

VERS UNE UTILISATION EFFICACE DES RESSOURCES MINERALES

Xavière Rousseau^{1,2}, Nathalie Mème¹, Michel Magnin², Michel Couty¹, Thierry Bordeau¹, Agnès Narcy¹

¹ INRA UR83 Recherches avicoles, F-37380 Nouzilly, France ² BNA Nutrition animale, F-53200 Château-Gontier, France

xaviere.rousseau@gmail.com

RESUME

Le développement de systèmes d'alimentation pour les volailles assurant une utilisation efficace des ressources minérales, en particulier du phosphore (P), demeure un impératif en termes de durabilité de la production. Cette étude visait à évaluer l'impact de différentes stratégies alimentaires sur des critères économique, environnemental et de bien-être pour des poulets de type ROSS PM3 élevés au sol. Quatre régimes de croissance (AC) formulés selon 2 niveaux de P non phytique (nPP ; bas : BP et haut : HP) et couplés à 2 niveaux de calcium (Ca ; bas : BCa et haut : HCa) ont été testés puis croisés avec 3 régimes de finition (AF) différant par leur niveau de P et de Ca. Les répercussions sur les performances de croissance, la minéralisation osseuse, l'incidence des pododermatites, la qualité des litières et la digestibilité iléale apparente de P ont été étudiées. Les résultats montrent qu'à 21 jours la diminution de l'apport de P des régimes HCa (Ca x nPP, $P < 0.001$) a entraîné une baisse de l'ingéré (-19.8%), du GMQ (-22.8%) et de l'IC (-3.7%). Le flux de P absorbé (g/j) des régimes BP a été augmenté avec la diminution de la teneur en Ca (0,169 vs 0,244 g/j) se répercutant positivement sur la minéralisation du tibia (Ca x nPP ; $P < 0.001$). Le régime déséquilibré (HCa-BP) a par ailleurs entraîné une humidité de litière plus importante (Ca x nPP ; $P < 0.001$) et un score de pododermatites plus élevé. Cependant, nous n'avons pas observé d'interaction significative entre les AC et les AF sur les différents critères analysés. Les animaux ayant reçu le régime HCa-BP en période de croissance n'ont pas complètement rattrapé leur retard de croissance quel que soit le régime de finition. Les animaux des autres itinéraires techniques ont des performances de croissance identiques. Le régime de finition BP-BCa a permis d'améliorer les performances de croissance, de diminuer la concentration en P des litières ($P < 0,001$) et l'incidence des pododermatites mais a entraîné une diminution de la teneur en cendres tibiales ($P < 0,001$) par rapport au régime HP-HCa. Les autres itinéraires techniques ont, quant à eux, une qualité de minéralisation osseuse similaire suggérant l'existence de mécanismes de compensation. Il conviendra donc de choisir l'itinéraire technique adéquat en fonction des objectifs fixés (économiques, de bien-être ou environnementaux).

ABSTRACT

Toward an efficient use of mineral resources

Dietary system development for poultry feed ensuring an efficient utilisation of mineral resources, especially phosphorus (P), remains crucial for a sustainable production. This study aims to evaluate impact of different dietary strategies from economic, environmental and welfare points of view for broiler chickens Ross PM3 in floor rearing. Four growing diets (AC) formulated with 2 non phytic P (nPP; Low: BP and High: HP) crossed with 2 levels of calcium (Ca; Low : BCa and High : HCa) were tested and then crossed with 3 finishing diets (AF) differing with nPP and Ca concentrations. Effects on growth performance, bone mineralisation, pododermatitis incidence, litter quality and apparent ileal digestibility of P were studied. Results showed at 21 d, the decrease of P for diets HCa (Ca x nPP, $P < 0.001$) involved a decrease of intake (-19.8%), ADG (-22.8%) and FCR (-3.7%). Flow of P absorbed (g/d) of LP diets was increased with decreasing dietary Ca concentration (0.169 vs 0.244 g/d) which had a positive impact on tibia mineralisation (Ca x nPP; $P < 0.001$). The imbalanced diet (HCa-BP) involved an important decrease of litter dry matter (Ca x nPP; $P < 0.001$) and a proportion of higher pododermatitis score more important. However, there was no significant interaction between AC and AF on all of the criteria measured. Birds with HCa-BnPP in growing phase were not able to recover all of their growth retardation regardless diets in finishing phase. Animals with the others technical ways had similar growth performance. Finishing diets BP-BCa allowed to improve growth performance, decreased P concentration in litter ($P < 0.001$) and pododermatitis incidence but involved decreasing tibia ash content ($P < 0.001$) compared with HP-HCa diets. Others technical ways showed similar bone mineralisation suggesting compensatory mechanisms. It's therefore a major importance to choose the technical way suitable with objectives desired (economic, welfare or environmental).

INTRODUCTION

Le phosphore (P) alimentaire est un élément essentiel à la croissance des animaux mais est confronté à plusieurs enjeux d'ordre économique et environnemental. Le phosphore d'origine minérale constitue en effet une ressource non-renouvelable et coûteuse, représentant environ 4% du coût total d'une formule alimentaire. Par ailleurs, l'élimination de P dans les déjections doit être limitée pour faciliter la maîtrise des impacts environnementaux. Dans ce contexte de durabilité, il est nécessaire de trouver des voies d'optimisation de l'utilisation de P par l'animal pour maîtriser au mieux les apports et limiter son excrétion dans l'environnement tout en maintenant des performances de croissance optimales. De précédents travaux ont montré les possibilités d'amélioration de l'utilisation globale de P en ajustant les apports de P à ceux de calcium (Ca) sur les phases de croissance et de finition (Narcy *et al.*, 2009; Rousseau *et al.*, 2011). Par ailleurs, des animaux ayant subi préalablement une période de subcarence minérale semblent capables de mettre en jeu des phénomènes de compensation assurant une utilisation plus efficace de P (Létourneau-Montminy *et al.*, 2010). Dans ce contexte, il convient donc de développer des stratégies d'alimentation conjuguant i) maîtrise des systèmes de formulation reposant en particulier sur l'ajustement des apports de P et Ca et ii) expression du potentiel d'adaptation des animaux reposant sur des phénomènes de compensation. L'intérêt de telles pratiques méritent ainsi d'être évaluées sur l'ensemble de la période d'élevage et en conditions pratiques (élevage en groupe au sol) de même que leur impact global en termes de qualité de la minéralisation osseuse, de performances de croissance, de qualité de litière et de bien-être animal.

MATERIEL ET METHODES

Un total de 2256 poussins (Ross PM3) de 1 j répartis en 48 parquets ont reçu un même aliment démarrage entre 0 et 10 jours, couvrant l'ensemble de leurs besoins nutritionnels (INRA, 1989). De 10 à 21 jours, les poulets ont reçu un des 4 aliments croissance (AC) différant par leurs niveaux de P non phytique (PNP) et de Ca (Tableau 1). Le P total de l'aliment est la somme de P phytique, forme non assimilable par les animaux monogastriques, et de P non phytique assimilable pour l'animal. De 21 à 35 jours, chaque aliment croissance a été couplé à l'un des 3 aliments finition (AF) différant par leur niveau de PNP et de Ca (Tableau 1) conduisant à l'évaluation de 12 itinéraires alimentaires. Les régimes croissance et finition à base de maïs et tourteau de soja ont été distribués *ad libitum* sous forme de granulés. Les niveaux de PNP et Ca ont été ajustés par l'incorporation de carbonate de Ca et/ou de phosphate bicalcique. Les régimes AC1 et AF3 étaient formulés aux niveaux des recommandations NRC (1994) et

INRA (1989) pour le P (PNP = 3,5 g/kg et P disponible = 3,6 g/kg) et le Ca. Du dioxyde de titane en qualité de marqueur indigestible a été ajouté aux aliments à hauteur de 0,5%.

Tableau 1. Aliments croissance (10-21 j) et finition (21-35j)

	Ca (g/kg)	PNP (g/kg)	Ca/PNP
AC1	10,0	4,5	2,0
AC2	10,0	3,0	3,3
AC3	6,0	4,5	1,3
AC4	6,0	3,0	2,0
AF1	4,8	2,4	2,0
AF2	7,0	3,5	2,0
AF3	9,0	3,5	2,6

Les poids individuels et la consommation par parquet ont été relevés à 10, 21 et 35 jours d'âge. Les tibias de 12 animaux par régime ont été prélevés à 21 et 35 jours pour évaluer la résistance à la rupture (**RR**; N) et le taux de cendres (**CT**, %). De plus à 21 et 35j des prélèvements de contenu digestif au niveau de la partie distale de l'iléon ont été réalisés pour déterminer la digestibilité iléale apparente de P (**DIA**, %). Le flux de P absorbé (g/j) a été estimé en rapportant le % de DIA à la quantité de P ingéré sur les périodes de croissance ou de finition. Des prélèvements de litière en parallèle de notations des scores de pododermatites ont été effectués à 20 et 34 jours d'âge. Plus la sévérité de la lésion est élevée, plus le score est élevé (de 1 à 5). La matière sèche (**%MS litière**) et la concentration en P (**[P] litière**) des litières ont ensuite été déterminées.

Les analyses de P ont été réalisées par méthode colorimétrique en lisant l'absorbance à 340 nm (TECAN, Infinite 200, Lyon, France).

Une analyse de variance a été réalisée via la procédure MIXED (SAS Inst. Inc., Cary, NC) pour tester les effets des régimes de croissance en incluant l'effet de Ca, PNP et leur interaction. L'interaction entre les régimes de croissance et les régimes de finition n'était pas significative sur l'ensemble des critères mesurés. Une analyse de covariance via la procédure GLM (SAS Inst. Inc., Cary, NC) a été réalisée pour l'effet des régimes de finition incluant en covariance l'effet des régimes de croissance. Une analyse de variance a été réalisée pour tester l'effet des 12 itinéraires techniques via la procédure MIXED (SAS Inst. Inc., Cary, NC).

RESULTATS

Les analyses de Ca et P étaient en accord avec les valeurs attendues. Sur la période de croissance, une interaction significative Ca x PNP ($P < 0.05$) a été observée pour l'ensemble des critères suivants: GMQ (Gain Moyen Quotidien), CMJ (Consommation Moyenne Journalière), CT, RR, flux P absorbé, %MS litière, score de pododermatites et [P] litière (Tableau 2 et 3).

La diminution de PNP a un effet d'autant plus négatif à haut Ca (10 g/kg) en termes de GMQ ($P < 0.001$), de

CMJ ($P < 0.001$), de CT ($P = 0.003$) et de RR ($P < 0.001$). Le GMQ, la CMJ, la CT et la RR des animaux ayant reçu le régime AC2 comparé à ceux ayant reçu le régime AC1 était diminué de 23, 20, 15 et 43% et de seulement 3, 0,5, 0,5 et 13% pour les animaux ayant reçu le régime AC4 comparé au régime AC3.

Tableau 2. Effet des différents régimes de croissance en termes de performances de croissance (10-21j) et de minéralisation osseuse (21j)

	Ca (g/kg)	PNP (g/kg)	GMQ (g/j)	CMJ (g/j)	CT (%)	RR (N)
AC1	10,0	4,5	62,8 ab	88,1 b	40,5 a	209,9 a
AC2	10,0	3,0	48,5 c	70,7 c	34,4 c	119,9 c
AC3	6,0	4,5	63,6 a	90,0 a	39,4 a	190,8 ab
AC4	6,0	3,0	61,9 b	87,3 b	36,8 b	165,3 b
Analyses statistiques (ANOVA)						
Ca	< 0,001		< 0,001	NS	0,077	
PNP	< 0,001		< 0,001	< 0,001	< 0,001	
Ca x PNP	< 0,001		< 0,001	0,003	< 0,001	

GMQ = Gain Moyen Quotidien, CMJ = Consommation Moyenne Journalière, CT = Teneur en Cendres Tibiales, RR = Résistance à la rupture; Les valeurs portant des lettres différentes sont significativement différentes ($P < 0,05$)

Tableau 3. Effet des différents régimes de croissance en termes d'utilisation digestive et de bien-être

	Ca (g/kg)	PNP (g/kg)	P absorbé (g/j)	MS litière (%)	Score podo > 1 (%)	[P] litière
AC1	10,0	4,5	0,212 b	74,1 a	16,7	9,5 a
AC2	10,0	3,0	0,169 a	55,7 b	58,3	8,5 b
AC3	6,0	4,5	0,322 d	72,2 a	8,3	9,4 a
AC4	6,0	3,0	0,246 c	75,7 a	8,3	6,4 c
Analyses statistiques (ANOVA)						
Ca	< 0,001		< 0,001	0,012	< 0,001	
PNP	< 0,001		< 0,001	0,062	< 0,001	
Ca x PNP	< 0,001		< 0,001	0,062	< 0,001	

Les valeurs portant des lettres différentes sont significativement différentes ($P < 0,05$). Les pododermatites ont été observées à 20j

L'augmentation de la teneur de PNP augmente le flux de P absorbé d'autant plus que les régimes sont moins concentrés en Ca ($P < 0.001$). L'augmentation de PNP améliore le flux de P absorbé de 43 et 76 mg/j à 10 et 6 g/kg de Ca respectivement. Dans les aliments contenant 10 g/kg de Ca, la baisse de PNP entraîne une diminution de la matière sèche des litières (74,1 vs 55,7%). La proportion des pododermatites de score supérieur à 1 était plus importante dans les régimes les plus concentrés en Ca (37,5 vs 8,3%). La diminution de PNP a permis de diminuer la teneur de P dans les litières et ce de façon d'autant plus importante dans les régimes contenant 6 g/kg de Ca comparé à ceux contenant 10 g/kg de Ca (-32% vs -11%).

Les performances de croissance (GMQ et CMJ) étaient diminuées chez les animaux ayant reçu le régime AF3. Cependant, alors que le régime de finition n'impactait pas significativement la résistance à la rupture, la teneur en cendres tibiales était diminuée dans le régime AF1 le moins concentré en PNP et Ca (Tableau 4).

Tableau 4. Effet des différents régimes de finition en termes de performances de croissance (21-35j) et de minéralisation osseuse (35j)

	Ca (g/kg)	PNP (g/kg)	GMQ (g/j)	CMJ (g/j)	CT (%)	RR (N)
AF1	4,8	2,4	92,8	133,2	34,5	272,3
AF2	7,0	3,5	92,1	133,4	36,7	310,2
AF3	9,0	3,5	85,6	127,6	35,5	310,8
Analyses statistiques (ANCOVA)						
Ca	< 0,001		< 0,004	0,002	NS	
PNP	0,001		0,019	< 0,001	0,068	

GMQ = Gain Moyen Quotidien, CMJ = Consommation Moyenne Journalière, CT = Teneur en Cendres Tibiales, RR = Résistance à la rupture

En période de finition, les animaux ayant reçu le régime le moins concentré en PNP (AF1) présente un flux de P absorbé supérieur à ceux des autres régimes (+50%) et une teneur de P dans les litières plus faible (-27%). L'augmentation de la teneur de Ca dégrade le % de MS des litières et augmente la proportion des scores de pododermatites supérieure à 2 (Tableau 5).

Tableau 5. Effet des différents régimes de finition en termes d'utilisation digestive et de bien-être

	Ca (g/kg)	PNP (g/kg)	P absorbé (g/j)	MS litière (%)	Score podo > 2 (%)	[P] litière (mg/g)
AF1	4,8	2,4	0,142	63,4	18,8	8,3
AF2	7,0	3,5	0,096	61,5	25,0	11,3
AF3	9,0	3,5	0,093	55,5	50,0	11,5
Analyses statistiques (ANCOVA)						
Ca	NS		0,020	0,007	NS	
PNP	0,002		NS	NS	< 0,001	

En fin d'expérimentation (Tableau 6), les animaux ayant reçu le régime AC2 conservaient leur retard de croissance quel que soit le régime de finition (GMQ = 68.2 vs 79.3 g/j) par rapport aux autres itinéraires. L'itinéraire le plus favorable en termes de performance était l'AC3-AF1

Tableau 6. Effets des différents itinéraires techniques sur les performances de croissance (0-35j) et la minéralisation osseuse (35j)

		CMJ (g/j)	GMQ (g/j)	CT (%)	RR (N)
AC1	AF1	109,5 ab	80,7 ab	35,0 ab	280,4 ab
	AF2	108,7 ab	80,1 ab	36,5 ab	316,0 ab
	AF3	108,3 bc	77,0 bc	35,6 ab	301,2 ab
AC2	AF1	95,0 c	69,1 d	34,1 b	243,4 b
	AF2	94,9 c	69,3 d	37,3 a	301,1 ab
	AF3	92,2 c	66,0 d	35,4 ab	303,9 ab
AC3	AF1	114,2a	82,5 a	34,4 b	266,7 ab
	AF2	113,0 ab	80,5 ab	36,7 ab	296,1 ab
	AF3	111,0 ab	77,8 bc	35,3 ab	301,8 ab
AC4	AF1	110,2 ab	80,1 ab	34,5 b	298,8 b
	AF2	111,3 ab	80,0 ab	36,4 ab	327,7 a
	AF3	104,8 b	75,3 c	35,5 ab	338,5 a
Analyses statistiques (ANOVA)					
p-value		< 0,001	< 0,001	0,001	0,006

Les valeurs portant des lettres différentes sont significativement différentes ($P < 0,05$)

Les régimes AC2-AF1, AC3-AF1 et AC4-AF1 ont entraîné une baisse du % de CT comparé à l'itinéraire AC2-AF2. De plus, seuls les itinéraires AC2-AF1 et

AC4-AF1 ont une RR inférieure à celle obtenue avec les itinéraires AC4-AF2 et AC4-AF3. L'aliment AF3 tend à diminuer la matière sèche des litières quel que soit l'aliment croissance mais seuls les itinéraires AC2-AF3 et AC1-AF1 sont significativement différents (Tableau 7). Les 4 itinéraires incluant AF1 conduisent à une réduction de la teneur en P des litières par rapport à ceux incluant AF2 et AF3 et ce quel que soit le régime de croissance (Tableau 7). Les itinéraires AC2-AF3 et AC2-AF2 entraînent une proportion de pododermatites plus élevée que les autres itinéraires alors qu'AC1-AF2, AC3-AF1, AC4-AF1 et AC4-AF2 réduisent la proportion des scores > 2 (Figure 1).

Tableau 7. Effets des différents itinéraires techniques sur la matière sèche et la teneur de P des litières (34j)

		MS litière (%)	[P] litière (mg/g)
AC1	AF1	68,8 a	8,8 cd
	AF2	62,0 ab	12,0 a
	AF3	57,0 ab	12,7 a
AC2	AF1	60,0 ab	7,5 e
	AF2	55,2 ab	10,6 b
	AF3	49,6 b	10,9 b
AC3	AF1	61,3 ab	9,1 c
	AF2	62,5 ab	12,0 a
	AF3	57,6 ab	12,0 a
AC4	AF1	63,5 ab	8,0 de
	AF2	66,2 ab	10,6 b
	AF3	57,9 ab	10,6 b
Analyses statistiques (ANOVA)			
p-value		0,061	< 0,001

Les valeurs portant des lettres différentes sont significativement différentes ($P < 0,05$)

DISCUSSION

L'augmentation de l'apport de Ca dans les régimes les moins concentrés en P a entraîné une détérioration des performances de croissance et de la minéralisation osseuse à 21 jours confirmant les résultats de précédents travaux (Létourneau-Montminy *et al.*, 2010; Narcy *et al.*, 2009). L'excès de Ca peut en effet entraîner la formation de complexes digestifs insolubles avec le P (Selle *et al.*, 2009) limitant leur disponibilité digestive et par conséquent leur absorption intestinale. La disponibilité globale de P pour la croissance de l'animal (tissus mous et osseux) est ainsi limitée. Les résultats de digestibilité iléale corroborent cet effet négatif de Ca sur P. En effet, les régimes les plus concentrés en Ca diminuent l'absorption de P confirmant une dégradation de sa disponibilité digestive. Ce phénomène s'est accompagné d'une dégradation de la matière sèche des litières associée à une proportion plus élevée des scores de pododermatites supérieure à 1. L'aliment AC2 le plus concentré en Ca mais le moins concentré en PNP a pu entraîner une perturbation des flux ioniques, d'origine digestive ou métabolique, pouvant expliquer une fuite d'eau dans les litières favorisant le développement des pododermatites. Par ailleurs, dans

les régimes les plus concentrés en PNP, bien que le flux de P absorbé ait été augmenté lorsque l'apport de Ca diminuait, la concentration en P dans la litière demeurait élevée. Ce résultat peut être attribué au fait que le P absorbé n'a pas pu être totalement fixé au niveau du squelette en raison d'un manque de Ca se traduisant par des pertes urinaires de P (Narcy *et al.*, 2010). Nos résultats indiquent donc que la baisse de la teneur de PNP en dessous des niveaux recommandés pour le poulet de 21 jours (NRC, 1994) est favorable aux performances de croissance, à la qualité de la litière (teneur en P et matière sèche) et à l'incidence des pododermatites à condition de diminuer parallèlement la concentration en Ca. Notons toutefois que la minéralisation osseuse était inférieure chez les animaux ayant reçu ce type de régime mais ce, sans incidence sur la locomotion évaluée par la méthode du « GAIT » score (adaptée de Kestin *et al.*, 2001; résultats non présentés). L'absence d'interaction entre les régimes croissance et finition montre que quel que soit le régime reçu en croissance (10-21j), l'impact de l'aliment finition sur l'ensemble des critères est identique. Les régimes de finition AF1 et AF2 (moins concentrés en Ca pour AF2 ou moins concentrés en Ca et PNP pour AF1 par rapport à AF3) ont permis d'augmenter les performances de croissance comparés au régime AF3 (NRC, 1994). Cependant, les animaux ayant reçu le régime AF1 se caractérisent par une diminution de la minéralisation osseuse du fait d'un manque de substrat (Ca et PNP) pour le développement de la trame minérale de l'os. Cette diminution des apports de PNP et Ca sur l'ensemble de la période de finition se traduit logiquement par une diminution de la teneur en P dans les litières. Cependant, la mesure du flux de P absorbé à 38 jours d'âge était augmentée probablement via des mécanismes de régulation. Toutefois, cette mesure ponctuelle n'est pas forcément représentative de l'ensemble de la période de finition et n'a pas permis une récupération totale par les animaux. Le ratio des régimes AF1 et AF2 semble plus favorable en termes de qualité de litière (matière sèche) et d'incidence des pododermatites, phénomène lié à des mécanismes identiques à ceux exposés précédemment pour la période de croissance. La baisse de l'apport de Ca par rapport aux recommandations peut donc contribuer à améliorer les performances de croissance. Cependant, un bénéfice plus global peut être obtenu en termes économique, environnemental et de bien-être en abaissant la concentration de P simultanément à celle de Ca en conservant un ratio Ca:PNP équivalent à 2.

Si on s'intéresse à l'impact global des différents itinéraires techniques, le retard de croissance enregistré à 21 jours des animaux ayant reçu l'aliment AC2 était maintenu à 35 jours. Cependant, il est intéressant de noter que ce retard de croissance a partiellement été rattrapé suggérant l'existence de phénomènes de compensation (Létourneau-Montminy *et al.*, 2008). En effet, à 21 jours le GMQ des animaux nourris avec les régimes AC2 était de 23% inférieur à celui des autres lots alors qu'à la fin de la période de finition, il n'était

inférieur que de 13% avec les itinéraires AC2-AF1 et AC2-AF2 et de 17% avec l'itinéraire AC2-AF3. Ces phénomènes de régulation peuvent également expliquer que peu de différences en termes de minéralisation osseuse à 35 jours n'a été observée entre les itinéraires incluant le régime AC2 et les autres itinéraires excepté ceux se terminant par l'aliment AF1.

CONCLUSION

D'après des critères classiques d'évaluation (performances de croissance, minéralisation osseuse) il

apparaît que les itinéraires incluant le régime AC2 en croissance et/ou l'aliment AF3 en finition ne sont pas optimaux. Les autres itinéraires vont quant à eux se différencier par des critères environnementaux, économiques et de bien-être. Ces résultats illustrent la nécessité de développer des outils d'évaluation de la durabilité comme outil d'aide à la décision dans les processus de formulation permettant à chacun de trouver un compromis acceptable au regard de ses pratiques et de ses objectifs.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- INRA, 1989. L'alimentation des animaux monogastriques : porc, lapin, volailles. 2nd édition.
- Kestin S.C., Gordon S., Su G., Sorensen P. 2001. Relationships in broiler chickens between lameness, liveweight, growth rate and age. *Veterinary Record* 148, 195-197
- Létourneau-Montminy, M. P., P. Lescoat, A. Narcy, D. Sauvant, J. F. Bernier, M. Magnin, C. Pomar, Y. Nys, and C. Jondreville. 2008. *British Poultry Science* 49:705-715.
- Létourneau-Montminy, M. P., A. Narcy, P. Lescoat, J. F. Bernier, M. Magnin, C. Pomar, Y. Nys, D. Sauvant, and C. Jondreville. 2010. *Animal* 4:1844-1853.
- Narcy, A., M. P. Létourneau-Montminy, E. Bouzouagh, N.Même, M. Magnin, and J.Y. Dourmad. 2010. *Journal of Animal Science*, Volume 88, E-Supplement 2
- NRC, Nutrient requirements of Poultry, 1994. National Academy Press Washington, D.C.
- Rousseau X., Même N., Magnin M., Nys Y. et Narcy A. Journées de la Recherche Avicole 2011, Tours, France, 265 :268
- Rousseau, X., M. P. Létourneau-Montminy, N. Meme, M. Magnin, Y. Nys, and A. Narcy. 2012. *Poultry science* 91: 2829-2837.
- Selle, P. H., A. J. Cowieson, and V. Ravindran. 2009. *Livestock Science* 124:126-141.

Figure 1: Effets des itinéraires techniques sur l'incidence des pododermatites (34j). La proportion de score inférieure ou égale à 1 est représentée en blanc, de 1 à 2 en gris et de 2 à 3 en noir.

