

# EFFICACITE DANS UNE POPULATION D'EXPLOITATIONS BOVINES D'UNE VACCINATION VOLONTAIRE CONTRE UNE MALADIE TRANSMISSIBLE ENZOOTIQUE : ETUDE PAR COUPLAGE D'UN MODELE EPIDEMIOLOGIQUE ET D'UN MODELE ECONOMIQUE\*

Olivier Rat-Aspert<sup>1</sup> et Christine Fourichon<sup>1</sup>

## RESUME

Dans le cas des maladies transmissibles, les actions individuelles de maîtrise ont un impact sur le risque d'infection des exploitations d'un territoire. Si la maladie est non réglementée, la décision de gestion est laissée à l'appréciation de l'éleveur, ce dernier ne prenant pas nécessairement en compte cet effet collectif : la maîtrise individuelle est donc à l'origine d'une externalité. En retour, l'évolution du risque consécutive à cette externalité peut avoir un impact sur la décision des éleveurs. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'efficacité dans une population d'une stratégie de maîtrise de maladie basée sur la vaccination individuelle et volontaire des troupeaux. Nous avons développé un modèle théorique couplant la dynamique de décision des éleveurs et la dynamique de la maladie. Il permet de décrire l'évolution, dans une population de troupeaux, de la prévalence de l'infection et de la couverture vaccinale ainsi que d'étudier l'effet d'incitations financières à la vaccination. Dans les conditions du modèle, nous montrons que la vaccination volontaire limite la prévalence de l'infection, mais ne permet pas l'éradication de la maladie, même si des incitations sont mises en place.

**Mots-clés** : contrôle des maladies, modélisation, externalités, vaccination, décision individuelle.

## SUMMARY

For transmissible diseases, individual management of the disease reduces the probability for other herds to be infected. When the disease is not regulated, the choice of the control measures is left to farmers, who did not necessarily take into account the collective effect : individual management of transmissible diseases creates a positive externality. Besides, the decrease in risk due to the positive externality may have an impact on the individual choices. The objectives of this study are to evaluate the effectiveness at a regional level of voluntary vaccination. We developed a dynamic deterministic model, based on a decision model interacting with an epidemiological state transition model. It determines the proportion of farmers who vaccinate and the prevalence of infected herds over time. The model shows that voluntary vaccination cannot eradicate the modeled disease. Incentives for vaccination decrease the prevalence but do not result in eradication of the disease.

**Keywords**: Disease control, Modelling, Externalities, Vaccination, Individual decision.



\* Texte de la communication présentée au cours des Journées scientifiques AEEMA, 21 mai 2010

<sup>1</sup> UMR1300 Bio-Agression, épidémiologie et analyse de risque en santé animale, ONIRIS-INRA, F-44307 Nantes, France, olivier.rat-aspert@oniris-nantes.fr

---

## I -INTRODUCTION

---

L'efficacité de la vaccination contre une maladie animale peut être considérée à différentes échelles. A l'échelle de l'animal, elle peut être mesurée comme la réduction de sa probabilité d'être infecté. Au niveau de l'élevage, l'efficacité de la vaccination dépend de l'efficacité du vaccin et de son utilisation par l'éleveur (couverture vaccinale dans l'élevage, respect des rappels, âge à la vaccination...). Elle peut être mesurée en comparant les effets positifs de la vaccination (diminution des symptômes liés à la maladie, réduction du risque d'infection de l'élevage) aux contraintes de sa mise en œuvre (coût, charge de travail, risque lié à la vaccination). L'efficacité de la vaccination pour une région dépend de l'efficacité de la vaccination à l'échelle de l'exploitation et de la proportion d'exploitations ayant un troupeau vacciné. Au niveau d'une région, l'efficacité est liée à la fois aux bénéfices directs pour l'élevage et à l'effet collectif de la vaccination, limitant la circulation de la maladie entre les troupeaux.

Le comportement des éleveurs est donc un élément central de l'efficacité collective d'une vaccination. Il dépend de la réglementation de la maladie. 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). La réglementation peut également interdire des moyens de maîtrise comme la vaccination, qui peut interférer avec les tests de dépistage des animaux. Pour les autres maladies, la gestion de la santé est laissée à l'initiative de l'éleveur. Dans ce dernier cas, la décision de vaccination est à l'origine d'une externalité (qui peut être définie comme l'impact d'une décision individuelle sur des agents n'ayant pas pris part à la décision). En effet, elle diminue la prévalence de la maladie dans la zone et limite l'exposition des cheptels voisins au pathogène. En retour, cette diminution du risque peut influencer négativement la volonté des exploitants à vacciner. Ce double effet justifie le développement d'un modèle dynamique couplant décision et épidémiologie de la maladie pour prendre en compte à la fois l'effet de la décision sur l'évolution de la maladie et l'effet de la prévalence sur la prise de décision des éleveurs.

Même dans le cas des maladies non réglementées, il y a une place pour la gestion collective. Les éleveurs, 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 enzootique 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.

La question du comportement individuel en matière de vaccination a été étudiée en santé humaine. Edmunds *et al.* [1999], ont étudié l'efficacité d'une vaccination en considérant la dynamique de la maladie, mais dans le cas d'une décision centralisée. Au contraire, Brito *et al.* [1991] se sont intéressés aux externalités engendrées par la vaccination et à l'efficacité d'une vaccination volontaire, mais sans prendre en considération la dynamique de la maladie. Coudeville [2004], a étudié l'efficacité de la vaccination pour des maladies humaines endémiques, en considérant une immunité permanente par la vaccination, rendant le choix de vaccination irréversible, ce qui n'est pas le cas dans les troupeaux bovins : l'évolution du cheptel d'une année sur l'autre entraîne l'introduction d'animaux sensibles, et la vaccination a souvent une efficacité limitée dans le temps. Le couplage dynamique de la décision et de la prévalence de la maladie n'a cependant pas été abordé pour 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.

---

## II - DEFINITION DU PROBLEME ET CADRE D'ANALYSE

---

Pour étudier l'efficacité collective d'une vaccination volontaire, deux phénomènes importants doivent être modélisés :

1. L'externalité liée à la vaccination : la vaccination d'un troupeau diminue la prévalence dans une zone et le risque de contamination des autres troupeaux par voisinage ou par la vente d'animaux ;
2. L'évolution de la prévalence liée à cette externalité diminue la probabilité des troupeaux d'être infectés et influence la motivation des éleveurs à vacciner leur troupeau. Pour prendre en compte ces deux phénomènes, le modèle dynamique développé consiste en un couplage de l'évolution de la prévalence et de la décision de vaccination des éleveurs.

L'effet de la vaccination sur la dynamique de la maladie est modélisé par un modèle épidémiologique SIR déterministe dont l'unité d'intérêt est le troupeau. Les états des troupeaux peuvent être S sensible, I infectieux ou R résistant. Une proportion des troupeaux sensibles est vaccinée.

Les éleveurs sont libres de vacciner ou non leur troupeau. Nous faisons l'hypothèse selon laquelle les éleveurs sont des agents

économiques rationnels : ils prennent leur décision de façon à maximiser leur espérance d'utilité. Le concept d'utilité est ici utilisé pour comparer, en termes de bien-être, les décisions possibles des éleveurs. Il permet la comparaison de choix dont l'issue est incertaine en prenant en compte l'aversion vis-à-vis du risque des agents économiques. L'utilité est ici fonction du revenu annuel des éleveurs. Les éleveurs ont une aversion vis-à-vis du risque, le choix qui maximise leur espérance d'utilité n'est pas nécessairement le choix qui maximise leur espérance de revenu.

Le choix de vaccination, qui est un choix discret, est modélisé par un arbre de décision. L'espérance d'utilité est calculée à partir des probabilités d'infection avec ou sans vaccination (fonction de la prévalence) et des différents revenus possibles en fonction des choix (vaccination ou non) et des conséquences de ces choix (infection ou non-infection).

Le modèle nous permet de suivre dans le temps la prévalence de la maladie et la proportion d'éleveurs qui vaccinent leur troupeau. L'évolution de la prévalence de la maladie est l'indicateur de l'efficacité de la vaccination.

---

## III - DESCRIPTION DU MODELE

---

### 1. DYNAMIQUE DE LA MALADIE

Le modèle épidémiologique renseigne les transitions des troupeaux entre les états S sensible, I infectieux et R résistant (figure 1).

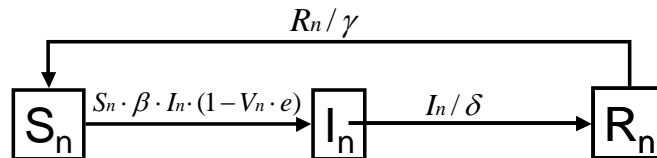
Le modèle, en définissant les états *I* et *R* comme des états d'infection et de résistance moyens d'un troupeau, est une représentation simplifiée. Le nombre total de troupeaux n'évolue pas en fonction de l'état de santé des troupeaux et du niveau de prévalence. Nous faisons également les hypothèses suivantes : la vaccination protège les troupeaux sensibles *S*, 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. La vaccination est imparfaite, l'efficacité de la vaccination à l'échelle du troupeau *e* représente la proportion de troupeaux vaccinés effectivement protégés par la vaccination. 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  $\beta I_n$  d'exploitations susceptibles d'être infectées qui le sont pendant l'année *n* est proportionnelle à la prévalence.

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  $n$  ;  
 $\beta$  : taux de transmission ;  $V_n$  : proportion de troupeaux d'état  $S$  vaccinés l'année  $n$  ;  $e$  l'efficacité de la vaccination  
 et  $\delta$  et  $\gamma$  les durées moyennes de résistance et d'infection d'un troupeau.



La proportion de troupeaux susceptibles de passer de l'état  $S$  à  $I$  pendant l'année  $n$  est égale à  $S_n(1 - V_n \cdot e)$  ; (cf. 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 :

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

**2. DECISION DES ELEVEURS**

Le modèle de décision a pour objectif de formaliser le choix des éleveurs de vacciner ou non leur troupeau en fonction de la situation économique et épidémiologique. Il nous permet de calculer  $V_n$ , la proportion d'éleveurs de statut sensible qui vaccinent leur troupeau l'année  $n$ . 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 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. 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  $C_v$  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. Les choix possibles des éleveurs et leurs conséquences sont résumés en un arbre de décision (figure 2).

Nous avons retenu une fonction d'utilité utilisée en économie agricole [Reynaud, 2009]. D'autres fonctions d'utilité auraient pu être retenues, mais la forme de la fonction d'utilité n'aura pas d'impact sur les résultats théoriques du modèle. Nous avons pour un revenu  $\Pi$ , une utilité  $U_\alpha(\Pi)$  égale à :

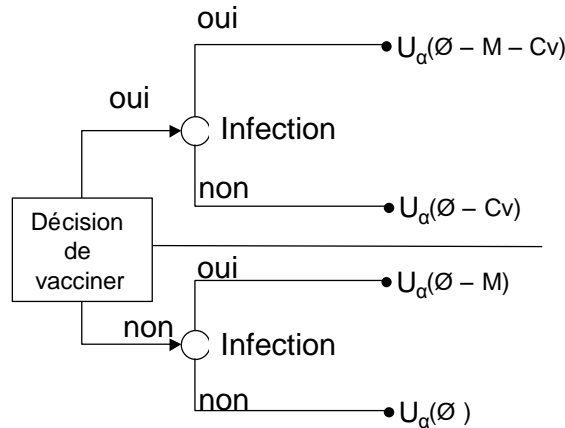
$$U_\alpha(\Pi) = \frac{1}{1-\alpha} \Pi^{1-\alpha} \quad (2)$$

$\alpha$  est le coefficient relatif d'aversion au risque, propre à chaque agriculteur.

Figure 2

Arbre de décision de vaccination

L'arbre représente le choix de vacciner ou non un troupeau sensible et les conséquences possible de ce choix (fonction de  $\emptyset$ , le revenu annuel sans infection ni vaccination,  $C_v$ , le coût de la vaccination et  $M$ , le coût de l'infection) ainsi que leur probabilité (fonction de  $\beta$ , le taux de transmission,  $I$ , la prévalence et  $e$  l'efficacité de la vaccination à l'échelle du troupeau).



L'espérance d'utilité d'un éleveur décidant de vacciner est donnée par  $U_{I_n}^V$  :

$$U_{I_n}^V = \beta I_n (1 - e) U_\alpha(\emptyset - C_v - M) + [1 - \beta I_n (1 - e)] U_\alpha(\emptyset - C_v) \quad (3)$$

Alors que l'espérance d'utilité d'un éleveur ne vaccinant pas son troupeau est donnée par  $U_{I_n}^O$

$$U_{I_n}^O = \beta I_n U_\alpha(\emptyset - M) + (1 - \beta I_n) U_\alpha(\emptyset) \quad (4)$$

Nous faisons l'hypothèse selon laquelle l'information est parfaite. Le producteur est parfaitement informé des risques d'infection, de l'efficacité du vaccin, et des conséquences économiques de ses choix. Le producteur, en tant qu'agent économique rationnel, vaccine lorsque l'utilité espérée de la vaccination est supérieure à l'utilité espérée de la non-vaccination ( $U_{I_n}^V > U_{I_n}^O$ ).

L'agrégation des choix de l'ensemble des éleveurs donne  $V_n$ , la proportion d'exploitants de statut  $S$  qui vaccinent leur troupeau pendant l'année  $n$ .

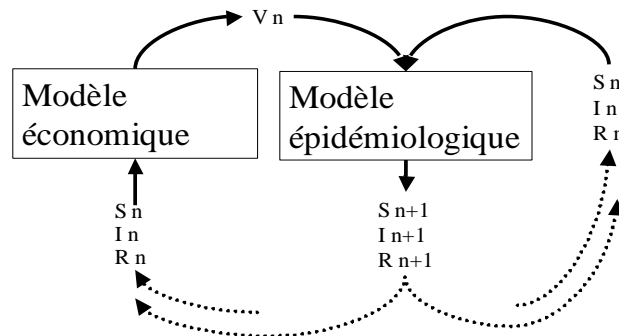
vaccination influence la prévalence de la maladie et la prévalence de la maladie influence le choix de vaccination, tel que décrit dans la figure 3.

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'éleveurs 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  $n$  (hypothèse de réversibilité).

3. COUPLAGE DES MODELES

Les deux modèles (épidémiologique et décisionnel) sont interdépendants. La

**Figure 3**  
**Relations entre les modèles économique et épidémiologique**



## IV - RESULTATS

### 1. EVOLUTION DE LA PREVALENCE ET DE LA PROPORTION DE TROUPEAUX VACCINES DANS LE TEMPS

Les deux modèles couplés permettent de simuler les évolutions au cours du temps de la proportion de troupeaux de statut sensible, infectieux et résistant. Dans le cas proposé ici, les éleveurs se distinguent entre eux par le niveau des pertes liées à la maladie,  $M$ . Dans notre modèle, la valeur de  $M$  dans la population d'éleveurs suit une distribution uniforme. Ainsi, pour une même prévalence  $I$ , les éleveurs ne prennent pas tous la même décision. 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 des pertes liées à la maladie est forte dans la population de producteurs, soit à une oscillation de la proportion des troupeaux vaccinés, quand le niveau de pertes varie peu entre producteurs. Deux exemples de ces situations sont présentés figure 4.

### 1. PREVALENCE A L'EQUILIBRE

Le modèle résulte de deux liens entre la prévalence et la proportion de troupeaux vaccinés. Le modèle épidémiologique donne la contrainte épidémiologique : la prévalence à l'équilibre en fonction de la proportion de troupeaux vaccinés, notée  $I^*(V)$ . D'après le système d'équation (1), on a :

$$I = \frac{C_v V}{1 + C_v V} \quad (5)$$

La prévalence à l'équilibre diminue lorsque la proportion de troupeaux vaccinés augmente.

Le modèle économique nous donne la prévalence  $\hat{I}$  pour laquelle un éleveur

caractérisé par ses paramètres économiques ( $\alpha$ ,  $C_v$ ,  $M$ , et  $\emptyset$ ) est indifférent à vacciner ou non son troupeau (valeur de  $I$  vérifiant  $U_I^O = U_I^V$ ).

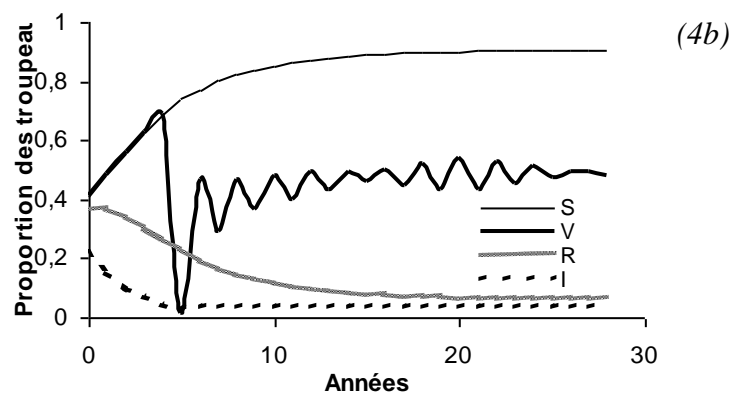
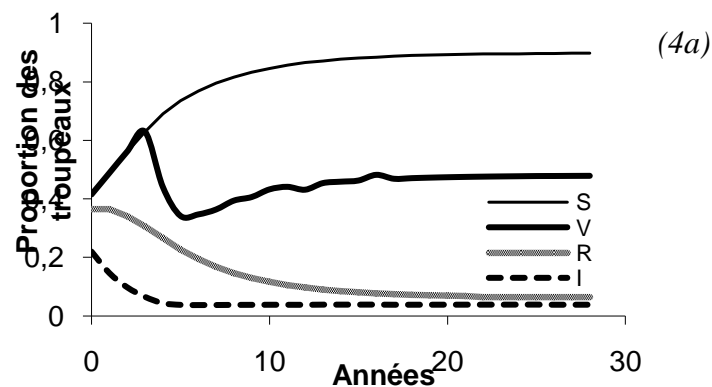
$$U_I^O = U_I^V \quad (6)$$

Figure 4

**Evolution au cours du temps de la proportion de la population sensible (S), infectieuse (I), résistante (R) et vaccinée (V).**

(4a) forte hétérogénéité des pertes entre élevages; (4b) pertes peu variable.

La possibilité de vacciné est introduite l'année 1 dans une population de troupeaux à l'équilibre endémique sans vaccination.



Pour tout éleveur ayant un troupeau de statut sensible, il existe une valeur positive de la prévalence en dessous de laquelle celui-ci préférera ne pas vacciner son troupeau (soit une valeur positive de  $I$  pour laquelle  $U_I^O = U_I^V$ ), dans la mesure où  $C_v$ , le coût de la vaccination, est strictement positif. Ainsi, quelle que soit la répartition des paramètres économiques dans la population d'éleveurs, la proportion d'éleveurs vaccinant leur troupeau décroît à mesure que la prévalence décroît.

La figure 5 représente les deux fonctions de contrainte économique et épidémiologique exprimant les relations entre  $I$  et  $V$ . La fonction

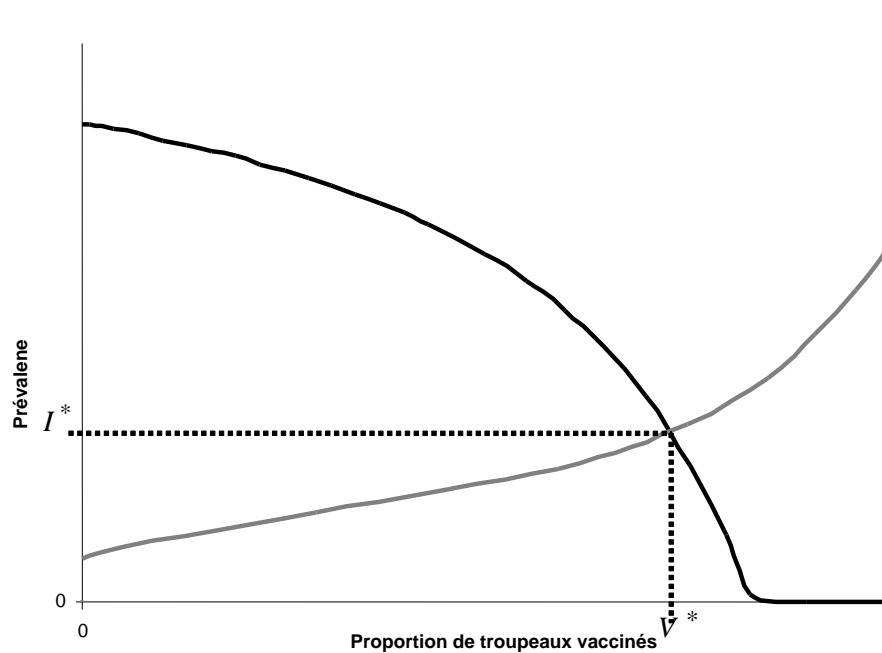
de contrainte économique est issue de l'équation (6), et exprime la proportion d'exploitants qui vaccinent en fonction de la prévalence. La fonction de contrainte épidémiologique est l'équation (5). Le croisement des deux courbes est le seul équilibre enzootique possible.

Du fait qu'il existe toujours une valeur de la prévalence positive pour laquelle l'éleveur vaccinera son troupeau, la valeur de la prévalence à l'équilibre est toujours positive. Dans les conditions du modèle, la vaccination volontaire ne permet pas l'éradication de la maladie, dans la mesure où le coût de la vaccination est non nul.

Figure 5

**Relation entre la prévalence et la proportion de troupeaux vaccinés.**

La courbe grise montre la proportion d'éleveurs ayant un troupeau sensible qui décident de vacciner en fonction du niveau de prévalence (contrainte économique). La courbe noire montre la prévalence en fonction de la proportion de troupeaux vaccinés (contrainte épidémiologique). Le croisement des deux courbes donne la valeur de la prévalence  $I^*$  et de la proportion de troupeaux vaccinés  $V^*$  à l'équilibre.

**2. INCITATIONS A LA VACCINATION**

Le modèle permet de tester l'impact de subventions à la vaccination sur la prévalence et le niveau de vaccination des troupeaux à l'équilibre. Nous supposons ici un individu représentatif de la population, caractérisé par ces paramètres économiques ( $\alpha$ ,  $C_v$ ,  $M$ , et  $\emptyset$ ). Le niveau de vaccination à l'équilibre est celui pour lequel les éleveurs sont indifférents à vacciner ou non leur troupeau ( $\hat{I} = I^*(V)$ ). Le

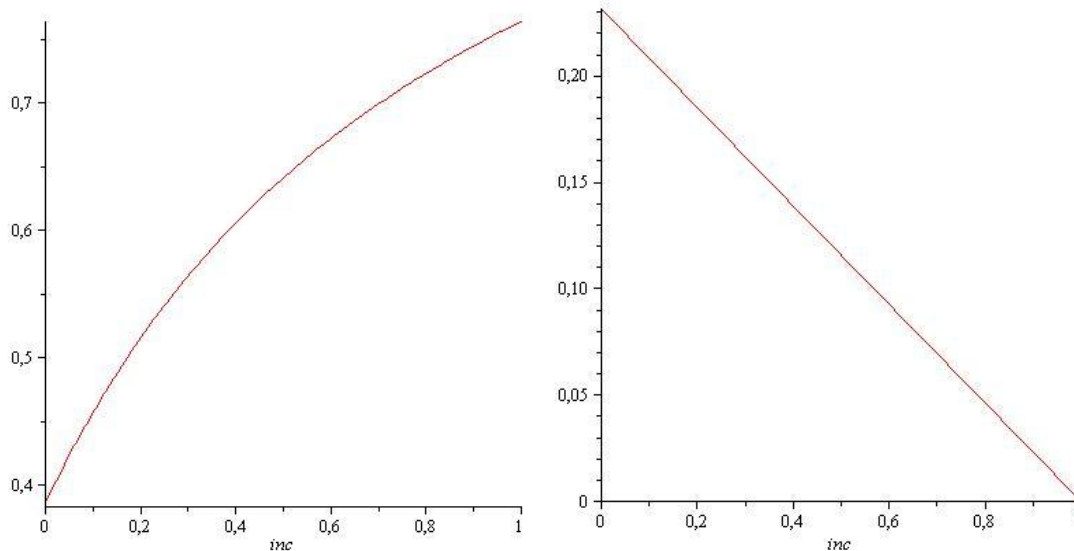
coût de la vaccination supporté par l'éleveur n'est plus  $C_v$  mais  $C_v * (1 - Inc)$ , avec  $Inc$ , la part du coût de la vaccination subventionnée.

Dans ce cas, subventionner la vaccination permet une réduction de la prévalence à l'équilibre (figure 6). Cependant, les incitations à la vaccination ne permettent pas l'éradication de la maladie, à moins que la vaccination soit totalement subventionnée.



Figure 6

**Proportion de troupeaux vaccinés (gauche) et de troupeaux infectés (droite)  
en fonction de la part du coût de la vaccination subventionnée (Inc)**




---

## V - DISCUSSION

---

Les résultats montrent que, lorsqu'on considère de façon dynamique la rétroaction entre la décision individuelle des éleveurs et l'externalité que cette décision engendre, la vaccination volontaire ne permet pas l'éradication de la maladie. Du fait de la prise en compte de cette interaction entre l'évolution de la maladie et la prise de décision, nos résultats divergent par rapport aux résultats de modèles supposant une proportion constante de troupeaux vaccinés ou une vaccination obligatoire [Edmunds *et al.*, 1999]. Cette impossibilité d'éradication est due à l'adaptation des comportements des éleveurs à la baisse de la prévalence. Cette adaptation n'a, à notre connaissance, pas été prise en compte dans d'autres modèles de transmission inter-troupeaux étudiant la vaccination. Cependant, 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 [Bauch, 2005 ; Coudeville, 2004 ; Geoffard et Philipson, 1997].

Le modèle montre également que les incitations ne permettent pas l'éradication de la maladie, dans la mesure où les coûts de la vaccination ne sont pas totalement compensés, mais diminuent la prévalence de la maladie dans la population. Cette baisse de la prévalence induit une baisse des pertes liées à la maladie mais a un coût collectif (coût des subventions données aux éleveurs). Nous n'avons pas étudié la valeur optimale d'incitation pour parvenir à un optimum collectif. Brito *et al.* [1991] ont étudié l'optimum collectif atteint dans le cas d'incitations et de taxation, mais sans considérer la dynamique de la maladie. Vardavas *et al.* [2007] ont étudié différentes valeurs d'incitations dans le cas d'une grippe humaine. Pour les maladies enzootiques animales, d'autres études sont nécessaires pour calculer l'impact d'incitations sur le bien-être collectif et ainsi, trouver les niveaux d'incitation à la vaccination optimaux. Par ailleurs, d'autres moyens de gestion collective de la maladie peuvent avoir un impact sur l'évolution de la prévalence de la maladie. Sur la base du présent modèle, Rat-Aspert et Fourichon [2010] étudient l'impact de la

mutualisation des pertes dues à la maladie, en montrant que la mutualisation des pertes peut conduire à des comportements opportunistes (aléa moral) si la compensation des pertes n'est pas conditionnée à la mise en place de la vaccination dans l'élevage.

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.

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 est 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 pour des vaccins administrés chaque année, la vaccination du cheptel peut être perçue par un éleveur comme un investissement pour maintenir son troupeau indemne. L'éleveur 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].

---

## VI - 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.

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 modèle, s'il permet d'étudier la mise en place d'une vaccination volontaire et d'incitations pour une maladie, pourrait également être utilisé dans le cadre d'une déréglementation de la vaccination, dans le cas de maladies pour lesquelles l'obligation de vaccination serait suspendue.

---

## BIBLIOGRAPHIE

---

- Bauch C.T. – Imitation dynamics predict vaccinating behaviour. *Proc. R. Soc. B.*, 2005, **272**, 1669-1675.
- Brito D. L., Sheshinski E., Intriligator M.D. - Externalities and compulsory vaccinations. *Journal of Public Economics*, 1991, **45**, 69-90.
- Brossier J. - De la recherche sur les décisions des agriculteurs à la formation économique des agriculteurs. *Economie rurale*, 1980, 39-46.
- Coudeville L. - Comportement individuel en matière de vaccination : Une approche bayésienne. *Revue économique*, 2004, **55**, 745-765.
- Edmunds W.J., Medley G.F., Nokes D.J. - Evaluating the cost-effectiveness of vaccination programmes: a dynamic perspective. *Stat. Med.*, 1999, **18**, 3263-3282.
- Geoffard P.-Y., Philipson T. - Disease Eradication: Private versus Public Vaccination. *American Economic Review*, 1997, **87**, 222-230.
- Petit E. - Mise en place d'un observatoire régional de l'infection par le virus de la Diarrhée Virale Bovine (B.V.D.) en Bourgogne. *Rencontres Recherches Ruminants*, 2005, **12**, 276.
- Rat-Aspert O., Fourichon C. - Modelling collective effectiveness of voluntary vaccination with and without incentives. *Preventive Veterinary Medicine*, 2010, **93**, 265-275.
- Reynaud A. - Adaptation à court et à long terme de l'agriculture au risque de sécheresse : Une approche par couplage de modèles biophysiques et économiques. *Review of Agricultural and Environmental Studies*, 2009, **90**, 121-154.
- Vardavas R., Breban R., Blower S. - Can Influenza Epidemics Be Prevented by Voluntary Vaccination? *PLoS Comput. Biol.*, 2007, **3**, 85.

