

## UN MODELE INDIVIDU-CENTRE STOCHASTIQUE REPRESENTANT LA DYNAMIQUE DE POPULATION DANS UN ELEVAGE PORCIN DE TYPE NAISSEUR-ENGRASSEUR AFIN D'ETUDIER LE ROLE DE LA TRUIE DANS UN PROCESSUS INFECTIEUX \*

**Mathieu Andraud<sup>1</sup>, Emilio Arnaldo León<sup>1</sup>,  
Jean-Sébastien Pierre<sup>1</sup>, François Madec<sup>1</sup>  
et Nicolas Rose<sup>1</sup>**

**RESUME :** Le modèle décrit est un modèle individu-centré stochastique représentant la dynamique de population au sein d'un élevage porcin de type naisseur-engraisseur conduit en bandes. L'identification individuelle des porcelets et de leurs mères naturelles et adoptives permettra d'étudier l'influence du statut de la truie sur un processus infectieux touchant la descendance. Les événements liés à la reproduction (avortements, détection des chaleurs ou échecs d'insémination) et à la mortalité (naturelle et réformes) sont déterminés quotidiennement par un ensemble de probabilités âge-dépendantes préalablement définies et potentiellement modifiables par l'utilisateur. Les règles de décision sont prises à l'aide de simulations de Monte-Carlo. Le modèle permet aussi d'étudier les conséquences de modifications de pratiques d'élevage sur le vieillissement et les performances du troupeau. La validation du modèle a été obtenue par comparaison avec les statistiques disponibles dans la littérature.

**Mots-clés :** Porc, troupeau, dynamique de population, modèle.

**SUMMARY :** The proposed model is a stochastic individual-based model representing population dynamics in a farrow-to-finish pig farm managed according to a batch-farrowing procedure. Individual representation of the piglets and of their natural or nursing dams (cross-fostering) will permit to assess the "sow-effect" on piglets' health status during infectious processes. Stochasticity is taken into account for reproduction (abortions, oestrus detection or insemination failure), mortality and culling through age-dependant probabilities previously defined by the user. Decision rules are based on Monte-Carlo simulations. Effects of modifications in management strategies on herd ageing and herd productivity are also assessed. The model was validated by comparing model outputs with actual farm situations and data from the literature

**Keywords:** Pig, herd, population dynamics, modelling.



\* Texte de la communication orale présentée lors de la Journée AEEMA, 1er juin 2007

<sup>1</sup> AFSSA-site de Ploufragan, BP 53, 22440 Ploufragan, France

---

## I - INTRODUCTION

---

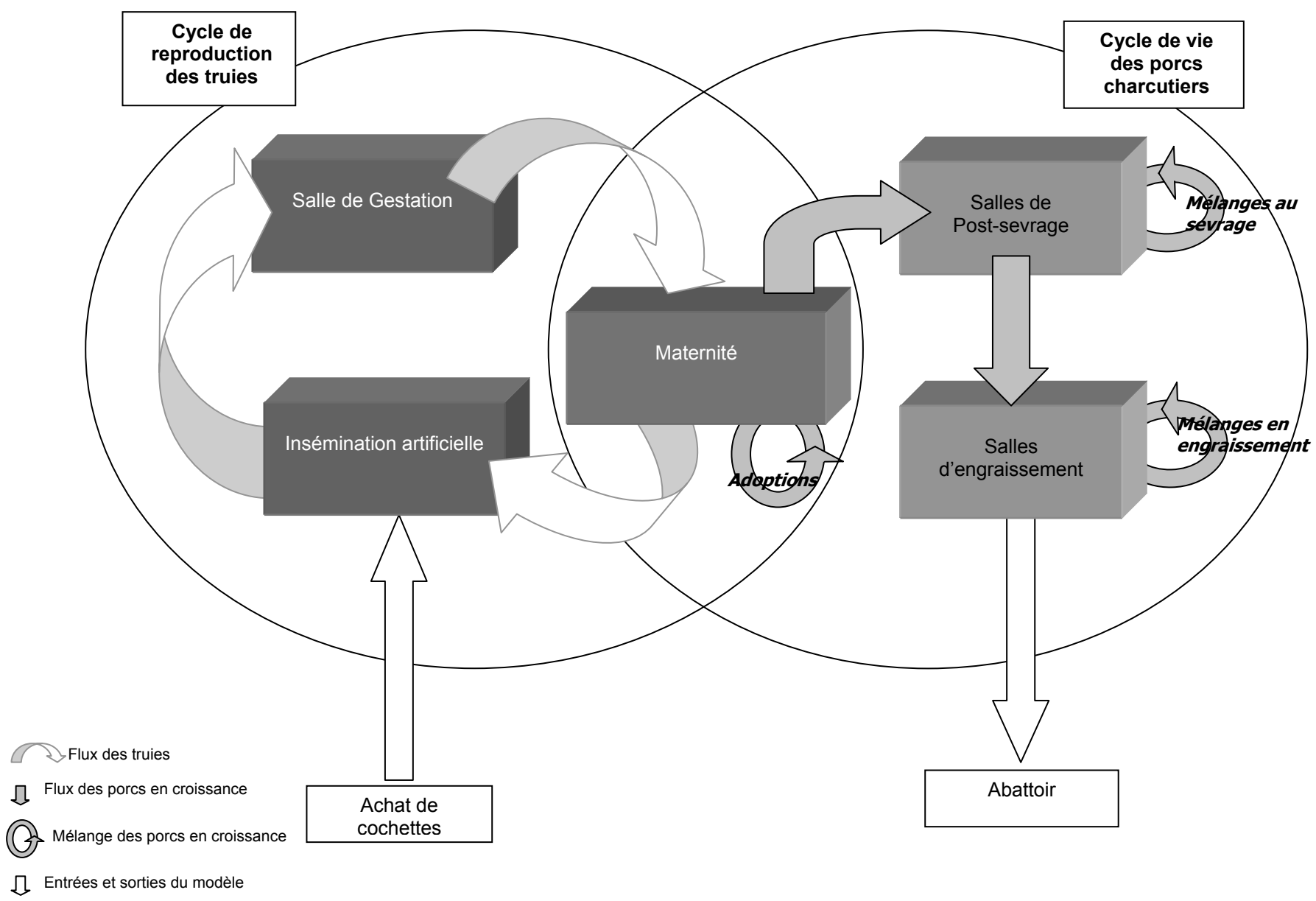
De nombreux modèles de représentation d'élevages porcins ont été développés [Allen et Stewart, 1983 ; Plà *et al.*, 2003 ; Singh, 1986]. L'aspect économique était souvent privilégié en étudiant principalement les politiques de réforme et de renouvellement [Jalvingh *et al.*, 1992a ; Jalvingh *et al.*, 1992b], ou l'alimentation et la croissance des porcs [Pomar *et al.*, 1991a ; Pomar *et al.*, 1991b ; Pomar *et al.*, 1991c]. Peu de ces modèles ont été couplés avec un modèle épidémiologique [Jorgensen, 2000]. De plus, ces modèles ne sont pas adaptés à l'étude de la relation truie-porcelets au cours d'un processus infectieux.

De nombreux pathogènes viraux se transmettent verticalement [Nims, 1981], dont notamment le parvovirus porcin [Mengeling *et al.*, 1980], le virus de la peste porcine classique [Le Potier *et al.*, 2006] et le circovirus porcin de type 2 (PCV2) [Sanchez *et al.*, 2001 ; West *et al.*, 1999] chez le porc. Dans le cas du PCV2, la « véritable » transmission verticale, *i.e.* le passage transplacentaire du virus, est suspectée [Park *et al.*, 2005] mais n'a été décrite dans aucune autre étude à ce jour et reste donc incertaine. Cependant, des truies contaminées par voie intra-utérine au moment de l'insémination, simulant ainsi une infection par de la semence contaminée [Kim *et al.*, 2003 ; Larochelle *et al.*, 2000 ; McIntosh *et al.*, 2006], donnent naissance à des porcelets infectés indépendamment du statut infectieux de leur mère au moment de l'insémination [Rose *et al.*, 2007]. D'autre part, la diffusion horizontale de l'agent infectieux chez les porcs en croissance est intimement liée (1) à la transmission de l'agent infectieux de la truie à sa portée et (2) à l'acquisition ou non d'immunité passive par les porcelets [Calsamiglia *et al.*, 2007]. Le circovirus porcin est associé à la maladie de l'amaigrissement du porcelet (postweaning multisystemic wasting syndrome PMWS) [Allan *et al.*, 2000 ;

Bolin *et al.*, 2001 ; Resendes *et al.*, 2004], et il est la cible de nos investigations. Afin de pouvoir étudier l'influence de la truie et de différentes pratiques d'élevage (adoptions croisées, regroupements des porcelets par cases en post sevrage) sur la propagation du virus dans un élevage porcin, l'approche individu-centrée est la plus appropriée pour représenter la dynamique de population au sein de l'élevage.

Le troupeau de porcs est représenté comme un système avec entrées (introduction de cochettes) et sorties (morts, réformes, départs à l'abattoir). La dynamique interne est gouvernée par les cycles de reproduction des truies (figure 1). La conduite que nous avons choisi de représenter est une conduite en sept bandes dont les cycles sont espacés de 21 jours (conduite la plus répandue en France). La période de sevrage est fixée à 28 jours. Le modèle permet d'effectuer des modifications de pratiques d'élevage, telles que les politiques de réforme et de renouvellement ou encore les pratiques d'adoption et différents modes de regroupement par case en post-sevrage. L'objectif de ce modèle est de représenter la dynamique de population dans un cheptel porcin composé de 150 truies environ (taille moyenne des troupeaux en France) afin d'étudier l'impact de modifications de pratiques zootechniques sur la structure du troupeau et leurs conséquences éventuelles sur la propagation de l'agent infectieux. Un intérêt particulier sera porté sur la relation truie-porcelets qui conditionne la structure des cases (en terme de nombre d'animaux infectieux) après regroupement en post-sevrage. Dans cette étude, nous avons comparé trois politiques de réforme et remplacement afin d'en évaluer les conséquences sur le vieillissement et la productivité du troupeau.

Figure 1  
Représentation des flux d'animaux au sein d'un élevage de type naisseur-engraisseur



---

## II - DESCRIPTION DU MODELE

---

Le modèle individu-centré stochastique décrit la dynamique de population dans une exploitation porcine de type naisseur-engraisseur. Le modèle est développé sous Visual Basic pour Access (Copyright© 1997-2001 Microsoft Corporation) et le pas de temps utilisé est le jour. Le troupeau est conduit en bandes espacées de 21 jours avec un âge au sevrage de 28 jours. Le troupeau initial est constitué de 154 truies nullipares, simulant un troupeau nouvellement peuplé, équi-réparties dans sept bandes. La première bande entre en période de chaleurs 14 jours après le début de chaque simulation. Les différentes durées du cycle de la truie sont respectivement fixées à 112, 28 et sept jours

(16, 4 et 1 semaines) pour la gestation, la lactation et l'intervalle sevrage-oestrus (ISO). Le pas de temps étant le jour, chaque animal est quotidiennement soumis à un ensemble d'évènements, tels que la mort ou l'avortement des truies gestantes, modélisés à l'aide de probabilités âge- ou temps-dépendantes prédéfinies par l'utilisateur. Il est ainsi possible de représenter un élevage spécifique à l'aide de données recueillies par l'éleveur. Les animaux du troupeau sont individuellement représentés par un ensemble de variables qui permettent d'identifier leur statut physiologique jour après jour (tableau 1). Les entrées définies par l'utilisateur sont listées dans le tableau 2.

**Tableau 1**

**Nom et description des principales variables représentant les animaux**

Variable	Description
Batch	Numéro de la Bande
Age	
Sex	0 - femelle, 1 – male
Typ	1 – Porcelets en maternité, 2 – Porcs en post-sevrage, 3 – Porcs à l'engrais, 50 -...- 59 – Truie et parité
dNH	Nombre de jours jusqu'aux prochaines chaleurs
dNP	Nombre de jours jusqu'à la prochaine mise bas
dAC	Nombre de jours après conception
dWe	Nombre de jours jusqu'au sevrage
Mother1	Identifiant de la mère naturelle des porcelets
Mother2	Identification de la truie d'adoption (0 si non adopté) des porcelets

### 1. MORTALITE ET REFORMES

Les probabilités de mortalité et de réforme sont des entrées du modèle définies par l'utilisateur (non montrées au tableau 2). Ces probabilités sont respectivement âge- et temps-dépendantes. Afin de mieux refléter l'hétérogénéité des taux de mortalité observée selon l'âge des animaux (ex : taux nettement plus élevé lors des trois premiers jours de vie), cette probabilité a été définie par tranche d'âge. Ainsi, la probabilité de mort  $p$  est donnée sur une durée de  $n$  jours (ex : un taux

de 8% sur la tranche d'âge de 0 à 3 jours). En faisant l'hypothèse d'équiprobabilité sur chacun des  $n$  jours de l'intervalle, la probabilité quotidienne  $\pi$  est définie par la relation : 
$$\pi = 1 - (1 - p)^{1/n}.$$

Les causes de réforme prises en compte dans notre modèle sont au nombre de trois : (1) problèmes de reproduction (infertilité, avortement, non détection des chaleurs), (2) rang de parité maximal atteint et (3) enfin surplus de truies en salle de maternité. Les

probabilités de réforme des truies pour problèmes de reproduction sont définies de la même manière que celles de la mortalité, exception faite, qu'elles ne sont pas âge-dépendantes. Elles sont définies en fonction du temps écoulé depuis la dernière mise-bas (infertilité) ou la dernière conception (avortements). De plus, les truies subissant deux avortements successifs sont réformées. Un rang maximal de parité est défini par l'utilisateur pour éviter un vieillissement du troupeau qui entraînerait une baisse de productivité. Toute truie atteignant ce rang de parité est réformée après le sevrage des

porcelets issus de sa huitième portée. Le nombre de places disponibles en salle de maternité est, lui aussi, fixé par l'utilisateur. Lorsque le nombre de truies en conception excède ce nombre de places, les truies les plus vieilles sont réformées. Certains élevages possèdent une salle supplémentaire de faible capacité (trois ou quatre places) permettant de garder quelques truies en surplus dans une bande pour éviter les pertes dues à des avortements ou morts de truies durant la gestation. Cette modalité est représentée dans le modèle par le paramètre « case-tampon ».

**Tableau 2**  
**Paramètres, entrées du modèle et valeurs par défaut (première stratégie)**

Paramètres du modèle	Valeur
Paramètres fixes (jours)	
Gestation	112
Lactation	28
Intervalle Sevrage-Oestrus (ISO)	7
Fréquence d'introduction de cochettes	42
Entrées de l'utilisateur	
Paramètres de reproduction	
Probabilité de détection de chaleurs	0,95
Probabilité de succès d'insémination	0,95
Paramètres de conduite	
Nombre de places en maternité	25
Nombre de places en case-tampon	0
Nombre de cochettes par introduction	8
Age des cochettes à l'introduction	180
Rang de parité maximum accepté	8
Poids de vente maximal (kg)	115
Age de vente maximal (jours)	180

## 2. POLITIQUES DE RENOUVELLEMENT

L'introduction de cochettes au sein du troupeau a pour but de remplacer les truies mortes et réformées afin d'éviter une baisse des effectifs et de productivité. Elle permet, de plus, d'obtenir un équilibre de la distribution des truies selon leur rang de parité. En effet,

les truies de parité comprise entre quatre et six ont un taux de fécondité supérieur à celui des autres. Une bonne politique de réforme/remplacement doit donc tendre à un équilibre démographique avec un maximum de truies de parités 4 à 6. Deux modes de renouvellement existent : l'auto-

renouvellement et l'achat de cochettes à l'extérieur du troupeau. La première consiste en la sélection de futures reproductrices parmi les porcs en croissance. L'utilisateur doit alors entrer le nombre de cochettes à sélectionner. La seconde et la plus répandue consiste en l'achat de futures reproductrices auprès de multiplicateurs. Dans un élevage conduit en sept bandes avec un intervalle entre bandes de 21 jours, les introductions de cochettes ont généralement lieu à intervalles réguliers tous les 42 jours, les animaux sont intégrés au troupeau à l'âge de 180 jours et sont assignés à une bande. Ils sont ensuite gardés en phase d'acclimatation (quarantaine) jusqu'à leur maturité qui intervient entre 210 et 240 jours d'âge. Le cycle de cochettes est artificiellement synchronisé avec celui de la bande à laquelle elles appartiennent. Elles reçoivent alors leur première insémination et sont considérées comme truies nullipares jusqu'à leur première mise-bas.

### 3. CYCLE ET PARAMETRES DE REPRODUCTION

La première étape du cycle de reproduction est la détection des chaleurs : les truies répondent à une stimulation humaine ou à l'aide d'un « verrat souffleur » par une immobilisation. Cette réponse est parfois difficile à interpréter et la détection peut alors échouer. Pour cette raison, nous avons introduit une probabilité de détection des chaleurs, fixée dans notre étude à 95%, et pouvant être modifiée par l'utilisateur. Lorsqu'un oestrus n'est pas détecté, la truie est transférée dans la bande suivante en attente d'une nouvelle détection. Une autre option consiste à laisser un intervalle de temps suivant la date théorique des chaleurs afin de tenter une nouvelle détection. Dans ce cas, les porcelets issus de ces truies seront plus jeunes que les autres de la même bande. Ils auront donc une période de lactation plus courte, de telle manière que le sevrage ait lieu simultanément pour tous les porcelets de la bande. Cependant, une truie non-détectée est quotidiennement soumise à une probabilité de réforme pour cause d'infertilité qui dépend du temps écoulé depuis sa dernière mise bas pour les truies ou de son âge s'il s'agit d'une cochette. La détection des chaleurs est suivie par l'insémination artificielle qui est, elle aussi, représentée par un taux de réussite modulable fixé à 95%. Un échec d'insémination a les mêmes conséquences qu'un échec de détection.

Les truies inséminées avec succès entrent en phase de gestation durant laquelle elles sont quotidiennement soumises à une probabilité d'avortement fixée en fonction du temps écoulé depuis la conception. Les truies qui avortent sont soit réformées, soit transférées dans la bande dont l'ovulation est la plus proche de la date d'avortement. Les truies gestantes mettent bas en salle de maternité et restent avec leurs porcelets pour un période de lactation de 28 jours. Après l'intervalle sevrage-oestrus (sept jours), les chaleurs sont à nouveau détectées. Les truies ayant atteint le rang de parité maximal sont réformées en fin de période de sevrage.

### 4. CYCLE DE VIE ET CROISSANCE DES PORCS CHARCUTIERS

Les tailles des portées sont comprises entre 1 et 22 porcelets et sont définies par une loi discrète de probabilité. De plus, le rang de parité des truies est pris en compte par le fait que la prolificité est supérieure pour les truies de parités 3 à 6 [Whittemore, 1993]. Le poids de naissance des porcelets est spécifié à partir d'une Loi Normale de moyenne 1,34 kg et d'écart type 0,37. La croissance est ensuite déterminée avec le gain de poids quotidien (Daily Live Weight Gain DLWG) calculé en fonction du poids de naissance (porcelet en maternité) ou à l'entrée en post-sevrage (porcs sevrés) et des poids quotidiens des porcs [Leon, 2000].

Les pratiques d'adoption sont courantes dans les élevages. Elles permettent d'homogénéiser les tailles ou les poids des portées. Les adoptions croisées sont effectuées, dans notre modèle, au cours de la première journée de vie, avant la prise de colostrum. Le modèle permet trois politiques d'adoption : (1) aucune adoption, (2) homogénéisation de la taille des portées avec un nombre minimal de porcelets par truie en laissant un maximum de porcelets sous leur mère naturelle (8 à 15% d'adoption), (3) mélange intégral des porcelets avec un nombre minimal de petits par truie (95% d'adoption). Les porcelets restent en salle de maternité avec leur mère naturelle ou adoptive pour une durée de 28 jours.

Après le sevrage, les porcelets sont regroupés dans des cases en salle de post-sevrage. Plusieurs politiques sont modélisées dépendant soit du nombre de portées regroupées par case (2 à 4 portées), soit du nombre de porcelets par case dans le cadre du mélange intégral. Les porcs restent en salle de post-sevrage jusqu'à l'âge de 86 jours où ils

entrent en salle d'engraissement. Les départs à l'abattoir sont cyclés (tous les sept jours) et concernent les porcs à l'engrais ayant atteint le poids ou l'âge maximal de vente.

## 5. COMPARAISON DE TROIS PRATIQUES D'ELEVAGE

Trois pratiques d'élevage reposant sur des modifications des politiques de réforme et de renouvellement ont été étudiées. La première (stratégie 1), dont les paramètres sont spécifiés dans le tableau 2, consiste en l'introduction de huit cochettes tous les 42 jours aléatoirement réparties dans deux bandes consécutives dont les oestrus sont les plus proches de la date d'introduction. Le rang de parité maximal est fixé à 8 et l'élevage ne possède pas de case-tampon en cas de surplus de truies gestantes. La deuxième (stratégie 2) consiste en la mise en place d'une case tampon permettant de garder trois truies en surplus afin d'éviter toute baisse de productivité due à des avortements ou à la mortalité de truies pendant la gestation. La troisième (stratégie 3) repose sur la modification à la fois de la politique de

renouvellement et de la politique de réforme. Le nombre de cochettes introduites est réduit à 6 tous les 42 jours réparties de la même manière que dans la stratégie 1. Le rang de parité maximal est augmenté à 9 afin de conserver un troupeau ayant un effectif supérieur à 150 truies.

## 6. ANALYSES STATISTIQUES

Le troupeau étant initialement composé de truies nullipares, quatre années sont nécessaires afin d'obtenir un équilibre démographique et un effectif stable. Les analyses statistiques reposent donc sur six années (années 5 à 10) et 100 simulations par année.

La procédure Proc MIXED (Copyright© 2002, SAS Institute Inc.) a été utilisée pour étudier les différences obtenues entre les trois stratégies, en prenant l'année comme effet aléatoire. La normalité des résidus a été vérifiée à l'aide du test de Kolmogorov-Smirnov (Proc UNIVARIATE, Copyright© 2002, SAS Institute Inc.).

---

## III - SORTIES DU MODELE

---

La sortie principale du modèle, dont toutes les statistiques sont tirées, est un recensement quotidien de tous les événements subis par le troupeau : nombre de morts, d'inséminations réussies, de naissances ou d'avortements... De plus, ces données sont disponibles globalement ou bien triées selon le stade physiologique, la bande, ou le rang de parité. En outre, une description plus détaillée du troupeau à la fin de la dernière simulation est aussi disponible, permettant de connaître la composition du troupeau à cet instant et donnant les caractéristiques individuelles de chaque animal présent (poids, âge, bande, mère(s) naturelle et éventuellement adoptive, parité...).

### 1. SORTIES GLOBALES SELON LES TROIS STRATEGIES

Certains événements sont indépendants des politiques de renouvellement et de réforme choisies. En effet, les probabilités liées à la mortalité et à l'avortement sont individu-

dépendantes. Ainsi, quelle que soit la stratégie, la mortalité en maternité atteint environ 14% puis, 8,8% des porcs sevrés meurent pendant la période sevrage-vente et le taux de mortalité chez les truies avoisine 2% (tableau 3). D'autre part, les probabilités de détection des chaleurs et d'échec d'insémination sont prédéfinies par l'utilisateur et les taux de réforme pour infertilité en dépendent directement. Les stratégies étudiées ici n'ont ainsi aucun rôle sur les taux de réforme liés aux problèmes de reproduction. Nous avons donc focalisé notre étude sur les conséquences des modifications de pratiques d'élevage en termes de productivité et de réformes pour cause de surplus et de vieillissement.

Les chaleurs sont en moyenne détectées 3,01 fois par an. A la suite des pertes et des avortements qui ont lieu en cours de gestation, seulement 81% des truies fécondées mettent bas, donnant naissance à 2,4 portées par truie et par an.

## 2. COMPARAISON DES RESULTATS

### 2.1. INTRODUCTION DE HUIT COCHETTES SANS CASE-TAMPON (STRATEGIE 1)

Les valeurs des paramètres utilisées pour cette stratégie sont détaillées dans le tableau 4. L'élevage s'approvisionne en cochettes à raison de huit tous les 42 jours. Elles sont ensuite réparties aléatoirement dans les deux bandes dont l'oestrus est le plus proche de la date d'introduction. Leur cycle de reproduction est ensuite synchronisé avec celui des truies de la bande dans laquelle elles sont intégrées. La période d'acclimatation en quarantaine est prise en compte par le fait qu'elles sont introduites à l'âge de 180 jours pour subir une première insémination entre 210 et 240 jours d'âge. Toute truie atteignant sa huitième parité est réformée immédiatement après le sevrage de sa dernière portée. Le surplus de truies par rapport au nombre de place en maternité est géré en réformant les truies les plus vieilles de la bande (pas de case-tampon).

L'effectif de truies devient stable dès la fin de la première année de simulation avec en moyenne 168 truies dans le troupeau. Mais la répartition des truies selon leur rang de parité

ne s'équilibre qu'à partir de la cinquième année de simulation. De plus, les parités 3 à 6 (qui sont les plus prolifiques) sont les plus représentées dans le troupeau lorsque l'équilibre s'établit. Les nombres moyens de porcelets nés vivants et sevrés par portée sont respectivement 13,0 et 11,1 pour finalement obtenir un taux de production de 24,0 porcs par truie est par an. Ces statistiques sont comparées aux données fournies par l'Institut de la Filière Porcine (IFiP) dans le cadre des études de la GTE (Gestion Technico-Economique) et de la GTTT (Gestion Technique du Troupeau de Truies) de l'année 2005. Les données de l'IFiP étant annuelles, une année de simulation a été choisie au hasard parmi celles où l'équilibre démographique est atteint afin d'obtenir des statistiques comparables (tableau 3).

Le taux de réforme global annuel se situe aux alentours de 39% pour un taux de renouvellement de 42% environ. La majorité des truies sont réformées pour cause de surplus (30%) et seulement 6% d'entre-elles atteignent le rang de parité maximal. Ainsi, les truies réformées sont, en moyenne, âgées de 37,8 mois pour 6,1 portées.

Tableau 3

Comparaison entre les sorties du modèle sur un année<sup>†</sup> de simulations et les données de l'IFiP (GTTT et GTE)

	Sorties du modèle		Données IFiP <sup>‡</sup>		
	Moyenne (Ecart-type)		Moyenne	Tiers supérieur <sup>§</sup>	Tiers inférieur <sup>§</sup>
Nombre de truies	168,1	(2,76)	172,1	-	-
Nombre de portées	397	(7,9)	364	499	238
Porcs sevrés par truie productive	27,5	(0,35)	26,4	28,2	23,5
Nés-vifs par portée	13,0	(0,15)	12,6	13,0	11,9
Sevrés par portée	11,1	(0,14)	10,8	11,3	9,9
Pertes en maternité (%)	14,1	(0,48)	14,4	12,8	17,0
Mortalité en post-sevrage (%)	3,4	(0,26)	2,4	-	-
Mortalité en engraissement (%)	5,3	(0,32)	4,8	-	-
Age des truies à la réforme (mois)	37,8	(0,95)	34,5	34,7	34,4
Parité à la réforme	6,1	(0,20)	5,1	5,2	4,9

<sup>†</sup> L'année des sorties est la septième parmi 100 simulations sur 10 années. L'année a été choisie de manière à ce que le troupeau soit en équilibre démographique.

<sup>‡</sup> IFiP: résultats GTTT et GTE France entière(IFiP, 2006ab).

<sup>§</sup> Les statistiques tiers-supérieur et -inférieur sont uniquement disponibles en GTTT.



## 2.2. INTRODUCTION DE HUIT COCHETTES AVEC CASE-TAMPON EN MATERNITE (STRATEGIE 2)

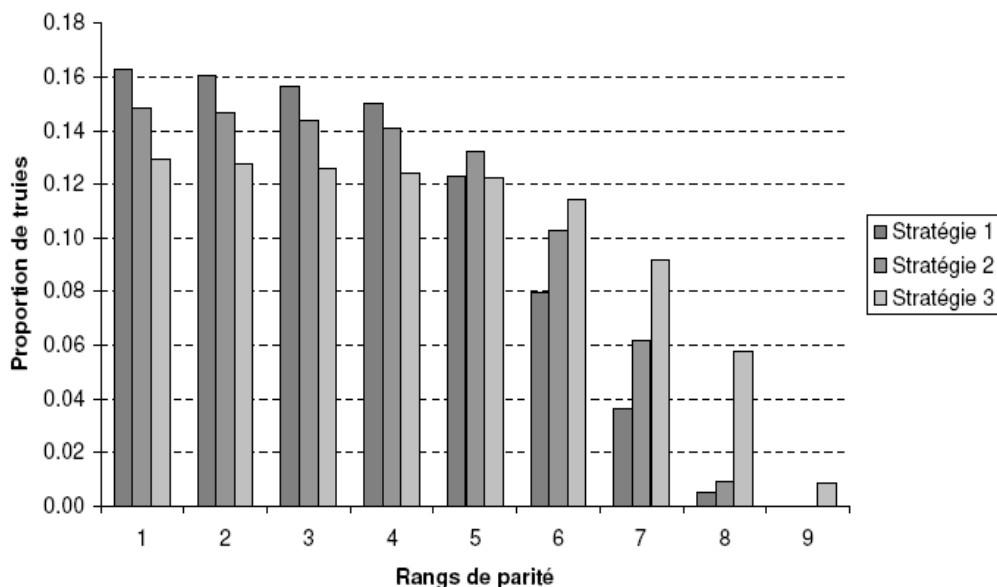
Les paramètres de cette stratégie sont globalement les mêmes que pour la stratégie 1, exception faite de la présence d'une case-tampon pouvant contenir jusqu'à trois truies par bande. Le nombre de truies présentes dans le troupeau se trouve significativement augmenté. Il atteint, en moyenne, 184 truies dont la majorité a un rang de parité compris entre 3 et 6 malgré un léger vieillissement de la population (figure 2). Cette augmentation du nombre de truies de parités 7 et 8 n'altère pas la productivité du troupeau avec 13,0 porcelets

nés vivants par portée et 24,1 porcs produits par truie et par an. Cependant, le nombre de truies augmentant, le nombre de porcs vendus par an passe de 4043 pour la première stratégie à 4448 pour la seconde.

Les taux de réforme sont inférieurs pour cette stratégie du fait que moins de truies sont réformées pour surplus (27,3%). Le taux de réforme global pour cette stratégie s'élève à 34,7% avec un âge moyen à la réforme de 40,8 mois soit 6,7 portées par truie réformée. Ceci confirme le fait que le troupeau est légèrement vieillissant par rapport au troupeau mené selon la stratégie 1.

Figure 2

Distribution des truies selon parités et stratégies



## 2.3. INTRODUCTION DE SIX COCHETTES TOUTES LES SIX SEMAINES (STRATEGIE 3)

Deux modifications ont été apportées aux paramètres de la première stratégie. Seulement six cochettes sont introduites tous les 42 jours selon le même schéma que la stratégie 1. Pour conserver un troupeau de taille supérieure à 150 truies, le rang de parité maximal est augmenté à 9, permettant ainsi un vieillissement de la population du troupeau. Le faible nombre de cochettes intégrées et l'augmentation du rang de parité contribuent au fait que l'effectif se stabilise aux alentours

de 160 truies seulement en fin de quatrième année de simulation. De plus, le vieillissement du troupeau est plus rapide que pour les deux autres stratégies avec environ 13% des truies atteignant la septième parité au cours de la quatrième année contre 3 et 7% pour les stratégies 1 et 2 respectivement. Malgré une baisse de prolificité significative, avec 12,9 porcelets nés vivants par portée, le nombre de porcs produits par truie et par an n'est pas affecté par le vieillissement du troupeau. Cependant, le nombre de porcelets vendus par

an subit une baisse de 5% environ par rapport à la première stratégie avec 3 839 porcs.

Le taux de réforme global annuel est aussi revu à la baisse avec cette stratégie : 30,8% des truies sont réformées. Mais la plus grande différence se fait au niveau des causes de réforme qui s'équilibrent. En effet, 13,5% des truies sont réformées pour cause de surplus de

truies gestantes par rapport au nombre de places en maternité et 14,4% des truies atteignent le rang maximal de parité avant d'être réformées.

Les résultats obtenus par simulations de ces trois politiques de renouvellement et de réformes sont synthétisés dans le tableau 4.

**Tableau 4**  
**Comparaison de trois stratégies et leur impact sur les sorties du modèle**

Variables	Stratégies Moyenne (écart-type)		
	1 <sup>†</sup>	2 <sup>‡</sup>	3 <sup>§</sup>
Nombre de truies	168,2 <sup>A</sup> (2,28)	184,3 <sup>B</sup> (3,63)	159,7 <sup>C</sup> (3,51)
Taux de réforme global annuel (%)	38,91 <sup>A</sup> (3,05)	34,71 <sup>B</sup> (3,26)	30,78 <sup>C</sup> (3,61)
Surplus de truies multipares (%)	30,34 <sup>A</sup> (3,76)	27,30 <sup>B</sup> (3,70)	13,51 <sup>C</sup> (3,73)
Parité maximale atteinte (%)	6,00 <sup>A</sup> (2,59)	4,65 <sup>B</sup> (2,15)	14,44 <sup>C</sup> (2,94)
Nés-vifs par portée	13,0 <sup>A</sup> (0,16)	13,0 <sup>A</sup> (0,15)	12,9 <sup>B</sup> (0,16)
Sevrés par truie par an	27,5 <sup>A</sup> (1,00)	27,5 <sup>A</sup> (1,00)	27,3 <sup>B</sup> (1,01)
Porcs vendus par truie par an	24,0 (0,50)	24,1 (0,57)	24,0 (0,61)
Age à la réforme	37,8 <sup>A</sup> (0,91)	40,8 <sup>B</sup> (0,92)	46,2 <sup>C</sup> (1,30)
Parité à la réforme	6,1 <sup>A</sup> (0,19)	6,7 <sup>B</sup> (0,19)	7,8 <sup>C</sup> (0,27)
Porcs vendus par an	4043,5 <sup>A</sup> (99,03)	4448,5 <sup>B</sup> (117,09)	3839,8 <sup>C</sup> (109,75)

<sup>†</sup> Introduction de 8 cochettes tous les 42 jours aléatoirement distribuées dans les deux bandes successives dont l'oestrus est le plus proche de la date d'introduction. Pas de case-tampon. Rang de parité maximal = 8.

<sup>‡</sup> Présence d'une case-tampon de capacité 3 places par bande. Même renouvellement que la stratégie 1.

<sup>§</sup> Introduction de 6 cochettes tous les 42 jours aléatoirement distribuées dans les deux bandes successives dont l'oestrus est le plus proche de la date d'introduction. Pas de case-tampon. Rang de parité maximal = 9.

<sup>A, B, C</sup> Les moyennes avec des lettres différentes sur la même ligne sont significativement différentes.

## IV - DISCUSSION

De nombreux modèles représentant la dynamique de population dans un élevage porcin ont été développés comme outils d'aide à la décision avec des considérations économiques [Jalvingh *et al.*, 1992a ; Jorgensen et Kristensen, 1995 ; Plà *et al.*, 2003]. Ces modèles ne prennent pas en compte la relation truie-porcelets qui est essentielle à notre problématique infectieuse. En effet, le modèle individu-centré stochastique présenté ici est développé dans

le but d'étudier l'impact de la structure et du statut de la population de truies sur leurs portées dans un processus d'infection. L'agent infectieux étudié à l'aide de ce modèle sera le circovirus porcin de type 2, virus responsable de la maladie de l'amaigrissement du porcelet.

Le modèle représente la dynamique de population des animaux dans un élevage porcin conduit en bandes à 21 jours d'intervalle avec une période de lactation de 28 jours. Les durées des différentes étapes du cycle de

production sont respectivement fixées à 112, 28 et 7 jours pour la gestation, la lactation et l'intervalle sevrage-oestrus. La modification de certains paramètres du modèle, tels que le nombre de cochettes introduites et le rang de parité maximal toléré, permet d'étudier l'impact de différentes stratégies sur la dynamique du troupeau. De plus, les événements sont modélisés par des probabilités pouvant être modifiées afin de représenter le fonctionnement d'un élevage particulier. Après comparaison, les sorties issues des simulations se sont avérées cohérentes avec les statistiques fournies par l'Ifip. D'autre part, le détail de représentation des flux d'animaux au sein d'une même bande (adoptions et regroupements par cases en post-sevrage) permettra une utilisation du modèle dans d'autres problématiques infectieuses virales ou bactériennes. Ainsi, les conséquences de modifications de pratiques d'élevage sur la dynamique interne de l'infection et l'effet de la mise en place de protocoles de vaccination pourront être étudiés. De plus, la croissance des porcs étant prise en compte, le modèle peut aussi trouver un intérêt dans une thématique économique.

Nous avons étudié l'impact de trois politiques de réforme et de renouvellement sur le comportement d'un troupeau initialement composé de 154 truies nullipares en termes de démographie et de productivité. Les taux de réforme globaux se situent entre 30 et 40% pour les trois stratégies, avec un taux de réforme pour cause de surplus pouvant aller jusqu'à 30%. Cependant, notre modèle ne tient pas compte des réformes involontaires de truies malades ou blessées qui représentent environ 40% des causes de réformes dans le modèle de Jalvingh *et al.* (1992). Ces taux de réforme permettent d'obtenir un équilibre démographique favorisant la prolificité car le troupeau de reproducteurs est alors composé d'une majorité de truies de parités 3 à 6 dès la cinquième année de simulation. De plus, les stratégies étudiées ont un impact direct sur la répartition de réformes selon leurs causes (surplus ou parité). Le vieillissement du troupeau entraîne une légère baisse de prolificité due à une augmentation de la proportion de truies de parités supérieures à 6. Bien que statistiquement significative, cette baisse n'est pas répercutée sur le taux de production (24 porcs vendus par truie et par an). Les variations du nombre de porcs vendus par an sont donc uniquement dues aux différences d'effectifs de truies selon les stratégies.

L'utilisation de la simulation afin de tester les trois politiques de réforme et de renouvellement a permis de mettre en évidence des différences en termes d'effectifs et de répartition des truies selon leurs parités. Ces différences peuvent avoir un impact important à la fois sur la transmission verticale d'un agent infectieux de la truie à sa portée et sur l'acquisition d'immunité passive des porcelets. La stratégie 3 montre un vieillissement de la population avec une plus grande proportion de truies de parités supérieures à 6. Dans un processus infectieux pour lequel l'immunité est âge-dépendante, cette stratégie pourrait provoquer l'apparition de groupes de truies susceptibles à l'infection. Ces truies ne délivreraient donc pas d'immunité passive à leurs porcelets qui seraient entièrement susceptibles d'acquérir l'agent pathogène dès leur plus jeune âge. La stratégie 2, pour laquelle le nombre de cochettes introduites est maintenu alors que le taux de réforme est abaissé, entraîne une augmentation de productivité. Le nombre de naissances étant augmenté, il est probable que le nombre d'adoptions croisées ainsi que les mélanges de portées en post-sevrage le soient aussi.

Un modèle infectieux spécifique au circovirus porcin de type 2 sera couplé au modèle de dynamique de population afin d'évaluer les conséquences de certaines pratiques d'élevage sur la propagation du virus. En effet, les pratiques d'adoptions croisées et de mélanges en salle de post-sevrage sont des pratiques à risque vis-à-vis de l'infection et, par voie de conséquence, de l'expression clinique de la maladie de l'amaigrissement du porcelet [Lopez-Soria *et al.*, 2005 ; Madec *et al.*, 2000 ; Rose *et al.*, 2003]. L'âge à l'infection est aussi l'un des facteurs de risque de la maladie : Plus les animaux sont jeunes au moment de l'infection, plus le risque de développer la maladie clinique est élevé. L'acquisition d'immunité passive, qui retarde l'infection chez les porcelets [McKeown *et al.*, 2005 ; Rose *et al.*, 2005 ; Rose *et al.*, 2007], est donc un phénomène indispensable à prendre en compte. De plus, indépendamment de son statut infectieux, une truie inoculée par voie utérine au moment de l'insémination, donne naissance à des porcelets infectieux. Une insémination avec une semence contaminée [Kim *et al.*, 2003 ; Laroche *et al.*, 2000 ; McIntosh *et al.*, 2006] aura donc les mêmes conséquences sur les porcelets. L'identification individuelle des porcelets et de leurs mères

naturelles et éventuellement adoptives permettra de faire le lien entre les statuts infectieux de tous les acteurs intra-troupeau. De plus, les différentes options d'adoption et

de regroupement en post-sevrage permettront d'étudier la transmission horizontale du virus chez les porcs en croissance à la suite de l'infection verticale de certains porcelets.

---

## BIBLIOGRAPHIE

---

- Allan G., Mcneilly F., Ellis J., Krakowka S., Meehan B., Mcnair I., Walker I., Kennedy S. - Experimental infection of colostrum deprived piglets with porcine circovirus 2 (PCV2) and porcine reproductive and respiratory syndrome virus (PRRSV) potentiates PCV2 replication. *Arch. Virol.*, 2000, **145**, 2421-2429.
- Allen M.A., Stewart T.S. - A simulation model for a swine breeding unit producing feeder pigs. *Agri. Sys.*, 1983, **10**, 193-211.
- Bolin S.R., Stoffregen W.C., Nayar G., Hamel A. - Postweaning multisystemic wasting syndrome induced after experimental inoculation of cesarean-derived, colostrum deprived piglets with type 2 porcine circovirus. *J. Vet. Diagn. Invest.*, 2001, **13**, 185-194.
- Calsamiglia M., Fraile L., Espinal A., Cuxart A., Seminati C., Martin M., Mateu E., Domingo M., Segalés J. - Sow porcine circovirus type 2 (PCV2) status effect on litter mortality in postweaning multisystemic wasting syndrome (PMWS). *Res. Vet. Sci.*, 2007, **82**, 299-304.
- Jalvingh A.W., Dijkhuizen A.A., Vab Arendonk J.A.M., Brascamp E.W. - An economic comparison of management strategies on reproduction and replacement in sow herds using a dynamic probabilistic model. *Livest. Prod. Sci.*, 1992a, **32**, 331-350.
- Jalvingh A.W., Dijkhuizen A.A., Van Arendonk J.A.M. - Dynamic probabilistic modelling of reproduction and replacement management in sow herds. General aspects and model description. *Agri. Sys.*, 1992b, **39**, 133-152.
- Jorgensen E. - Calibration of a Monte-Carlo simulation model of disease spread in slaughter pig units. *Comp. Electr. Agri.*, 2000, **25**, 245-259.
- Jorgensen E., Kristensen A.R. - An object oriented simulation model of a pig herd with emphasis on information flow. *Dina Res. Rep.*, 1995, **32**, 2-11.
- Kim J., Han D.U., Choi C., Chae C. - Simultaneous detection and differentiation between porcine circovirus and porcine parvovirus in boar semen by multiplex seminested polymerase chain reaction. *J. Vet. Med. Sci.*, 2003, **65**, 741-744.
- Larochelle R., Bielanski A., Müller P., Magar R. - PCR Detection and evidence of shedding of Porcine Circovirus Type 2 in Boar Semen. *J. Clin. Microbio.*, 2000, 4629-4632.
- Le Potier M.F., Mesplède A., Vannier P. - Classical swine fever and other pestivirus. In: Diseases of swine 9th edition., 2006, Straw, B. E., J. J. Zimmerman, S. D'Allaire and D. J. Taylor (Ed.), pp.309-322.
- Leon E.A. - Respiratory disorders and productivity of pigs reared in intensive and confined systems, *PhD Thesis*, 2000, *The university of Reading*.
- Lopez-Soria S., Segalés J., Rose N., Viñas M.J., Blanchard P., Madec F., Jestin A., Casal J., Domingo M. - An exploratory study on risk factors for postweaning multisystemic wasting syndrome (PMWS) in Spain. *Prev. Vet. Med.*, 2005, **69**, 97-107.
- Madec F., Eveno E., Morvan P., Hamon L., Blanchard P., Cariolet R., Amenna N., Marvan H., Truong C., Mahe D., Albina E., Jestin A. - Post-weaning multisystemic wasting syndrome (PMWS) in pigs in France: clinical observations from follow-up studies on affected farms. *Livest. Prod. Sci.*, 2000, 223-233.
- Mcintosh K., Harding J., Parker S., Ellis J., Appleyard G. - Nested polymerase chain reaction detection and duration of porcine circovirus type 2 in semen with sperm morphological analysis from naturally infected boars. *J. Vet. Diagn. Invest.*, 2006, **18**, 380-384.

- Mckeown N.E., Opriessing T., Thomas P., Guenette D.K., Elvinger F., Fenaux M., Halbur P.G., Meng X.J. - Effects of Porcine Circovirus Type 2 (PCV2) Maternal Antibodies on Experimental Infection of Piglets with PCV2. *Clin. Diag. Lab. Imm.*, 2005, **12**, 1347-1351.
- Mengeling W.L., Paul P.S., Brown T.T. - Transplacental infection and embryonic death following maternal exposure to porcine parvovirus near the time of conception *Arch. Virol.*, 1980, **65**, 55-62.
- Nims C.A. - Vertical transmission of viruses. *Microbio. Rev.*, 1981, **45**, 267-286.
- Park, J.S., Kim J., Ha Y., Jung K., Choi C., Lim J.-K., Kim S.-H., Chae C. - Birth abnormalities in pregnant sows infected intranasally with Porcine Circovirus 2. *J. Comp. Path.*, 2005, **132**, 139-144.
- Plà L. M., Pomar C., Pomar J. - A markovian decision sow model representing the productive lifespan of herd sows. *Agri. Sys.*, 2003, **76**, 253-272.
- Pomar C., Harris D.L., Minvielle F. - Computer simulation model of swine production systems : I. Modelling the growth of young pigs. *J. Anim. Sci.*, 1991a, 1468-1488.
- Pomar C., Harris D.L., Savoie P., Minvielle F. - Computer simulation model of swine production systems : III. A dynamic herd simulation model including reproduction. *J. Anim. Sci.*, 1991b, **69**, 2822-2836.
- Pomar C., Minvielle F., Harris D.L. - Computer simulation model of swine production systems: II. Modelling body composition and weight of female pigs, fetal development, milk production and growth of suckling pigs. *J. Anim. Sci.*, 1991c, 1489-1502.
- Resendes A., Segalés J., Balasch M., Calsamiglia M., Sibila M., Ellerbrok H., Mateu E., Plana-Duran J., Mankertz A., Domingo M. - Lack of an effect of a commercial vaccine adjuvant on the development of postweaning multisystemic wasting syndrome (PMWS) in porcine circovirus type 2 (PCV2) experimentally infected conventional pigs. *Vet. Res.*, 2004, **35**, 83-90.
- Rose N., Abhervé-Guéguen A., Le Digerher G., Eveno E., Jolly J.-P., Blanchard P., Oger A., Jestin A., Madec F. - Effect of pietrain breed used as terminal boar on Postweaning Multisystemic Wasting Syndrome (PMWS) in the offspring in four PMWS affected farms. *Livest. Prod. Sci.*, 2005, **95**, 177-186.
- Rose N., Blanchard P., Cariolet R., Grasland B., Amenna N., Oger A., Durand B., Balasch M., Jestin A., Madec F. - Vaccination of Porcine Circovirus type 2 (PCV2)-infected Sows against Porcine Parvovirus (PPV) and Erysipelas: Effect on Post-weaning Multisystemic Wasting Syndrome (PMWS) and on PCV2 Genome Load in the Offspring. *J. Comp. Path.*, 2007, **136**, 133-144.
- Rose N., Larour G., Le Digerher G., Eveno E., Jolly J.-P., Blanchard P., Oger A., Le Dimna M., Jestin A., Madec F. - Risk factors for porcine post-weaning multisystemic wasting syndrome (PMWS) in 149 French farrow-to-finish herds. *Prev. Vet. Med.*, 2003, **61**, 209-225.
- Sanchez R., Nauwynck H.J., Mcneilly F., Allan G., Pensaert M.B. - Porcine circovirus 2 infection in swine fetuses inoculated at different stages of gestation. *Vet. Microbio.*, 2001, **83**, 169-176.
- Singh D. - Simulation of Swine Herd Population Dynamics. *Agri. Sys.*, 1986, **22**, 157-183.
- West K.H., Bystrom J.M., Wojnarowicz C., Shantz N., Jacobson M., Allan G., Haines D., Clark E., Krakowka S., Mcneilly F., Konoby C., Martin K., Ellis, J. - Myocarditis and abortion associated with intrauterine infection of sows with porcine circovirus 2. *J. Vet. Diagn. Invest.*, 1999, **11**, 530.

