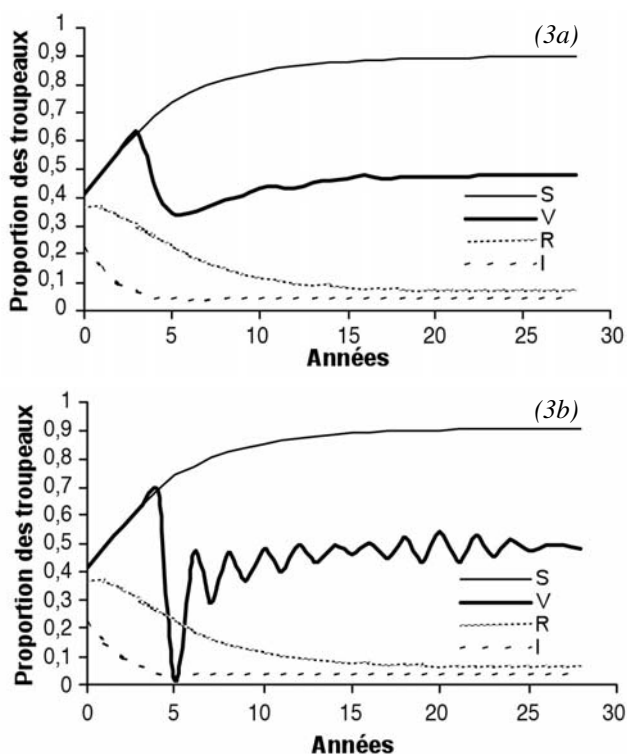
La valeur I_n de la prévalence, qui est une sortie du modèle épidémiologique l'année n , alimente le modèle de décision pour l'année n . La proportion V_n d'exploitations vaccinant leur troupeau, qui est une sortie du modèle de décision l'année n , alimente le modèle épidémiologique l'année $n+1$. Le modèle épidémiologique s'auto alimente d'une année sur l'autre alors que pour le modèle de prise de décision, la décision prise l'année $n+1$ n'est pas liée directement à la décision prise l'année n .

2. RESULTATS

2.1 VERS UN EQUILIBRE DE LA VACCINATION ET DE LA PREVALENCE

Les deux modèles couplés permettent de simuler les évolutions au cours du temps de la proportion de troupeaux de statut sensible, infectieux et résistant.

Figure 3 : évolution au cours du temps de la proportion de la population sensible (S), infectieuse (I), résistante (R) et vaccinée (V). (3a) forte hétérogénéité de l'aversion au risque ; (3b) aversion au risque peu variable



Les simulations conduisent à deux situations : soit à une convergence vers l'équilibre de la prévalence et de la proportion de troupeaux vaccinés, ceci quand l'hétérogénéité de l'aversion au risque est forte dans la population de producteurs, soit à une oscillation de la proportion des troupeaux vaccinés, quand l'aversion varie peu entre producteurs. Deux exemples de ces situations sont présentés sur la figure 3.

2.2. UNE ERADICATION IMPOSSIBLE

L'analyse du fonctionnement du modèle montre qu'il existe une valeur seuil de I en dessous de laquelle l'exploitant décide de ne plus vacciner. Il faut que l'inégalité (3) soit vérifiée pour que l'exploitant ayant un coefficient d'aversion au risque vaccine. La valeur seuil de I vérifie :

$$I = \frac{U_\alpha(\emptyset) - U_\alpha(\emptyset - C_v)}{\beta(U_\alpha(\emptyset) - U_\alpha(\emptyset - M))} \quad (4)$$

La fonction d'utilité $U_\alpha(\Pi)$ étant strictement croissante, cette valeur de I est strictement positive pour toute valeur de α , à la condition que C_v , le coût de la vaccination, soit supérieur à zéro. L'équation (4) permet de calculer la proportion d'exploitants vaccinant leur troupeau en fonction de la valeur de I . La forme de cette fonction dépend de la distribution de l'aversion au risque dans la population. La proportion d'exploitants voulant vacciner diminue à mesure que I diminue.

Le modèle épidémiologique permet de déterminer la proportion I de troupeaux infectieux à l'équilibre en fonction de la proportion V de troupeaux vaccinés. Cette proportion I vérifie :

$$I = \frac{\beta d I (1 - V) - 1}{\beta (dR + dI) (1 - V)} \quad (5)$$

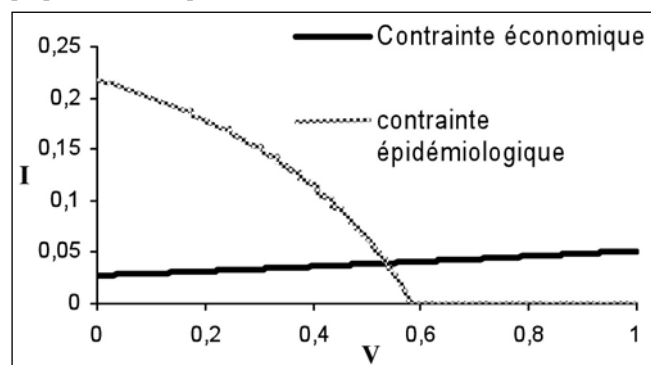
La figure 4 représente les deux fonctions de contrainte économique et épidémiologique exprimant les relations entre I et V . La fonction de contrainte économique est issue de l'équation (4), et exprime la proportion d'exploitants qui vaccinent en fonction de la prévalence. La fonction de contrainte épidémiologique est l'équation (5). Le croisement des deux courbes est le seul équilibre possible. Mais cet équilibre n'est pas forcément atteint.

Dans le cas d'oscillations autour des valeurs d'équilibre, l'ajustement de la proportion d'éleveurs vaccinant se fait sur un temps court (une année), alors que l'évolution de la situation épidémiologique se déroule sur une durée plus longue.

Les oscillations autour de l'équilibre ne permettent pas d'atteindre l'éradication puisque la proportion d'éleveurs vaccinant est modifiée plus rapidement que la prévalence.

Dans les conditions du modèle, la vaccination ne permet pas l'éradication de la maladie, sauf si le coût de la vaccination est nul. Dans ce dernier cas, on suppose que tous les exploitants vaccinent, jusqu'à ce que le risque soit rendu nul par l'éradication de la maladie.

Figure 4 : relations entre la proportion de troupeaux vaccinés (V) et la prévalence de l'infection (I) induites par les contraintes économique (décision de vaccination en fonction de la prévalence observée) et épidémiologique (prévalence en fonction de la proportion de troupeaux vaccinés)



2.3. LES MOYENS D'INCITATION

Nous avons envisagé deux moyens d'incitation. Le premier consiste en la subvention de la vaccination. Le second est le conditionnement des soutiens accordés aux exploitants dans le cas d'une infection importante d'un cheptel au respect de la recommandation de vaccination. En effet, des caisses « coup dur » sont mises en place par les GDS pour permettre une compensation de fortes pertes dues aux maladies. Ce dispositif limite les pertes de revenu dues à la maladie pour l'exploitation. En conditionnant l'octroi d'une telle aide à l'utilisation de la vaccination, les GDS peuvent inciter à la vaccination.

La subvention de la vaccination comme le conditionnement des aides conduisent à une diminution de la valeur seuil de I en dessous de laquelle les exploitants ne vaccinent plus leur troupeau, diminuant de ce fait la valeur de I à l'équilibre, soit la prévalence de la maladie. Le conditionnement de l'accès à la caisse « coup dur » permet une diminution de la prévalence en diminuant le coût pour le GDS. Il y a ici une forme de suppression de l'aléa moral, les producteurs n'augmentent plus leur prise de risque puisqu'ils supportent entièrement les conséquences d'une éventuelle infection. Subventionner la vaccination a, au contraire, un coût important pour le GDS. Quel que soit le niveau de subvention, la prévalence à l'équilibre reste supérieure à zéro, sauf si le coût de la vaccination est totalement compensé.

3. DISCUSSION

Les résultats présentés montrent l'importance de la prise en compte des décisions individuelles et des externalités qu'elles engendrent dans les actions de maîtrise collective en santé animale. Ils sont cohérents avec d'autres travaux de modélisation réalisés en santé humaine qui concluent à une couverture vaccinale à l'équilibre ne permettant pas l'éradication d'une maladie (Coudeville, 2004).

Les résultats obtenus dépendent de processus décisionnels et épidémiologiques modélisés de façon volontairement simple dans ce travail. Les hypothèses fortes de ces modèles pourraient avoir un impact sur les résultats.

Le modèle épidémiologique peut être amélioré pour des études empiriques de maladies, en calibrant le modèle SIR ou en adoptant un modèle plus complexe représentant mieux l'épidémiologie de la maladie. Le modèle peut également être adapté pour représenter plus fidèlement l'impact de la vaccination, dont l'efficacité n'est, dans les faits, pas parfaite.

Concernant le modèle de décision, nous supposons que les agents ont une information parfaite. Cependant, il peut exister un biais cognitif : la perception du risque lié à la maladie ainsi que celle de l'efficacité du vaccin peuvent être biaisées selon les informations dont dispose l'exploitant, provenant à la fois des prescripteurs que sont les GDS et les vétérinaires et plus largement de ses réseaux sociaux. Il est probable que la perception du risque soit aussi décalée dans le temps, les exploitants n'ayant pas un accès direct et immédiat à l'information sur le niveau de prévalence de la maladie. Une surévaluation du risque encouru peut amener certains exploitants à vacciner alors qu'ils n'y ont plus d'intérêt individuel, et conduire ainsi à l'éradication.

Le choix de vacciner ou non est vraisemblablement plus complexe qu'un choix binaire dans la mesure où la décision est liée aux autres moyens de maîtrise mis en œuvre à l'échelle de l'exploitation. De plus, cette décision n'est pas totalement réversible. Même si les vaccins protégeant les troupeaux contre la BVD sont administrés chaque année, la vaccination du cheptel peut être perçue par un agriculteur comme un investissement pour maintenir son troupeau indemne. L'exploitant prend sans doute sa décision en fonction du risque, mais aussi en fonction de ses décisions passées. La contrainte de travail liée à la vaccination peut également être prise en compte dans le choix de l'éleveur.

Ainsi, la rationalité de l'éleveur est probablement plus complexe que la simple rationalité économique décrite dans notre modèle. L'exploitant adapte sa décision à la situation perçue de son exploitation et à ses finalités en fonction de son environnement économique et social (Brossier, 1980).

CONCLUSION

Sur la base d'hypothèses simples, ce travail a permis de mettre en évidence que, si la vaccination est laissée à l'initiative de l'éleveur, elle ne permet pas l'éradication de la maladie du fait de l'adaptation des éleveurs à une situation épidémiologique évoluant avec la vaccination. Les hypothèses fortes du modèle de décision imposent de traiter ces résultats avec précaution. Mais elles soulèvent de nouvelles questions quant à la perception du risque et la prise de décision.

En permettant d'étudier l'impact des incitations sur la gestion de la maladie, ce travail constitue une première étape pour l'élaboration d'outils d'optimisation des moyens de gestion collective de la santé animale, permettant une rationalisation de l'emploi des ressources allouées à la gestion des maladies.

Ce travail a été réalisé avec le soutien financier de l'« ANR-agence nationale de la recherche » dans le cadre du « programme agriculture et développement durable », projet « ANR-05-PADD-014, action collective pour une maîtrise durable de la santé animale : qualification sanitaire en élevage de ruminants ».

Brito D., Sheshinski E., Intriligator M., 1990. *Journal of Public Economics*, 45, 69-90

Brossier J., 1980. *Economie Rurale*, 136, 111-113

Coudeville L., 2004. *Revue Economique*, 55-4, 745-766

Reynaud A., 2008. *Cahiers d'Economie et Sociologie Rurale*, à paraître

Petit E., 2005. *Rencontres Recherches Ruminants*, 12, 276