

UTILISATION DES MODELES POUR UNE ETUDE COUT/ BENEFICE DE LA PARATUBERCULOSE EN FRANCE*

Barbara Dufour¹, Benoit Durand² et Régis Pouillot³

RESUME : A la demande de l'Association pour la certification en santé animale (ACERSA) une analyse coût/bénéfice de la certification paratuberculose a été conduite en France

Cette analyse a nécessité la construction de deux modèles : Un modèle de la dynamique de l'infection en élevage qui a été exploité de manière déterministe et de manière stochastique et un modèle économique.

Les paramètres utilisés pour le modèle dynamique ont été pris dans la littérature ou, à défaut, auprès d'experts. Le modèle stochastique a été utilisé comme aide à l'expertise et le modèle déterministe a servi pour l'analyse économique. Les hypothèses et les résultats de ces modèles sont présentés

Cet exemple illustre l'utilisation de modèles simples pour répondre concrètement à des questions du terrain.

Mots-clés : Paratuberculose, analyse coût/bénéfice, étude économique, modèle.

SUMMARY : To the request of Association for certification in animal health (ACERSA) a cost/benefice analysis of paratuberculosis certification was conducted in France

This analysis required the construction of two models: A herd dynamics infection model which was exploited in a deterministic way and in a stochastic way, and an economic model.

The parameters used for the dynamic model were taken in the literature or, failing this, near experts. The stochastic model was used like helps to experts and the deterministic model was useful for the economic analysis. The hypotheses and the results of these models are presented.

This example illustrates the simple use of models to concretely answer questions in the field.

Keywords : Paratuberculosis, cost/benefice analysis, economical study, model.



La paratuberculose est une maladie contagieuse digestive grave des ruminants due à l'infection par *Mycobacterium avium* subsp. *paratuberculosis*. Cette maladie qui provoque une diarrhée incœrcible chez les animaux adultes conduisant, après un rapide amaigrissement, à la mort, possède la particularité d'avoir une durée d'incubation très longue. En effet, les veaux infectés très jeunes, pendant leur premier mois de vie, sont les premiers candidats à l'expression clinique de la maladie deux ou trois ans plus tard. Cette

expression clinique est précédée d'une excrétion fécale intense de plusieurs mois.

Le commerce d'animaux infectés constitue la principale source de contamination des élevages. Par ailleurs, la paratuberculose sous forme clinique est à l'origine de pertes économiques importantes. Pour ces raisons, l'Association pour la Certification en Santé Animale (ACERSA) a souhaité créer une certification paratuberculose permettant d'apporter des garanties aux éleveurs acheteurs d'animaux.

* Texte de la communication présentée à la Journée AEEMA, 19 mai 2005

¹ ENVA, Unité maladies contagieuses, 94704 Maisons-Alfort cedex, France

² AFSSA Lerpaz : 23 rue Pierre Curie 94700 Maisons Alfort, France

³ Centre Pasteur du Cameroun, BP 1274, Yaoundé, Cameroun, rpouillot@yahoo.fr

A l'initiative de l'ACERSA, un groupe de travail a été chargé de vérifier l'opportunité d'une telle démarche et d'en établir le protocole. Dans ce cadre, une étude coût/bénéfice de la certification paratuberculose a été réalisée.

Pour réaliser cette étude coût/bénéfice, il a été nécessaire de construire deux modèles : un modèle de la dynamique de l'infection dans un élevage et un modèle de ses conséquences économiques.

Les données nécessaires à la création de ces modèles proviennent de la bibliographie ou, à défaut, d'un consensus d'experts.

Le présent article a pour objectif d'illustrer en quoi la création de ces modèles a permis de répondre aux objectifs fixés par l'ACERSA. Seul l'exemple de l'élevage laitier est présenté ; pour plus de détails, le lecteur pourra se rapporter aux publications originales [Dufour *et al.*, 2004 ; Pouillot *et al.*, 2004].

I - MODELISATION DE LA DYNAMIQUE DE L'INFECTION DANS UN ELEVAGE

La paratuberculose a déjà fait l'objet de plusieurs modèles [Collins et Morgan, 1991 ; Groenendaal *et al.*, 2002] mais aucun ne permettait de faire une approche coût/bénéfice de la certification en France. Un nouveau modèle d'évolution dynamique de l'infection a donc été construit.

1. HYPOTHESES

Les hypothèses suivantes ont été utilisées pour construire le modèle :

- Seuls les animaux contaminés dans leurs premières semaines de vie peuvent devenir excréteurs ou déclencher une paratuberculose clinique (la contamination des animaux adultes n'est donc pas prise en compte dans le modèle).
- Les veaux femelles contaminés (à l'âge maximal d'un mois) deviendront excréteurs lors de leur premier ou de leur deuxième vêlage. Selon les cas, cette excrétion peut être :
 - Sub-clinique : la contagiosité de ces animaux est alors considérée comme faible ;
 - Clinique : la contagiosité des animaux atteints est considérée comme modérée lorsque les signes cliniques apparaissent en cours de lactation (les animaux étant à l'herbe), alors qu'elle est considérée comme maximale lorsque les signes cliniques apparaissent au moment du vêlage (du fait des conditions de claustration).
- Quatre vingt pour cent de ces animaux excréteurs déclencheront une forme clinique de la maladie :

- soit à la suite du premier vêlage (40% des cas cliniques) ;
- soit à la suite du deuxième vêlage (40% des cas cliniques) ;
- Quatre vingt dix pour cent de ces formes cliniques apparaissent en post-partum, 10% au milieu de la lactation.
- Tout animal ayant présenté une forme clinique est considéré comme étant éliminé dans l'année. Son veau, considéré comme contaminé, est également éliminé.
- Les veaux mâles laitiers sont vendus à 8 jours et les veaux allaitants, au sevrage : ils n'ont donc pas de rôle dans la dynamique de l'infection.

2. MODELISATION

La démarche de modélisation a consisté à définir les états de santé dans lesquels peuvent se trouver les animaux, puis à fixer les règles de passage d'un état de santé dans un autre. Ces règles correspondent simplement en une formalisation des hypothèses énoncées ci-dessus.

La structure du modèle compartimental ainsi obtenu est présentée dans la figure 1.

Les animaux sont initialement sains (état S). Avant le premier vêlage, ils vont pouvoir se contaminer et passer dans l'état 'infecté' (I). La probabilité de contamination (β) est fonction du nombre d'animaux excréteurs et de leur répartition dans les trois catégories : animaux excréteurs sub-cliniques, animaux malades au moment du vêlage, animaux malades en cours de lactation (les états de santé correspondants $-J$, R_V et R_L- sont définis ci-dessous).

Après la première année (figure 1), on considère que les animaux sains (état S) ne peuvent plus se contaminer. Ils sont réformés, chaque année, avec un taux de réforme fixe (ρ).

C'est lors du premier ou du deuxième vêlage que les veaux femelles contaminés (état I) commencent à excréter la bactérie (et passent dans l'état J).

Cette excrétion peut rester sub-clinique : les animaux concernés restent dans l'état J et sont réformés au même rythme que les animaux sains. Les animaux contaminés peuvent également déclencher une forme clinique de la maladie, soit au moment du vêlage (ils passent

alors dans l'état R_V), soit pendant la lactation (ils passent alors dans l'état R_L). Dans les deux cas, on suppose que ces animaux sont réformés (avec un taux de réforme de 100%).

3. PARAMETRES

Il a été nécessaire de modéliser un élevage bovin moyen fictif, caractérisé par un nombre d'animaux et une conduite d'élevage (taux de renouvellement, âge au premier vêlage). Les caractéristiques de cet élevage correspondent à la moyenne nationale des caractéristiques pour les élevages laitiers français (tableau I).

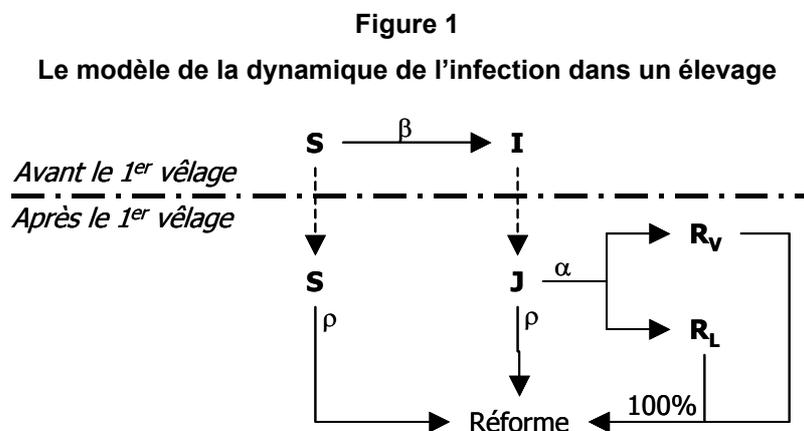


Tableau I
Élevage laitier fictif moyen utilisé dans les calculs
(source SCESS, Institut de l'élevage et groupe de travail)

Caractéristiques	Nombre
Nombre de vaches laitières	40
Nombre de génisses de 2 ans	13
Nombre de génisses de 1 an	13
Nombre de veaux femelles gardés pour la reproduction	38 veaux dont 19 femelles et dont 13 gardées
Taux de renouvellement	33 %
Age au premier vêlage	24 mois
Production laitière annuelle par vache	5500 litres/an/vache

Les probabilités de transmission de la maladie aux veaux ont été estimées à :

- 25% à partir d'un animal présentant des symptômes durant la phase de post-partum ;
- 5% à partir d'une génisse présentant des symptômes durant la phase de lactation ;
- 5% à partir d'une génisse ne présentant pas de symptômes.

4. EXPLOITATION DU MODELE

Le modèle a été exploité par simulation, pour calculer une dynamique de la maladie dans un élevage moyen, en termes de nombres annuels de cas cliniques et d'animaux infectés de façon sub-clinique.

On a supposé que l'infection était introduite à l'occasion de l'achat d'une génisse excrétrice, juste avant la période de vêlage. On ne s'est, en particulier, pas intéressé aux autres modes de contamination d'un élevage (environnement, etc.). De la même façon, la possibilité d'introduction d'un animal infecté (ou excréteur) dans un troupeau lui-même infecté a été négligée.

Le modèle a été exploité, d'une part, en tant que modèle stochastique et, d'autre part, en tant que modèle déterministe.

Dans le premier cas, pour un jeu de paramètres donnés, chaque simulation peut produire des résultats différents. Les résultats sont obtenus en répétant les simulations (procédure de Monte-Carlo) et ils se présentent sous la forme de distributions empiriques (par exemple, distribution de l'incidence annuelle de la maladie). Ce type de résultats a permis d'aider les experts à affiner leurs estimations des paramètres du modèle, en représentant un ensemble de situations épidémiologiques possibles (figure 2) et en chiffrant les fréquences respectives de ces situations (les experts du groupe de travail pouvant alors ajuster leurs estimations en comparant les résultats du modèle avec les situations rencontrées sur le terrain).

Par contre, pour ce qui concerne l'évaluation économique, des résultats aussi détaillés n'étaient pas nécessaires. Aussi, après que les valeurs des paramètres aient été fixées par les experts, c'est la version déterministe du modèle qui a été utilisée et, pour un jeu de paramètres donné, produit un résultat fixe (figure 3).

Figure 2

Exploitation du modèle par simulation de Monte-Carlo : quatre formes épidémiologiques possiblement simulées d'évolution de l'incidence annuelle de la maladie en élevage laitier.

A : l'infection disparaît d'elle-même ; B : la maladie apparaît rapidement et se maintient ; C : après quelques cas cliniques, la maladie disparaît ; D : l'infection circule pendant plusieurs années de façon silencieuse avant que les premiers cas cliniques n'apparaissent.

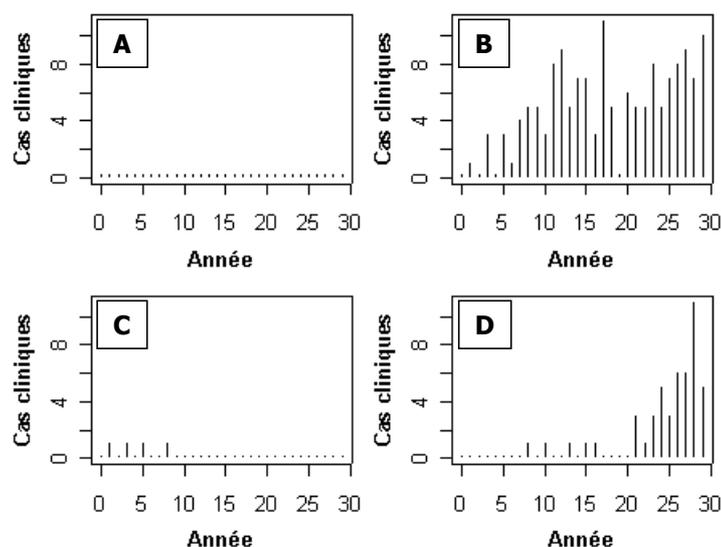
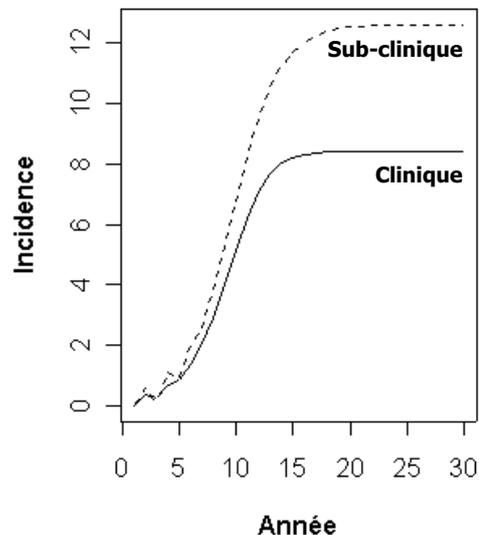


Figure 3**Exploitation déterministe du modèle :**

Evolution de l'incidence annuelle de la maladie et de la prévalence de l'excrétion sub-clinique dans un élevage laitier moyen



II - LE MODELE D'EVALUATION ECONOMIQUE

1. EVALUATION DES COÛTS

Afin d'utiliser le modèle déterministe, les pertes prises en compte ont toutes été rapportés aux animaux excréteurs et malades (résultats du modèle d'évolution dynamique de l'infection).

Les pertes prises en compte sont présentées dans le tableau II. Un certain nombre d'études [Benedictus *et al.*, 1987 ; Johnson-Ifearulundu *et al.*, 1999 ; Mougél, 1989 ; Ott *et al.*, 1999] ont fait état de pertes de 5 à 25% de la production laitière pour les vaches laitières excrétrices.

Tableau II

Pertes unitaires prises en compte pour l'évaluation économique du coût de la maladie

Nature des pertes	Coûts en €
(i) Animaux malades	
Traitement contre la diarrhée	30,5
Test de confirmation au laboratoire	15
Réforme anticipée de la vache laitière et de son veau	1,067
Prix par litre de lait	0,1525
Visite vétérinaire	30,5
(ii) Animaux excréteurs	
Perte par litre de lait	0,335

2. AVANTAGE ECONOMIQUE RESULTANT DE LA MALADIE EVITEE

L'avantage économique de la certification pour un acheteur résulte du fait que l'achat d'un animal provenant d'un élevage possédant une certification permet de ne pas introduire la maladie dans l'élevage acheteur et donc d'éviter cette maladie. Cet avantage correspond donc à la probabilité d'achat d'un animal infecté dans un élevage acheteur combiné au coût de la maladie.

La probabilité d'introduction dépend du taux d'animaux excréteurs dans la population. D'après des informations partielles provenant d'enquêtes dans certains départements français, ce taux a été estimé par les experts à 2,5%.

Les données nécessaires au calcul de l'avantage économique sont présentées dans le tableau III.

Tableau III

Données nécessaires à la construction du modèle économique

(Source : estimation à partir de données de terrain)

Nombre moyen fictif d'achats par an dans un élevage laitier	1
Nombre moyen de génisses laitières vendues annuellement par un vendeur	6

3. COUT ET PRIX DES CERTIFICATIONS

Compte tenu des performances (sensibilité et spécificité) médiocres des outils de diagnostic, il est difficile de garantir qu'un élevage est indemne. Seuls la répétition des tests, et des contrôles réguliers à l'introduction des animaux dans les troupeaux peuvent apporter un certain niveau de garantie. L'ACERSA a donc défini deux protocoles (N1 et N2) d'obtention et de maintien d'une certification. Le protocole N1 est moins contraignant que le N2, mais il présente une efficacité moins bonne (risque de certifier à tort un cheptel). Cette efficacité a été estimée par les experts à 95% pour le N1 alors que l'efficacité du N2 a été estimée à 99%.

Par ailleurs, plusieurs méthodes de laboratoire peuvent être utilisées pour l'obtention et le maintien de ces certifications : la culture fécale, la PCR (polymerase chain reaction) ou la technique ELISA sur sérum. Ces méthodes peuvent se combiner, elles ont des caractéristiques et des coûts différents. Seules ont été étudiées et comparées les combinaisons les plus chères (à base de culture fécale en dépistage et de PCR lors de l'introduction d'animaux) et les moins chères (à base d'ELISA sérum pour le dépistage et les introductions).

Le prix (coût plus profit réalisé par le vendeur) des certifications a été déterminé dans deux hypothèses avec une marge habituelle pour un

vendeur de 3 et sans marge pour le vendeur (marge de 1).

4. ETUDE COUT/BENEFICE

L'étude coût/bénéfice a consisté en la comparaison des bénéfices induits par les certifications avec les coûts. Bénéfices et coûts ne sont pas constants dans le temps ; en effet, les coûts sont plus importants que les bénéfices en début de programme puis, normalement, le rapport s'inverse. Les comparaisons ont donc été effectuées année après année sur une période de 15 ans. Compte tenu de la durée, il a été nécessaire d'actualiser les coûts et les bénéfices suivant la formule :

$$VA = VF / ((1+i)^n)$$

Où

- VA est la valeur actuelle
- VF est la valeur future
- *i* est le taux d'actualisation utilisé
- *n* est le nombre d'années

Après avis des experts et compte tenu des taux d'intérêt français en 2003, le taux d'actualisation retenu pour les calculs a été de 2,5%.

L'analyse a été réalisée du point de vue de l'acheteur. Pour ce dernier, le prix de la certification vient s'ajouter au prix d'achat de l'animal ; en effet, le vendeur qui acquiert et maintient la certification répercute ce coût moyen sur le prix de vente de ses animaux.

Ainsi, pour un éleveur acheteur d'animaux, le coût annuel de certification est constant au cours du temps. Les bénéfices résultent du fait que l'achat d'un animal provenant d'un troupeau certifié réduit les risques d'introduction de la maladie dans l'élevage.

A titre d'exemple, les résultats de l'analyse coût/bénéfice pour un cheptel laitier et pour des tests de diagnostic les moins chers (ELISA-ELISA) et avec une marge vendeur de 1 sont présentés dans le tableau IV

Les figures 4 et 5 présentent les résultats de l'analyse coût/bénéfice en troupeau laitier effectuée pour une période de 15 ans pour une marge vendeur de 1 (figure 4) et de 3 (figure 5) avec les certifications N1 et N2 obtenues par les tests les moins chers (ELISA).

Tableau IV

Evolution du rapport coût/bénéfice des certifications N1 et N2 réalisées avec des tests sérologique ELISA pour un troupeau laitier moyen acheteur avec une marge de 1 pour le vendeur

(q₀ correspond à l'achat en provenance d'un troupeau non certifié, q₁ correspond à l'achat dans un troupeau certifié avec la N1 et q₂ avec la N2)

Année	q ₀ (%)	Certification niveau N1			Certification niveau N2		
		q ₁ (%)	B ₁ (€)	NB ₁ (€)	q ₂ (%)	B ₂ (€)	NB ₂ (€)
1	2,50	0,12	0	-26	0,02	0	-38
2	4,94	0,25	25	-2	0,05	26	-12
3	7,31	0,37	38	12	0,07	39	2
4	9,63	0,50	79	53	0,10	83	45
5	11,89	0,62	125	99	0,12	131	93
6	14,09	0,75	205	179	0,15	214	176
7	16,24	0,87	315	289	0,17	330	292
8	18,33	1,00	472	446	0,20	493	456
9	20,38	1,12	683	657	0,22	715	677
10	22,37	1,24	950	923	0,25	994	956
11	24,31	1,37	1,268	1,242	0,27	1,328	1,290
12	26,20	1,49	1,625	1,599	0,30	1,703	1,665
13	28,05	1,61	2,005	1,979	0,32	2,103	2,065
14	29,84	1,74	2,396	2,370	0,35	2,514	2,476
15	31,60	1,86	2,789	2,763	0,37	2,928	2,890

Les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence une différence importante entre le cheptel moyen allaitant et le cheptel moyen laitier. Néanmoins, pour les deux troupeaux, l'effet de la marge est plus important que celui du niveau de certification. Enfin, il est à noter que le choix des tests a un impact important (supérieur à celui du niveau de certification).

Le délai au bout duquel le rapport coût/bénéfice devient positif est un indicateur utilisable pour estimer l'intérêt de l'achat d'une certification.

Par exemple, pour le cheptel moyen laitier, avec une marge de 1 pour le vendeur (c'est-à-dire sans aucun bénéfice pour le vendeur), pour une certification N1 acquise et entretenue avec des tests ELISA, il faut trois ans pour que le rapport coût bénéfice devienne positif et quatre ans pour la N2. Ce délai passe à six ans pour la N1 et sept ans pour la N2 pour le même cheptel dans les mêmes conditions avec comme seule différence une marge de 3 pour le vendeur.

Figure 4

Représentation du rapport coût/bénéfice de la certification paratuberculose dans un élevage moyen laitier avec une marge de 1 pour le vendeur, effectuée pour une période de 15 ans (courbe de gauche) et focalisée sur les 8 premières années (courbe de droite).

La ligne fine correspond à la certification N1 et la ligne épaisse à la certification N2 toutes deux obtenues avec des tests ELISA.

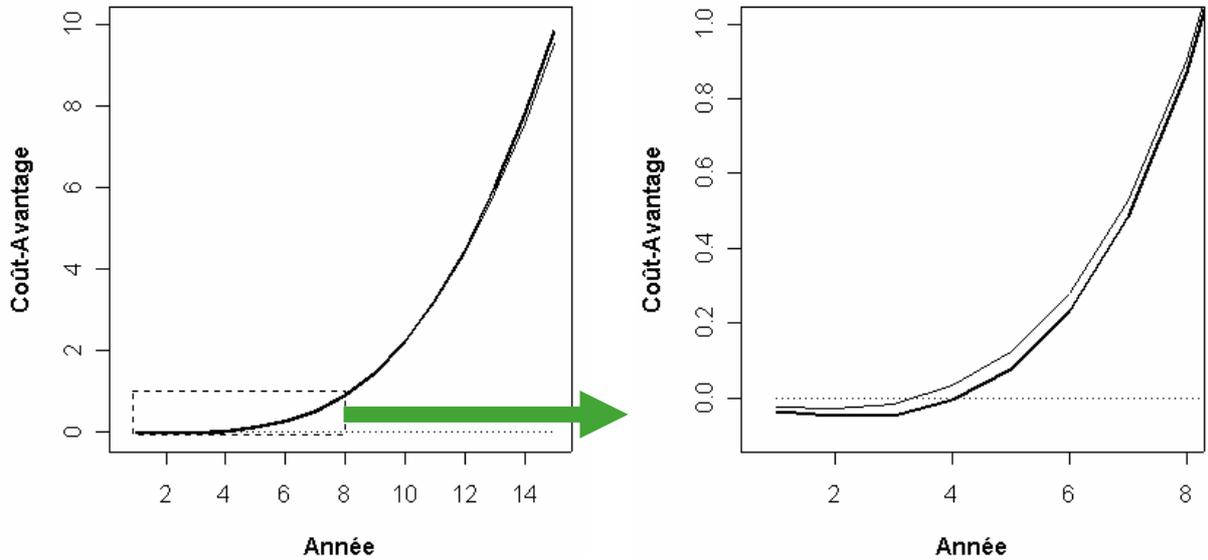
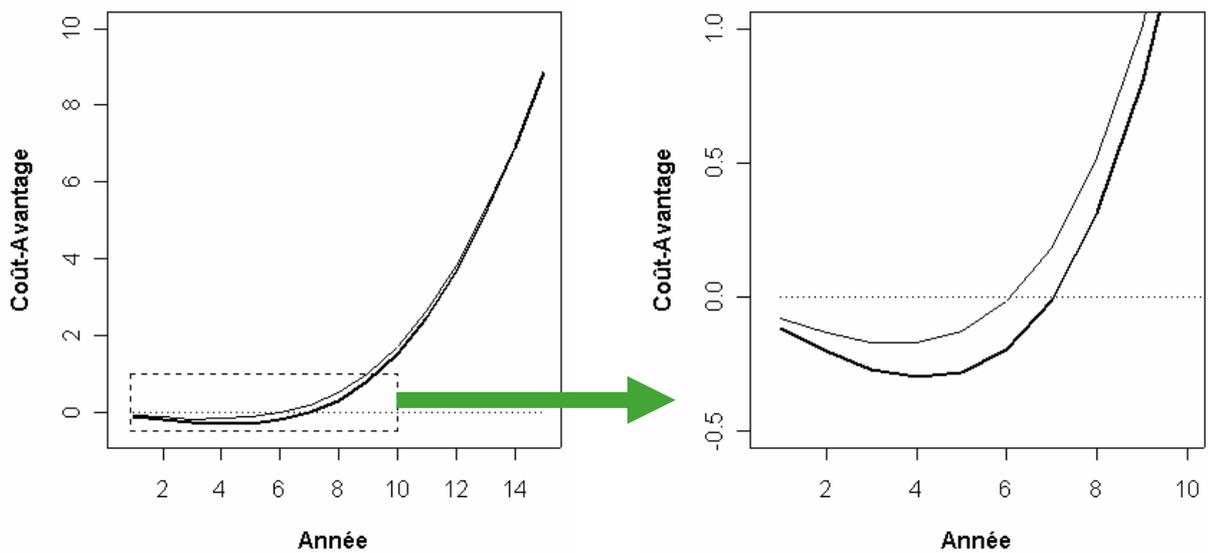


Figure 5

Représentation du rapport coût/bénéfice de la certification paratuberculose dans un élevage moyen laitier avec une marge de 3 pour le vendeur, effectuée pour une période de 15 ans (courbe de gauche) et focalisée sur les 8 premières années (courbe de droite).

La ligne fine correspond à la certification N1 et la ligne épaisse à la certification N2 toutes deux obtenues avec des tests ELISA.



III - DISCUSSION ET CONCLUSION

Le point de vue adopté dans cette étude coût/bénéfice est celle de l'acheteur et les résultats ne peuvent pas être transposés à des vendeurs d'animaux car, pour ces derniers, le bénéfice ne se limiterait pas au fait d'éviter la maladie. On devrait ainsi y ajouter le profit éventuel fait lors de la vente d'animaux certifiés.

Néanmoins, ces calculs, avec toutes les réserves qui doivent être faites compte tenu des hypothèses formulées sur certains paramètres épidémiologiques utilisés dans le modèle de dynamique de l'infection et sur certaines paramètres concernant les coûts, fournissent plusieurs indications aux responsables de la mise en place d'une certification paratuberculose en France :

- le choix des tests est finalement, du point de vue économique, plus déterminant que le niveau de certification choisi ;
- une marge légitime de 3 pour un vendeur conduit à une rentabilité, à un terme qui peut être qualifié de long pour un acheteur, et qui finalement semble peu acceptable pour ce dernier, surtout en troupeau allaitant.

Par ailleurs, il faut souligner que ce travail n'a pas pris en compte les caractéristiques de tests ; ainsi, les défauts de sensibilité et de spécificité des tests n'ont pas été intégrés aux calculs dont les résultats seraient probablement encore moins favorables si ces caractéristiques étaient prises en compte.

Il apparaît donc que l'aspect économique n'est pas un élément déterminant dans le choix de mettre en place ou non une certification paratuberculose en France ; d'autres aspects seront probablement prioritaires comme :

- l'importance des besoins en certification du point de vue du commerce national et international ;
- l'acceptabilité par les éleveurs sur le terrain des protocoles de certification proposés ;
- les modalités de gestion des erreurs générées par les défauts des tests sur le terrain ;
- les modalités de prise en charge des élevages trouvés infectés par ces protocoles et ne présentant cependant pas de signes cliniques.

Finalement, cet exemple d'analyse économique illustre l'utilité de la modélisation dans ce contexte.

Ainsi, le modèle stochastique mis au point a apporté une aide à l'expertise, et le modèle déterministe, relativement simple, a été utilisé de manière spéculative pour les calculs économiques. Il a permis de montrer que malgré un modèle assez pessimiste sur le plan de la transmission épidémiologique, les aspects économiques ne sont pas déterminants pour les acheteurs.

BIBLIOGRAPHIE

Benedictus G., Dijkhuizen A.A., Stelwagen J. - Economic losses due to paratuberculosis in dairy cattle. *Vet. Rec.*, 1987, **121**, 142-146.

Dufour B., Pouillot R., Durand B. - A cost-benefit study of the paratuberculosis certification in French cattle herds. *Vet. Res.*, 2004, **35**, 69-81.

Collins M.T., Morgan I.R. - Epidemiological model of paratuberculosis in dairy cattle. *Prev. Vet. Med.*, 1991, **11**, 131-146.

Groenendaal H., Nielen M., Jalvingh A., Horst H., Galligan D.T., Hesselink J.W. - A

simulation of Johne's disease control. *Prev. Vet. Med.*, 2002, **54**, 225-245.

Johnson-Ifearulundu Y., Kaneene J.B., Lloyd J.W. - Herd-level economic analysis of the impact of paratuberculosis on dairy herds. *Am. J. Vet. Med. Assoc.*, 1999, **214**, 822-825.

Mougel P. - Influence de la paratuberculose bovine sur la lactation : résultats d'une enquête en élevage bovin laitier dans le département des Côtes du Nord, in Thèse de doctorat vétérinaire. 1989, Université Claude Bernard Lyon I: Lyon. p. 59.

Ott S.L., Wells S.J., Wagner B.A. - Herd-level economic losses associated with Johne's disease on US dairy operations. *Prev. Vet. Med.*, 1999, **40**, 179-192.

Pouillot R., Dufour B., Durand B. - A deterministic and stochastic simulation model for the intra-herd paratuberculosis transmission. *Vet. Res.*, 2004, **35**, 53-68.

