

ÉCOPATHOLOGIE, UN DILEMME MÉTHODOLOGIQUE: exemple de la pathologie digestive en post-sevrage

A. RAVEL, Sylvie D'ALLAIRE, M. BIGRAS-POULIN, G-P. MARTINEAU

Faculté de Médecine Vétérinaire de l'Université de Montréal - C.P. 5000, St-Hyacinthe, Québec, J2S 7C6, Canada

La méthodologie écopathologique était l'objet de cette étude entreprise suite à la non applicabilité au Québec d'un modèle écopathologique des troubles digestifs des porcelets après le sevrage. Les objectifs étaient d'évaluer l'effet de la catégorisation de variables continues et de la méthode d'analyse utilisée sur l'interprétation des données. La mortalité, la diarrhée et la croissance en postsevrage ont été mesurées dans 60 élevages québécois choisis au hasard. Ces variables continues ont été transformées en variables catégoriques selon plusieurs définitions en modifiant le seuil des classes. Pour chaque définition, une analyse des correspondances a été réalisée pour classer les élevages en trois groupes. La concordance entre ces classifications était évaluée par un test du kappa. Ensuite, ces variables ont été transformées en variables binaires selon différentes procédures. Les résultats du meilleur modèle loglinéaire et de l'analyse des correspondances ont été déterminés pour chaque procédure puis comparés. Les résultats variaient pour les deux méthodes selon la catégorisation et, parfois, entre les méthodes pour une même catégorisation. Aucune méthode ne semble résoudre l'effet de la catégorisation des données sur leur interprétation.

Methodological dilemma with ecopathology: example from postweaning digestive disorders in piglets.

The French ecopathologic model of postweaning digestive disorders in piglets was shown to be not applicable in Québec herds. So, a study was undertaken to examine the ecopathologic methodology for data analysis. The objectives were to evaluate the influence of categorization and method of analysis on data interpretation. Postweaning mortality, diarrhea and growth were measured in 60 randomly selected Québec swine herds. These continuous variables were broken into four categories according to different definitions by varying the limits of classes. Correspondence analysis was performed on each set in order to classify the 60 herds according to the severity of their postweaning problem. The agreement between classifications was tested using the kappa value. Then, the variables were transformed into binary variables using different procedures. Results from the best loglinear model and the correspondence analysis were determined for each set of data and compared within set and between method. The results varied for each method of analysis depending on categories definitions. Moreover, loglinear model and correspondence analysis results sometimes disagreed for the same data set. None of these methods helps preventing the influence of analytical treatment of data on their interpretation.

INTRODUCTION

L'écopathologie est la science qui «étudie, dans les élevages, l'ensemble des facteurs qui, en interrelation dans l'environnement biologique, physique, humain et économique des animaux, est susceptible d'induire un état pathologique et/ou d'affecter leur productivité et la qualité des produits qui en dérivent» (GANIERE et al., 1991). L'écopathologie s'est développée depuis une quinzaine d'année pour comprendre et maîtriser les pathologies multifactorielles qui sont apparues avec l'intensification des productions animales.

En écopathologie porcine, plusieurs études de divers troubles multifactoriels ont abouti à la modélisation de ces troubles (TILLON, 1987). Utilisés en élevage, ces modèles permettent une évaluation pratique du trouble et des facteurs de risque associés. Ils aident ainsi à la prise de décision de mesures pour corriger le problème à l'échelle de l'élevage (TILLON et CAYLA, 1986). Plusieurs modèles ont été utilisés avec satisfaction au Portugal (PERESTRELO et al., 1988, 1990). Cependant, le modèle écopathologique des troubles digestifs des porcelets après le sevrage s'est avéré non applicable dans la grande majorité des élevages québécois (RAVEL et al., 1991). Deux hypothèses furent émises pour expliquer ce résultat. Premièrement, les élevages québécois et les élevages français dont l'étude antérieure avait conduit à l'élaboration du modèle étaient trop différents. Les différences significatives entre les deux populations d'élevages pour la distribution de neuf des 13 variables du modèle supportent cette hypothèse (RAVEL et al., 1991). Deuxièmement, le modèle est faiblement robuste ; son élaboration a été trop dépendante des mesures prises et de la façon dont les variables ont été traitées et analysées pour que le modèle reflète une réalité biologique universelle.

Cet article présente la réflexion suscitée par la seconde hypothèse concernant la méthodologie employée en

écopathologie, par comparaison avec celle utilisée en épidémiologie. Les objectifs étaient d'évaluer: d'une part, l'effet de la définition des catégories lors de la mise en catégorie de variables continues sur l'interprétation des données par l'analyse des correspondances ; d'autre part, l'effet conjoint sur l'interprétation des données de cette catégorisation et de la méthode d'analyse des données choisie, soit l'analyse des correspondances ou le modèle loglinéaire.

1. MATÉRIEL ET MÉTHODE

Les données utilisées provenaient de l'étude d'applicabilité au Québec du modèle écopathologique français des troubles digestifs des porcelets au sevrage. L'étude, décrite en détail par ailleurs (RAVEL, 1990; RAVEL et al., 1991), a été menée dans 60 élevages porcins québécois. Les éleveurs avaient été choisis au hasard les uns après les autres parmi une liste des producteurs habitant à moins de 25 km de St-Hyacinthe, Québec, soit dans une région de forte production porcine. Les éleveurs étaient ensuite appelés pour obtenir leur accord de participation. Le processus de sélection s'est arrêté au sixantième éleveur volontaire après 149 appels. Dans chaque élevage, un lot de porcelets sevrés ensemble était suivi du sevrage jusqu'à trois semaines plus tard. La croissance moyenne des lots a été calculée à partir des poids individuels au début et à la fin du suivi. La mortalité et la diarrhée au niveau du lot étaient notées quotidiennement pendant cette période. La mortalité était exprimée en pourcentage du nombre de porcelets suivis. Une note hebdomadaire de diarrhée était attribuée au lot à partir des évaluations quotidiennes qualitatives: pas du tout, un peu ou beaucoup de diarrhée. La somme des trois notes, allant de 0 (pas de diarrhée) à 6 (diarrhée importante durant les trois premières semaines de postsevrage) formait l'indice de diarrhée. Les valeurs continues pour ces trois variables dépendantes étaient transformées en valeur catégorique selon les définitions initiales, soit celles employées par le modèle (Tableau 1).

Tableau 1 - Définitions initiales (MADEC et JOSSE, 1980) et nouvelles définitions des variables catégoriques mortalité, diarrhée et croissance des porcelets après le sevrage. La distribution de ces variables dans 60 élevages québécois est indiquée entre parenthèses

Variables	Définitions des variables	Catégories			
		1	2	3	4
Mortalité (%)	Initiales	0 (31)	0,1 à 2,4 (13)	2,5 à 4,9 (10)	≥ 5,0 (6)
	Nouvelles	0 (31)	0,1 à 2,4 (11)	2,5 à 3,9 (9)	≥ 4 (9)
Diarrhée (1)	Initiales	0 (11)	1 et 2 (34)	3 et 4 (13)	5 et 6 (2)
	Nouvelles	0 (12)	1 (15)	2 (18)	3 à 6 (15)
Croissance (g/j)	Initiales	(2) ≥ 250 (3) ≥ 280 (4) ≥ 300 (10)	200 à 249 230 à 279 250 à 299 (11)	150 à 199 180 à 229 200 à 249 (14)	≤ 149 ≤ 179 ≤ 199 (25)
	Nouvelles	(2) ≥ 190 (3) ≥ 240 (4) ≥ 315 (16)	160 à 189 190 à 239 225 à 314 (14)	130 à 159 140 à 189 145 à 224 (16)	≤ 129 ≤ 139 ≤ 144 (14)

(1) somme de trois notes hebdomadaires valant chacune 0 (pas de diarrhée), 1 (un peu) ou 2 (beaucoup)

(2) pour un âge moyen au sevrage inférieur ou égal à 25 jours

(3) pour un âge moyen au sevrage compris entre 26 et 32 jours

(4) pour un âge moyen au sevrage supérieur ou égal à 33 jours

A partir de ces trois variables catégoriques, une analyse des correspondances a été réalisée à l'aide du logiciel SAS. Le plan de projection 1-2 a été interprété pour classer les 60 élevages en trois groupes selon la sévérité des troubles des porcelets après le sevrage : élevages sans trouble de sevrage, élevages avec troubles modérés et élevages avec troubles sévères. Les règles d'interprétation suivies étaient la proximité des élevages entre eux et avec les variables dépendantes selon les critères standards (BENZECRI et BENZECRI, 1980). Cette classification des 60 élevages en trois groupes était appelée classification de référence. Ensuite, les seuils définissant les quatre catégories ont été modifiés pour chacune des trois variables dans le but d'équilibrer le nombre d'élevage par

catégorie (Tableau 1). Pour chacune des combinaisons possibles de modification, une analyse des correspondances a été réalisée et le plan de projection 1-2 interprété comme précédemment pour déterminer une nouvelle classification des 60 élevages en trois groupes. L'accord entre chaque nouvelle classification et la classification de référence a été évalué par le coefficient kappa. Ce coefficient permet d'estimer la part d'accord observé qui est attribuable à la similitude des classifications, par rapport à l'accord obtenu par simple hasard (MARTIN et al., 1987). Plus la valeur kappa est proche de 1 ou -1, meilleur est l'accord ; lorsqu'il est proche de 0, l'accord n'est dû qu'au hasard. L'accord parfait a été testé selon la procédure de FLEISS et EVERITT (FLEISS, 1981)

Tableau 2 - Regroupement des catégories initiales des variables mortalité (M), diarrhée (D) et croissance (C) des porcelets après le sevrage pour les transformer en variables binaires (1)

Regroupement	Mortalité Catégories		Diarrhée Catégories		Croissance Catégories	
	1	2	1	2	1	2
1	M1	M2+3+4	D1	D2+3+4	C1	C2+3+4
2	«	«	«	«	C1+2	C3+4
3	«	«	«	«	C1+2+3	C4
4	«	«	D1+2	D3+4	C1	C2+3+4
5	«	«	«	«	C1+2	C3+4
6	«	«	«	«	C1+2+3	C4
7	«	«	D1+2+3	D4	C1	C2+3+4
8	«	«	«	«	C1+2	C3+4
9	«	«	«	«	C1+2+3	C4

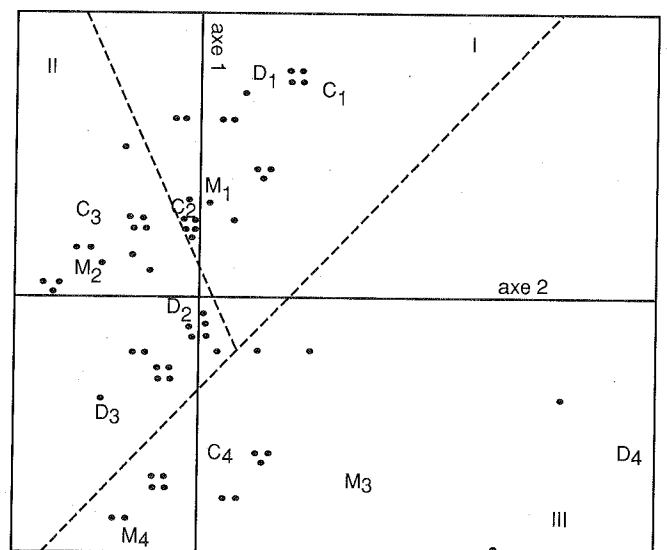
(1) les définitions des catégories initiales sont présentées au tableau 1

Pour le second objectif, le modèle loglinéaire obtenu à partir des variables catégoriques devait être comparé aux résultats de l'analyse des correspondances précédemment réalisée, et ce pour chacune des définitions des catégories des variables. Compte tenu du grand nombre de cellules vides au sein du tableau de données 4x4x4, les variables ont été regroupées pour obtenir des variables binaires avant les analyses proprement dites. Pour ce faire, l'absence de mortalité a été opposée à la présence de mortalité et, pour la diarrhée et la croissance, tous les regroupements possibles des catégories initiales ont été essayés (Tableau 2). Pour chaque regroupement essayé, l'analyse des correspondances et le modèle loglinéaire ont été réalisés à l'aide du logiciel SAS. Le meilleur modèle loglinéaire a été déterminé en utilisant la procédure hiérarchique rétrograde à partir du modèle complet avec toutes les interactions. Le seuil de probabilité de rejet du modèle était de 0,10. L'ajustement du modèle était jugé satisfaisant si aucune valeur résiduelle standardisée ne dépassait 2. Le plan de projection 1-2 de l'analyse des correspondances était interprété par rapport aux associations entre variables et aux variables qui contribuaient le plus aux deux premiers axes d'inertie.

2. RÉSULTATS

La figure 1 présente le plan de projection 1-2 issu de l'analyse des correspondances des variables continues mortalité, diarrhée et croissance des porcelets après le sevrage transformées en variables catégoriques selon les définitions du modèle écopathologique des troubles digestifs après le sevrage des

Figure 1 - Plan 1-2 de l'analyse des correspondances de 60 élevages caractérisés par la mortalité (M), la diarrhée (D) et la croissance (C) des porcelets en post-sevrage. Les définitions catégoriques sont celles d'un modèle écopathologique des troubles digestifs des porcelets après le sevrage (MADEC et JOSSE, 1980)



Zone I : élevages sans troubles
Zone II : élevage avec troubles modérés

Zone III : élevages avec troubles sévères

porcelets. On retrouve sur cette figure la classification de référence des 60 élevages québécois en trois groupes selon l'intensité des troubles des porcelets après le sevrage.

La figure 2 montre la nouvelle classification de ces élevages obtenue après la modification de la définition des catégories des trois variables. La concordance entre cette nouvelle classification et la classification de référence était faible (Tableau 3). Il y avait notamment un élevage classé parmi ceux avec des troubles au sevrage sévères par la classification de référence, alors qu'il était classé parmi ceux sans trouble par la nouvelle classification.

Le tableau 4 résume cette concordance pour toutes les modifications des définitions catégoriques des variables. La modification de la catégorisation de la variable mortalité a entraîné peu de changement dans sa distribution au sein des 60 élevages, et de désaccord entre la classification de référence et la nouvelle classification. Par contre, pour la diarrhée et la croissance, la modification de leur catégorisation respective a eu pour conséquence une différence importante dans leur distribution parmi les 60 élevages (Tableau 1) et dans la classification de ceux-ci par rapport à la classification de référence (Tableau 4). Cette conséquence a été encore plus prononcée quand on modifiait simultanément la catégorisation de plusieurs variables.

Figure 2 - Plan 1-2 de l'analyse des correspondances de 60 élevages caractérisés par la mortalité (M), la diarrhée (D) et la croissance (C) des porcelets en post-sevrage obtenue après modification des définitions de toutes les variables par rapport aux définitions initiales

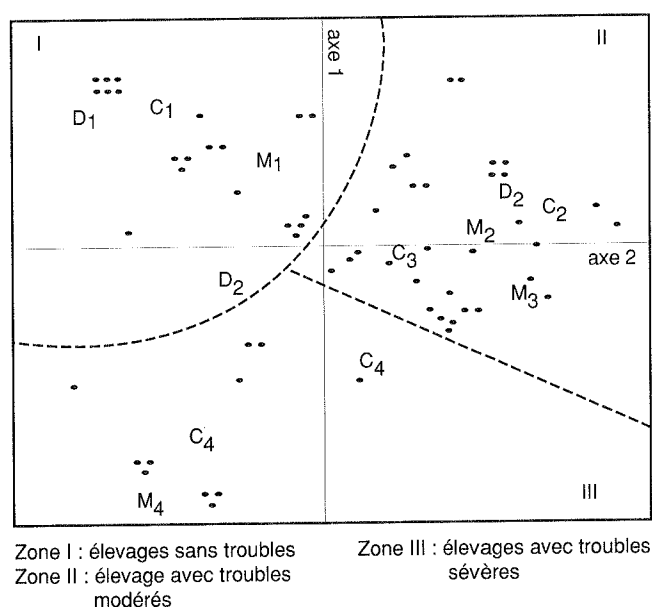


Tableau 3 - Concordance entre deux classifications de 60 élevages selon les troubles des porcelets après le sevrage. Les classifications ont été obtenues par analyse des correspondances des mêmes données mais pour différentes définitions catégoriques de la mortalité, de la diarrhée et de la croissance

Classification modifiée	Classification de référence		
	Élevages sans trouble	Élevages avec troubles modérés	Élevages avec troubles sévères
Élevages sans trouble	14	5	1
Élevages avec troubles modérés	5	18	6
Élevages avec troubles sévères	0	3	8

Proportion d'accord entre les deux classifications: 40/60 (0,67)

Valeur du coefficient kappa: 0,48

Probabilité pour que kappa soit égal à 1: < 0,0001

Tableau 4 - Concordance entre les classifications de 60 élevages selon la mortalité (M), la diarrhée (D) et la croissance (C) des porcelets après le sevrage obtenues par analyse des correspondances pour différentes définitions dans la catégorisation des variables (1)

Variables modifiées	Proportion d'élevages classés identiquement	Valeur du coefficient kappa	Probabilité pour que kappa soit égal à 1
M	58/60 (0,97)	0,95	0,0760
D	52/60 (0,87)	0,80	0,0013
C	52/60 (0,87)	0,79	0,0016
M et D	51/60 (0,85)	0,77	0,0006
D et C	45/60 (0,75)	0,62	<0,0001
M et C	42/60 (0,70)	0,54	<0,0001
M, D et C	40/60 (0,67)	0,48	<0,0001

(1) chaque classification est comparée à la même classification de référence

Le tableau 5 présente le meilleur modèle loglinéaire et l'interprétation des mêmes données par l'analyse des correspondances tels qu'obtenus pour les différents regroupements de catégories des trois variables. Comme précédemment, les résultats issus de l'analyse des correspondances variaient selon la définition des catégories des variables. Ceci était aussi

le cas pour les modèles loglinéaires. En plus, les résultats issus des deux méthodes d'analyse étaient différents dans cinq des neuf essais. Enfin, pour les données analysées, l'analyse des correspondances n'a pas mis en évidence les doubles associations diarrhée-croissance et mortalité-croissance comme le modèle loglinéaire.

Tableau 5 - Résultats et accord entre modèles loglinéaires et analyse des correspondances obtenus pour différents regroupements des catégories initiales des variables mortalité (M), diarrhée (D) et croissance (C) des porcelets après sevrage (1). Les résultats indiquent les variables et leurs associations qui contribuent à la variation des données

Regroupement	Modèle loglinéaire	Analyse des correspondances	Accord
1	D C DC	D M C DC	Non
2	D M C MC	D M C MC	Oui
3	D M C DC MC	D M C MC	Non
4	D C DC	D M C MC	Non
5	D M C DC MC	D M C MC	Non
6	D M C DC MC	D M C MC	Non
7	D C	D C	Oui
8	D M C MC	D M C MC	Oui
9	D M C MC	D M C MC	Oui

(1) les regroupements sont définis au tableau 2

DISCUSSION

Les résultats obtenus indiquent clairement que la définition des catégories utilisée lors de la catégorisation de variables continues influence la mise en évidence des interrelations entre ces variables. Cet effet existe pour le modèle loglinéaire et pour l'analyse des correspondances, comme cela avait déjà été rapporté, respectivement par FAVER et GONZALEZ (1988) et FOURICHON et al. (1991). Dans leur exemple d'analyse des correspondances de la croissance individuelle de porcs, FOURICHON et al. trouvent des résultats différents mais non contradictoires dans les associations entre variables selon la façon dont les catégories sont déterminées. Comme la sensibilité des analyses est jugée satisfaisante, ils concluent à une bonne robustesse de l'analyse factorielle des correspondances pour l'exemple choisi. Cependant, dans le cas de la présente étude, la grande dépendance de la classification des élevages à la catégorisation des variables est contradictoire avec une bonne robustesse. Comme le modèle écopathologique des troubles digestifs des porcelets au sevrage utilise l'analyse des correspondances pour établir deux classifications, les résultats présents semblent infirmer la robustesse de ce modèle.

Le choix de la méthode d'analyse employée semble aussi important puisque les résultats obtenus peuvent varier pour un même ensemble de données catégoriques selon la méthode. Par rapport au modèle loglinéaire, l'analyse des correspondances n'a jamais mis en évidence les doubles associations des regroupements. Cette limitation dans la mise en évidence de toutes les associations entre variables est inhérente à l'analyse des correspondances (VAN DER HEIJDEN et DE LEEUW, 1985). Cette caractéristique rend l'évaluation de variables confondantes ou modificateurs d'effet difficile à faire. Elle peut être due au fait que l'analyse des correspondances repose sur une interprétation géométrique de la structure des données, sans test pour infirmer ou confirmer une hypothèse. Au contraire, le modèle loglinéaire est déterminé selon les

règles de statistique avec test d'hypothèse. Néanmoins, une certaine part de subjectivité réside ici dans les choix de la procédure suivie (hiérarchique, pas à pas, ascendante ou rétrograde), de la probabilité de rejet du modèle et des critères d'ajustement du modèle.

Ce travail représente un exercice illustrant l'influence du traitement et de la méthode d'analyse des données sur les résultats. L'effet a été bien visible, certainement en raison du nombre réduit de variables et de la simplicité du traitement et de l'analyse des données. Néanmoins, le résultat brut de chaque analyse des correspondances ou du modèle loglinéaire aurait pu être discuté et affiné grâce à l'emploi d'autres procédures ou techniques de validation, comme le «bootstrap» et le «jackknife» en analyse des correspondances (GREENACRE, 1984; LEBART et al., 1984). Lors d'analyse d'études observationnelles, où les données sont nombreuses et de nature hétérogène, ces techniques et procédures peuvent éviter de mauvaises interprétations des données. Une analyse descriptive minutieuse des données et la vraisemblance biologique des résultats restent fondamentales pour limiter ces erreurs. Malgré tout cela, on peut supposer que l'analyse des données d'observation, longue et complexe, reste marquée et influencée dans ses résultats par l'analyste. Aussi, cette phase importante de l'étude doit être expliquée, tout autant que celle de la mesure des variables étudiées.

Les résultats et la discussion présentés ne permettent pas de résoudre le dilemme quant au choix de la démarche méthodologique pour analyser des phénomènes biologiques multifactoriels avec des données continues rendues catégoriques. Dans les deux approches essayées, les résultats dépendent de la catégorisation des données, obligatoires en analyse des correspondances et souvent nécessaires en épidémiologie à cause de l'hétérogénéité de la nature des variables. Certains ont résolu le dilemme en utilisant conjointement les deux approches méthodologiques pour en tirer un bénéfice soit en qualité méthodologique (VAN DER

HEIJDEN et DE LEEUW, 1985), soit en quantité et qualité d'information (DUCROT, 1991).

CONCLUSION

Les choix nécessaires de la méthode d'analyse et de la catégorisation de variables continues influencent l'interprétation des données. Les démarches méthodologiques disponi-

bles actuellement pour étudier les phénomènes multifactoriels, soit l'épidémiologie et l'écopathologie, sont de ce fait imparfaites mais restent valables pour atteindre leur but commun. Il manque en fait une bonne méthode pour le traitement et l'analyse des données issues d'étude observationnelle. Pour le moment, les choix des catégories, de la méthode et de la procédure d'analyse doivent être clairement mentionnés pour qu'il en soit tenu compte lors de l'interprétation des résultats obtenus.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BENZECRI JP., BENZECRI F., 1980. *Pratique de l'Analyse des Données. 1 Analyse des Correspondances: Exposé Élémentaire.* Bordas, Paris.
- DUCROT C., 1991. Complémentarité du modèle logistique et de l'analyse des correspondances pour la recherche des facteurs de risque en pathologie animale: application à l'étude des facteurs de risque de l'ecthyma des ovins. *Proceed. Int. Soc. Vet. Epidemiology and Economics Congress, Ottawa.* (à paraître).
- FARVERT B., GONZALEZ R.N., 1988. Impact of analytical treatment of explanatory variables on the explanatory/response relationship. *Proceed. Int. Soc. Vet. Epidemiology and Economics Congress, Copenhagen,* 456-458.
- FLEISS J.L., 1981. *Statistical Methods for Rates and Proportions.* John Wiley & Sons, New York, 223 pp.
- FOURICHON C., MADEC F., PANSART JF., PABOEUF F., 1991. Influence of the choice of the class limits in a factorial analysis of correspondence. *Proceed. Int. Soc. Vet. Epidemiology and Economics Congress, Ottawa.* (à paraître).
- GANIERE JP., ANDRE-FONTAINE A., DROUIN P., FAYE B., MADEC F., ROSNER G., FOURICHON C., WANG B., TILLON JP., 1991. *INRA Prod. Anim.,* 4, 247-256.
- GREENACRE M. J., 1984. *Theory and Applications of Correspondence Analysis.* Academic Press, Londres, 364 pp.
- LEBART L., MORINEAU A., WARWICK K. M., 1984. *Multivariate Descriptive Statistical Analysis. Correspondence Analysis and Related Techniques for Large Matrices.* John Wiley & Sons, New York, 231 pp.
- MADEC F., JOSSE J., 1980. *Compte rendu des travaux réalisés dans le cadre du réseau d'enquête épidémiologique. Troubles digestifs du sevrage Oct79-Fév80. Rapport Interne de la Station de Pathologie Porcine,* 64 pp.
- MARTIN S. W., MEEK A. K., WILLEBERG P., 1987. *Veterinary Epidemiology: Principles and Methods.* Iowa State University, Washington DC, 343 pp.
- PERESTRELO R., PERESTRELO H., MADEC F., 1988. Prevention of reproductive disorders in pigs using the concept of risk factors. *Proceed. Int. Pig Vet. Soc. Congress, Rio de Janeiro,* 337.
- PERESTRELO H., PERESTRELO R., MADEC F., 1988. Prevention of MMA syndrome in the sow by using the concept of risk factors. *Proceed. Int. Pig Vet. Soc. Congress, Rio de Janeiro,* 338.
- PERESTRELO R., PERESTRELO H., MADEC F., 1988. Prevention of white scour syndrome in pigs using the concept of risk factors. *Proceed. Int. Pig Vet. Soc. Congress, Rio de Janeiro,* 339.
- PERESTRELO R., PERESTRELO H., MADEC F., 1990. Prevention of respiratory pathology in swine based on risk factors control. *Proceed. Int. Pig Vet. Soc. Congress, Lausanne,* 392.
- PERESTRELO R., PERESTRELO H., MADEC F., 1990. Prevention of weaning scours in swine based on risk factors control. *Proceed. Int. Pig Vet. Soc. Congress, Lausanne,* 411.
- RAVEL A., 1990. *Evaluation d'une méthode écopathologique d'étude des troubles digestifs après le sevrage en élevage porcin. Mémoire de maîtrise es sciences, Université de Montréal.*
- RAVEL A., D'ALLAIRE S., BIGRAS-POULIN M., MARTINEAU GP., 1991. *Méd. Vét. Québec,* 21, 107-111.
- TILLON JP., 1987. *Epidémiol. Santé anim.,* 12, 95-105.
- TILLON JP., CAYLA JP., 1986. *Rec. Méd. Vét.,* 162, 797-807.
- VAN DER HEIJDEN P.G.M., DE LEEUW J., 1985. *Psychometrika,* 50, 429-447.