

Gestion collective du SDRP dans un groupement de producteurs : une approche par modélisation

Olivier RAT-ASPERT (1) Amandine LURETTE (2), Catherine BELLOC (1)

(1) ONIRIS-INRA UMR 1300 BioEpAR BP 4070, 44307 Nantes Cedex 03, France

(2) INRA, UMR 868, 34060 Montpellier, France

olivier.rat-aspert@oniris-nantes.fr

Gestion collective du SDRP dans un groupement de producteurs : une approche par modélisation

Le SDRP (syndrome dysgénésique et respiratoire porcin) est une maladie transmissible entre troupeaux. L'infection d'un troupeau peut être due au voisinage ou à l'achat d'animaux infectés. La gestion peut intervenir à deux niveaux : (1) au niveau individuel par l'éleveur (biosécurité, vaccination, diagnostic ou élimination des animaux infectés), et (2) au niveau collectif, par une gestion des mouvements d'animaux, ou en mettant en place des incitations à la gestion individuelle (aides financières et techniques). Nous proposons ici d'évaluer par modélisation l'efficacité de ces actions collectives de maîtrise en comparaison aux contraintes qu'elles imposent.

Le modèle développé représente l'ensemble des exploitations et des échanges d'animaux au niveau d'un groupement. Il prend en compte la dynamique de la maladie due aux échanges d'animaux et à la contamination de voisinage ainsi que l'évolution de la maladie et du risque d'infection des troupeaux suite à la mise en place (ou non) d'actions individuelles de maîtrise. Il prend également en compte l'impact sur les mouvements (nombre, modification de tournées, délais) de la mise en place de restrictions.

Notre modèle permet de tester, sous divers scénarios de gestion individuelle, de gestion collective et de connaissance des statuts des troupeaux, l'impact d'une restriction de mouvements en termes d'efficacité (diminution de la prévalence) et de contrainte (augmentation du nombre de mouvements,). Ainsi, ce modèle, en permettant d'éclairer l'arbitrage contrainte/efficacité, peut constituer un outil d'aide à la décision pour la mise en place et le suivi de plans de gestion collective du SDRP.

Collective management of the PRRS in a farms' network: a modeling approach

PRRS (porcine reproductive and respiratory syndrome) is a transmissible endemic disease. The transmission between farms may occur because of an infected neighboring farm or because of the purchase of infected animals. The management of the PRRS can be implemented at two levels: (i) at the individual level by the farmer (biosecurity, vaccination, test or cull of infected animals, depopulation), and (ii) at the collective level, by restricting animal movements from infected herds to susceptible herds, or by implementing incentives for individual management (financial and technical assistance). So, we propose to assess the effectiveness of a collective management compared to the constraints it imposes.

We used recorded data of between-herds animals' movements to construct our model. The resulting network consists in real movements of different types of animals. The model takes into account the dynamics of the disease due to trade in animals, the risk of infection depends on the number, the origin and the type of animals purchased. The risk of contamination by neighboring farms depends on the prevalence of the disease in the area. The model takes into account the effect of the implementation (or not) of individual management measures and the impact of implementation of movements' restriction on the pigs' network (number of movements, changes in the network structure).

Our model allows testing the impact of a restriction of movement in terms of effectiveness (reduction in prevalence) and constraint (increase in the number of movements). Several scenarios regarding of individual management, incentive management and knowledge of the status of herds are tested. Thus, this model, highlighting the trade-off between constraints and effectiveness of collective measures of management, can be a tool for decision maker to the implementation and the monitoring of a collective management of PRRS.

INTRODUCTION

Les modalités de transmission du virus du Syndrome Dysgénésique Respiratoire Porcin (SDRP), à la fois directes et indirectes, justifient la mise en œuvre de mesures de maîtrise dans les troupeaux mais également à une échelle collective (régionale ou nationale). Différentes expériences ont été menées dans ce sens à travers le monde. Dans des zones à faible prévalence, telles que le Chili ou la Suède, l'infection a été éliminée (Torremorell *et al.*, 2008 ; Walgreen *et al.*, 2008). En Amérique du Nord, dans un contexte de prévalence de l'infection plus importante, plusieurs plans régionaux sont décrits dans la littérature et dans la zone de Stevens County, le plan initié en 2004 a abouti à l'élimination du virus (Corzo *et al.*, 2010). Une des clés de la réussite réside dans l'observance du plan par les acteurs de terrain. Dans ce contexte, une modélisation de la décision de maîtrise pour évaluer l'efficacité épidémiologique et économique d'un plan collectif peut s'avérer intéressante en complément des approches observationnelles et expérimentales.

L'objectif de cette étude est l'élaboration d'un modèle représentant les mouvements d'animaux à l'échelle d'un groupement de producteurs, prenant en considération le réseau complexe de mouvements d'animaux résultant de la structuration spécifique du groupement (échanges de cochettes et de porcelets entre les différents types d'exploitation : naisseur, naisseur engraisseur, engraisseur, post sevrer, multiplicateurs et sélectionneurs).

Ce modèle est de plus utilisé pour simuler l'infection par le SDRP et la mise en œuvre de mesures de maîtrise à la fois au niveau intra-troupeaux (vaccination, biosécurité) et collectif (restriction de mouvements d'animaux conditionnés au statut des troupeaux). Différents niveaux d'observance de ces mesures seront également envisagés.

1. MODELE

Le modèle développé est un modèle dynamique individu centré, pour lequel chaque exploitation représente un individu. Il représente l'ensemble des troupeaux d'un groupement, les mouvements d'animaux entre troupeaux et l'évolution dans le temps du statut épidémiologique des troupeaux. Cette évolution du statut épidémiologique est stochastique. La dynamique du modèle repose sur un temps discret avec un pas de temps de un jour.

La modélisation est réalisée avec le logiciel scilab-5.3.2.

1.1. Données de groupement

Le modèle se base sur les données réelles de mouvements d'animaux dans un groupement de producteurs français. Ces données représentent l'ensemble des tournées d'animaux entre les exploitations du groupement, vers les abattoirs et vers ou depuis l'extérieur du groupement, pendant une année civile. Une tournée correspond à l'ensemble des mouvements d'animaux entrant et sortant d'un camion de transport, de son départ à vide au déchargement du dernier animal. Ainsi, pour chaque tournée, les troupeaux donneurs et receveurs, le nombre d'animaux concernés et leur type (porcelets de 8Kg, porcelets de 25kg, cochettes, réformes, porcs gras) ainsi que la date du mouvement sont connus. Le type des exploitations du groupement est également renseigné : naisseur (*Na*), naisseur engraisseur (*NE*), post-sevrer-engraisseur (*PSE*), engraisseur (*E*), multiplicateur (*M*) ou sélectionneur (*S*).

La base de données utilisée correspond à un groupement de producteurs comprenant 380 troupeaux répartis en quatre troupeaux de sélectionneurs, 13 multiplicateurs et 363 troupeaux de production (16 naisseurs, 190 naisseurs engraisseurs, 147 engraisseurs et dix post sevrers engraisseurs). La base de données recense sur une année les 10 209 tournées d'échanges d'animaux entre exploitations et vers l'extérieur du groupement (Tableau 1).

Tableau 1 - Structure des tournées annuelles dans le groupement de producteur

	Type d'animaux		
	8 kg	25 kg	cochettes
Nombre de tournées	3180	4289	2740
Nombre moyen d'animaux	141	184	31
Nombre moyen de troupeaux donneurs	1,7	1,3	2,1
Nombre moyen de troupeaux destinataires	1,1	1,0	4,3

1.2. Modèle épidémiologique

Le modèle prend en compte la transmission de la maladie entre les troupeaux via les achats d'animaux et la transmission aérienne. La transmission par achat est une voie de transmission importante de la maladie. La transmission aérienne présente également un risque pour les exploitations (Zimmerman *et al.*, 2006). A l'échelle du troupeau, la propagation du virus est rapide. Ainsi, deux mois après l'introduction d'un animal positif, 85 à 95% des animaux ont séro-convertis (Zimmerman *et al.*, 2006). Les troupeaux infectés peuvent contrôler l'infection par la mise en place de plans de maîtrise basés sur la biosécurité interne et la vaccination. (Dee, 2003 ; Corzo *et al.*, 2010). Aussi, respectant les caractéristiques épidémiologiques de la maladie, nous considérons dans notre modèle trois situations épidémiologiques principales, à l'échelle de l'élevage (le statut infecté, le statut infecté contrôlé et le statut indemne), sans modéliser formellement la propagation de la maladie au sein d'un troupeau. Les transitions entre états dépendent des moyens de gestion mis en place, tant au niveau individuel (biosécurité, vaccination) que collectif (restrictions de mouvement)

Les troupeaux Sains (*S*) peuvent devenir Infectés (*I*) du fait de contamination par le voisinage ou d'achat d'animaux infectés. Les troupeaux *I* peuvent redevenir *S* spontanément, avec une probabilité faible. La mise en place de mesures de biosécurité peut permettre de limiter le passage de *S* vers *I*. La mise en place de mesures de biosécurité interne couplées à la vaccination peut permettre de passer à un statut *IC*, Infecté Contrôlé, pour lequel les effets de la maladie dans l'élevage et le risque que présente cet élevage pour les exploitations voisines sont limités et pour lequel la probabilité de passer au statut *S* est plus importante.

1.2.1. Transmission par achat

La transmission par achat est liée à l'introduction dans un élevage d'un animal issu de troupeau infecté. Lorsque les troupeaux d'origine sont internes au groupement, leur statut est connu dans le modèle, mais pour les animaux provenant de d'exploitations extérieures, au groupement, nous fixons une probabilité pour que ces animaux proviennent d'une exploitation de statut *I*. Cette probabilité dépend de la nature des animaux échangés.

En effet, nous faisons l’hypothèse selon laquelle les troupeaux multiplicateurs (fournissant des cochettes aux troupeaux de l’étage production) sont moins fréquemment infectés que les troupeaux de production. La probabilité P_i pour qu’un animal entrant soit issu de troupeaux infectés est donnée par :

$$P_i = \frac{N_i + (1 - R_{ic}) \cdot N_{ic} + N_E \cdot P_E}{N_t}$$

Avec N_t , N_i , N_{ic} et N_E représentant respectivement pour chaque tournée le nombre total d’animaux, le nombre d’animaux issus de troupeaux infectés, infectés contrôlés et extérieurs au groupement. P_E est la probabilité pour qu’un animal provenant de l’extérieur soit issu de troupeau infecté et R_{ic} correspond à la réduction du caractère infectieux des troupeaux en infection contrôlée (IC). L’introduction d’un animal issu de troupeau infecté ne conduira pas avec certitude à l’infection du troupeau receveur. La probabilité pour qu’un animal issu d’un troupeau infecté conduise à l’infection du troupeau receveur est notée β_{ia} et dépend du type d’animal acheté. Aussi, pour chaque animal introduit, la probabilité d’infection est égale à P_{ia}

$$P_{ia} = P_i \cdot \beta_{ia}$$

1.2.2. Transmission par voisinage

Le risque de transmission par le voisinage est dépendant du nombre d’exploitations infectées dans l’environnement de l’exploitation. Pour prendre en compte cette voie de transmission dans notre modèle, nous faisons l’hypothèse d’un risque de voisinage homogène pour l’ensemble des exploitations du groupement, dépendant de la prévalence inter-troupeaux dans le groupement et corrigé du caractère moins infectieux des exploitations de statut IC.

Aussi, à chaque pas de temps du modèle, la probabilité d’infection par voisinage P_{iv} est égale à

$$P_{iv} = \beta_{iv} \cdot \left(\frac{I + IC \cdot (1 - R_{ic})}{N} \right)$$

Avec β_{iv} le taux de transmission, et I, IC et N le nombre de troupeaux Infectés, Infectés Contrôlés et totaux dans le groupement, respectivement.

1.2.3. Assainissement

Les troupeaux I peuvent revenir S, avec une probabilité très faible lorsque aucun moyen de maîtrise spécifique n’est mis en place. Aussi, à chaque pas de temps du modèle, les troupeaux I ont une probabilité P_{is} de s’assainir. Pour les exploitations de type post sevrer engraisseur ou engraisseur, nous faisons l’hypothèse selon laquelle l’absence de truies dans l’élevage permet l’assainissement après une période fixe (T_{is}) de non réinfection de l’élevage (sans recontamination par le voisinage ni introduction d’animaux infectés)

1.2.4. Moyens de maîtrise au niveau individuel

Plusieurs moyens de maîtrise au niveau individuel ont un impact sur la probabilité de transition entre les états. Nous nous focalisons pour ce travail sur une maîtrise individuelle basée sur un plan de maîtrise pour les troupeaux infectés cumulant biosécurité interne et vaccination. Ce plan de maîtrise individuel permet de passer à un stade d’infection contrôlée (noté IC) avec une probabilité P_{iic} . L’assainissement est alors plus probable que pour les troupeaux de statut I, avec une probabilité P_{ics} respectant $P_{ics} > P_{is}$.

1.2.5. Transitions entre états et paramètres du modèle

Les changements d’états sont probabilistes. Les probabilités dépendent des mesures mises en place dans l’élevage et sont résumées dans la figure 1. Les paramètres de risque à l’achat,

risque de voisinage et assainissement ont été définis de façon à ce que la prévalence calculée par le modèle corresponde à la prévalence observée en Bretagne (tableau 2).

En ce qui concerne les paramètres du plan de maîtrise, ils ont été choisis de façon à représenter l’impact d’un plan de maîtrise sur l’exploitation.

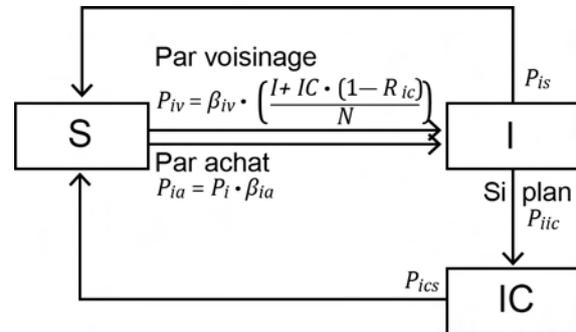


Figure 1 - Probabilités de changement de statut des troupeaux (voir détail des paramètres dans le texte)

Tableau 2 - Paramètres épidémiologiques du modèle

Paramètres	Type d'élevage ou d'animaux concernés		
Risque achat	Cochettes	Engraissement (8Kg et 25Kg)	Issus de sélection
β_{ia} (/animal)	0,25	0,001	0
P_E	0,6	0,3	0
Risque voisinage	Production	Multiplication	sélection
β_{iv} (/animal)	0,001	/	0
T_{is} (Pour PSE et E, en jours)	600	/	/
Assainissement	Tout élevage		
P_{is} (/jour)	0,0005		
Plan de maîtrise	Avec	Sans	
P_{iic} (/jour)	0,01	0	
P_{ics} (/jour)	0,01	0	
R_{ic}	0,8	0,8	

1.3. Gestion des mouvements

La gestion des mouvements doit permettre de limiter l’infection des troupeaux sains en interdisant les mouvements d’un troupeau infecté vers un troupeau sain. Elle passe par une connaissance du statut des troupeaux et la mise en place de restrictions.

1.3.1. Information sur le statut du troupeau

L’information sur le statut des troupeaux peut être révélée par des tests (sérologie et PCR) effectués à des intervalles réguliers. Ainsi, l’information sur le statut des troupeaux n’est pas parfaite. Cette imperfection de l’information est prise en compte dans le modèle. Le modèle fait la distinction entre le statut réel (donné par les transitions de statut des troupeaux dans le modèle épidémiologique) et le statut perçu (qui est mis à jour régulièrement, après un laps de temps correspondant au temps entre deux tests). Le statut perçu du troupeau à un instant donné correspond au statut réel du troupeau au moment du test précédent.

1.3.2. Restrictions de mouvements

Le modèle prend en compte la restriction de mouvements en conservant le volume et le type d’animaux entrant et sortant dans chaque élevage. Cette modalité de maîtrise peut être mise en application pour une partie ou la totalité des troupeaux. Ainsi, les mouvements d’animaux d’une tournée comportant au moins un troupeau donneur dont le statut au dernier test n’est pas « sain » et un troupeau receveur de statut « sain » au dernier test sont mis en attente.

Pour conserver le nombre et le type d'animaux entrant et sortant des troupeaux, lorsqu'il y a des animaux en attente de mouvement, les mouvements concernant seulement des troupeaux donneurs sains et au moins un troupeau destinataire infecté sont également mis en attente, et de nouvelles tournées permettant de respecter la règle de restriction de mouvement sont créées. De cette façon, le modèle permet de déterminer les contraintes en matière de modifications de mouvements imposées par la restriction. Il est à noter que les animaux issus de l'extérieur, issus de troupeaux non testés et issus de troupeaux vaccinés ne peuvent pas fournir des troupeaux sains dans le cas d'une restriction de mouvements.

2. SIMULATIONS

Le modèle permet de suivre dans le temps l'évolution de la prévalence pour différents scénarios de maîtrise du SDRP ainsi que la part de chaque mode d'infection (par voisinage et par achat) et l'effet des restrictions de mouvements sur la structure des mouvements.

2.1.1. Situation initiale et scénario de référence.

La simulation commence à une situation endémique moyenne, avec 60% des troupeaux de l'étage production infectés, 30% des troupeaux de l'étage multiplication et aucun troupeau infecté à l'étage de sélection. La proportion des troupeaux infectés en dehors du groupement demeure égale à cette situation épidémiologique de départ. Cette prévalence de 60% correspond à la prévalence moyenne observée en Bretagne pour le niveau production (Lebret *et al.*, 2008).

Nous supposons que les troupeaux de multiplication ont une prévalence plus faible, du fait de pratiques de biosécurité plus strictes que pour le niveau production. Ainsi, les taux de transmission β sont plus faibles pour les troupeaux de multiplication que pour les troupeaux de production.

Chaque réplication est réalisée sur un temps simulé de 10 années. Comme les données disponibles de mouvements couvrent seulement une année, nous utilisons les mêmes mouvements pour chaque année de simulation. Deux cents réplifications sont réalisées pour chaque scénario.

Le scénario de référence correspond à une situation dans laquelle il n'y a pas de restrictions de mouvements et pour laquelle la biosécurité dans les exploitations est fixe et à minima, sans mesure de tests/abattage ni dépeuplement repeuplement et sans vaccination. Ainsi, la probabilité d'assainissement P_{is} est constante, faible, mais supérieure à zéro. Aucun élevage ne peut passer au statut IC du fait de la non mise en place de plans de maîtrise individuels.

2.1.2. Scénarios de maîtrise testés.

Deux moyens de maîtrise sont testés avec des degrés d'application différents. Le premier est la restriction de mouvements, le second est la mise en place de plans de maîtrise individuels.

En ce qui concerne les restrictions de mouvements, nous testons l'effet de la qualité de l'information concernant le statut des troupeaux sur l'efficacité de la restriction de mouvements. Ainsi, les simulations sont réalisées pour des restrictions de mouvement généralisées avec un test des troupeaux tous les 3 mois (*Res3*), tous les 6 mois (*Res6*) et tous les ans (*Res12*). Nous testons également la mise en place de restrictions de mouvements et de tests pour seulement une moitié des troupeaux de production et la totalité des

troupeaux de multiplication et de sélection, avec des tests tous les six mois (*Res1/2*). En ce qui concerne les plans de maîtrise individuelle, nous testons leur mise en place (i) pour un tiers des exploitations (*Plan1/3*), (ii) généralisée à l'ensemble des exploitations (*Plan1*), et (iii) dans un tiers des exploitations, couplée à une mesure de restrictions de mouvements généralisée avec tests tous les six mois (*Plan+Res*).

3. RESULTATS

Les prévalences à une situation d'équilibre, qui correspondent à un temps au bout duquel les valeurs moyennes de prévalence se stabilisent (soit ici huit ans après la mise en place des mesures) ainsi que les probabilités d'infection par mois pour les deux modalités d'infections (voisinage et achats) ont été calculées pour le scénario de référence et les sept scénarios de maîtrise testés (Tableau 3).

Tableau 3 - Prévalence (moyenne et écart type entre simulations sur les deux dernières années de simulation) et probabilités d'infection ou d'assainissement (moyennes) pour les différents types de troupeaux à l'équilibre et les différents scénarios

Scénarios	Prévalence Moyenne (écart type)	Probabilité d'infection par voisinage (P_{iv} /mois)	Probabilité d'infection par achat (P_{ia} /mois)
Référence	57% (3,9)	1,26%	2,53%
<i>Dont</i>			
<i>Na</i>	63% (10,1)	1,39%	1,18%
<i>NE</i>	71% (5,0)	1,40%	2,56%
<i>PSE/E</i>	46% (3,2)	1,40%	3,52%
<i>Multi</i>	25% (11,2)	0,26%	0,18%
Res3	36% (4,5)	0,81%	0,57%
Res6	43% (5,0)	0,98%	1,12%
Res12	47% (5,1)	1,06%	1,46%
Res1/2	51% (4,1)	1,13%	1,72%
Plan1/3	46% (5,0)	1,03%	2,21%
Plan1	17% (2,6)	0,39%	1,01%
Plan+Res	29% (6,0)	0,65%	0,71%

3.1. Scénario de référence

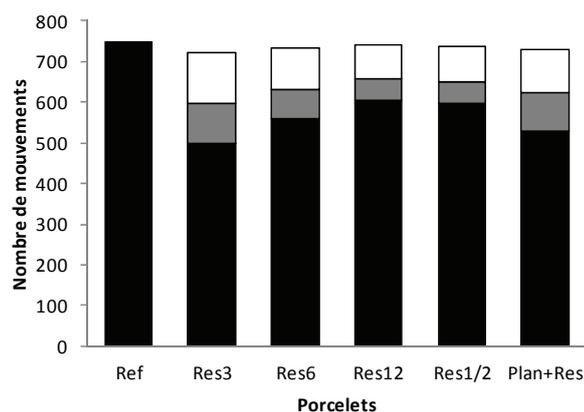
La prévalence moyenne atteint rapidement une valeur équilibrée. Les prévalences modélisées correspondent aux valeurs de prévalence observées en Bretagne pour les troupeaux de production. La prévalence pour les troupeaux de types engraisseur et post sevrer est plus faible que pour les troupeaux de types naisseurs et naisseur engraisseur du fait de l'élimination plus rapide de la maladie dans les troupeaux sans truies suite à la non introduction d'animaux infectés.

La valeur de prévalence à l'équilibre pour les troupeaux de type multiplicateur est légèrement plus faible que la valeur de début de simulation (25% à l'équilibre contre 30% en début de simulation) (Tableau 3).

3.2. Moyens de maîtrise

Les restrictions de mouvements permettent une baisse de la prévalence due à une réduction du risque d'infection par achat (Tableau 3). Cependant, le risque d'infection par achat demeure présent. Il diminue avec l'augmentation de la qualité de l'information sur le statut des troupeaux.

En baissant le niveau de prévalence dans la zone, la maîtrise au niveau individuel permet de diminuer le risque d'infection par achat et par voisinage des troupeaux sains.



Il en va de même pour les restrictions de mouvements qui, en diminuant la prévalence, diminuent également le risque d'infection par voisinage.

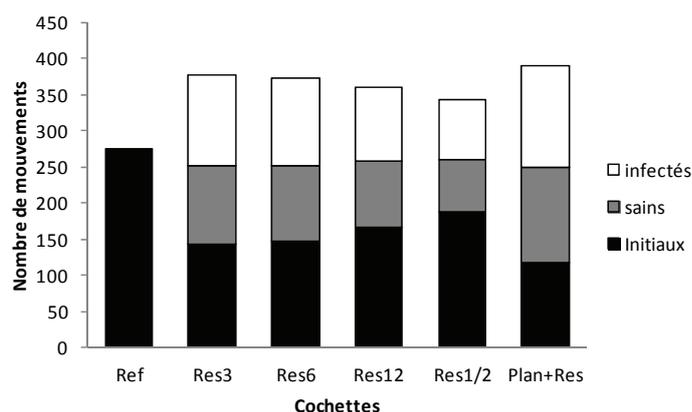


Figure 2 - Modification de la structure de mouvements (dernière mois de simulation) suivant différents scénarios de maîtrise. Initiaux correspond au nombre de mouvements conservés, infectés au nombre de nouveaux mouvements mis en place concernant au moins un troupeau donneur non sain et sain au nombre de nouveaux mouvements concernant seulement des troupeaux donneurs sains (à gauche, mouvements de cochettes, à droite, mouvements de porcelets).

3.2.1. Restrictions de mouvements

Le modèle permet d'apprécier la modification de la structure de mouvements lors de la mise en place d'une restriction de mouvements (Figure 2).

Les mouvements initiaux (noté « initiaux ») sont soit conservés, soit transformés en nouveaux mouvements, que l'on qualifie de « sain » lorsque le mouvement est créé pour fournir en animaux sains des troupeaux de type sain et « infecté » pour les mouvements d'animaux non qualifiés sains, mis en place du fait de la restriction.

Pour les mouvements de porcelets, le nombre de mouvements reste stable avec la mise en place de restrictions. La modification de la structure de mouvements concerne dans ce cas une minorité des mouvements (15 à 25% des mouvements). Dans le cas des mouvements de cochettes, le nombre de mouvements augmente et la structure de mouvements est fortement modifiée (25 à 50% des mouvements). Cette différence s'explique par le fait que les tournées de porcelets se font essentiellement vers un unique troupeau receveur alors que pour les cochettes, les tournées impliquent souvent plusieurs troupeaux donneurs et receveurs (Tableau 1). Les différences de modifications de la structure de mouvements entre les scénarios de maîtrise s'expliquent par le fait que ces modifications dépendent de la prévalence. En effet, plus la prévalence est proche de 50 %, plus la probabilité pour qu'un mouvement concerne des animaux sortant d'un troupeau infecté à destination d'un troupeau sain est élevée.

3.2.2. Plan de maîtrise individuelle

Le plan de maîtrise individuelle permet, par la vaccination et des mesures de biosécurité interne, de limiter l'expression de la maladie et d'assainir les troupeaux. Le plan de maîtrise conduit les troupeaux pour lesquels il est mis en place à passer au stade infecté contrôlé puis au stade indemne, conduisant à une baisse de la prévalence (tableau 3).

4. DISCUSSION

Le modèle présenté constitue une première approche pour la l'étude de l'infection par le SDRP à la fois par les mouvements

d'animaux et par le voisinage. Contrairement aux précédents travaux traitant de l'impact de la structure de contact entre les élevages porcins sur la propagation de maladies (Kao *et al.*, 2006), il représente les mouvements réels d'animaux au sein d'un groupement de producteurs. Ainsi, il permet d'étudier à la fois la part des mouvements d'animaux dans la propagation du SDRP et l'intérêt de restrictions de mouvements pour sa gestion. Il se distingue également du modèle de Lurette *et Alen* formalisant la conservation des nombres et types d'animaux entrant et sortant des exploitations dans le processus de restriction de mouvements. Il permet de ce fait de déterminer l'évolution des mouvements liés à cette restriction. Enfin, le modèle se distingue également en prenant en compte l'information imparfaite sur le statut des troupeaux, qui est un élément essentiel dans la mise en place de restrictions de mouvements, et de moyens de maîtrise de la santé, puisque la qualité de l'information, approchée ici par le temps séparant les tests, a un effet important sur l'amélioration de la situation épidémiologique permise par la mise en place des restrictions de mouvements. En mettant en parallèle les contraintes (modification de la structure de mouvement, mise en place de tests, vaccination) et l'efficacité (baisse de la prévalence), ce modèle peut constituer une base pour des analyses coût-bénéfice des moyens de maîtrise de SDRP. Dans cette optique, il est à noter que le coût des moyens de maîtrise, dépendant des contraintes pour leur mise en place, est lié à la valeur de la prévalence dans la zone. Ainsi, nous avons montré que les restrictions de mouvements sont plus contraignantes quand la valeur de la prévalence est voisine de 50%. Suivant la prévalence observée, un arbitrage est donc à réaliser entre restrictions de mouvements et plans individuels de gestion du SDR, ces derniers étant plus coûteux lorsque la prévalence est élevée (du fait du nombre important d'élevages impliqués).

Les résultats obtenus dépendent de processus épidémiologiques et des processus de restrictions de mouvements qui ont été modélisés de façon volontairement simple dans ce travail. Les paramètres du modèle ont été définis pour correspondre à la prévalence observée en Bretagne. Cependant, concernant l'efficacité des plans de maîtrise, les paramètres restent à affiner et dépendent à la

fois du type d'exploitation et des pratiques de biosécurité/vaccination préconisées par le plan et effectivement mises en place dans l'exploitation.

L'analyse de sensibilité du modèle quant à ces paramètres est une des perspectives à court terme, et permettra de définir les besoins en connaissance pour un paramétrage plus fin du modèle. Nous faisons l'hypothèse d'un risque de voisinage fixe dans une zone. Cette hypothèse est valide pour une région de production avec une densité et une structure d'élevage homogène, mais l'effet de voisinage devrait être formalisé dans le cas d'une zone à risque de propagation hétérogène du fait de la densité des exploitations.

Cette amélioration permettrait aussi de tester des scénarios de maîtrise collective en ciblant les zones les plus à risque.

Nous prenons en compte dans le modèle le risque de contamination lié à l'introduction d'animaux dans l'élevage. Le risque lié au passage d'un camion sur l'exploitation pourrait être également étudié par ce modèle. L'intégration de ce risque dans le modèle permettrait ainsi d'évaluer l'intérêt de la mise en place d'un sens de ramassage des animaux commençant par les troupeaux sains.

La modification de la structure de contacts et des tournées est également fortement liée aux hypothèses de restrictions de mouvements de notre modèle. La contrainte principale prise en compte est la conservation du type et du nombre d'animaux entrant et sortant des exploitations. Cependant, il existe d'autres contraintes qui pourraient être intégrées à notre modèle, telles que la limitation de la distance entre les exploitations d'une tournée, le nombre maximum d'exploitations et d'animaux pour une tournée, la limitation du temps d'attente entre le ramassage ou l'approvisionnement prévu initialement et la tournée créée. La prise en compte de ces contraintes est importante pour l'estimation et la minimisation du coût collectif des restrictions de mouvements.

Nous supposons dans notre modèle que l'ensemble des éleveurs, ou une proportion fixée d'éleveurs mettent en place les mesures de maîtrise (test des animaux et vaccination) préconisées. Le SDRP étant une maladie non réglementée, la décision d'implémenter ou non un moyen de maîtrise dans l'élevage dépend de la décision de l'éleveur. Dans ce contexte, l'éleveur prendra sa décision en fonction de la représentation

qu'il se fait de l'intérêt de mettre en place ou non un moyen de maîtrise, en partie liée au risque d'infection. Ainsi, dans le cadre des maladies non réglementées, il est important de prendre en compte l'interaction entre décisions individuelles de maîtrise et évolution de la maladie dans une zone (Rat-Aspert et Fourichon, 2010). Le couplage de ce modèle épidémiologique à un modèle de décision de l'éleveur permettra notamment d'étudier l'efficacité de la mise en place d'incitations à la gestion individuelle de la maladie.

CONCLUSION

Le modèle développé permet d'estimer l'évolution de prévalence du SDRP dans le temps selon différents scénarios de maîtrise tels que la biosécurité/vaccination et les mesures de restrictions de mouvements. Il montre également l'importance d'une bonne connaissance du statut des troupeaux pour que les mesures de restrictions de mouvements soient efficaces. En permettant d'estimer l'évolution des tournées entre exploitations dans le cas d'une mise en place de restriction de mouvement, il offre un premier éclairage pour l'arbitrage que doivent réaliser les groupements de producteurs entre baisse de prévalence et contraintes liées à la mise en place de restrictions de mouvements.

En plus de ces premiers résultats, ce modèle constitue une étape : couplé à un modèle de décision individuelle et à l'estimation de l'impact économique de la maladie sur les exploitations, et en suivant le schéma conceptuel proposé par Krebs et Rat-Aspert (2010), il permettra, de réaliser des études coût-bénéfice de scénarios de maîtrise collective ou d'optimisation de l'utilisation des ressources allouées à la maîtrise collective dans un objectif d'amélioration du bien être collectif.

REMERCIEMENTS

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).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Corzo C.A., Mondaca E., Wayne S., Torremorell M., Dee S., Davies P., Morrison R.B., 2010. Control and elimination of porcine reproductive and respiratory syndrome virus. *Virus Res.*, 154, 185-192.
- Dee S., 2003. Approaches to prevention, control and eradication. In : Zimmermann, J, Yoon KJ (Eds). *The PRRS Compendium*. 2nd ed, National Pork Board, Des Moines, Iowa, 119-130.
- Kao, R.R., Danon, L., Green, D.M., Kiss, I.Z., 2006. Demographic structure and pathogen dynamics on the network of livestock movements in Great Britain. *Proc. R. Soc. Lond., B, Biol. Sci.* 273, 1999-2007.
- Krebs S., Rat-Aspert O., 2010. Economie des actions collectives de maîtrise des maladies animales endémiques : un cadre conceptuel. in 4^{èmes} Journées de recherche en sciences sociales INRA-SFER-CIRAD, Rennes, France, 8-9 décembre.
- Lebret A., Voisin F., Normand V., 2008. Le SDRP : où en est-on en 2008 ? *Bulletin des GTV*, 46, 51-56.
- Lurette A., Belloc C., Keeling M., Contact structure and Salmonella control in the network of pig movements in France, *Prev Vet Med*, 102, 30-40.
- Rat-Aspert, O., Fourichon, C., 2010. Modelling collective effectiveness of voluntary vaccination with and without incentives. *Prev. Vet. Med.*, 93, 265-275.
- Torremorell M., Rojas M., Cuevas L., Lorenzo F., Osorio F., Henry S., 2008. National PRRSv eradication program in Chile. In: *The 20th IPVS Congress*, Durban, South Africa, 55.
- Walgreen P., Norregard E., Carlsson U., Danielsson J., 2008. PRRS in Sweden. Introduction and eradication of the disease. In: *The 20th IPVS Congress*, Durban, South Africa p53.
- Zimmerman J., Benfield D., Murtaugh M., Osorio F., Stevenson G.W., Torremorell M., 2006. Porcine Reproductive and Respiratory Syndrome Virus. In: *Diseases of Swine*. 9th ed, Blackwell Publishing, 387-417.