# ANALYSE DU CYCLE DE VIE DE LA PRODUCTION D'ALIMENTS POUR POULETS DE CHAIR ET POULES PONDEUSES : INFLUENCE DU CHOIX DES MATIÈRES PREMIÈRES

### Baumgartner Daniel U.1, Crépon Katell2 et Nemecek Thomas1

<sup>1</sup>Station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Reckenholzstrasse 191, CH-8046 ZÜRICH, Suisse,

<sup>2</sup>UNIP-Union Interprofessionnelle des Plantes Riches en Protéines, 12 avenue George V, 75008 PARIS. France

### INTRODUCTION

L'élevage de volailles a de nombreux impacts sur l'environnement, liés, par exemple, à la production agricole des matières premières composant les aliments ou à la gestion des effluents d'élevage. Comment peut-on identifier les causes les plus importantes des émissions (par ex. nitrates, ammoniac, phosphore, métaux lourds, etc.) afin de pouvoir prendre des mesures pour les diminuer?

L'analyse du cycle de vie (ACV) est une méthode de gestion qui évalue et quantifie les impacts sur l'environnement d'un produit ou d'une prestation. Elle permet de prendre en compte tous les effets connus qu'un système de production peut avoir sur l'environnement, de l'obtention des matières premières à l'élimination ou au recyclage des déchets (« du berceau à la tombe »). On vise autant que possible à appréhender la totalité des impacts sur l'environnement afin que d'éventuels transferts d'impacts environnementaux entre les étapes de production soient détectés. Le but est de déterminer les priorités d'action parmi les mesures possibles en tenant compte de leur efficacité environnementale (Jolliet et al., 2005). La méthode est décrite dans les normes ISO 14040 et les normes qui suivent (ISO, 2006a et 2006b). Historiquement, la crise de l'énergie en 1973 a lancé le débat sur le bilan énergétique. L'ACV a été développée à la fin des années 1980 durant le débat concernant les emballages. La crise de l'énergie en 1973 et le débat qui a suivi ont souligné l'intérêt de l'ACV. C'est probablement la combinaison des deux débats qui a fait que l'ACV est devenue une méthodologie aussi complète (Baumann & Tillman, 2004).

Le but de notre étude est d'évaluer et de quantifier les impacts environnementaux des aliments du poulet de chair et des poules pondeuses en fonction de leurs sources de protéines, c'est-à-dire le soja d'origine sud-américaine ou, comme alternative, le pois et la féverole d'origine européenne. Cette substitution a

une conséquence pour les proportions des autres ingrédients des aliments.

### 1. MÉTHODOLOGIE

### 1.1. La méthode d'ACV « SALCA »

La méthode d'ACV « SALCA » (Swiss Agricultural Life Cycle Assessment) a été développée par le groupe Bilans écologiques de la station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART au cours des quinze dernières années. SALCA sert à l'analyse et l'optimisation des systèmes agricoles avec le but de réduire les impacts environnementaux. La méthode est principalement utilisée pour la recherche agroenvironnementale (voir Nemecek *et al.*, 2005), mais aussi comme outil de gestion environnementale des exploitations agricoles (Rossier, 1998; Rossier & Gaillard, 2001), et pour le calcul d'indicateurs agroenvironnementaux (Gaillard *et al.*, 2003)

L'ACV comprend quatre phases i) la détermination de l'objectif et du cadre de l'étude, ii) l'inventaire (de la consommation de ressources et des émissions), iii) l'évaluation de l'impact environnemental et iv) l'interprétation.

L'ACV a été développée initialement pour le secteur industriel. Grâce à une adaptation aux spécificités du secteur agricole, la méthode SALCA permet d'appliquer l'ACV pour des appréciations de produits (p.ex. pomme de terre, lait) et de systèmes agricoles (p.ex. systèmes culturaux, exploitation agricole)

SALCA comporte les éléments suivants (Figure 1) :

- une base de données comprenant les inventaires environnementaux de l'agriculture. Pour l'instant, la base de données SALCA, qui a été élaborée en collaboration étroite avec le centre suisse des inventaires environnementaux « ecoinvent » (Nemecek *et al.*, 2004), comprend plus de 700 inventaires. Elle est complétée et actualisée en permanence.
- des modèles pour quantifier les émissions directes, au champ et à la ferme, de nitrates (Richner *et al.*,

2006), de  $N_2$ 0, de méthane, d'ammoniac, de phosphore (Prasuhn, 2006) ou de métaux lourds (Freiermuth, 2006).

- un choix de méthodes permettant d'évaluer l'impact des systèmes agricoles sur l'environnement: utilisation de ressources énergétiques non renouvelables, potentiel d'effet de serre, formation d'ozone, eutrophisation, acidification, toxicité pour l'environnement (eaux et sols) et l'homme (Gaillard et al., 2007).
- des méthodes développées à l'ART pour estimer les impacts environnementaux pour les catégories biodiversité (Jeanneret *et al.*, 2006) et qualité du sol (Oberholzer *et al.*, 2006), jusqu'ici peu prises en compte dans les bilans écologiques.
- des outils de calcul pour les systèmes agricoles fréquemment étudiés (cultures à l'échelle de la parcelle et exploitations agricoles), qui permettent une automatisation du calcul.

### 1.2. Étude de cas en Bretagne

L'étude de cas est située en Bretagne, première région française de production avicole (Agreste Bretagne, 2005a & 2005b). Les exploitations avicoles se trouvent dans le Morbihan et les Côtes-d'Armor. La fabrique d'aliment produisant les aliments se situe au centre de la Bretagne. Les pois, les féveroles et le colza, le tournesol (tourteau à la teneur protéique 29%), le blé et l'orge, le maïs ainsi que les acides aminés synthétiques et les aliments minéraux sont produit en France (Tableau 1). A l'exception des céréales, les transports sont effectués par camion. Le tourteau de soja est d'origine brésilienne, celui de tournesol (teneur protéique 33%) vient de l'Argentine et l'huile de palme est produite en Malaisie. Ces produits sont transportés par vraquier de leurs pays d'origine aux ports bretons. Les provenances des matières premières ont été indiquées par l'UNIP et par recherche sur internet, par ex. sur les sites de **PROLEA** (www.prolea.com) et d'Agreste (http://agreste.agriculture.gouv.fr/). Les poulets de chair sont engraissés pendant 56 jours, ce qui représente une production certifiéé. Trois types d'aliments pour les poulets de chair - aliments démarrage (PD), croissance (PC) et finition (PF) - et deux types pour la filière œufs - poulettes (JP) et poules pondeuses (PP) - ont été définis (Tableau 1). Les formulations des aliments ont été déterminées dans le cadre du projet GLIP par optimisation économique. La variante standard pour chaque type est un aliment à base de céréales et de soja (SOJ) comme source de protéines. L'alternative est une formule où le soja est remplacé par des protéagineux d'origine française, le pois et la féverole (PR-FR), complétée par des tourteaux de colza et tournesol et du gluten de maïs. Pour la filière des poulets de chair, une troisième variante contenant un taux élevé en acides aminés synthétiques (AAS) a été élaborée. Pour chaque type d'aliment, les valeurs énergétiques

et teneurs en protéines sont constantes pour l'ensemble des variantes.

Définition et limites du système : La limite du système est aux portes de la fabrique d'aliments et s'achève au niveau des différents aliments pour les poulets de chair et pour la filière œufs. L'évaluation couvre l'ensemble du cycle de vie de l'activité (« du berceau à la tombe »), en prenant en compte les intrants liés à la production végétale (semence, engrais, pesticides, carburants), l'infrastructure (bâtiments, machines et équipement), la production des matières premières des ingrédients des aliments, le transport, la fabrication et le stockage des aliments pour les volailles.

Fonction et unité fonctionnelle : L'étude de cas met l'accent sur la fonction productive de l'agriculture, ici la production d'aliments pour les poulets de chair et les poules pondeuses. L'unité fonctionnelle est de 1kg d'aliment pour les volailles aux portes de la fabrique d'aliment

Catégories d'impacts environnementaux: les huit catégories analysées sont les besoins en énergie non renouvelable, l'effet de serre (100 ans), la formation d'ozone, l'eutrophisation globale, l'acidification, l'écotoxicité terrestre et aquatique et la toxicité humaine

### 2. RESULTATS

Nous présentons les premiers résultats de l'étude de cas des aliments des poulets de chair et poules pondeuses en Bretagne en commençant par les résultats détaillés de deux catégories d'impacts : les besoins en énergie non renouvelable et l'eutrophisation. Nous concluons par un résumé de toutes les catégories d'impacts analysées.

### 2.1. Poulet de chair : énergie non renouvelable et eutrophisation

Besoins en énergie non renouvelable :

Quelles que soient les formules, la production des matières premières est le processus le plus exigeant en énergie non renouvelable, suivie par le transport, la fabrique d'aliment et enfin l'huilerie.

Les besoins en énergie non renouvelable pour la formule PD56-PR-FR sont 15% plus faibles que ceux de la formule PD56-SOJ (Figure 1). Il n'y a pas de différence au niveau de la production des matières premières. Les besoins énergétiques plus importants pour la formule contenant le soja brésilien sont liés à son transport. Le soja étant produit au centre de ce vaste pays, les graines doivent être transportées sur de longs trajets par camion (930km) du site de production jusqu'aux ports fluviaux. Ce transport est suivi d'une traversée de l'océan qui augmente également les besoins en énergie. Une deuxième explication est que les besoins énergétiques sont plus élevés dans l'huilerie, la formule SOJ contenant plus de tourteaux d'oléagineux.

Les résultats sont similaires pour les formules PC56. Il y a une réduction des besoins en énergie de 7%

entre les variantes SOJ et PR-FR (Figure 1). Ce résultat est là encore, lié au transport du soja et aux besoins liés à l'huilerie. La différence entre les deux formules est toutefois moins importante car, au niveau de la production des matières premières, les besoins en énergie de la variante SOJ sont moins élevés à la suite d'une réduction de l'incorporation du soja. Les variantes SOJ et AAS ont des besoins énergétiques similaires. Les besoins plus importants pour la variante AAS au niveau de la production des matières premières et des aliments minéraux (où les acides aminés synthétiques sont inclus) sont compensés par une réduction importante des besoins en énergie pour le transport et l'huilerie.

Les résultats obtenus pour les formules PF56 diffèrent de ceux des formules PC56. Les besoins en énergie de la variante PR-FR sont réduits de 20%, tandis qu'ils augmentent de 8% pour la variante AAS (Figure 1). En plus des raisons décrites pour les formules PC56, la quantité de gluten de maïs est diminuée pour la variante PF56-PR-FR, ce qui a un effet positif sur les besoins en énergie. Les valeurs obtenues pour la variante AAS, plus élevées par rapport à la variante SOJ, s'expliquent par l'intégration de gluten de maïs et l'augmentation de la quantité des graines de maïs et d'acides aminés synthétiques. Par conséquent, les besoins énergétiques nécessaires à la fabrication (gluten et acides aminés), la culture et le séchage des graines de maïs sont plus élevés.

### Eutrophisation:

Pour la catégorie d'impact « eutrophisation » la production des matières premières est le processus ayant l'impact le plus important. Les effets liés au transport, à l'huilerie, à la fabrique d'aliment et aux aliments minéraux sont négligeables, alors que les effets des pertes de nitrates et de phosphore, ainsi que de la volatilisation d'ammoniac dominent. La variante avec le potentiel d'eutrophisation le plus faible est la AAS, suivi de SOJ et enfin de PR-FR. Cette tendance est observée pour chaque type d'aliments de poulet de chair à 56 jours (Figure 2). Pour les formules PD56, la PR-FR atteint 119% du potentiel d'eutrophisation de SOJ. Pour le type d'aliment PC56, la formule PR-FR totalise 119% du potentiel d'eutrophisation, contre 91% pour la formule AAS en comparaison de SOJ. Par rapport à la formule PF56-SOJ, la variante correspondante PR-FR atteint un potentiel d'eutrophisation de 117%, contre que 89% dans le cas de AAS.

Les raisons sont les suivantes : la substitution du soja dans la variante PR-FR se fait en incorporant du pois et du tourteau de tournesol, ainsi qu'en augmentant le tourteau de colza. Au total, la quantité des ingrédients riches en protéine des aliments est augmentée par rapport aux variantes SOJ (comme le soja a une teneur en protéine plus élevé que le pois ou la féverole). La culture de quantités supplémentaires de ces trois ingrédients conduit à une perte plus prononcée de nitrates, d'ammoniac et de phosphore en comparaison des formules SOJ.

La comparaison entre les variantes AAS et SOJ montrent que, dans le cas des aliments PC56, le potentiel d'eutrophisation de la AAS est réduit du fait que la part d'ingrédients protéiques inclut du gluten qui remplace le tourteau de colza (Figure 2). C'est aussi le cas lorsque l'on compare les formules AAS et SOJ de l'aliment PF56.

### 2.2. Poules pondeuses : énergie non renouvelable et eutrophisation

Besoins en énergie non renouvelable :

En accord avec les résultats obtenus pour les aliments du poulet de chair, la production des matières premières est le processus le plus exigeant en énergie non renouvelable des formules pour poulettes et poules pondeuses.

La diminution des besoins en énergie des variantes PR-FR en comparaison des variantes SOJ atteint 17% pour les poulettes et 14% pour les poules pondeuses (Figure 1). Dans les formules PR-FR, les quantités de tourteau de soja et de maïs sont réduites, car les pois couvrent une partie des besoins énergétiques des animaux, ce qui remplace partiellement le maïs. La culture de maïs est associée à des besoins en énergie élevés comparé à d'autres ingrédients d'aliments, car les graines sont séchées après la récolte. Du fait du soja utilisé dans les formules SOJ, les besoins en énergie pour les transports maritime et terrestre ainsi que pour l'huilerie sont augmentés.

Eutrophisation:

La production des matières premières est le processus ayant l'impact le plus important pour la catégorie d'impact « eutrophisation ».

La formule PR-FR pour poulette atteint un potentiel d'eutrophisation de 113% en comparaison de la formule SOJ (Figure 2). Dans le cas des pondeuses, le potentiel d'eutrophisation de la formule PR-FR est de 134% par rapport à la variante SOJ.

La production de pois, colza et soja dans la variante SOJ conduit à un potentiel d'eutrophisation plus réduit que l'alternative constituée de pois, colza, soja et tournesol. Cette augmentation est liée aux pertes de nitrates, d'ammoniac et de phosphates lors de la culture des pois et des tournesols dans les formules PR-FR..

### 2.3. Résumé des résultats des catégories d'impacts analysées.

Les variantes d'aliments avec des teneurs plus élevées en protéagineux d'origine française (PR-FR) ont des effets favorables sur l'environnement en comparaison des alternatives contenant du soja (SOJ), pour les trois catégories d'impacts qui constituent la gestion des ressources (besoins en énergie, potentiel d'effet de serre et formation d'ozone) (Tableau 2). Pour la gestion des éléments fertilisants (les catégories d'impacts eutrophisation et acidification), les formules PR-FR ont des effets similaires ou

défavorables à l'exception de la formule PP pour l'eutrophisation. Par contre, l'analyse des catégories d'impacts représentant la gestion des polluants (écotoxicité terrestre et aquatique, ainsi que toxicité humaine) révèle des résultats hétérogènes pour les formules PR-FR: selon la formule et la catégorie d'impact, l'appréciation varie entre similaire et très défavorable. Mais globalement, la tendance est négative.

La comparaison entre les formules AAS et SOJ montre que, pour la gestion des ressources, les deux variantes ont des effets entre similaires jusqu'à très favorable, à l'exception de la formule PF56-AAS pour les besoins en énergie (Tableau 2). Quant aux gestions des éléments fertilisants et de polluants, les formules AAS ont en général des effets favorables ou même très favorables par rapport aux variantes SOJ.

Les résultats montrent que la substitution du soja par des protéagineux (pois, féverole) a des effets positifs pour la gestion des ressources. Pour la gestion des éléments fertilisants et de polluants, on constate l'importance primordiale du choix des ingrédients qui substituent le soja. Par exemple, les pertes de nitrates liées à la culture de tournesol sont plus prononcées que pour la production de colza.

La formulation d'aliments avec une teneur élevée en acides aminés synthétiques (AAS) pour le poulet de chair a des effets environnementaux positifs par rapport aux formules soja en général. Cette voie d'alimentation semble plus favorable pour l'environnement que la voie PR-FR, à l'exception de la gestion des ressources, notamment des besoins en énergies non renouvelables, ce qui est la conséquence d'une augmentation de la part d'ingrédients protéiques et céréaliers pour les variantes AAS.

Par contre, les effets environnementaux liés au fonctionnement de l'huilerie et de la fabrique d'aliment sont faibles pour tous les impacts environnementaux analysés.

### **CONCLUSION**

Les résultats montrent que la substitution du soja brésilien par des protéagineux d'origine européenne a un effet environnemental favorable au niveau de la gestion des ressources. En particulier, la réduction des transports, ainsi que la réduction des céréales et du maïs dans les formules d'aliments diminuent les besoins en énergie. Donc une mesure efficace est de choisir des ingrédients indigènes pour diminuer les transports.

Par contre, pour la gestion des éléments fertilisants et des polluants, l'incorporation des protéagineux est plutôt défavorable car elle s'accompagne d'une incorporation accrue d'autres sources de protéines (tourteau de tournesols et de colza). Ici, les charges environnementales sont fortement dépendantes du choix des ingrédients qui remplacent le soja.

Les variantes AAS ont des effets environnementaux qui se situent entre favorable et très favorable par rapport aux variantes SOJ. Mais les résultats peuvent s'inverser si le choix des ingrédients n'est pas approprié.

Les ingrédients des aliments des poulets de chair, de poulettes et de poules pondeuses étant choisis selon des critères économiques, la composition d'un même aliment varie considérablement dans le temps. Les impacts environnementaux vont donc faire l'objet de variations correspondantes aux modifications des proportions des différents ingrédients.

Pour la formulation des aliments pour les volailles, il y a donc un potentiel d'optimisation concernant les charges environnementales liées au choix des matières premières remplaçant le soja et de leurs quantités. Compte tenu que la culture des matières premières est le processus le plus important pour tous les effets environnementaux analysés, il est d'une importance primordiale d'optimiser l'itinéraire technique des cultures. L'amélioration des caractéristiques des ingrédients par sélection est une autre façon d'influencer les effets environnementaux.

Les charges environnementales par la production à l'huilerie et à la fabrique d'aliment ont pour chaque catégorie d'impact peu d'importance.

### REMERCIEMENTS

Cette étude à été financée par le projet intégré GLIP (Grain Legumes Integrated Project ; FOOD-CT-2004-506223) du 7<sup>ème</sup> programme de recherche de l'UE et par le Secrétariat d'Etat à l'éducation et à la recherche SER à Berne, Suisse.

### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Agreste Bretagne, 2005a. Recensement avicole 2004-2005 – La volaille de chair perd 1m² sur 5. Direction Régionale de l'Agriculture et de la Forêt de Bretagne. Service de Statistique Agricole, Rennes, France. http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/R5306A02.pdf (accédé en janvier 2007).

Agreste Bretagne, 2005b. Recensement avicole 2004-2005 – La filière œufs de consommation perd du terrain. Direction Régionale de l'Agriculture et de la Forêt de Bretagne. Service de Statistique Agricole, Rennes, France. http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/R5306A01.pdf (accédé en janvier 2007).

Baumann H. & Tillman A.-M., 2004. In: The Hitch Hiker's Guide to LCA – An orientation in life cycle assessment methodology and application. Studentlitteratur AB, Lund, Sweden, 543p.

- Freiermuth R., 2006. Modell zur Berechnung der Schwermetallflüsse in der Landwirtschaftlichen Ökobilanz. Bericht. Agroscope FAL Reckenholz, 38p.
  - http://www.art.admin.ch/themen/00617/00622/index.html?lang=de.
- Gaillard G., Ramsauer M., Vonarburg U., Daniel O., Desaules A., Flisch R., Herzog F., Hofer G., Jeanneret P., Nemecek T., Oberholzer H.R., Prasuhn V., Richner W., Schüpbach B., Spiess E., Walter T. & Weisskopf P., 2003. Agrar-Umweltindikatoren Machbarkeitsstudie für die Umsetzung in der Schweiz. Schriftenreihe der FAL 47, 68p.
- Gaillard G., Freiermuth Knuchel R., Baumgartner D., Calanca P.L., Jeanneret P., Nemecek T., Oberholzer H.R., Prasuhn V., Richner W. & Weisskopf P., 2007. Methode zur Ökobilanzierung landwirtschaftlicher Systeme. Schriftenreihe der ART, en préparation.
- ISO, 2006a. ISO 14040, 2nd Edition, Environmental management Life cycle assessment Principles and framework, Geneva, 20p.
- ISO, 2006b. ISO 14044, 1st Edition, Environmental management Life cycle assessment Requirements and guidelines, Geneva, 46p.
- Jeanneret P., Baumgartner D., Freiermuth R. & Gaillard G., 2006. Méthode d'évaluation de l'impact des activités agricoles sur la biodiversité dans les bilanz écologiques SALCA-BD. Rapport. Agroscope FAL Reckenholz, 67p. http://www.art.admin.ch/themen/00617/00622/index.html?lang=de.
- Joliet O., Saadé M. & Crettaz P., 2005. Analyse du cycle de vie Comprendre et réaliser un écobilan. Presses polytéchniques et universitaires romandes, Lausanne, Suisse, 242p.
- Nemecek T., Heil A., Huguenin O., Meier S. Erzinger S., Blaser S., Dux D. & Zimmermann A., 2004. Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems. Final report ecoinvent 2000 No. 15. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH., 289p.
- Nemecek T., Huguenin-Elie O., Dubois D., Gaillard, G., 2005. Ökobilanzierung von Anbausystemen im Ackerund Futterbau, Schriftenreihe der FAL 58, 156p.
- Nemecek T. & Baumgartner D., 2006. Environmental Impacts of Introducing Grain Legumes into European Crop Rotations and Pig Feed Formulas. Final report GL-Pro (environmental analysis). Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station ART, 63p.
- Oberholzer H.R., Weisskopf P., Gaillard G., Weiss F. & Freiermuth Knuchel R., 2006. Methode zur Beurteilung der Wirkungen landwirtschaftlicher Bewirtschaftung auf die Bodenqualität in Ökobilanzen SALCA-BQ. Bericht. Agroscope FAL Reckenholz, 57p et annexes. http://www.art.admin.ch/themen/00617/00622/index.html?lang=de.
- Prasuhn V., 2006. Erfassung der PO4-Austräge für die Ökobilanzierung SALCA-Phosphor. Bericht. Agroscope FAL Reckenholz, 20p. http://www.art.admin.ch/themen/00617/00622/index.html?lang=de.
- Richner W., Oberholzer H.R., Freiermuth R., Huguenin O. & Walther U., 2006. Modell zur Beurteilung des Nitratauswaschungspotenzials in Ökobilanzen SALCA-Nitrat. Bericht. Agroscope FAL Reckenholz, 25p. http://www.art.admin.ch/themen/00617/00622/index.html?lang=de.
- Rossier D., 1998. Ecobilan Adaptation de la méthode écobilan pour la gestion environnementale de l'exploitation agricole, SRVA, 49p et annexes
- Rossier D., Gaillard G., 2001. Bilan écologique de l'exploitation agricole : Méthode et application à 50 entreprises, SRVA et FAL, 105p et annexes

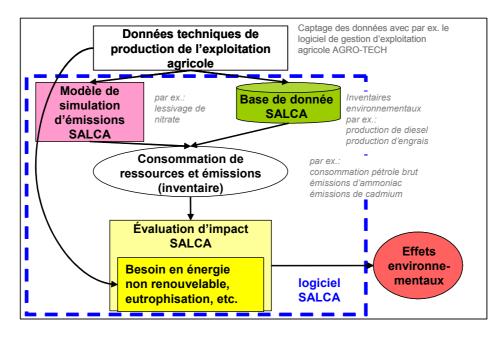


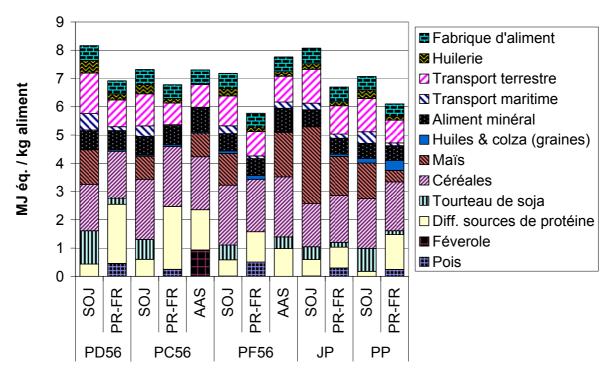
Figure 1. Représentation graphique de la méthode SALCA et de ses éléments.

**Tableau 1.** Composition des aliments des poulets de chair et de poulettes et poules pondeuses.

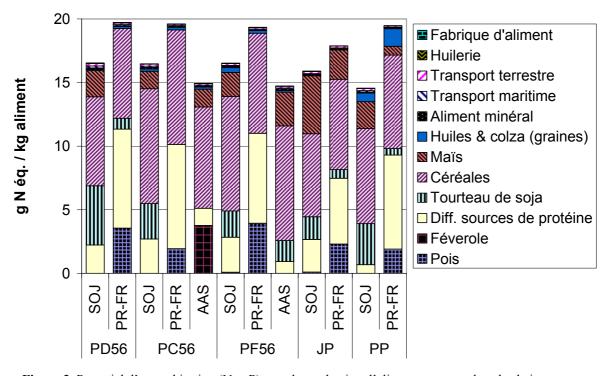
Formules		Aliments pour poulets de chair à 56 jours d'engraissement									
		Formules	démarrage	Fo	ormules croissan	ice	Formules finition				
Variantes		SOJ	PR-FR	SOJ	PR-FR	AAS	SOJ	PR-FR	AAS		
Abbréviations		PD56-SOJ	PD56-PR-FR	PC56-SOJ	PC56-PR-FR	PC56-AAS	PF56-SOJ	PF56-PR-FR	PF56-AAS		
Ingrédients	Origine	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)		
Pois	FRA	0	212	0	116	0	5	235	0		
Féverole	FRA	0	0	0	0	232	0	0	0		
Tourteau de colza	FRA	40	100	80	100	0	77	100	0		
Tourteau de tournesol 33	ARG	5	50	1	50	0	4	52	0		
Tourteau de tournesol 29	FRA	19	0	3	10	0	0	4	0		
Gluten60+PX Super	FRA	0	64	0	67	75	0	8	52		
Tourteau de soja	BRA	274	50	165	0	0	121	0	97		
Blé	FRA	466	469	601	600	530	600	524	600		
Mais	FRA	150	0	101	0	103	138	0	194		
Huile de palme	MYS	0	4	0	3	0	1	30	0		
Huile de soja	BRA	6	10	11	13	10	9	10	8		
Graine de colza	FRA	0	0	0	0	0	7	0	0		
CaCO <sub>3</sub>	FRA	13	13	13	14	15	12	12	15		
PHOSBI+ oligoélements+ acides aminés synthétique	FRA	28	28	27	28	35	25	25	34		
TOTAL		1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000		
Durée d'emploi (jours)		0-14	0-14	15-35	15-35	15-35	35-56	35-56	35-56		

Formules		Aliments pou	r poulettes et p	oules pondeu	ises
		Formules	poulettes	Formules	pondeuses
Variantes		SOJ	PR-FR	SOJ	PR-FR
Abbréviations		JP-SOJ	JP-PR-FR	PP-SOJ	PP-PR-FR
Ingrédients	Origine	(g)	(g)	(g)	(g)
Pois	FRA	6	138	0	114
Féverole	FRA	0	0	0	0
Tourteau de colza	FRA	80	80	20	20
Tourteau de tournesol 33	ARG	0	35	0	86
Tourteau de tournesol 29	FRA	0	6	0	2
Gluten60+PX Super	FRA	0	0	2	43
Tourteau de soja	BRA	105	40	190	30
Blé	FRA	426	455	499	490
Orge	FRA	8	17	0	0
Mais	FRA	334	170	155	50
Huile de palme	MYS	7	26	3	13
Huile de soja	BRA	0	0	6	3
Graine de colza	FRA	0	0	18	41
CaCO <sub>3</sub>	FRA	10	10	87	88
PHOSBI+ oligoélements+ acides aminés synthétique	FRA	24	23	21	21
TOTAL	•	1000	1000	1000	1000
Durée d'emploi (jours)		0-126	0-126	126-334	126-334

ARG = Argentine; BRA = Brésil; FRA = France; MYS = Malaisie



**Figure 2.** Besoins en énergie non renouvelable pour la production d'aliments pour poulets de chair et pour poulettes et poules pondeuses (MJ= mégajoule ; éq.= équivalents).



**Figure 3.** Potentiel d'eutrophisation (N et P) pour la production d'aliments pour poulets de chair et pour poulettes et poules pondeuses (g N= gramme azote ; éq.= équivalents)

**Tableau 2.** Résultats par catégorie d'impacts environnementaux. Les valeurs pour les formules PR-FR et AAS sont exprimées en % de la formule SOJ.

	Résumé des impacts	PD5	6		PC56			PF56		JP		PF	)
	environnementaux	SOJ	PR-FR	SOJ	PR-FR	AAS	SOJ	PR-FR	AAS	SOJ	PR-FR	SOJ	PR-FR
			%		%	%		%	%		%		%
ses es	Besoin en énergie non renouvelable (MJ éq./kg aliment)	8.16E+00	85%	7.32E+00	93%	100%	7.18E+00	80%	108%	8.08E+00	83%	7.07E+00	86%
Gestion des ressources	Potentiel d'effet de serre (kg CO₂ éq. / kg aliment)	9.34E-01	94%	8.84E-01	97%	98%	8.62E-01	94%	96%	8.70E-01	95%	8.12E-01	96%
9 a	Formation d'ozone (g ethylene éq. / kg aliment)	2.40E-04	82%	2.09E-04	86%	86%	1.99E-04	96%	94%	2.11E-04	95%	2.02E-04	86%
ents	Potentiel d'eutrophisation, N & P (g N éq. / kg aliment)	1.65E+01	<u>119%</u>	1.65E+01	<u>119%</u>	91%	1.65E+01	<u>117%</u>	89%	1.59E+01	<u>113%</u>	1.46E+01	<u>134%</u>
on des éléments fertilisants	Potentiel d'eutrophisation, N (g N éq. / kg aliment)	1.47E+01	<u>121%</u>	1.47E+01	<u>121%</u>	90%	1.48E+01	119%	89%	1.47E+01	<u>110%</u>	1.30E+01	<u>137%</u>
Gestion des fertilisa	Potentiel d'eutrophisation, P (g P éq. / kg aliment)	2.47E-01	105%	2.46E-01	101%	93%	2.39E-01	104%	87%	2.23E-01	104%	2.16E-01	103%
Ges	Potentiel d'acidification (g SO <sub>2</sub> éq. / kg aliment)	7.20E-03	93%	7.69E-03	95%	85%	7.68E-03	86%	93%	7.49E-03	91%	6.73E-03	92%
v	Écotoxicité terrestre EDIP (points / kg aliment)	9.25E-01	<u>153%</u>	1.22E+00	<u>119%</u>	73%	1.23E+00	<u>125%</u>	82%	9.70E-01	<u>129%</u>	9.53E-01	<u>123%</u>
polluants	Écotoxicité aquatique EDIP (points / kg aliment)	9.13E-01	104%	9.07E-01	105%	59%	8.68E-01	109%	80%	6.96E-01	<u>117%</u>	7.86E-01	<u>124%</u>
des	Écotoxicité terrestre CML (points / kg aliment)	8.36E-05	<u>160%</u>	1.30E-04	<u>113%</u>	44%	1.34E-04	104%	47%	1.13E-04	103%	8.46E-05	<u>123%</u>
Gestions	Écotoxicité aquatique CML (points / kg aliment)	2.45E-04	<u>146%</u>	3.49E-04	112%	51%	3.61E-04	100%	57%	3.37E-04	97%	2.44E-04	<u>118%</u>
	Toxicité humaine CML (points / kg aliment)	1.70E-02	104%	1.78E-02	104%	88%	1.75E-02	97%	94%	1.63E-02	100%	1.54E-02	104%

Gestion des ressources	Gestion des éléments fertilisants	Gestions des polluants	
< 88.9%	< 80.0%	< 72.7%	
88.9% - 96.0%	80.0% - 92.3%	72.7% - 88.9%	
96.0% - 104.2%	92.3% - 108.3%	88.9% - 112.5%	
<u>104.2% - 112.5%</u>	<u>108.3% - 125.0%</u>	<u>112.5% - 137.5%</u>	
<u>&gt; 112.5%</u>	<u>&gt; 125.0%</u>	<u>&gt; 137.5%</u>	
	ressources < 88.9% 88.9% - 96.0% 96.0% - 104.2% 104.2% - 112.5%	ressources         fertilisants           < 88.9%         < 80.0%           88.9% - 96.0%         80.0% - 92.3%           96.0% - 104.2%         92.3% - 108.3%           104.2% - 112.5%         108.3% - 125.0%	

(selon Nemecek & Baumgartner, 2006)

# ANALYSE DES COMPOSES AZOTES DES FUMIERS DE VOLAILLE DE CHAIR PAR SPECTROMETRIE DANS LE PROCHE INFRA-ROUGE (SPIR). APPLICATION A L'ETUDE DE LA VARIABILITE INTRA- ET INTER-ELEVAGE

Bastianelli Denis <sup>1</sup>, Lescoat Philippe <sup>2</sup>, Bouvarel Isabelle <sup>3</sup>, Hervouet Catherine <sup>1</sup>

<sup>1</sup>CIRAD, Systèmes d'élevage et produits animaux, Campus de Baillarguet, TA30/A, 34398 Montpellier cedex 05.

<sup>2</sup>INRA, UR83 Recherches Avicoles, 37380 Nouzilly. <sup>3</sup>ITAVI, UR83 Recherches Avicoles, 37380 Nouzilly.

Ce travail a été réalisé dans le cadre de l'Unité Mixte Technologique BIRD (Biologie et Innovation pour la Recherche et le Développement en aviculture)

### RÉSUMÉ

Les préoccupations environnementales rendent nécessaire une gestion très précise des effluents. La connaissance de la composition des fumiers est un élément important mais les analyses chimiques sont lourdes à mettre en œuvre (délai, coût).

Cette étude a porté sur l'évaluation de la spectrométrie dans le proche infrarouge (SPIR) pour la mesure des composés azotés des fumiers. L'analyse d'une centaine d'échantillons a permis la mise au point de la technique SPIR (calibration de l'appareil). Les performances des calibrations obtenues ont été très bonnes, avec des relations entre mesures SPIR et mesures de référence (critères : R² et erreur type) de 0.99 et 0.09 pour l'azote total ; 0.99 et 0.02 pour NH<sub>3</sub> ; 0.97 et 0.32 pour l'acide urique ; 0.98 et 0.06 pour azote protéique ; 0.92 et 0.88 pour les matières minérales respectivement.

Les calibrations obtenues ont servi à l'analyse de 245 échantillons prélevés dans 18 élevages (poulets et dindes), permettant l'étude des facteurs de variation de la composition des fumiers. Le type d'élevage avait un effet important, avec notamment des composés azotés significativement plus élevés dans les fumiers de dindes. Les fumiers de poulets certifiés avaient des teneurs en azote total, acide urique et azote protéique supérieures à ceux des poulets standard et label. La zone de prélèvement était également importante avec des différences significatives entre les zones abreuvoir, mangeoire et dortoir. Il est donc essentiel de faire des prélèvements dans plusieurs zones pour représenter l'ensemble du bâtiment.

### ABSTRACT

Environmental issues require a very rigorous management of effluents in poultry farming. The chemical composition of manure is an important parameter but the cost of chemical analyses (price, time) is high.

The present study concerned the evaluation of near infrared spectroscopy (NIRS) as a tool to for the determination of nitrogenous compounds in poultry manure. The laboratory analysis of about one hundred samples allowed the development of NIRS technique (spectrometer calibration). The performance of the calibration equations obtained were very satisfactory. The relationships between NIRS measurements and laboratory results (criteria:  $R^2$  and standard error of calibration) were 0.99 and 0.09 for total nitrogen; 0.99 and 0.02 for NH $_3$ ; 0.97 and 0.32 for uric acid; 0.98 and 0.06 for protein nitrogen; 0.92 and 0.88 for total minerals respectively.

These calibrations were used for the analysis of 245 samples collected in 18 poultry sheds (chickens and turkeys), allowing the study of the factors of variation of manure composition. The type of production had a major effect, with in particular a level of all nitrogenous compounds significantly higher in turkey manures. Samples from "Certified" type chicken production had higher total nitrogen, uric acid and protein nitrogen than those from standard or "Label" chicken. The location of sample within the poultry shed was also important, showing significant differences between Drinker, Feeder and Dormitory zones. It is therefore essential to collect samples in all zones for a good representation of the whole building.

### 1. INTRODUCTION

Dans les régions à forte densité d'élevage, les pressions environnementales et réglementaires incitent les éleveurs à diminuer les rejets et à pratiquer une meilleure gestion des fumiers. Les caractéristiques des effluents sont liées au type d'élevage, aux pratiques d'élevage (gestion du fumier, etc.), aux performances des animaux et aux caractéristiques nutritionnelles des aliments.

L'un des facteurs limitants de la caractérisation des effluents est la nécessité de réaliser de nombreuses analyses chimiques (coût, délai de réponse). La technique de spectrométrie dans le proche infrarouge (SPIR), méthode rapide et peu onéreuse, pourrait être une aide importante. La SPIR a été utilisée depuis de nombreuses années pour analyser la composition (humidité, protéines, fibres, lipides, etc.) des fourrages et matières premières (Kemper et Luchetta, 2003). Plus récemment elle a été utilisée pour analyser des matières organiques de composts (Thuriès et al. 2005) et d'effluents d'élevage (Millmier et al., 2000; Reeves, 2001)).

L'adaptation de la SPIR à l'analyse des fumiers dans nos conditions d'élevage permettrait une caractérisation plus fréquente et précise des effluents, afin de pouvoir optimiser leur gestion et leur valorisation. Cette mise au point passe par la « calibration » de l'appareil, c'est-à-dire la mise en relation entre les spectres infrarouge et des analyses de laboratoire. Des résultats prometteurs ont déjà été obtenus au CIRAD sur des fientes de volailles (Bastianelli *et al.*, 2003).

Cette étude visait à étudier les possibilités de calibration pour les composés azotés des fumiers. Dans une perspective de compréhension et modélisation des flux d'azote dans les élevages, il était utile de s'intéresser non seulement à l'azote total (Nt), mais également à l'ammoniac (NH<sub>3</sub>), à l'acide urique (AU) et à l'azote protéique (PROT). Le fait de réaliser de nombreuses mesures dans chaque bâtiment avait pour but d'étudier l'effet des protocoles d'échantillonnage, d'améliorer en vue représentativité. L'étude devait également contribuer à réactualiser les données sur la composition des fumiers dans les différents types d'élevage

### 2. MATERIELS ET METHODES

### 2.1. Provenance des échantillons

Les échantillons de fumiers ont été collectés aux mois de novembre et décembre 2004 dans 18 élevages des Pays de la Loire (5 poulets standard, 7 poulets label, 4 poulets certifiés et 2 dindes standard). Les prélèvements ont été réalisés en collaboration avec

des étudiants de l'ESA d'Angers, selon l'approche proposée par C. Aubert (Aubert et al., 1997). Pour chaque bâtiment, les zones Mangeoire, Abreuvoir et Dortoir ont été définies. Des prélèvements ont été réalisés dans chacune de ces zones, puis échantillonnés directement (échantillon individuel) ou en mélange avec les autres prélèvements de la même zone (échantillon composite). Les échantillons ont ensuite été congelés et envoyés au laboratoire du CIRAD à Montpellier. Il y avait en moyenne 14 échantillons par bâtiment, représentant au total 245 échantillons de fumiers.

### 2.2. Analyses de laboratoire

Une étude préliminaire a permis de préciser le mode de préparation des échantillons. En effet, les analyses de laboratoire demandant seulement quelques grammes d'échantillon, un sous échantillonnage des fumiers frais ne peut être envisagé car le matériau est trop hétérogène. La prise d'échantillons devait donc être réalisée sur des échantillons séchés et broyés. Le séchage provoquant une perte d'azote volatilisation (NH<sub>3</sub>), les échantillons ont été préalablement acidifiés (acide chlorhydrique 0.3M jusqu'à imprégnation) avant passage à l'étuve à 60°C jusqu'à poids constant (24h à 48h). On a pu montrer que ce protocole limitait largement les pertes de NH<sub>3</sub>, tout en n'affectant pas les autres composés azotés (AU et PROT). Les échantillons ont ensuite été broyés à 0.5mm (nécessaire pour les analyses chimiques pratiquées).

Un total de 102 échantillons a été analysé au laboratoire par les méthodes classiques: teneur en humidité résiduelle (HUM), matières minérales (MM), Azote total (Méthode Kjeldahl), azote ammoniacal (par distillation directe avec MgO), Acide Urique (méthode Marqardt *et al.* 1983), et azote protéique (méthode Terpstra et de Hart, 1974).

### 2.3. Spectrométrie dans le proche infrarouge

Le spectre dans le proche infrarouge a été mesuré sur un spectromètre FOSS NIRSystem 6500 en mode réflectance, sur les échantillons en poudre présentés dans des coupelles. Les longueurs d'onde utilisées vont de 1100 à 2500nm avec un pas de 2nm. Les spectres ont ensuite été soumis à un prétraitement mathématique (dérivée seconde, normalisation et correction de la ligne de base). Le calcul des équations de prédiction a été fait à partir des 102 échantillons pour lesquels on disposait d'une valeur de référence, avec la procédure de régression PLS (Partial Least Square) du logiciel WINISI (Infrasoft International). Les performances des équations de prédiction sont caractérisées par leur coefficient de détermination (R2), leur écart-type résiduel (SEC) et leur écart-type de validation croisée (SECV). Le

rapport entre l'écart type de la population et le SECV (RPD) a été calculé comme critère synthétique de la qualité des équations.

La composition chimique des 245 échantillons de l'étude a été prédite avec les équations de prédiction obtenues. Les travaux d'interprétation des données ont par la suite toujours été faits sur les données prédites, même pour les 102 échantillons dont on avait déterminé la valeur chimique au laboratoire, afin d'avoir des données de nature homogène.

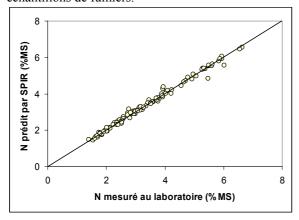
### 3. RESULTATS ET DISCUSSION

### 3.1. Equations de calibration SPIR

Les spectres des fumiers de dindes et de poulet pouvaient être distingués, mais la population était néanmoins assez homogène pour pouvoir être étudiée globalement.

Les caractéristiques des équations de calibration obtenues sont présentées dans le tableau 1. La prédiction de la teneur en azote total est très précise (R<sup>2</sup>=0.995, SEC=0.09, RPD=10.3) comme l'illustre la figure 1. On voit que la relation entre les valeurs mesurées au laboratoire et prédites par SPIR est extrêmement fiable, ce qui permet d'utiliser la valeur SPIR sans perdre de précision. Les prédictions de NH<sub>3</sub> et d'azote protéique sont également très précises. La prédiction de la teneur en acide urique est légèrement moins précise, mais reste tout à fait satisfaisante (R<sup>2</sup>=0.97, SEC=0.32). Enfin la teneur en matières minérales totales est moins bien prédite, ce qui est un résultat classique puisque la SPIR se base sur les liaisons des molécules organiques – les MM sont donc dosées « par défaut ».

**Figure 1.** Prédiction de la teneur en azote total de 102 échantillons de fumiers.



La précision des équations a été supérieure à la plupart des résultats publiés jusqu'ici (Tasistro *et al.*, 2003), probablement grâce à la standardisation de la préparation des échantillons et au soin apporté aux analyses de laboratoire. En routine, on pourrait

s'attendre à des performances un peu plus faibles dans le cas d'échantillons moins bien homogénéisés et préparés dans des conditions de terrain moins rigoureuses que celle du laboratoire. Dans le cas présent, la qualité des équations de calibration obtenues permet la prédiction très fiable de la composition d'échantillons de même nature que ceux utilisés dans la calibration. Dans un premier temps, elles ont permis de prédire la composition des échantillons de cette expérimentation qui n'avaient pas été analysés au laboratoire.

### 3.2. Composition des fumiers et protocoles d'échantillonnage

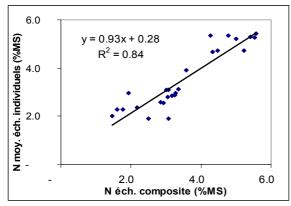
Les différences de composition des fumiers entre les différents types d'élevage ont été significatives dans la plupart des cas, comme le montre le tableau 2. Les fumiers de dindes (DI) étaient très différents de ceux des poulets en général. Parmi les poulets, les certifiés (PC) avaient des teneurs en Nt, AU et PROT largement supérieures aux standards (PS) et labels (PL), ces deux dernières catégories étant plus proches l'une de l'autre.

Le tableau 3 montre la composition des fumiers dans les différentes zones des prélèvements. Dans les élevages de dindes, des différences significatives ont été observées pour tous les paramètres, la zone dortoir (D) ayant des teneurs significativement inférieures en Nt, Au et NH<sub>3</sub> et supérieure en PROT par rapport aux zones mangeoire (M) et abreuvoir (A). Dans les élevages de poulets, la teneur en azote total n'était pas significativement différente entre les zones, mais il y avait des différences pour les autres composants. Cependant ces différences n'étaient pas toujours équivalentes entre les différents types d'élevage.

Ces résultats montrent l'importance d'effectuer plusieurs prélèvements dans différentes zones des bâtiments, puisque la composition varie au sein du bâtiment ainsi qu'entre les prélèvements d'une même zone. On peut ensuite se demander s'il est plus précis d'analyser individuellement ces prélèvements ou de les rassembler en un échantillon proportionnel composite unique censé représenter le bâtiment. Cette dernière solution est bien entendu avantageuse sur le plan pratique. Pour l'évaluer des prélèvements composites ont été réalisés lors de cette expérience, en rassemblant les échantillons par zone et d'autres sur l'ensemble du bâtiment. En moyenne la teneur en Nt des échantillons globaux par bâtiment représentait 91% de la moyenne des prélèvements individuels. Cette valeur était de 98% pour NH<sub>3</sub>, 90% pour AU, 91% pour PROT et 95% pour MM. Il y a donc une tendance à la sous estimation des teneurs lors des mélanges, peut être due à la pondération entre les zones retenue dans nos estimations, ou à une tendance à prendre des échantillons plus superficiels lors de la collecte. La figure 2 présente la relation entre la

teneur en Nt des échantillons composites et celle calculée d'après les échantillons individuels. La relation est bonne (R<sup>2</sup>=0.84) mais montre clairement la variabilité des données.

**Figure 2.** Teneur en Nt estimée d'après l'analyse d'échantillons composites ou la moyenne d'échantillons individuels



Les corrélations entre la teneur en azote total Nt et les autres composés azotés sont relativement faibles : dans les échantillons de fumiers de poulet, R²=0.03 avec NH3, R²=0.41 avec AU et R²=0.63 avec PROT. Cela signifie qu'on ne peut généralement pas estimer ces paramètres à partir de Nt : leur connaissance nécessite donc une mesure directe – au laboratoire ou par SPIR.

### **CONCLUSION**

La spectrométrie dans le proche infrarouge permet d'estimer précisément la composition d'échantillons de fumiers. Ceci confirme des études antérieures (p. ex. Reeves, 2001) mais qui avaient été réalisées seulement pour Nt et l'humidité. L'étape de calibration représente un travail analytique important, qui devrait être poursuivi si l'on souhaitait avoir une méthode de prédiction adaptée à l'ensemble des conditions que l'on peut rencontrer sur le terrain. D'autres paramètres de composition comme la teneur en cellulose ou en lignine peuvent être prédits. Par

contre la SPIR ne permet généralement pas la prédiction fiable de la teneur en minéraux individuels (P par exemple) car elle est basée sur les liaisons chimiques organiques.

Le problème principal reste l'échantillonnage qui nécessite des protocoles rigoureux, puis la préparation des échantillons. Des spectromètres permettant la prise directe de spectres in situ existent, et sont relativement fiables, mais leur utilisation sur le terrain se heurte à la difficulté de prendre des spectres de fumiers extrêmement représentatifs frais, L'exploitation hétérogènes. de ces outils potentiellement intéressants nécessiterait donc une phase de mise au point pratique.

### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Aubert C., Guiziou F. 1997. Sciences et Techniques. Avicoles 19: 21-31.

Bastianelli D., Davrieux F., Friot D., Hervouet C., Lessire M., 2003. *In* AMC Davies and A Garrido-Varo (editors). Proceedings of the 11th International Conference on NIRS, Cordoba (Spain). NIR Publications, UK. 739-742.

Kemper M.S., Luchetta L.M., 2003. J. Near Infrared Spectrosc. 11:155-174.

Marqardt R.R., 1983. Poult. Sci. 62 (12): 2106-2108. Reeves J.B., 2001. J. Agric. Food Chemist. 49 (5), 2193

Millmier, A., Lorimor J., Hurburgh C., Fulhage C., Person H., Hattey J., Zhang H., 2000. ASAE Transactions 43: 903-908.

Tasistro A.S., Shaaban S., Kissel D.E., Vendrell P.F., 2003. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 34:1367-1379.

Terpstra K., de Hart N., 1974. Z. Tierphysiol., Tierernährg. U. Futtermittelkde. 32 : 306.

Thuriès L., Bastianelli D., Davrieux F., Bonnal L., Oliver R., Pansu M., Feller C., 2005. J. Near Infrared Spectrosc. 13: 187-199.

Tableau 1. Performances des équations SPIR développées sur les échantillons de fumiers

	Analyses (%MS)	Moy.	E.T.	R <sup>2</sup>	SEC	SECV	RPD
Nt	Azote Total	3.4	1.3	1.00	0.09	0.13	10.3
$NH_3$	Ammoniac sur sec	0.4	0.3	0.99	0.02	0.04	6.6
$\mathbf{AU}$	Acide urique	3.2	1.8	0.97	0.32	0.46	4.1
<b>PROT</b>	Azote protéique	1.9	0.5	0.98	0.06	0.09	5.5
MM	Mat. Minérales	13.1	3.2	0.92	0.88	1.04	3.1

Mesures de référence au laboratoire : Moy, moyenne; E.T., écart type; Modèle SPIR : R², Coeff. de détermination; SEC, Ecart type résiduel ; SECV, écart type de la validation croisée, RPD=ET/SECV

Tableau 2. Composition moyenne des fumiers selon le type d'élevage (%MS)

	Nt	NH <sub>3</sub>	AU	PROT	MM
Dinde	4.8a	0.68a	4.7a	2.3a	17.0a
P. Standard	2.6d	0.31b	2.4c	1.6c	10.9c
P. Certifié	3.4b	0.22c	3.1b	2.2a	14.2b
P. Label	2.9c	0.34b	2.1c	1.8b	17.7a

a,b,c,d : Des lettres différentes dans une même colonne indiquent des différences significatives entre types de production (p<0.05)

**Tableau 3.** Composition moyenne des fumiers (% MS) selon la localisation du prélèvement (A, Abreuvoir ; D, Dortoir; M, Mangeoire)

	Nt			$NH_3$			MM		
	Α	D	M	A	D	M	A	D	M
Dinde	5.1a	4.3b	5.4a	0.77a	0.56b	0.79a	16.2b	18.5a	16.2b
P. Standard	2.4a	2.8a	2.1a	0.31b	0.37a	0.20c	10.4ab	11.8a	9.3b
P. Certifié	3.3a	3.3a	3.4a	0.24a	0.22ab	0.18b	14.5a	14.3ab	13.7b
P. Label	3.1a	2.7a	2.9a	0.43a	0.31b	0.28b	18.6a	17.2b	17.2ab

a,b,c,d: Des lettres différentes dans une même ligne indiquent des différences significatives entre zones (p<0.05)

# ANALYSE DES RELATIONS ENTRE DIFFERENTES LESIONS INDICATRICES DU BIEN-ETRE CHEZ LE POULET DE CHAIR

Mirabito Luc<sup>1</sup>, Colas Murielle<sup>1</sup>, Arnould Cécile<sup>2</sup>, Allain Virginie<sup>3</sup>, Michel Virginie<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ITAVI, 28 rue du Rocher, 75 008 Paris <sup>2</sup> PRC, UMR 6175, Centre INRA de Tours, 37 380 Nouzilly <sup>3</sup> AFSSA, Zoopôle Beaucemaine, 22440 Ploufragan

### RÉSUMÉ

L'approche développée par la Commission européenne sur le bien-être des poulets, basée sur une obligation de résultats implique une évaluation du bien-être des animaux en routine. Cependant, la proposition de Directive publiée en 2005 et inspirée du système mise en place en Suède fait reposer cette évaluation sur deux critères mesurés. Compte tenu des éléments scientifiques disponibles qui suggèrent la nécessité d'une approche multicritère, l'objectif de cette étude était d'analyser les relations entre différentes lésions indicatrices du bien-être mesurées à l'abattoir afin d'estimer la pertinence d'un système simplifié.

Les mesures ont été réalisées sur 55 lots d'élevage tirés au hasard dans 8 abattoirs de l'ouest de la France entre mai 2005 et mai 2006. A l'abattoir, ont été observées les pododermatites au niveau des coussinets plantaires, les lésions au niveau des tarses, la présence de griffures au niveau de la face dorsale et des cuisses, la présence de lésions et d'ampoules au niveau du bréchet.

L'étude des corrélations et l'ACP entre les différents types de lésions ont fait apparaître des corrélations positives entre les lésions des tarses « graves » et, d'une part, les pododermatites graves et, d'autre part, les lésions du bréchet (P<0,001). La présence d'ampoules était corrélée positivement aux pododermatites « mineures » et tarses sans lésion (respectivement P<0,01 et P<0,05). Enfin, les griffures étaient corrélées négativement aux lésions tarsiennes graves et aux lésions du bréchet (P<0,02).

En conclusion, l'analyse de ces relations montre que l'évaluation du bien-être des animaux à l'abattoir devrait reposer sur une approche multicritère. De plus, des études restent à conduire en élevage pour prendre en compte d'autres critères.

### **ABSTRACT**

The new approach developed by the European Commission on the welfare of chickens based on an obligation of results implies an evaluation of the welfare of the animals in routine. However, the proposal for a Directive published in 2005 and inspired by the system used in Sweden consists in two measured criteria. Taking into account the scientific elements available which suggest a multi-criterion approach, the objective of this study was to analyze the relations between various lesions indicating of the welfare and measured at the slaughterhouse in order to estimate the relevance of a simplified system.

The monitoring was carried out on 55 flocks between May 2005 and May 2006. Farms were chosen randomly in 8 slaughterhouses of the West of France. Each flock was controlled at slaughterhouse, for foot pad dermatitis, hock burn, breast burn, breast blister and back/leg scratches.

Analysis of the correlations between the different variables show that severe hock burn was correlated with (1)severe foot pad dermatitis (P<0.001) and with (2) breast burn (P<0.0001). Breast blister was linked to (1) absence or minor foot pad dermatitis (P<0.01) and to (2) absence of hock burn (P<0.05). Scratches were negatively correlated with (1) severe hock burn (P<0.02) and with (2) breast burn (P<0.02).

In conclusion, these results suggest that the monitoring of welfare at slaughterhouse should be based on different criteria and further studies have to be carried out during the rearing period to take into account other criteria.

### 1. INTRODUCTION

Depuis la publication du rapport sur le bien-être des poulets en 2000 par la Commission européenne, une approche nouvelle de la réglementation en matière de bien-être a été initiée, basée sur une « obligation de résultats » plutôt « obligation de moyens ». Dans ce contexte, en mai 2005, la Commission a publié un projet de Directive sur le bien-être des poulets de chair qui prévoit une évaluation du bien-être animal au travers de la fréquence des pododermatites et de la mortalité évaluées à l'abattoir. Ce système, inspiré de celui mis en œuvre en Suède depuis une quinzaine d'années (Ekstrand et al., 1998), ne reprend que très partiellement les éléments du rapport scientifique qui mettait en avant la difficulté d'interprétation d'un taux de mortalité global et envisageait la question des problèmes de bien-être angle plus large: troubles un développement, troubles locomoteurs, dermatites, restrictions comportementales, ascites et syndrome de la mort subite pour ne citer que les principaux. La question de l'évaluation du bien-être en élevage fait aujourd'hui l'objet d'un projet européen WelfareQuality® (Arnould, 2007). Parallèlement à ce projet, nous avons voulu analyser les relations entre différentes lésions mesurables à l'abattoir et susceptibles d'être considérées comme des indicateurs de bien-être. Secondairement, cette étude nous a permis d'en estimer la prévalence en France. Ce travail faisait suite à une étude bibliographique et méthodologique au cours de laquelle ont été choisies les lésions cutanées

### 2. MATERIEL ET METHODES

mesurées (Colas et al., 2005).

### 2.1. Echantillon

Nous avons procédé à un tirage au sort de notre échantillon au sein de la population des lots de poulets abattus entre mai 2005 et mai 2006 dans 8 abattoirs des régions Bretagne et Pays de la Loire. Au total, 55 lots de poulets de chair (hors type label Rouge) ont fait l'objet d'une évaluation des lésions cutanées en abattoir durant cette période.

### 2.2. Mesures

### 2.2.1. Les pododermatites

Les pododermatites ont été notées en fonction de la profondeur et de la surface relative du coussinet atteinte (Colas et al., 2005 – tableau 1). Une seule patte était observée par animal. La présence ou l'absence d'une atteinte des coussinets digitaux par une érosion ou un ulcère était également relevée.

 $\frac{http://ec.europa.eu/food/animal/welfare/farm/initiati}{ves\ en.htm}$ 

**Tableau 1.** Classification utilisée pour la notation des pieds

	Taille de l'atteinte [% du coussinet]					
	<25%	[25-50%]	>50%			
Pas de lésion ou guérison	Podo0					
Kératose/papillome	Podo1	Podo2	Podo3			
Erosion ou papillome avec coloration brunâtre)	Podo4	Podo5	Podo6			
Ulcère	Podo7	odo7 Podo8 Po				

### 2.2.2. Les dermatites des tarses

La classification des lésions des tarses était réalisée selon le même principe que celui mis en œuvre pour les pododermatites, sur une seule patte, en combinant une évaluation basée sur la profondeur apparente de la lésion et sa surface (tableau 2).

**Tableau 2.** Classification utilisée pour la notation des tarses

	Tai	Taille de l'atteinte [cm²]							
	< 0,25cm <sup>2</sup>	[0,25-0,50 cm <sup>2</sup> ]	> 0,50cm <sup>2</sup>						
Pas de lésion	Tars0								
Lésion modérée (superficielle et coloration rose à brune)	Tars4	Tars5	Tars6						
Lésion grave avec présence de croûte noire	Tars7	Tars8	Tars9						

### 2.2.3. Les griffures observées en face dorsale

Dans cette étude, nous avons considéré toute trace de lésions linéaires observées en face dorsale et sur les cuisses, indépendamment de sa coloration (brun à rouge), de sa profondeur et de sa dimension. Toute carcasse porteuse d'au moins un signe était notée positive.

### 2.2.4. Les lésions observées en face ventrale

Nous avons considéré deux types de lésions : les ampoules et les croûtes du bréchet qui correspondent à des dermatites. Toute carcasse porteuse d'au moins un signe, indépendamment de sa gravité, était notée positive.

### 2.3. Réalisation des observations

Pour chaque type de lésions, un objectif de 400 poulets observés avait été initialement fixé après une simulation de la précision obtenue en fonction de la prévalence attendue. Ce nombre a été modulé, pour des raisons pratiques, en fonction de la taille du lot et de la vitesse d'avancement de la chaîne d'abattage. Les observations ont été réparties sur l'ensemble de l'abattage en 4 séries de mesure comprenant le même nombre d'observations. Elles étaient réalisées à la sortie de la plumeuse avant le poste de saisie.

Deux observateurs se sont succédés au cours de cette étude, le premier observant 45 lots et le second les 10 derniers lots après une période de formation et de standardisation avec le premier observateur.

### 2.4. Analyses statistiques

La proportion de carcasses atteintes a été calculée pour chaque lésion observée en abattoir, et cela pour tous les lots (unité statistique) de poulets observés. Puis la moyenne de ces proportions par type de lésion a été calculée afin d'estimer la prévalence brute des lésions, présentée dans le texte et les tableaux sous la forme moyenne±écart-type. Les regroupements de variables et l'analyse des liens entre celles-ci ont été effectués par analyse des corrélations non paramétriques et des analyses en correspondances principales (ACP). corrélations entre variables étaient considérées comme significatives pour un P<0,05. Pour les ACP, la qualité de représentation était considérée comme bonne avec une contribution relative à la construction des axes supérieure à 0,5. Les ACP ont été réalisées sous le logiciel Spad 5 avec la procédure « copri » et les corrélations sous SAS.

### 3. RESULTATS

### 3.1. Description de l'échantillon

Les données rapportées ici ont été obtenues sur un sous-échantillon de 36 lots (sur 55) pour lesquels l'ensemble des informations d'élevage était disponible. Les poulets ont été abattus en moyenne à  $40.5 \pm 4.4$  jours pour un poids moyen de  $1.75 \pm 0.24$  kilogrammes. A la mise en place, la densité moyenne était de 22.7 animaux/m². Nous ne rapportons pas les autres caractéristiques de ces élevages puisqu'elles ne seront pas analysées ici. La représentativité de notre échantillon a toutefois été validée par rapport à une base de 400 lots échantillonnés aléatoirement et contrôlés à la même période et sur la même région dans le cadre d'une autre étude.

### 3.2. Prévalences des différentes lésions observées en abattoir et redéfinition des classes

Les pododermatites

Sur l'ensemble des 55 lots, 17 081 pattes ont été observées en abattoir. En moyenne, 1,5±4,3% des poulets ne présentaient pas de lésions ou étaient porteurs de signe de guérison et 70±29% des animaux étaient porteurs de lésions ulcéreuses (tableau 3). Enfin, la fréquence d'atteinte des coussinets digitaux était de 35±22%.

L'étude descriptive de la fréquence des différentes classes de notation au sein de chaque lot suggérait une certaine homogénéité intra-lot du degré d'atteinte des animaux. L'étude des corrélations entre les notations des pattes a montré que : les variables Podo1 à 4 étaient corrélées positivement (P≤0,001) tandis que la variable Podo0 était

corrélée positivement à la variable Podo4 (P=0,001). De même, les variables Podo5 et Podo6 étaient corrélées positivement (P<0,001). Enfin, la variable Podo8 était corrélée négativement aux variables Podo0 à 6 (P<0,05) et la variable Podo9 était corrélée négativement aux variables Podo1 à 4 et Podo7 (P<0,05). La représentation graphique de l'ACP (les 2 premiers axes représentaient 59,5% de la variabilité) confirmait cette analyse. L'axe 1 montrait une opposition entre les variables Podo0 à 4, d'une part, et les variables Podo8 et Podo9, d'autre part. Sur la base de ces analyses, nous avons procédé à un regroupement en trois classes : lésions mineures ou absentes (classe PG1=Podo0 + Podo1 + Podo2 + Podo3 + Podo4), lésions modérées (classe PG 2=Podo5 + Podo6 + Podo7) et lésions graves (classe PG 3=Podo8 + Podo9). La variable Podo 7 était corrélée négativement à la variable Podo 9 (P<0,001) représentant les lésions graves. Pour cette raison, elle a été regroupée avec les variables Podo 5 et Podo 6 représentant les lésions modérées.

**Tableau 3.** Fréquences (%) et écart-types des classes de notation des pododermatites (n=55)

	Taille de	Taille de l'atteinte [% du coussinet]							
	<25%	[25-50%]	>50%						
Pas de lésion	$1,5 \pm 4,3$								
Lésion mineure	$1,4 \pm 3,6$	$3,4 \pm 6,5$	$2,6 \pm 4,8$						
Lésion modérée	$13,9 \pm 13,4$	$5,2 \pm 9,1$	$1,2 \pm 3,0$						
Lésion grave	$17,2 \pm 10,1$	$40,0 \pm 23,0$	$13,6 \pm 15,4$						

Les lésions des tarses

Les lésions des tarses n'ont pu être relevées que sur 52 lots et 16 410 tarses. En moyenne 41,0±21,0 % des poulets ne présentaient pas de lésions. Les animaux atteints présentaient majoritairement des lésions modérées de taille inférieure à 0,25cm² (37,8±11,8 % - tableau 4).

**Tableau 4.** Fréquences (%) et écart-types des classes de notations des lésions de tarses (n=52)

	Taill	Taille de l'atteinte [cm²]				
	<0,25cm <sup>2</sup>	[0,25- 0,5]cm <sup>2</sup>	>0,5cm <sup>2</sup>			
Pas de lésion	$41,0 \pm 21,0$					
Lésion modérée	$37.8 \pm 11.8$	$3,3 \pm 2,9$	$0.8 \pm 1.0$			
Lésion grave	$9,0 \pm 7,6$	$4,7 \pm 5,9$	$3,4 \pm 5,9$			

Les mêmes types d'analyses que ceux réalisés pour les pododermatites nous ont conduit à proposer un regroupement en 3 classes : absence de lésions (classe TG1=Tars0 corrélée négativement aux autres variables – P<0,01), lésions modérées (classe TG2= Tars4+ Tars5+Tars6 corrélées positivement entre elles - P<0,001) et lésions graves (classe TG3= Tars7+Tars8 +Tars9 corrélées positivement entre elles - P<0,001).

Les autres lésions

Les lésions de griffures ont été relevées sur 48 lots. En moyenne, 79,7±13,1% des carcasses présentaient un signe d'atteinte. La prévalence des ampoules était de 4,2±5,2% et la prévalence des croûtes du bréchet était de 15,8±14,4%.

### 3.3. Corrélations entre les différentes lésions

L'étude des corrélations entre les notations des lésions (tableau 5) montrait que les pourcentages des coussinets plantaires atteints de lésions mineures ou modérées (PG1 et PG2) et des tarses sans lésions (TG1) étaient corrélées positivement (P<0,001). Le pourcentage de pododermatites graves (PG3) était corrélé positivement au pourcentage de lésions tarsiennes modérées (TG2) et graves (TG3) (P<0,05 et P<0,001). Le pourcentage des lésions des coussinets digitaux (Pododoi) était corrélé positivement au pourcentage de lésions tarsiennes et pododermatites graves (TG3, PG3) (P<0,001).

Le pourcentage de croûtes du bréchet (Croûtes) était corrélé positivement au pourcentage de lésions tarsiennes graves (TG3) (P<0,001) et négativement au pourcentage de tarses sans lésion (TG1) (P<0,05). Le pourcentage d'ampoules (Ampoule) était corrélé positivement au pourcentage de pododermatites mineures (PG1) et au pourcentage de tarses sans lésion (TG1) (respectivement P<0,01 et P<0,05). Enfin, le pourcentage de griffures (Griffures) était corrélé négativement au pourcentage de lésions tarsiennes graves (TG3) et de croûtes (Croûtes) (P<0,02).

La représentation graphique de l'ACP (figure 1) fait apparaître sur l'axe 1 une opposition entre, d'une part, l'absence de lésion, la présence de lésions modérées des coussinets plantaires et l'absence de lésions des tarses (PG1, PG2, TG1) et, d'autre part, la présence de lésions graves des pattes (PG3, Pododoi, TG3). L'axe 2 traduit une opposition entre la présence de griffures et la présence des lésions tarsiennes graves (TG3) et des croûtes du bréchet.

### 4. DISCUSSION ET CONCLUSION

L'étude des corrélations entre critères montre que, compte tenu des corrélations négatives ou de l'absence de corrélation observées entre certaines lésions, l'évaluation du bien-être des poulets à l'abattoir devrait prioritairement reposer sur une approche multicritères incluant, sur la base de ces résultats, au moins les dermatites des pattes (coussinets plantaires et tarses pouvant éventuellement se substituer les uns aux autres compte tenu des corrélations observées et sous réserve qu'une relation quantifiée entre les deux pourcentages d'atteintes soit établie de manière fiable), les dermatites du bréchet, les griffures et les ampoules. Globalement, il apparaît cependant des corrélations positives entre les dermatites de contact (coussinet plantaire, tarse et bréchet) qui s'expliquent sans doute par des facteurs de causalité commun notamment l'état de la litière (Greene et al., 1985; McIlroy, 1987). Plusieurs études montrent une chronologie dans le développement de ces lésions avec une apparition précoce des pododermatites et une apparition plus tardive des dermatites du tarse et de celles du bréchet notamment dans les conditions d'élevage classiquement rencontrées en France (Mirabito et al., 2007). Cette chronologie pourrait être à l'origine du fait que, dans nos observations, seules les dermatites du tarse, qui sont peut-être à la fois sous la dépendance de phénomènes précoces et tardifs, apparaissent corrélées aux deux autres. Cependant, cette hypothèse n'est pas la seule possible puisque nous avons aussi pu constater une liaison négative entre la fréquence des dermatites graves des pattes et les ampoules. S'il convient d'être prudent dans l'interprétation de ce résultat compte tenu de la fréquence des lots dans lesquels les ampoules ont été observées, nous avons cependant pu constater que celles-ci tendaient à être plus fréquentes chez certaines souches que chez d'autres. On pourrait supposer que les souches ont une « sensibilité » différente aux différents types de lésions en relation avec leurs caractéristiques morphologiques, leur croissance ou leur comportement. Cette hypothèse est cohérente avec les observations de Kestin et al. (1999) qui ont observé fréquences différentes des pododermatites et de dermatites des tarses entre plusieurs souches commerciales (bréchet non évalué). Mais, il n'est pas exclu non plus que les caractéristiques de la litière favorable au développement des ampoules soient différentes de celles favorables au développement des dermatites. Par ailleurs, l'opposition observée dans nos données entre la fréquence des griffures, d'une part, et les dermatites des tarses ou du bréchet, d'autre part, s'explique sans doute par des différences de comportement des animaux. Les poulets actifs sont sans doute plus sujets aux griffures que des poulets inactifs. Ces derniers étant plus longtemps en contact avec la litière, ils ont plus de risque de développer des dermatites de contact.

La fréquence des griffures observée dans cette étude appelle une remarque méthodologique. Le choix initial était de considérer l'ensemble des signes observés sur les carcasses. Dans leur grande majorité, ces signes sont bénins et un travail complémentaire réalisé récemment nous a permis de quantifier plus finement les griffures graves et anciennes qui représentent environ un quart des griffures telles que définies dans cette étude (données non publiées). Il serait par conséquent intéressant d'affiner la description de ces lésions dans les études futures.

De même, les fréquences observées notamment en terme de pododermatites sont difficiles à comparer avec les autres études sur le sujet (Ekstrand et al. 1997 ; Martrenchar et al., 2002 ; Dawkins et al., 2004) compte tenu des différences de caractérisation des lésions relevées entre ces études. Cela n'empêche pas de constater cependant une très grande variabilité des prévalences de lésions définies comme « graves » par chacun de ces auteurs. Aussi, ces différents éléments semblent militer en faveur d'une approche européenne concertée qui permettrait de prendre en compte la diversité des conditions d'élevage.

En conclusion, si nos résultats semblent montrer que l'évaluation du bien-être à l'abattoir doit nécessairement reposer sur une approche multicritères, il nous paraît aussi nécessaire que soit maintenant posée la question des relations entre les critères observables en élevage et ceux observés à l'abattoir, sans doute le principal challenge des prochains travaux réalisés dans le cadre du projet européen WelfareQuality®. De même, il conviendra, pour notre échantillon, de finaliser l'analyse en cours des facteurs d'élevage afin de fournir aux éleveurs des leviers d'action.

### REMERCIEMENTS

Nous remercions l'ensemble des entreprises et la FIA qui nous ont aidés dans la réalisation de ce travail. De même, nous remercions les services vétérinaires des différents sites d'abattage pour leur collaboration. Ce travail a reçu le soutien financier de l'enveloppe MRT/ACTA, du fonds DAR et de la DGAL.

### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Arnould C. 2007 Septièmes Journées de la Recherche Avicole, Tours, 28 et 29 mars 2007 Colas, M., Mirabito L., Arnould, C., Michel, V., 2005. Journée Nationale Volaille de chair, Pacé, ITAVI Ed.

Dawkins M S; Donnelly CA; Jones TA; 2004; *Nature*; 427; p342-344

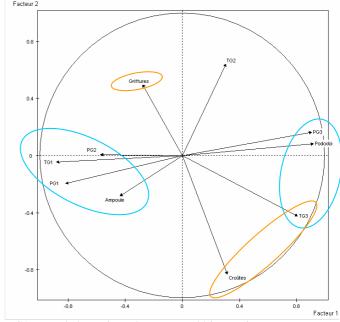
Ekstrand C, Algers B & Svedberg J; 1997 Preventive Veterinary Medicine; 31; p167-174 Ekstrand C, Carpenter TE, Anderson I & Algers B; 1998 British Poultry Science; 39; p 318-324 Greene JA, McRacken RM & Evans RT; 1985 Avian Pathology; 14; p23-38

Kestin SC; Su G; Sorensen P; 1999 *Poultry Science*; 78; p1085-1090

Martrenchar A, Boilletot E, Huonnic D & Pol F; 2002 *Preventive Veterinary Medicine*; 52; p 213-226

Mc Ilroy S. G., Goodall E.A., Mc Murray C. H., 1987 *Avian Path.*, 16: 93-105

Mirabito L., Ziemniak L., Chevallier D. 2007 Septièmes Journées de la Recherche Avicole, Tours, 28 et 29 mars 2007



PG1 = pododermatites absentes ou lésions mineures, PG2=pododermatites modérées, PG3=pododermatites graves

TG1=absence de lésions des tarses, TG2=lésions des tarses modérées, TG3=lésions des tarses graves

**Figure 1.** Représentation graphique (ACP-plan 1,2 -62,4 % de l'information) des relations entre les différentes lésions

Tableau 5. Corrélations entre les différentes lésions observées à l'abattoir

	PG1	PG2	PG3	TG1	TG2	TG3	Ampoules	Croûtes	Griffures
PG1	1								
PG2	0.24	1							
PG3	- 0.93***	- 0.57***	1						
TG1	0.61***	0.42**	- 0.67***	1	_				
TG2	- 0.30*	- 0.12	0.30*	- 0.53***	1				
TG3	- 0.49***	- 0.40**	0.56***	- 0.77***	- 0.13	1			
Ampoules	0.39**	0.07	- 0.35*	0.30*	- 0.02	- 0.33*	1		
Croûtes	- 0.11	- 0.10	0.13	- 0.31*	- 0.29	0.57***	0.10	1	
Griffures	0.21	0.13	- 0.22	0.21	- 0.01	- 0.23*	- 0.11	- 0.38*	1

\* P\(\frac{1}{2}\),0\(\frac{1}{2}\), \*\* P\(\frac{1}{2}\),0\(\frac{1}{2}\), \*\*\* P\(\frac{1}{2}\),0\(\frac{1}{2}\).

PG1 = pododermatites absentes ou lésions mineures, PG2=pododermatites modérées, PG3=pododermatites graves TG1=absence de lésions des tarses, TG2=lésions des tarses modérées, TG3=lésions des tarses graves

# IMPACT DES CARACTERISTIQUES DES CAGES AMENAGEES POUR POULES PONDEUSES SUR DIVERS INDICATEURS DE BIEN-ETRE

Guémené Daniel<sup>1</sup>, Simon Estelle<sup>1</sup>, Guyot Virginie<sup>1</sup>, Boulay Dominique<sup>2</sup>, Couty Michel<sup>1</sup>

INRA, <sup>1</sup> UR83 Unité de Recherches Avicoles & <sup>2</sup> UE609 Unité Expérimentale Avicole, F-37380 Nouzilly, France

### RÉSUMÉ

Dans une approche système, différentes expériences ont été réalisées afin d'évaluer l'impact des facteurs densité, taille de groupes, caractéristiques des aménagements, sur différents indicateurs de bien-être. Des poules pondeuses de deux génotypes (GA [n=2100] & GB [n=270]) ont été hébergées dans un modèle de cage conventionnel (CC; n=4 à 6) ou un des 3 modèles de cages aménagées (CA; n=11 à 31). Les indicateurs considérés sont des paramètres zootechniques (mortalité, production d'œufs, horaires de ponte, qualité de coquille, état de l'emplumement et des pattes), comportementaux (site de ponte, fréquentation des perchoirs et de la mangeoire, taux et sites d'expression des comportements de bain de poussière) et physiologiques (fonctionnalité surrénalienne). La mortalité et les performances de ponte observées en CA sont au mieux comparables à celles qui sont obtenues en CC. Le positionnement du nid, la nature du fond et des parois, ainsi que le génotype sont des facteurs qui influencent significativement leur taux d'utilisation. Par contre, la surface disponible par poule n'a pas d'impact sur ce taux, ni sur les horaires de ponte. En raison d'une répartition hétérogène des poules, le pourcentage de poules présentes à la mangeoire n'excède jamais 80%, quelle que soit la longueur disponible (9 à 16cm/poule). Les perchoirs sont bien utilisés durant la nuit (>80%), mais aussi le jour (20 à 40%, debout). L'état des pattes est globalement bon, mais meilleur en CA. La longueur des griffes y décroît au cours de la période de production, y compris en l'absence d'un dispositif de raccourcissement adéquat. Quotidiennement, de 10 (CA) à 20% (CC) des poules réalisent des bains de poussières. Dans les CA, environ 50% sont réalisés sur le tapis d'Astroturf® en l'absence de litière. Les deux génotypes diffèrent pour leur réactivité surrénalienne maximale. Des différences entre les concentrations basales de corticostérone et de sensibilité surrénalienne sont observées en relation avec la taille de groupe et la densité, en interaction avec le modèle de cage. Les expériences réalisées ont permis de mettre en évidence une grande variabilité des résultats en CA. Bien qu'il soit primordial de poursuivre la mise au point d'une CA « idéale », il est par conséquent possible, de concilier élevage en CA et bonnes performances de ponte, dans certaines modalités optimisées.

### **ABSTRACT**

Different experiments were set up to appreciate the differential effects of cage models, stocking density, group size, genotype and their interactions on welfare indicators, in laying hens. Hens were from two genotypes (GA [n=2100] & GB [n=270]) were placed in a conventional cage model (CC) or in one out of 3 furnished ones (FC). FC differed in their surface and equipment: perches, nest lining, scratching area. Welfare indicators were zootechnical (mortality, egg laying intensities, egg laying timing, feathering, foot condition), behavioural (nesting sites, perching, presence at feeders, dust bathing, scratching) and physiological ones (adrenal functionality). Mortality and laying performances measured in FC are, at the best, comparable to those obtained in CC. Location of the nest, distance from the scratching area, floor lining, rigid or flexible sides, as well as the genotype, are among the factors that have been identified has having a significant impact on laying rate in the nest. On the other hand, the surface of the available nest area had no impact neither on the percentage of eggs laid in., nor on the egg laying timing. Hens present at the feeders were not evenly distributed along it, in FC. Consequently, the percentage of hens present never exceeded 80%, whatever the available length was (from 9 to 16cm/hen). The perches were highly used during the night (>80%), but also during day time (from 20 to 40%, standing). Slightly better foot qualities were associated with FC. Expression of scratching behaviours was observed and resulted in claw abrasion. Daily dust bath expression ranged from 10 (FC) to 25% (CC). In FC, more than 50% of them was observed on the purposely provided Astroturf® mat, in the absence of liter. Physiological responses indicated differences in adrenal reactivity between genotypes. Differences in adrenal sensitivity and basal levels were also observed, depending upon group size and stocking density, in interaction with cage models, respectively. The present experiments resulted in a large variability depending upon FC set-up and, thus, illustrated the possibility to rear hens in FC and obtaining good individual egg laying performances. Further investigations would have however to be conducted in order to set up a so called "ideal" FC, providing welfare improvements.

### INTRODUCTION

La directive (1999/74/CE) implique l'interdiction d'utiliser les cages conventionnelles (CC) à compter du 1er Janvier 2012, en Europe. La cage aménagée (CA) dont les caractéristiques générales sont définies dans ce texte constitue l'une des alternatives. Les fabricants proposent maintenant des modèles de cage qui diffèrent en termes d'équipements, mais aussi dans leurs dimensions. Afin de rationaliser l'espace, les fabricants proposent des cages de plus en plus grandes. Cette évolution a des conséquences sur son organisation générale et donc sur les conditions de vie imposées aux poules. Au travers d'une approche systémique, nous avons voulu évaluer l'état de bien-être de poules pondeuses placées au sein de divers modèles de cages aménagées, différant pour leur surface, ainsi que pour la nature et le positionnement des aménagements. L'impact des facteurs génotypes, taille de groupe et densité a aussi été étudié dans certaines des modalités. Des indicateurs zootechniques, comportementaux et physiologiques, permettant d'apprécier le bien-être (LayWel, 2006), ont été mis en oeuvre.

### 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Animaux et conditions d'élevage

Quatre modèles de cage, l'un de type conventionnel (CCM [B1], 96 cages, 3302cm<sup>2</sup>) et 3 de type aménagé (CAMP1 [B2 et B4], 60 cages, 11340cm<sup>2</sup>, nid(N)=1080cm<sup>2</sup>, zone de grattage  $(ZG)=1320cm^2$ , perchoirs(P)=226, 228 or 248cm; **CAMP2** [B2], 6 cages, 22680cm<sup>2</sup>, N=2x1080cm<sup>2</sup>, ZG=2640cm<sup>2</sup>, P=460cm et CAMM [B3], 24 cages, 17375cm<sup>2</sup>, N=4380cm<sup>2</sup>, ZG=1386cm<sup>2</sup>, P=302cm) ont été utilisés. Le modèle CAMP2 est constitué de 2 cages CAMP1, après avoir retiré la cloison du fond. Le modèle CAMP1 se décline en 4 versions qui diffère entre elles, par la nature ou le positionnement d'équipements. Le fond de nid consiste en un tapis plastique (Astroturf ®, B2 et B4), un grillage plastique (B2) ou un fond mixte (CAMM [B3]). Les nids ont des parois rigides (CAMM [B3]) ou constitués de lanières souples (B2 et B4). Les modèles de CA diffèrent aussi pour le positionnement des perchoirs (2 perchoirs longitudinaux en matières plastique disposés parallèlement aux mangeoires (B2, B4 et B3) ou 1 seul et 2 petits (en plastique ou métal) disposés perpendiculairement (B4)). Un tapis en matière plastique (Astroturf ®) est inclus dans tous les modèles de cages aménagées comme zone de grattage/picorage, par contre aucune litière n'est fourni. Des dispositifs de raccourcissement des

griffes sont présents (B3 & B4) ou absent (B2). Les tailles de groupe sont de 4, 5 ou 6 en CCM et de 15 (CAMP1 [B2]), 30 (CAMP2 [B2]), 23 ou 31 (CAMM [B3]) et 11, 15 ou 20 (CAMP1 [B4]). Les surfaces de nid et de zone de grattage, la longueur de mangeoire et de perchoir par poule diffèrent donc selon les modalités. Les poules sont de deux génotypes de pondeuses brunes (GA [n=2100] & GB [n=270; 18 cages CCM et 12 cages CAMP1-B2). Elles ont été transférées au même âge de 18 semaines, mais à 4 semaines d'intervalle en raison d'un décalage des dates d'éclosion. Les poulettes GA et GB ont donc respectivement été soumises à une augmentation progressive et brutale de la photopériode. La photopériode finale a été de 15hr (2.00-17.00hr). L'intensité lumineuse était de 25lux minimum, au niveau des mangeoires. Un aliment de type standard distribué 2 fois par jour (9.00 et 15.00) était disponible ad libitum.

### **1.2. Mesures expérimentales** (Tableau 1)

Les mesures réalisées et l'âge des poules lors de cette réalisation figurent dans le tableau 2. La mortalité, la ponte et la qualité des coquilles (sale, cassée), le site de ponte (nid, zone de grattage ou autre zone) ont été enregistrés.. La répartition de la ponte au cours de la journée a été appréciée par quantification des œufs pondus à l'allumage, puis toutes les heures pendant 8 heures et enfin 11 et 13 heures après. Le nombre de poules présentes sur les perchoirs (couché et debout) ainsi que celles couchées au sol) a été quantifié par observations directes (n = 5) réalisées 1hr avant allumage, puis 1, 10 et 14 heures après, et enfin 1hr après extinction. Le nombre de poule ayant la tête en dehors de la cage, c'est-à-dire au dessus de la mangeoire, a été quantifié avant et après distribution de l'aliment (5mn avant, puis 5, 15, 30 et 60mn après). Le nombre de poule en train de réaliser un bain de poussière a été quantifié toutes les 30mn au cours d'une période de 8 heures (de 4h30 à 12h30 après allumage) et le site d'expression identifié (nid, zone de grattage ou autre) par observation directe de l'ensemble des cages. Le poids vif (PV), l'état de l'emplument de 6 zones du corps [cou, poitrine, dos, ailes, queue, cloaque] (Laywel, 2006) avec des notes comprises entre 1(mauvais) et 4 (bon), l'état des pattes blessures, (Absence/présence de kératomes, autres) et la longueur des griffes (ergot médian des deux pattes) ont été mesurées sur l'ensemble des animaux, à 2 ou 3 reprises au cours du cycle de production (Tableau 1). La sensibilité et la réactivité surrénalienne maximale ont été évaluées 10 et 60mn après injection en mesurant l'évolution du taux de corticostérone induite par l'injection i.m. de 1-24ACTH (Synacthène Immédiat, Novartis, 0.25mg/ml; Doses: 0.5 et 10µg/kgPV dilué avec 0.9%NaCl, volume = 0.5ml; n = 16 à

24 poules par dose/modalité expérimentale. Après centrifugation (10mn, 2000g, 4°C) des échantillons de sang, le plasma est recueilli puis congelé à –20°C avant de réaliser la mesure de la corticostéronémie par dosage RIA (Etches, 1976).

**Tableau 1**. Calendrier des différentes mesures expérimentales

Paramètres	Semaine de Production		
Génotype	A	В	
Mortalité	Quotidien (52 semaines)		
Ponte			
Qualité coquilles	5Jr/semaine		
Site de ponte	(52 semaines)		
Poids vif	2, 30, 66	2, 26, 62	
Etat d'emplument	30 & 66	26 & 62	
Etat des pattes,			
Perchage	9 & 43	5 & 39	
Présence mangeoire	12 & 48	8 & 44	
Horaires ponte	43	39	
Bains de poussière	46	42	
Cort &Test ACTH	6 & 58	2 & 54	

### 1.3. Analyses statistiques

Les données ont été analysées par ANOVA (multifactorielle ou mesures répétées), complétées (P<0,05), selon la nature des données, par des tests de PLSD, Kruskall Wallis et/ou Mann-Whitney.

### 2. RESULTATS ET DISCUSSION

### 2.1. Intensité de ponte et mortalité

La mortalité varie de 3 à 14% et globalement, une élévation des taux est associée à l'augmentation de la taille de groupe et/ou de la densité. En raison de l'importante variabilité observée, les différences sont toutefois pas significatives. performances de ponte pour la période de 52 semaines sont comprises entre 324 et 300 oeufs par poule départ pour les deux génotypes. Les intensités maximales de ponte, supérieures à 95%, ont été mesurées vers la 7<sup>ème</sup> semaine de production, pour décroître progressivement et être comprises entre 64 et 80% en fin de période de ponte. La taille de groupe, la nature du fond de nid ou le positionnement des perchoirs n'ont pas eu d'impact direct sur les intensités de ponte. Par contre, si en CC la densité n'a pas eu d'impact, les performances les plus faibles ont été observées aux plus fortes densités en CA (CAMP2 [B4-20] et CAMM [B3]. Ces résultats suggèrent que la surface par poule, actuellement préconisée par la directive en CA, est nécessaire pour permettre l'obtention de performances optimales. La surface nécessaire par poule en CA est donc plus grande qu'en CC; Les causes peuvent être liées à la complexité plus importante du milieu, associée à l'augmentation de la taille des groupes. D'ailleurs, un retard de 5 jours dans l'entrée en ponte des poules GB placées en CA a été observé. Un tel décalage n'aurait sans doute pas été observé si ces poules n'avaient pas été photostimulées brutalement, mais il illustre sans doute des difficultés d'adaptation. Il est donc essentiel d'élever les poulettes dans un milieu comparable à celui auquel elles seront ensuite confrontées.

### 2.2. Sites de ponte et horaires de ponte

Selon les groupes, le pourcentage moyen d'oeufs pondus dans le nid, pour l'ensemble de la période de production, varie entre 70 et 95%. Des différences significatives supérieures à 10% sont ainsi observées entre les 2 génotypes, des modèles de cage et des fonds de nid différents. L'analyse détaillée des résultats montre une augmentation graduelle de ce taux d'utilisation au cours de la 2<sup>nde</sup> moitié de la période de ponte et les différences s'estompent donc progressivement. Le nid équipé d'un tapis de type Astroturf ® apparaît globalement plus attractif. La présence à proximité du nid, d'une zone de grattage, constituée d'un tapis du même matériau (CAMP2), n'a pas diminué l'attractivité du nid. Elle n'a donc pas été la source d'un conflit de motivation. Les taux de ponte au nid ont été plus faibles en B3 (CAMM), en dépit d'une taille de nid plus grande. Ce résultat peut sans doute être imputé à des difficultés d'accès en raison de parois pleines, Les différences importantes dans les surfaces de nid par poules (141 ou 190cm<sup>2</sup> (B3) et 98, 72 ou 54cm<sup>2</sup>/poule (B4)) n'ont pas eu d'impact sur les taux de ponte au nid, ni sur les horaires de ponte. Plus de 85% de la ponte a eu lieu dans les 6 heures après allumage, avec un pic 2 à 3 heures après allumage (15-20%/h). Comme l'indiquent des données de la littérature (EFSA, 2005), les poules sont fortement motivées pour pondre au nid si celui-ci est attractif. Nos résultats suggèrent en outre que cette motivation ou ce besoin de s'isoler pour pondre évolue au cours de la période de production, à moins qu'il n'y ait apprentissage progressif. L'hypothèse d'un manque disponibilité du nid est infirmé puisqu'il n'y a pas d'impact de la densité.

### 2.3. Poids vifs, taux d'emplumement et état des pattes

Le poids vif des poules placées en CA ne diffère pas significativement dans le temps alors qu'il décroît significativement en CC, sauf pour le groupe à 4 poules par cage. L'état du plumage décroît globalement au cours de la période de production et un effet négatif de la densité est observé, mais avec une hétérogénéité selon les zones du corps. Un effet du génotype est également observé. L'état des pattes est globalement bon pour l'ensemble des groupes et s'améliore durant la période de production. Il est toutefois significativement meilleur en CA, c'est-à-dire en présence de perchoirs et d'Astroturf ®. La longueur des griffes d'environ 21,5mm à 45 semaines d'âge est restée stable en CA, y compris dans les cages (B2), n'ayant pas de dispositif de raccourcissement des griffes, alors qu'elle s'accroît en CC.

### 2.4. Utilisation de la zone de grattage

Dans nos différents modèles de CA, la zone de grattage consistait en un tapis d'Astroturf ®, mais sans adjonction de substrat. En dépit de cette absence, l'expression des comportements de bain de poussières, ainsi que de grattage et de picotage a été observée. Le grattage de ce matériau n'a pas été quantifié, mais il a été suffisant pour qu'une usure des griffes soient observées (B2, cf. 2.2.). Le pourcentage quotidien de poules réalisant des bains de poussières est d'environ 20% en CC et 10% en CA. L'expression de bain à vide, c'est-àdire sans substrat, est avérée, mais les séquences peuvent alors être incomplète et la fréquence accrue (EFSA, 2005). L'approche expérimentale utilisée ne permet toutefois pas de conclure sur ce point. En CA, ils sont préférentiellement observés sur le tapis d'Astroturf ® (47% : B2, 67% : B3, 52% : B4). La question demeure de savoir si ce substitut satisfait les besoins comportementaux des poules, ou si l'adjonction de substrat est nécessaire.

### 2.5. Utilisation des perchoirs

Entre 20 et 40% des poules des deux génotypes ont été observées debout sur les perchoirs, tant le jour que la nuit. La nuit, 30 à 50% sont également couchées sur les perchoirs et c'est donc environ 90% des poules qui ont été comptabilisées perchées. Environ 10% des poules ont aussi été observées couchées sur le plancher de la cage, bien que qu'il restait de l'espace disponible sur les perchoirs. Le pourcentage de poules perchées est également significativement plus élevé lorsque les perchoirs sont positionnés parallèlement, plutôt que perpendiculairement (B4). La longueur individuelle de perchoir disponible a également eu un effet significatif (22,4≥16,5≥12,4), aussi la longueur de 15cm préconisée est-elle sans doute un optimum.

### 2.6. Présence à la mangeoire

Le pourcentage de poule présente à la mangeoire était d'environ 20% et jusqu'à 80%, respectivement avant distribution de l'aliment, puis juste après en CA et plus élevés après distribution en CC. Ce taux décroît rapidement dans l'heure qui suit. La longueur de mangeoire disponible par poule (16, 12 ou 9cm/poule : B4) n'a pas d'effet majeur en CA, car la répartition des poules le long de la mangeoire n'est pas homogène.

### 2.7. Fonctionnalité surrénalienne

Les amplitudes des réponses (60mn), à l'injection de 1-24ACTH, suggèrent des différences de réactivité surrénalienne entre les deux génotypes. La densité ou la taille de groupe et leurs interactions avec le modèle de cage on pu affecter la fonctionnalité de surrénalienne. Les résultats suggèrent aussi une plus grande sensibilité des poules placées en CA.

### CONCLUSION

L'approche système mise en œuvre a permis de mettre en évidence qu'il est possible de concilier des conditions d'élevage permettant aux poules d'exprimer des comportements essentiels (EFSA, 2005) et l'obtention de bonnes performances individuelles. L'aménagement de la cage doit toutefois pour cela être optimisé. Une attention toute particulière doit être apportée à la configuration de la cage pour éviter la forme « couloir », au positionnement des perchoirs et aux caractéristiques du nid ; la justification des obligations qui sont faîtes de fournir du substrat au niveau de la zone de grattage et d'un dispositif de raccourcissement des griffes restant à apporter. Les caractéristiques et réponses comportementales et physiologiques des génotypes commerciaux ne sont pas homogènes et ce fait doit être pris en considération dans ce contexte. Enfin, nos résultats montrent que la densité optimale en CA est plus faible qu'en CC et correspond à celle préconisée dans la directive. Par contre, différentes observations corroborent l'hypothèse de difficultés d'adaptation accrues en CA.

### REMERCIEMENTS

Ce projet a bénéficié de financements de l'INRA et de la Commission Européenne au travers du Projet Européen LayWel (6<sup>ème</sup> PCRD, SSP 8.1, Contrat n°: 502315; www.LayWel.eu) et de la

contribution des sociétés SFPA, SAS Hy-Line France et Piers Ets).

### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- EFSA (2005) The welfare aspects of various systems for keeping laying hens. *Scientific report*, *EFSA-Q-2003-92*, 143p.
- Etches, R.J. (1976) A radioimmunoassay for corticosterone and its application to the

- measurement of stress in poultry. *Steroids*, 28: 763-773.
- Journal Officiel des Communautés Européennes (1999) Directive 99/74/CE du Conseil du 19-07-99 concernant les volailles de l'espèce *Gallus gallus* élevées pour la ponte. *JO L* 203/53 du 3/08/99:53-57.
- Laywel 2006. Welfare implications of changes in production systems for laying hens. STREP Laywel, *Project N° SSPE-CT-2004-502315*. 6<sup>th</sup> PCRD.

### QUALITE DE L'AIR EN ELEVAGE EXPERIMENTAL DE POULES PONDEUSES : CARACTERISATION DES COMPOSANTS AERIENS ET CONSEQUENCES SUR LA SANTE HUMAINE

## Michel Virginie<sup>1</sup>, Huonnic Didier<sup>1</sup>, Maurice Robert<sup>2</sup>, Guillam Marie-Thérèse<sup>3</sup>, Ségala Claire<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Unité d'Epidémiologie et Bien-Etre en Aviculture et Cuniculture et <sup>2</sup>Service d'Expérimentation Avicole et Cunicole, AFSSA Zoopôle Beaucemaine BP53 22440 PLOUFRAGAN France – <sup>3</sup> Sépia-Santé, 18bis rue du Calvaire, 56 310 MELRAND France

### RÉSUMÉ

L'étude présentée ici compare la qualité de l'air dans un élevage de poules pondeuses en cages conventionnelles et un élevage en volières ainsi que son impact sur la santé humaine. L'expérimentation se déroule dans la station expérimentale de l'AFSSA de Ploufragan sur 11120 poules Isa Brown élevées de 1 jour à 16 semaines et logées en système de ponte de 17 à 70 semaines. La moitié est logée en cages et l'autre en volières. Les concentrations aériennes en poussières alvéolaires (< 4 µm), endotoxines et ammoniac ainsi que l'impact de la qualité de l'air sur la santé humaine ont été évalués dans chaque système. La composition des poussières a été analysée en détail (microbiologie, dosage de mycotoxines, métaux lourds,...).

La microbiologie ne montre pas de différence marquante dans la composition des poussières issues de l'élevage en cages et en volières, excepté une plus grande concentration de moisissures dans les poussières provenant du bâtiment avec cages. Les mycotoxines et les endotoxines sont présentes dans les deux types de poussières, mais les concentrations aériennes en endotoxines sont plus importantes en volières et sont susceptibles de provoquer des effets inflammatoires au niveau des voies respiratoires (681 ±372 EU/m³ d'endotoxines en volières vs 187 ±189 EU/m³ en cages). Les analyses métrologiques ont mis en évidence des niveaux de poussières et d'ammoniac significativement plus élevés dans l'élevage en volières (2.12 ±0.74 mg de poussières/m³) versus l'élevage en cages (0.15 ±0.18 mg de poussières/m³), ce qui est associé à une augmentation de l'hyper réactivité bronchique chez les animaliers travaillant en volières. Cette étude met également en évidence l'intérêt de porter un masque (type FFP1), l'hyper réactivité bronchique étant alors significativement diminuée.

### **ABSTRACT**

The study compares the air quality and its impact on human health, between barn with caged laying hens and with aviaries housed laying hens. The experimentation was undertaken in the AFSSA experimental station, on 11120 Isa Brown hens reared from 1 day to 16 weeks and breed from 17 to 70 weeks old. Half of them were in conventional cages and the other in aviaries. Concentration in dust ( $< 4 \mu m$ ), endotoxin, ammonia, as well as the impact of air quality on human health were assessed in each laying system. The composition of dust was studied (microbiology, mycotoxins, heavy metals,...).

Microbiology did not show a real difference between dust from cages and aviaries barns, excepted an higher concentration in fungi in cages house. Mycotoxin and endotoxin were present in both types of dust, but air concentration in endotoxin was higher in aviaries barn and could induce respiratory inflammation (endotoxins:  $681 \pm 372 \text{ EU/m}^3$  in aviary vs  $187 \pm 189 \text{ EU/m}^3$  in cage). Analysis showed significant higher levels of dust and ammonia in aviaries barn  $(2.12 \pm 0.74 \text{ mg of dust/m}^3)$  versus cages barn  $(0.15 \pm 0.18 \text{ mg of dust/m}^3)$  and this is associated with the increasing of bronchic reactivity for workers in aviaries. This study showed as well the protector effect of wearing a respiratory mask (FFP1).

.

### INTRODUCTION

La Directive 1999/74/CE du 19 juillet 1999 interdit l'usage des cages non aménagées pour loger les poules pondeuses à dater du 1<sup>er</sup> janvier 2012, date à laquelle ne seront plus autorisés que les systèmes alternatifs et les cages aménagées. Globalement, les expérimentations réalisées à l'AFSSA montre un meilleur état de bien être des poules en volières comparé aux cages conventionnelles avec toutefois une altération de la qualité de l'air en volières (Michel et Huonnic, 2003, Colson et al, 2007).

Dans les élevages avicoles confinés, les professionnels peuvent être exposés à des concentrations élevées de poussières organiques, d'endotoxines et d'ammoniac ce qui soulève des interrogations en matière de santé.

Les effets sanitaires les plus répandus sont les bronchites chroniques, des obstructions des voies respiratoires et des symptômes proches de ceux de majorité l'asthme. Dans la des études épidémiologiques, la prévalence de symptômes respiratoires et la performance de la fonction pulmonaire ont été comparées entre des sujets exposés et non exposés (Gérault et al 2003). Toutes ces études montrent des prévalences de symptômes respiratoires plus élevées ainsi que des altérations de la fonction pulmonaire plus fortes chez les sujets exposés. Aucune étude de cohorte n'a été réalisée en élevage avicole. Une seule l'a été en élevage de porcs qui a permis de mesurer un déclin annuel de la fonction pulmonaire chez les travailleurs et celui-ci a été significativement associé aux endotoxines mesurées dans l'air des élevages (Vogelzang et al 1998). Des études sont clairement nécessaire afin de mieux évaluer les effets sanitaires et quantifier les risques associés aux expositions en élevage avicole. Pour cela, des études permettant d'identifier et de quantifier les agents présents dans les poussières organiques doivent être mises en œuvre.

L'objectif de l'étude présentée ici est donc de comparer la qualité de l'air (taux de poussière, composition microbiologique, physico-chimique, en endotoxines et en mycotoxines) ainsi que son impact sur la santé humaine en élevage en cages et en volière.

### 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Elevage des poules pondeuses

L'expérimentation a porté sur 11 120 poules ISA Isa Brown. Arrivées à 1 jour d'âge, elles ont été transférées du système d'élevage au système de ponte à 17 semaines (S17), et abattues à 70 semaines (S70). Elles ont été réparties en 2 traitements : (1) 5760 poules élevées dans 6 parquets au sol puis transférées dans 4 batteries de 288 cages conventionnelles (Big Dutchman) de 5 poules chacune, (2) 5360 poules élevées dans 6 volières pour poulettes puis transférées dans 2 volières de ponte (Big Dutchman). La moitié

des poules était épointée en cages et en volières et la moitié des animaux de cages recevait un aliment enrichi en cellulose afin d'étudier l'impact de ces 2 facteurs « bec » et « alimentation » sur la santé des animaux et leurs performances (non exposé ici, cf Huonnic et al, 2006). Dans le présent texte, nous nous attacherons uniquement à restituer les résultats concernant la qualité de l'air et ses impacts sur la santé humaine en élevage en cages et en volières.

Durant la période de ponte, les cages et les volières étaient dans deux salles séparées dans lesquelles toutes les conditions (programme lumineux, conditions d'ambiance,...) étaient standardisées et similaires.

### 1.2. Suivi de la qualité de l'air

Les mesures des taux de poussières alvéolaires (< 4 µm) et d'ammoniac (NH<sub>3</sub>, tubes réactifs Dräger) ont été réalisées une semaine sur 2 entre S19 et S69 et chaque semaine de mesure, deux jours ont été choisis : un jour sans travail exposant (Non Exposant : NE) et un jour où un travail exposant (E) était réalisé (nettoyage, changement de filtre à air,...).

Les prélèvements de poussières sont réalisés au moyen de 2 capteurs (ARELCO CIP 10) dans chaque bâtiment :

- un appareil avec filtre à poussières alvéolaires en position fixe (dit par la suite prélèvement d'« ambiance »).
- un appareil avec filtre à poussières alvéolaires porté par un animalier (dit par la suite mesure de l'exposition du « personnel .»),

Les appareils sont mis en mode prélèvement pendant une durée de 8 h environ pour les prélèvements d'« ambiance » et 6 h pour les prélèvements « personnel ». Le calcul du taux de poussières (mg/m³) est réalisé à partir de la connaissance du volume filtré et de la masse de poussières récupérées.

### 1.3. Composition des poussières

Endotoxines bactériennes. La concentration en endotoxines bactériennes de l'air ambiant a été analysée au cours de deux périodes (S 59-60, et S 64-66) par le Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris (norme NF EN 14031). Les résultats sont exprimés en Unité d'Endotoxines (EU) par mètre cube d'air.

Des mesures «d'ambiance» ont été réalisées (3 en 1<sup>ère</sup> période et 4 en 2<sup>ème</sup> période), ainsi que des mesures avec du matériel porté par un animalier (2 mesures à chaque période). Les temps de fonctionnement des capteurs sont identiques à ceux utilisés pour les mesures de poussières. Pour les analyses décrites ciaprès, ce sont des poussières récoltées après dépôt dans des bacs, qui ont été analysées.

<u>Mycotoxines</u>. Des recherches de mycotoxines (méthode multi-résidus en LC-MS-MS) ont été effectuées sur des prélèvements de poussières réalisés en S 34 (volières) et en S 51 et S 66 (cages et volières) au LDA 22. Les mycotoxines recherchées sont : Trichotécènes Type A, Trichotécènes Type B,

Trichotécènes Type D, Zearalenone et métabolites, Ochratoxine, Citrine, Fumonisines, Aflatoxines. Les résultats sont exprimés en micro grammes par kg de produit brut.

Microbiologie. La contamination microbiologique des poussières a été étudiée en S 34, 51 et 66. Les contaminants suivants ont été recherchés: Flore aérobie mésophile (FAM), Entérobactéries, Escherichia coli, Enterococcus sp, Staphylococcus aureus, Pseudomonas sp, Clostridium sp, Anaréobie sulfito réducteurs (ASR). Les résultats sont exprimés en UFC (unité formant colonie) par gramme de poussière.

Mycologie. Le dénombrement et l'identification des champignons et levures contenus dans les poussières a été réalisé en S 34, 51, et 66 au LDA 22. Les identifications concernent : Aspergillus (11 espèces), Penicillium sp, Fusarium sp, Alternaria sp, Cladosporium sp, Scopulariopsis brevicaulis, Trichoderma sp, Monascus purpuerus, Paecilomyces variotii, Byssochlamys nivea, Absidia sp, Mucor sp, Rhyzopus sp, et Euratium. Les résultats sont exprimés en nombre de spores ou éléments mycéliens revivifiables par gramme de poussière.

Métaux lourds. La recherche de métaux lourds a été réalisée en S 51 et 66. Les éléments recherchés par le LDA 22 sont : aArsenic (As), cCadmium (Cd), cCuivre (Cu), mMercure (Hg), nNickel (Ni), pPlomb (Pb) et zinc (Zn). Les résultats sont exprimés en mg/kg de matière sèche.

Analyses physico-chimiques. Les analyses réalisées au LDA 22 sur les poussières en S 51 et 66 comprenaient : (1) des analyses physiques (taux de matière sèche, de matière minérale et matière organique), (2) les éléments fertilisants (azote total, nitrates, nitrites, azote global, azote ammoniacal, azote uréique). Les résultats sont exprimés en % sur produit brut.

### 1.4. Composition des aliments, de la litière et des fèces.

La teneur des aliments, des fèces et de la litière (volières) en mycotoxines, champignons et métaux lourds a été recherchée lorsque cela était possible en S 34, 51 et 66. En effet, les poussières présentes dans les bâtiments d'élevage proviennent essentiellement de l'animal, de l'aliment, des fèces et de la litière (Donham 1986; Taylor and Reynolds 2001; Douwes et al. 2003).

### 1.5. Etude de la santé humaine

Quatre animaliers ont participé à l'étude : deux titulaires affectés à un type d'élevage en particulier et deux suppléants travaillant dans les deux types d'élevages. Chaque animalier s'est soumis à:

(1) un questionnaire initial standardisé qui renseigne sur les données socio-démographiques et anthropométriques, les antécédents médicaux, ....

(2) des carnets journaliers qui renseignent entre autres sur le local de travail (élevage en volières ou en

cages), la présence de symptômes pendant la journée de travail (fièvre, nez qui coule, ...), la prise d'un traitement antibiotique, le nombre de cigarettes fumées, l'exposition au tabagisme passif et sur le port du masque (FFP1) lors de l'entrée dans le bâtiment de ponte. Les animaliers devaient remplir ce carnet après leur journée de travail les jours de mesures de poussières.

(3) un examen médical réalisé par le médecin du travail comprenant un examen clinique et des épreuves fonctionnelles respiratoires (en début et à la fin de l'étude).

(4) la réalisation de débits expiratoires de pointe (DEP) à l'aide d'un débitmètre de pointe (modèle de Wright), les jours des mesures de poussières. Trois mesures ont été réalisées pour chaque jour (matin, midi et après la journée de travail). A partir des 3 mesures, la variabilité journalière pour chaque individu a été calculée selon la formule suivante :

VarDEP= [DEP maximum – DEP minimum] / [moyenne des 3 DEP]

La variabilité journalière du débit de pointe constitue un témoin de l'hyper réactivité bronchique qui est classiquement utilisée dans les études épidémiologiques (Neukirch, 1992).

### 1.6. Analyses statistiques

Les analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel SAS. Les relations brutes entre la variabilité journalière du DEP et : (1) le type d'élevage ont été estimées à l'aide d'un T-test; (2) les mesures d'exposition en élevage (taux de poussières et NH<sub>3</sub>) et le port du masque ont été étudiées dans un modèle de régression linéaire multiple, prenant en compte l'auto corrélation des données (réponses sont mesurées chez les mêmes sujets).

### 2. RESULTATS ET DISCUSSION

### 2.1. Suivi de la teneur en poussières de l'air

Les taux de poussières et de NH<sub>3</sub> sont toujours supérieurs en volières par rapport aux cages (cf tableau 1), même si les taux varient dans le temps en fonction des activités réalisées, de la température et de l'hygrométrie (détails non donnés ici). Globalement, plus l'humidité et la température augmentent et plus les taux de poussières et de NH<sub>3</sub> diminuent , évacués par le déclenchement de la ventilation. Ceci est vrai en cages et en volières pour le NH<sub>3</sub> et en volière seulement pour les taux de poussières.

Après ajustement sur la date de mesure, les taux de poussières mesurés à partir des capteurs fixes ne reflètent pas de différence, en volières comme en cages, entre les jours normaux et particulièrement exposants. En revanche, les dosages montrent qu'en volières l'empoussièrement mesuré par les capteurs portés par le personnel est plus important lors de la réalisation d'activités telles que le nettoyage, le balayage, ou l'évacuation des fientes (jour E) et ce d'autant plus que l'on s'approche de la fin de la

période de ponte. Il s'avère qu'en volières, ces activités se traduisent par une augmentation du taux de poussières dans l'air respiré par le travailleur qui effectue lui même le travail générateur de poussière, sans augmentation détectable systématique du taux de poussières dans le bâtiment .

En cages, le taux de poussières enregistré par les capteurs portés par le personnel n'est pas significativement différent en fonction de la pratique d'activités exposantes ou non. En revanche, dans ce système, les capteurs portés par le personnel indiquent des taux de poussières plus importants que ceux placés en position fixe (p<10<sup>-3</sup>). L'animalier, quand il se déplace dans le bâtiment, est exposé aux poussières remises en suspension par les animaux qu'il approche.

Les capteurs placés dans l'ambiance ont l'avantage de permettre d'évaluer le niveau d'empoussièrement global d'un bâtiment et de permettre une comparaison des bâtiments entre eux. Les capteurs placés sur le personnel permettent eux d'apprécier la surproduction de poussières liée à la réalisation de tâches particulièrement exposantes.

### 2.2. Composition des poussières

Microbiologie. Parmi les bactéries recherchées, nous avons retrouvé dans les poussières, par ordre décroissant : la flore aérobie mésophile ( $\approx 10^7$ - $10^9$  UFC/g), des entérobactéries ( $\approx 10^4$ - $10^5$  UFC/g), *Pseudomonas* ( $\approx 10^4$ - $10^6$  UFC/g), *E.coli* ( $\approx 10^3$ - $10^5$  UFC/g), *Enterococcus sp* ( $\approx 10^4$ - $10^5$  UFC/g), *Clostridium* (recherchés en semaine 34  $\approx 10^4$  UFC/g), ASR (recherchés en semaines 51 et 66  $\approx 10^3$ - $10^4$  UFC/g). Les prises d'essais n'ont pas permis de mettre en évidence de *Staphylococcus aureus* à un niveau dénombrable ni de détecter de *Salmonella*.

Pour chacune des populations bactériennes dénombrées, les résultats ne permettent pas de différencier la composition microbiologique d'une poussière d'origine cages de celle d'origine volières. Si une différence existe, elle est ténue et nécessiterait un plan d'échantillonnage plus large pour pouvoir être mise en évidence. On doit alors se poser la question de l'opportunité de mettre en œuvre une telle démarche pour décrire une éventuelle différence dont la signification biologique resterait à démontrer.

Mycologie. Aux trois dates de prélèvement, le nombre de levures retrouvées dans la poussière apparaît plus important en volières (entre 1200 et 11000/g de poussières) qu'en cages (<100/g de poussières). La tendance est inverse concernant les moisissures, avec notamment en semaine 51 et 66 plus de moisissures dans les poussières de cages que dans celles de volières  $(1.7.10^6 \text{ vs } 3.8.10^4/\text{g} \text{ de poussière et } 2.1.10^6)$ vs  $3.3.10^4$ /g de poussière en semaine 51 et semaine 66 respectivement). Cette différence s'explique principalement par la présence bien plus importante d'Aspergillus clavatus (germe très rare) dans les poussières de cages que de volières (facteur 10<sup>3</sup> d'écart). En semaines 51 et 66 très peu de levures et champignons ont été dénombrés dans la litière et les aliments. En revanche, l'analyse des fèces montre la présence de 1.10<sup>5</sup> d'*A. clavatus*/g en cage vs 1.10<sup>2</sup>/g en volière. *A. clavatus* semble donc se développer dans les fientes sur les tapis du bâtiment avec cages, peut-être en raison d'une moins bonne ventilation.

Mycotoxines. En semaine 51 et semaine 66, quatre mycotoxines parmi les 26 recherchées dépassent le seuil de détection de 20μg/kg de poussières en volières et en cages. Les mycotoxines concernées sont : les htrichotécènes B dont énivalenol (20-30 μg/kg en volières et 50 μg/kg en cages) et le DON (désoxynivalénol ) 20-80 μg/kg en volières et 60-320 μg/kg en cages) et la zéaralénone (45 μg/kg de poussières en volières en semaine 66).

Globalement les quantités de mycotoxines semblent faibles et si on calcule la dose de mycotoxines contenue dans le volume d'air approximativement respiré par un éleveur en une journée de travail, les doses journalières admissibles (pour l'alimentation) ne sont pas dépassées. Toutefois, peu de données étant disponibles sur la toxicité des mycotoxines par voie respiratoire chez l'homme ou l'animal, il est encore difficile de se prononcer sur leur impact éventuel sur la santé.

Ces mêmes mycotoxines sont retrouvées en semaine 66 dans les fèces (40 à 105  $\mu$ g/kg) et surtout dans les aliments (50 à 470  $\mu$ g/kg). Il est probable que les mycotoxines soient introduites dans l'élevage via l'aliment et qu'elles se retrouvent en partie dans les fientes. Leur présence dans les poussières serait due à la présence de fientes séchées et d'aliment dans ces dernières.

Endotoxines. Les concentrations en endotoxines dans l'air sont toujours plus élevées en volières qu'en cages. La concentration moyenne est de: (1)  $187 \pm 189 \text{ EU/m}^3 \text{ en cages vs } 681 \pm 372 \text{ EU/m}^3 \text{ en}$ volières dans l'ambiance ; (2)  $92 \pm 5$  EU/m<sup>3</sup> en cages vs  $433 \pm 244$  EU/m<sup>3</sup> en volières à partir des capteurs portés sur le personnel. Ces concentrations étant exprimées par mètre cube, elles reflètent le danger réel d'exposition. Toutefois, l'air des volières étant beaucoup plus empoussiéré que l'air des cages, il semble peu probable que les poussières de volières soient plus riches en endotoxines que les poussières de cages. (la différence de concentration en endotoxine entre les 2 systèmes étant due à la différence de taux de poussière) contrairement à ce qui a pu être mis en évidence dans d'autres types d'études (Donham et al, 2000).

Il n'existe pas de valeur de référence en hygiène professionnelle en France. Toutefois, dans les volières, le personnel est exposé à une concentration moyenne décrite comme provoquant des effets inflammatoires au niveau des voies respiratoires.

Analyse physico-chimique et métaux lourds. Le taux de matière sèche est plus élevé dans les poussières issues du bâtiment cages (≈ 91%) que volières (≈

87%). La litière, présente dans la composition des poussières de volières a un taux de matière sèche de 78.5% qui pourrait expliquer le taux de matière sèche plus faible dans les poussières de volières. Il en est de même concernant le taux de matières minérales très proche entre poussières de volières et litières (24 et 23.8% respectivement) et beaucoup plus faible dans les poussières de cages (≈11%). Il semble donc que la poussière dans l'air des volières soit constituée en partie non négligeable de litière en suspension.

Nous avons retrouvé beaucoup plus de plomb et zinc dans les poussières de cages que de volières (plomb : 10 vs 0.7 mg/kg de poussières et zinc : 3500-4100 vs 520-590 mg/kg de poussières). Ces deux métaux proviennent très probablement des installations en bâtiment de cages mais les taux restent bien inférieurs aux valeurs d'exposition admises pour 8h d'exposition.

### 2.3. Santé humaine

La variabilité journalière du DEP est significativement plus importante chez l'animalier (comparaison sur les titulaires -n'allant que dans un seul type de bâtiment) travaillant dans le bâtiment volières (2.35 ±1.33) que chez celui travaillant en élevage avec des cages (3.61 ±1.96). Ce résultat pourrait être est en faveur d'une augmentation de l'hyper réactivité bronchique chez les professionnels travaillant en volières par rapport à ceux travaillant dans un élevage avec des cages, toutefois, ce résultat basé sur la surveillance de 2 individus, est à prendre comme une indication et demande à être confirmé.

Des analyses multivariées ont été réalisées pour étudier l'effet des expositions sur la variabilité journalière du DEP. Deux modèles ont été réalisés, du fait de la forte corrélation des deux types de mesures de poussières (« Ambiance » et « Personnel ») : un modèle avec les poussières mesurées en fixe, le NH<sub>3</sub> et le port du masque et un modèle avec les poussières mesurées avec les capteurs personnels, le NH<sub>3</sub> et le port du masque (Tableau 28). Ces analyses multivariées mettent en évidence une augmentation de l'hyper réactivité bronchique avec l'augmentation des concentrations de poussières aériennes. Cette relation est mieux mise en évidence lorsque les concentrations de poussières sont mesurées dans la zone de respiration des professionnels ; l'effet de l'ammoniac est alors quasiment nul. Ces analyses mettent aussi en évidence dans ces conditions d'empoussièrement, l'effet protecteur du port du masque FFP1 vis à vis de la fonction pulmonaire.

### CONCLUSION

La dégradation de la qualité de l'air en volière a de nouveau été mise en évidence dans cette expérimentation. Cette dernière apporte des résultats originaux en terme de descriptif des compositions respectives des poussières en cages et en volières jusque là très peu étudiées. Cette première approche de l'étude des relations santé humaine - exposition, a mis en évidence une liaison, qui demande à être confirmée, entre l'hyper réactivité bronchique chez les professionnels et l'exposition aux poussières, plus importante en volières. Cette expérimentation met également en évidence l'intérêt de porter un masque (ici de type FFP1), l'hyper réactivité bronchique étant alors significativement diminuée chez les individus étudiés.

Une enquête épidémiologique est actuellement en cours pour essayer d'évaluer, en élevage, l'impact de la qualité de l'air de systèmes d'élevage de pondeuses avec et sans litière, sur la santé humaine et la qualité des produits.

**Tableau 1.** Valeurs moyennes obtenues concernant la quantité de poussières (mg/m³) et la teneur en NH3 (ppm) en élevage de pondeuses en cages et en volières.

	Jour E		Jour	· NE	Total	Total	Total NH <sub>3</sub>
	Ambiance	Personnel	Ambiance	Personnel	Ambiance	Personnel	
Cages	0.12±0.19	0.21±0.24	0.18±0.16	0.2±0.21	0.15±0.18	0.21±0.22	4.2±1.5
Volières	2.08±0.78	1.32±0.55	2.17±0.7±	0.91±0.35	2.12±0.74	1.12±0.5	14.1±9.2

E : exposant ; NE : non exposant

**Remerciements.**: au personnel de l'AFSSA (SEAC et UEBEAC – AFSSA Ploufragan), et à l'Office de l'Elevage et à la Région Bretagne pour leur concours financier.

### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Colson S., Michel V., Arnould C. 2007. <u>Archiv für</u> Geflügelkunde. In press

Donham KJ., Cumro D., Reynolds SJ., Merchant JA., 2000 JOEM 2000;(.42), 260-269.

Douwes J., Thorne P., Pearce N., Heederick D., 2002. Ann Occup Hyg., (47), 187-200. Gérault P., Dewitte J., Jourdren L., 2003. Sci. Tech. Av., (42).

Huonnic.D., Maurice.R., Huneau.A., Burel.C., Michel.V., 2006. Sci. Tech. Av., (55).

Michel. Vet Huonnic.D., 2003. Br. Poul. Sci., (44), 775-776.

Taylor C., Reynolds S., 2001. Appl. Occup. Environ., (16), 78-83.

Vogelzang J., Van der Gulden J., Folgering H., Kolk J., Heederik D., Preller L., Tielen M., Van Schayck C. 1998. Am J Respir Crit Care Med., (157), 15-18.

### PROJET EUROPEEN Welfare Quality®:

### EVALUATION DU BIEN-ETRE DES POULES ET DES POULETS EN ELEVAGE

### **Arnould Cécile**

Unité Physiologie de la Reproduction et des Comportements, UMR INRA - CNRS - Université de Tours - Haras Nationaux, Centre INRA de Tours-Nouzilly, 37380 Nouzilly

### RÉSUMÉ

Ce papier présente succinctement le projet Européen Welfare Quality® et plus particulièrement les activités du sous-projet ayant pour objectif la mise au point d'un protocole d'évaluation du bien-être des poules pondeuses et des poulets de chair en élevage commercial. Ce projet (2004-2009), co-financé par la Commission européenne, implique 13 pays européens et 39 instituts et universités. Il vise à fournir des outils pour intégrer le bien-être animal dans une démarche de qualité des aliments et se décline en plusieurs sous-projets. Trois espèces principales sont considérées: les bovins, les porcs et les volailles (poules pondeuses et poulets de chair). L'objectif de ce projet est notamment de développer des standards européens et des systèmes d'information sur les produits qui puissent satisfaire les attentes des consommateurs, les besoins des détaillants et des producteurs et qui soient validés scientifiquement. L'un des sous-projets a pour objectif de mettre au point et de valider un système d'évaluation du bien-être en élevage. La première partie du travail a consisté à sélectionner des mesures du bien-être valides, liées à l'animal, à son environnement et aux pratiques d'élevage. Un prototype de protocole d'évaluation va maintenant être réalisé puis testé dans des élevages commerciaux de différents pays européens dont la France. La mise en œuvre dans plusieurs élevages et abattoirs devrait permettre de tester en grandeur réelle la faisabilité et la pertinence des différentes paramètres d'évaluation retenus, ainsi que le lien entre ces paramètres, afin d'aboutir à un système simplifié d'évaluation. Les intérêts de ce projet pour la filière avicole sont exposés dans ce papier.

### **ABSTRACT**

This paper describe briefly the European Welfare Quality® project and more specifically the sub-project which aim is to develop robust on-farm welfare monitoring systems and information standards for selected farm animal species. This project is EU co-funded and involved 13 European countries and 39 institutes and universities. This project is about integration of animal welfare in the food quality chain: from public concern to improved welfare and transparent quality. Three main species are considered: cattle, pigs and poultry (laying hens and meat chickens). This project aims to accommodate societal concerns and market demands, to develop reliable on-farm monitoring systems, product information systems, and practical species-specific strategies to improve animal welfare. The aim of one sub-project is to develop robust on-farm welfare monitoring systems and information standards. In a first step, parameters valid to assess welfare have been selected. These parameters are animal-based, resource-based or management-based. A monitoring system prototype for poultry will now be designed and tested in farms and slaughterhouses from different countries, including France. This testing should permit to assess the feasibility of this monitoring system and the pertinence of the various parameters selected. The link between these different parameters will be tested in order to propose later a simplified system. The benefits of this project for the French poultry farming chain are given.

### INTRODUCTION

Ces dernières années la prise en compte du bienêtre des animaux d'élevage n'a cessé de croître. En effet, la législation en matière de protection animale se développe et certains pays européens mettent en place des labels de qualité prenant en compte, partiellement ou en totalité, le bien-être des animaux. Une telle évolution nécessite de plus en plus de disposer d'outils objectifs d'évaluation du bien-être en élevage.

De nombreuses méthodes existent pour évaluer le bien-être des animaux de rente (Arnould, 2005). Cependant, son évaluation en routine en élevage commercial n'est pas sans difficulté. En effet, les conditions de mesure en élevage sont difficiles, notamment à cause du grand nombre d'animaux en présence. Par ailleurs une évaluation en routine nécessite un système de mesure rapide et les mesures doivent être non invasives. Actuellement les systèmes développés pour évaluer le bien-être en élevage commercial sont peu nombreux. Certains se basent sur quelques mesures très simples (par exemple la qualité du revêtement cutané des pattes pour les poulets de chair, critère repris dans le projet de Directive paru le 30 mai 2005) et les performances zootechniques. D'autres systèmes prennent en compte des paramètres liés à l'environnement des animaux ou à la gestion de l'élevage et supposés avoir un impact sur le bienêtre des animaux, et non pas des paramètres rendant compte de l'état des animaux eux-mêmes. De tels systèmes n'évaluent pas forcement les différentes composantes du bien-être des animaux. Par ailleurs. les paramètres considérés et leur mesure, que ce soit au niveau des élevages ou des abattoirs, sont peu standardisés d'un pays à l'autre, notamment au sein de l'Europe.

Suite à une action européenne de coopération scientifique et technique (Action COST 846) visant à mesurer et évaluer le bien-être des animaux de rente en élevage (Blokhuis et al., 2006), un projet de recherche européen centré sur le bien-être des animaux de rente a débuté en mai 2004. Ce projet, intitulé Welfare Quality®¹, est co-financé par la Commission européenne. Il vise à intégrer le bien-être animal dans une démarche de qualité des aliments. Il se développera sur 5 ans et implique 13 pays Européens et 39 instituts et universités.

Les objectifs de ce projet sont de développer : 1. des standards européens pour évaluer le bien-être en élevage commercial ou en abattoir, 2. des

<sup>1</sup> Welfare Quality®: Science and society improving animal welfare in the food quality chain. http://www.welfarequality.net/ systèmes d'informations sur les produits qui renseignent sur le niveau de bien-être et prennent en compte les attentes des consommateurs, qui puissent satisfaire les besoins des détaillants et qui soient validés scientifiquement, 3. des stratégies concrètes et réalisables pour améliorer le bien-être. Trois espèces principales sont considérées: les bovins, les porcs et les volailles (poules pondeuses et poulets).

Le projet se décline en quatre sous-projets ayant des objectifs distincts. Le sous-projet 1 vise à identifier préoccupations et les attentes consommateurs, des détaillants et des producteurs en matière de bien-être. Le sous-projet 2 a pour but de mettre au point et valider un système d'évaluation du bien-être en élevage et lors de l'abattage, ainsi qu'un système d'information sur le niveau de bien-être des animaux produits. Le sousprojet 3 a pour objet de définir des stratégies pour améliorer le bien-être des animaux de rente. Enfin, le sous-projet 4 a pour but de mettre en application les résultats de recherche obtenus dans les précédents sous-projets.

L'objet de ce papier est de présenter les activités du sous-projet 2 (Keeling et Veissier, 2005), en s'attachant plus particulièrement aux volailles. Les travaux sont menés de façon conjointe sur les différentes espèces considérées. Les objectifs et les méthodes utilisés sont communs.

### 1. PRESENTATION DU PROGRAMME CONCERNANT L'EVALUATION DU BIEN-ETRE EN ELEVAGE COMMERCIAL

### 1.1. Le programme

Le constat mentionné dans l'introduction a amené les scientifiques européens travaillant sur le bienêtre des animaux d'élevage à vouloir développer des méthodes d'évaluation prenant en compte des paramètres directement liés aux animaux (comportement, lésions...) puisque c'est ce dernier qui est au centre de la question du bien-être animal. Les mesures liées à l'environnement des animaux et à la gestion de l'élevage ne sont cependant pas exclues des travaux menés dans le cadre du sousprojet. Elles serviront à renseigner l'éleveur sur les causes des altérations du bien-être rencontrées et permettront éventuellement d'identifier les facteurs de risque susceptibles d'altérer le bien-être des animaux. Par ailleurs, ces mesures étant plus faciles à réaliser que celles liées aux animaux, le lien entre ces deux types de mesure sera recherché. Si un lien clair est mis en évidence, les mesures avant trait à l'environnement ou à la gestion des animaux pourront peut-être remplacer celles rendant directement compte de l'état des animaux.

Le développement de ce programme se fait en interaction avec les personnes impliquées dans les autres sous-projets et notamment ceux impliqués dans le recueil des préoccupations et des attentes des consommateurs, des détaillants et des producteurs (sous-projet 1).

### 1.2. Les acteurs du programme

L'une des forces de ce programme est qu'il implique des partenaires issus de différents pays européens. En effet, 8 instituts et universités de 7 pays (Allemagne, Autriche, Danemark, France, Pays-Bas, Royaume-Uni, Suède) participent au développement du système d'évaluation chez les volailles. Dans sa globalité (toutes espèces confondues), il implique 19 instituts et universités répartis dans 12 pays européens (Belgique, Espagne, Italie, Norvège, République Tchèque en plus des pays précédemment cités).

### 2. AVANCEMENT DES TRAVAUX

### 2.1. Recensement des paramètres et des besoins en matière de recherche

La première partie du travail a consisté à recenser les paramètres potentiellement utilisables pour évaluer le bien-être des poules pondeuses et des poulets en élevage. Ce recensement a été effectué à partir des données de la littérature ou de l'expérience des scientifiques du projet lorsque aucune information n'était disponible dans la littérature. La validité des paramètres et de leur mesure, ainsi que les différentes méthodes de mesure utilisées ont été identifiées. La répétabilité de la mesure et la faisabilité de son utilisation en élevage commercial, ont également été évaluées. Cette première étape a permis de recenser 36 paramètres et d'identifier pour chacun d'eux les besoins en terme de recherche et de standardisation des mesures. Ces paramètres, mesurés soit directement dans l'élevage, soit à l'abattoir, se divisent en trois catégories : ceux ayant trait aux animaux eux-mêmes (comportement, lésions, qualité du plumage...), à l'environnement des animaux (ressources disponibles, densité, type de ventilation...) ou à la gestion de l'élevage (qualité de la litière, réalisation d'un épointage...).

### 2.2. Etude des paramètres

Une seconde étape a consisté, lorsque cela était nécessaire, à réaliser ou compléter la validation des paramètres d'évaluation (c'est-à-dire : est-ce que ce paramètre nous renseigne réellement sur le bien-être de l'animal ?), à vérifier la répétabilité des mesures ou proposer leur standardisation.

Dans cette étape les paramètres étudiés chez les volailles avaient trait par exemple à l'évaluation de la peur et de la qualité de la relation homme-animal,

de la déprivation en eau et aliment ou de l'efficacité de l'étourdissement à l'abattoir. Des études beaucoup plus exploratoires sur la recherche de comportements tels que le jeu pouvant rendre compte d'émotions positives ont également été réalisées. Le but était de rechercher non plus des paramètres mesurant le mal-être, mais des paramètres permettant de mesurer le bien-être.

Une standardisation des mesures liées à l'évaluation clinique des animaux (dermatites, picage, cannibalisme...), à leur santé (mortalité, fractures, amaigrissement, parasites...), aux troubles locomoteurs, aux ressources disponibles (espace, équipements, lumière...), et à la gestion de l'élevage (temps passé avec les animaux, nettoyage/désinfection, nombre de bâtiments sur le site, biosécurité...) a été proposée.

L'ensemble des travaux réalisés a permis de sélectionner les paramètres pouvant constituer la base d'un protocole d'évaluation du bien-être des volailles en élevage. Certains de ces paramètres, comme ceux ayant trait à l'évaluation des émotions positives chez les oiseaux, se sont avérés inutilisables au regard des informations disponibles actuellement.

### 2.3. Classification des paramètres

Les différents paramètres d'évaluation sélectionnés par consensus ont ensuite été classés sous forme de critères permettant de rendre compte des différentes facettes du bien-être des animaux. Ces critères résultent d'un consensus. Ils apparaissent valides d'un point de vue scientifique, et permettent de répondre au maximum à l'attente d'information des consommateurs, détaillants et producteurs. Douze critères ayant trait à l'alimentation, au logement, à la santé et au comportement ont été retenus (Botreau et al., 2007). Ils sont présentés dans le tableau 1. Chez les volailles, les paramètres sélectionnés (cf 2.2) devraient permettre d'évaluer ces différents critères. Il s'avère cependant que certains ne pourront probablement pas être renseignés directement dans l'état actuel de nos connaissances.

### 3. QUELLE SUITE?

Un prototype de protocole d'évaluation prenant en compte les premiers travaux effectués est en train d'être réalisé. Il sera ensuite testé dans des élevages commerciaux de différents pays européens. Le protocole d'évaluation du bien-être des poulets de chair sera testé sur 60 lots (unités d'élevage) au minimum. Ces élevages seront situés en France, au Royaume-Uni et aux Pays-Bas. Le protocole d'évaluation du bien-être des poules pondeuses sera testé sur 90 lots au minimum, répartis entre la Suède et les Pays-Bas. Différents systèmes de

production seront inclus dans l'étude afin d'augmenter au maximum la variabilité d'un lot à l'autre : productions de type standard, biologique et plein-air. La mise en œuvre du protocole dans plusieurs systèmes d'élevage devrait permettre de tester en grandeur réelle la faisabilité et la pertinence des différents critères d'évaluation retenus. Le lien entre ces critères sera recherché, afin de proposer ultérieurement un protocole simplifié d'évaluation. Dans l'idéal il faudrait que ce protocole simplifié puisse être réalisé en 1 à 2 heures.

### 4. UN SYSTEME D'EVALUATION POUR QUOI FAIRE ? INTERET POUR LA FILIERE

Les finalités poursuivies sont multiples. Elles intéressent les différents acteurs de la filière avicole

L'ambition est de proposer un protocole d'évaluation qui puisse servir de standard européen. Il pourra notamment servir de base pour élaborer la législation européenne et mettre en place un label de qualité en matière de bien-être animal. Ce système aura l'avantage de reposer sur un consensus entre les scientifiques de différents pays et d'être basé sur une évaluation multicritères du bien-être.

Ce système d'évaluation du bien-être devrait pouvoir être utilisé comme source d'information pour le producteur lui-même et constituer ainsi un outil de plus pour gérer son élevage. Un des objectifs poursuivi est, en effet, que l'information récoltée puisse donner des pistes sur les moyens à mettre en œuvre pour corriger les problèmes rencontrés.

Cet outil pourra également constituer une source d'information pour le consommateur qui pourra ainsi orienter ses choix de façon plus éclairée. Il donnera une crédibilité plus forte aux labels bienêtre mis en place et pourra constituer une véritable valeur ajoutée pour le produit. Une réflexion sur les stratégies les plus pertinentes à mettre en oeuvre est en cours.

Dans ce contexte, il apparaît indispensable que les spécificités des différents pays européens puissent être prises en compte dans l'élaboration du protocole, notamment celles de la France étant donné sa position dans l'aviculture européenne. Cette prise en compte ne pourra se faire sans la collaboration des acteurs de la filière. Le fait qu'une partie de la mise au point des outils doive être réalisée en France constitue une excellente opportunité pour faire valoir les spécificités françaises. Par ailleurs, les entreprises bénéficieront d'un accès privilégié aux mesures réalisées et

pourront ainsi anticiper les évolutions qui se feront très probablement en matière de la prise en compte du bien-être animal. Ce projet complétera une étude réalisée sur le poulet dans le cadre d'une collaboration entre l'ITAVI, l'AFSSA et l'INRA (Mirabito et al., 2007).

### CONCLUSION

Les travaux réalisés dans le cadre du sous-projet visant à évaluer le bien-être des volailles devraient poser les bases d'un système objectif d'évaluation du bien-être. Ce système, qui prendra en compte différentes composantes du bien-être des volailles, résultera d'un consensus entre plusieurs pays européens et reposera sur des outils de mesure standardisés. Ces outils objectifs d'évaluation du bien-être devraient non seulement permettre d'améliorer les conditions de vie des animaux, mais aussi permettre une reconnaissance du travail des éleveurs et ainsi aboutir à une meilleure valorisation de ce travail.

### REMERCIEMENTS

Je remercie C. Beaumont, P. Le Neindre et I. Veissier pour leurs précieux commentaires sur le manuscrit.

Le projet Welfare Quality® est coordonné par Harry Blokhuis (Animal Science Group, Wageningen University and Reseach Centre, Pays-Bas). Welfare Quality® est co-financé par la Commission européenne, dans le cadre du 6ème PCRD, contrat n° FOOD-CT-2004-506508. Ce texte représente le point de vue de son auteur et ne représente pas nécessairement la position de la Commission qui ne sera pas tenue responsable de l'utilisation faite par ces informations.

### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Arnould C., 2005. 6e Journées de la Recherche Avicole, 30-31 mars, Saint Malo, France. p.49-55

Blokhuis H.J., Jones R.B., Veissier I., Geers, 2006. COST Action 846 "Measuring and Monitoring Farm Animal Welfare". K.U. Leven R&D -Zootechnical Centre, Lovenjoel, Belgique, pp25.

Botreau R., Veissier I., Butterworth A., Bracke M.B.M., Keeling L.J., 2007. Animal Welfare, accepté.

Keeling L., Veissier I., 2005. In: Science and society improving animal welfare, Welfare Quality® conference proceedings (A. Butterworth edit.), 17/18 November 2005, Brussels, Belgium. Accessible sur le site <a href="http://www.welfarequality.net/">http://www.welfarequality.net/</a>

Mirabito L., Colas M., Arnould C., Allain V., Michel V., 2007. Dans ce document (7<sup>e</sup> Journées de la Recherche Avicole).

**Tableau 1.** Critères de bien-être proposés dans le cadre de Welfare Quality® (d'après Botreau et al., 2007) avec quelques exemples de mesures potentielles pour les volailles.

Critères	Mesures potentielles
Absence prolongée de faim	Accès aux mangeoires, état corporel
Absence prolongée de soif	Accès à l'eau
Confort lors du repos	
Confort thermique	Halètement
Facilité de mouvement	
Absence de blessures	Dermatites, lésions de picage, troubles locomoteurs
Absence de maladies	Mortalité, animaux éliminés, rejet à l'abattoir
Absence de douleur induite par les procédures d'élevage	Epointage, efficacité de l'étourdissement
Expression des comportements sociaux	Blessures liées aux agressions
Expression d'autres comportements	Jeu, comportements anormaux (picage/emplumement)
Bonne relation homme-animal	Tests d'évitement d'un homme
Absence de peur	Test d'évitement d'un objet inconnu

# UN BON DEMARRAGE (0-42 JOURS) PERMET DE LIMITER L'APPARITION D'ENTERITES

### CHEZ LES DINDONNEAUX

Travel Angélique <sup>1</sup>, Bouvarel Isabelle <sup>1</sup>, Chevalier Dylan <sup>2</sup>, Fulbert Loïc <sup>3</sup>

<sup>1</sup> ITAVI, UR83 Recherches Avicoles, 37380 NOUZILLY
<sup>2</sup> Chambre Régionale d'Agriculture des Pays de la Loire, 49105 ANGERS cedex 02
<sup>3</sup> Groupement de Défense Sanitaire 53000 LAVAL

Travail cofinancé par le CIDEF, l'Office de l'Elevage et l'ADAR

### RÉSUMÉ

Cette étude de cas, conduite sur 8 élevages de région Centre et Pays de la Loire, cherche à soulever des pistes de réflexion quant aux facteurs associés à l'apparition des entérites «non spécifiques» en élevage de dindes au démarrage (0-42j). Des mesures hebdomadaires d'ambiance, de qualité de l'eau, de consommation d'aliment et d'eau, et différentes observations des pratiques d'élevage ont mis en lumière quelques facteurs qui pourraient être associés à l'apparition de ces diarrhées. Des audits relatifs aux installations ainsi qu'à la gestion de l'eau et du bâtiment ont été effectués dans chaque site. Il est apparu que l'éleveur qui gérait correctement l'ambiance du bâtiment, les traitements de l'eau, le nettoyage et désinfection (bâtiment, matériel, canalisations) et respectait soigneusement les règles sanitaires, n'a pas connu de trouble digestif sur le lot suivi, sur la période 0-42 j. Des phénomènes récurrents, précédant les épisodes d'entérites « non spécifiques », ont été observés dans tous les élevages. Il s'agissait principalement de problèmes de gestion de qualité de l'eau (bactériologiques et/ou physico-chimiques dans 70 % des cas), d'ambiance (températures trop élevées dans 50 % des cas) et de consommation excessive d'eau (50 %). En général, les nettoyage et désinfection (N&D) du bâtiment et du matériel ont été correctement effectués. Cependant les conditions de stockage ou de transfert des équipements semblent apparaître comme une source de contamination du matériel par des streptocoques fécaux, la seconde désinfection paraîtrait donc justifiée. Dans 6 cas sur 8, la procédure de N&D des canalisations suivie par l'éleveur au vide sanitaire n'était pas efficace vis à vis des bactéries revivifiables. De plus, l'apparition précoce des diarrhées (dès J10) a coïncidé avec la présence de ces bactéries dans les canalisations au démarrage. Dans 4/6 élevages, l'eau distribuée aux dindonneaux (dès J0) contenait des bactéries anaérobies sulfito-réductrices, mises en causes lors des cas d'entérites «non spécifiques». Par ailleurs, les traitements bactériologiques étaient souvent mal adaptés à la qualité physico-chimique de l'eau, les rendant donc inefficaces. Une étude à plus grande échelle devrait être menée en vue de valider les pistes soulevées par notre travail, notamment concernant les critères relatifs à l'eau de boisson.

### **ABSTRACT**

This case study, carried out on 8 turkey farms located in the Centre and Pays de la Loire regions, aimed to show reflexion tracks about factors associated with appearance of non specific enteritis during the starter period (0-42d). Weekly measurements of environmental parameters, water quality, water and food consumption were made. The farming hygienic practices were also observed in order to draw up a list of factors could be associated with the appearance of wet droppings. Experts carried out an assessment of equipments and management of water and broiler-house conditions on each farm. It appeared that the farmer who managed correctly the environment parameters, the water treatments, cleaning and disinfection and complied the sanitary rules, did not know of digestive disorder over the starter period. This work showed recurrent phenomena common to all farms which appeared before each non specific enteritis period, namely, problems of water quality (bacteriological and physico-chemical in 70% of case) and environmental management (high temperature in 50% of case), high water consumption (50%). The cleaning and disinfection (C&D) of house and the material were correctly carried out, however the storage or transfer conditions of equipment are often contamination sources by fecal streptococcus. the second disinfection thus appears justified. In 6/8 cases, the procedure of C&D of pipes realised by farmers were not effective against revivable bacteria. Moreover, the rapid appearance of enteritis in young birds (D10) coincided with these bacteria in water pipes from one day of a new batch. In 4/6 farming, the initial water (D0) contained sulfito-reducer anaerobic bacteria, responsible of non specific enteritis. Moreover, bacteriological treatments carried were maladjusted to the physico-chemical water quality and therefore were ineffective. Thus, a study on a large number of farming should be carried to validate results of this work, in particular concerning the drink water criteria.

### INTRODUCTION

De nombreuses modifications réglementaires sont années, intervenues ces dernières comme l'interdiction des matières premières d'origine animale, des antibiotiques en tant qu'additif, et du seul antihistomonique disponible (Nifursol). Elles ont conduit à une diminution des performances zootechniques des animaux et à l'émergence de troubles digestifs en élevage de volailles (Hermans et al, 2006; McFerran, 1993). Ces troubles se caractérisent par l'apparition de diarrhées engendrant ainsi des litières très humides. Ces affections constituent un réel problème économique, notamment en élevages de dindes (Bidault et al, 2003). Une enquête menée en 2004, sur 50 élevages de dindes, a montré que les trois quarts des lots enquêtés ont présenté un syndrome digestif avant 42 jours d'âge et que 60% de ces troubles étaient des entérites «non spécifiques», c'est à dire sans qu'aucun agent pathogène responsable ne soit clairement identifié (Bouvarel et al, 2005). Ce type de troubles représente un problème majeur en élevage de dindes et des questions se posent quant aux conditions de leur apparition. C'est pourquoi, en nous appuyant sur une précédente enquête (Bouvarel et al. 2005), nous avons mis en place un suivi régulier d'un grand nombre de variables sur un effectif limité d'élevages. L'objectif du travail est prospectif, il s'agit de mettre en évidence des défauts de gestion ou d'installation dans les élevages fortement touchés par les problèmes de litière humide et d'observer si ces perturbations coïncident avec l'apparition diarrhées.

### 1. MATERIELS ET METHODES

### 1.1. Echantillonnage des élevages

L'étude a été réalisée de mai à septembre 2005, en collaboration avec la Chambre Régionale d'Agriculture des Pays de la Loire, les Chambres d'Agriculture d'Indre et Loire et du Loir et Cher, le Groupement de Défense Sanitaire de la Mayenne et les organisations de production. Le travail a été mené par le même enquêteur, de 0 à 42 jours d'âge des dindonneaux, sur 8 élevages situés en région Centre (4) et Pays de la Loire (4).

### 1.2. Recueil des données

### 1.2.1. Données générales et pratiques d'élevage

Il s'agit d'une enquête descriptive sur des élevages suivis de façon longitudinale. Les données générales concernant l'exploitation, le bâtiment suivi, les pratiques générales de l'éleveur (nettoyage et désinfection, règles sanitaires,...) les résultats technico-économiques annuels (marge Poussin/Aliment) ont été collectées. Ces informations ont été recueillies lors de la mise en place du lot d'animaux suivi, via un questionnaire rempli par l'enquêteur, sur déclarations des éleveurs et des fiches d'élevage. Le questionnaire a été conçu sur la base de précédentes enquêtes réalisées et enrichi de points spécifiques relatifs aux facteurs de risques mis en évidence dans la bibliographie (Hermans et al,

2006 ; Bouvarel et al, 2005 ; Mayne, 2005 ; Donald, 1997 ; McFerran, 1993 ; Pattison, 1987). Ces critères concernaient :

- L'approvisionnement en eau du bâtiment : (origine, équipements, traitements)
- Le nettoyage et désinfection du bâtiment, canalisations et matériel (procédures, produits...)
- La litière (type, stockage, désinfection)
- Les barrières et précautions sanitaires.

### 1.2.2. Suivi, mesures et analyses en élevage

Dans chaque site, l'enquête a débuté par une visite le jour de la mise en place des dindonneaux (J0), complété par un suivi hebdomadaire. A J0, un contrôle du nettoyage et désinfection (N&D) du bâtiment et matériel d'élevage a été réalisé visuellement selon le protocole de vérification de la qualité du nettoyage d'un poulailler de volailles au (hygiènogramme AFSSA Р. communication personnelle) complété par des boites de contact (dénombrement de streptocoques fécaux). Une analyse bactérienne de l'eau au sas et en bout de ligne (microorganismes revivifiables à 22°C, E. coli, coliformes, entérocoques intestinaux, bactéries anaérobies sulfito-réductrices (ASR) et salmonelles) permettait d'évaluer l'efficacité du N&D des canalisations, au vide sanitaire et de caractériser la qualité de l'eau initiale distribuée au dindonneaux. Lors du suivi hebdomadaire, les critères pris en considération à chaque visite étaient les paramètres d'ambiance (température, hygrométrie, ventilation mesurés à l'aide d'un Solomat étalonné et l'intensité lumineuse enregistrée avec un luxmètre), la qualité bactériologique de l'eau<sup>1</sup> en bout de ligne (microorganismes revivifiables à 22°C, entérocoques intestinaux et ASR), les consommations d'aliment et d'eau ainsi que des observations de pratiques d'élevage (règles sanitaires, évolution du matériel, contrôle des traitements de l'eau (pH, peroxyde et chlore),...). Le poids individuel de 100 mâles, prélevés aléatoirement, a été mesuré à J1, J21 et J42 afin d'estimer le poids moyen et l'hétérogénéité du lot. A J42, un entretien avec l'éleveur a permis de revenir sur la prophylaxie suivie, les traitements particuliers et les éventuels problèmes d'élevage.

### 1.3. Diagnostics «bâtiment» et «eau de boisson»

Des diagnostics relatifs à la conception ainsi qu'à la gestion de l'eau et du bâtiment ont été effectués pour chaque site. Chaque audit a été réalisé en une ½ journée, entre 0 et 42 jours d'âge des lots suivis. Ils ont consistés en une visite des installations, examen de la conception du bâtiments ou du circuit d'abreuvement, adéquation avec les normes, mesures spécifiques et entretien avec l'éleveur (évaluation des connaissances et pratiques).

Le diagnostic « bâtiment » a été réalisé sur la base d'un diagnostic technique de bâtiments d'élevage avicole classique. Ce travail visait à déterminer le potentiel du bâtiment à offrir aux animaux des conditions d'élevage optimales et à évaluer la capacité de l'éleveur à gérer correctement son bâtiment et ses équipements. Les questions ont été

regroupées selon 9 catégories, relatives au bâtiment (site et abords, âge, système de ventilation, de chauffage, de refroidissement, de régulation, isolation, barrières sanitaires, aptitude à la décontamination,...) et 2 catégories imputables à l'éleveur (gestion de l'hygiène et de l'ambiance).

Le diagnostic « eau de boisson » a permis de caractériser d'une part le circuit d'abreuvement et ses points critiques, et d'autre part la qualité de l'eau et la gestion par l'éleveur du matériel et des traitements. Les points du diagnostic ont été regroupés en 5 thèmes (origine de l'eau, circuit de distribution/mise en pression, traitements de l'eau et par l'eau, distribution dans le bâtiment). Une analyse physicochimique de l'eau a été effectuée sur chaque site, afin de déterminer le pH, la dureté et les teneurs en ammonium, manganèse et fer.

Des notes, allant de 0 (mauvais) à 5 (excellent), ont été ensuite attribuées respectivement aux couples bâtiment /éleveur et eau/éleveur (tableau 1).

### 1.4. Humidité des fientes

L'humidité de fientes a été déterminée par mesure de la taille de l'auréole observée autour de la fiente sur du papier buvard quadrillé (Bouvarel et al ; 2005). Ce dernier était placé sous un boîtier grillagé (ElancoBox) disposé de 10 à 42 jours d'âge, dans la zone «mâle» (2 feuilles/site). Les feuilles absorbantes ont été collectées 5 à 10 h après leur mise en place. Les mesures ont été réalisées tous les jours par l'éleveur, soit une lecture de 2 feuilles/jour/élevage. La taille de l'auréole d'humidité présente autour de chaque fiente intestinale a été évaluée grâce au quadrillage de la feuille: si l'intervalle est supérieur à 1 cm. le score de la fiente est noté 1 ou humide. Un jour de diarrhée était un jour où la proportion de fientes de score 1 était supérieure ou égale à 50% (Bouvarel et al; 2005). Pour chaque élevage, les résultats ont été exprimés en fréquence de jours à diarrhées, c'est à dire la proportion de jours où le ratio de fientes de score 1/score 0 a dépassé 50 % sur les 32 jours d'observation.

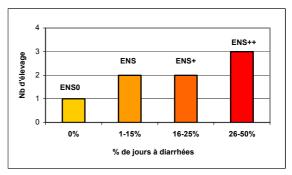
### 1.5. Traitement des données

Des moyennes et fréquences ont été calculées pour les performances technico-économiques et jours à diarrhées.

### 2. RESULTATS ET DISCUSSION

### 2.1. Les épisodes d'entérites « non spécifiques »

Dans 7 élevages sur 8, les animaux ont connu des épisodes de diarrhées plus ou moins marqués. Les élevages ont été classés en fonction de la durée de ces épisodes (figure 1). Deux élevages ont eu une fréquence de diarrhées comprise entre 1 et 15 % (ENS), 2 autres entre 16 et 25 % (ENS+), et 3 élevages ont connu entre 26 et 50 % (ENS++) de jours de diarrhées sur la période étudiée. Un seul lot n'a pas subi de passage d'entérites non spécifiques entre 10 et 42 jours (ENS 0).



**Figure 1.** Répartition des élevages selon la fréquence de jours à diarrhées observée entre 10-42j.

### 2.2. Le bâtiment

Le parc de bâtiment étudié était varié, tous les types d'ateliers sont représentés (âge, type de ventilation et d'éclairage). La gestion de l'ambiance est apparue comme fortement dépendante de la vigilance de l'éleveur et non totalement imputable à la structure du bâtiment (tableau 1). En effet, le bâtiment le plus vétuste et difficile à gérer (éleveur 1) n'a pas connu, sur le lot étudié, d'épisode de diarrhées entre 0 et 42 jours d'âge. Cet éleveur a eu une très bonne gestion de son ambiance (couple température/hygrométrie (T/H) et ventilation) comme l'indique les notes du diagnostic bâtiment (tableau 1). Comme le confirme plusieurs études, la température ressentie (T/H) et la ventilation sont des paramètres qui agissent directement sur la santé des oiseaux et l'humidité de la litière (Donald, 1997; McFerran, 1993).

### 2.3. Les barrières sanitaires

Les principales règles sanitaires visant à la protection de l'élevage contre l'introduction de pathogènes étaient globalement respectées (équipement du sas, tenue et chaussures spécifiques,...). Néanmoins, la moitié des éleveurs a entreposé des cadavres sur le sol du sas qui, dans cinq élevages sur huit, n'était pas séparé en deux zones. Le non respect de ces précautions sanitaires a permis l'introduction de germes dans le bâtiment ou leur maintien.

### 2.4. L'eau de boisson

### 2.4. 1. Origine de l'eau et équipements

Six élevages étaient approvisionnés par l'eau du réseau public, un élevage par de l'eau de puits et un autre par de l'eau de forage. Quatre des élevages approvisionnés par le réseau possédaient une pompe doseuse, les quatre autres étaient équipés d'un bac. Six éleveurs suivaient quotidiennement la consommation d'eau des oiseaux, qu'ils considéraient comme un indicateur de santé du lot.

### **2.4. 2. Analyses**

Tous les éleveurs ont effectué une fois par an, une analyse bactériologique de l'eau distribuée aux animaux, mais aucune analyse physico-chimique n'était instaurée en routine. Dans les 8 bâtiments, le pH moyen de l'eau en bout de ligne, entre 0 et 42 jours d'âge, se situait entre 7 et 8, soit supérieur à la norme conseillée en volailles (aux alentours de 6 : Plaquette CRAPDL/ITAVI, 2000). Des pH basiques peuvent constituer des conditions propices au

développement de certains microorganismes dans l'eau.

#### 2.4. 3. Traitements permanents et ponctuels

Trois éleveurs réalisaient des traitements permanents de l'eau de boisson (respectivement, chloration et complexe d'acides; peroxyde d'hydrogène; peroxyde d'hydrogène et complexe d'acides). Quatre autres effectuaient un traitement ponctuel¹ sur l'eau, principalement ajout d'acide, couplé à du peroxyde d'hydrogène, pour deux d'entre eux. L'éleveur 8, classé ENS++, ne réalisait aucun traitement (bactériologique ou physico-chimique) de son eau (tableau 1).

#### 2.4.4. Connaissance, maîtrise et contrôles

Le diagnostic « eau de boisson » rapporte que 7/8 éleveurs ne maîtrisaient pas correctement leurs équipements d'abreuvement (nettoyage, fonctionnement, dosages, ...), et ne connaissaient pas la qualité physico-chimique initiale de l'eau distribuée. Par conséquent, les traitements réalisés étaient souvent mal adaptés et donc probablement inefficaces. L'éleveur noté ENS0 gérait correctement ses traitements (connaissance et efficacité) selon l'audit «eau de boisson». L'élevage 8 était approvisionné par une eau de forage dure (24,7°F) et à teneur élevée en fer (640µg/L soit 3 fois plus que la norme). L'éleveur n'était pas conscient que ces paramètres hors normes pouvaient interagir avec les traitements prophylactiques/thérapeutiques et avoir un effet négatif direct sur les animaux (fer). Suite à cet audit. l'éleveur 8 a modifié l'origine d'approvisionnement en eau du bâtiment (réseau) et a amélioré la qualité de sa litière et ses performances. Autre exemple, seul l'éleveur 7 (ENS++) a testé en bout de ligne, l'efficacité du traitement appliqué (bandelettes pH et peroxyde). Ce contrôle a montré que les doses résiduelles de produits retrouvées en bout de ligne étaient insuffisantes pour garantir l'efficacité des traitements. Ces deux cas, semblent indiquer un manque de connaissance des caractéristiques physicochimiques de l'eau et des défauts de maîtrise des traitements de l'eau.

#### 2.5. Procédures de nettoyage et désinfection

#### 2.5.1. Bâtiment et matériel

Tous les éleveurs enquêtés procèdent à un N&D efficace des bâtiments (tableau 1). Toutefois, dans trois élevages, il faut noter la présence de streptocoques fécaux dans le sas et sur le socle des mangeoires et abreuvoirs au démarrage. Selon le questionnaire et nos observations, bien que le N&D du matériel ait été bien réalisé (procédure correcte), une contamination paraît avoir eu lieu lors du stockage du matériel, ce qui justifie la seconde désinfection dans le bâtiment. Néanmoins, des précautions particulières devraient être prises lors des étapes de stockage et de transfert du matériel.

Tous les éleveurs ont réalisé un entretien et une désinfection des circuits d'eau au cours du vide sanitaire (procédures différentes). Les quantités de bactéries revivifiables retrouvées en bout de ligne à J0, ont indiqué que seuls deux éleveurs distribuaient une eau dépourvue de bactéries aux dindonneaux à J0 (tableau 1). Ces éleveurs ont été classés ENS0/ENS. Dans les six autres élevages, l'apparition précoce des diarrhées (dès J10) pourrait être mis en relation avec la présence de bactéries revivifiables dans les canalisations au démarrage. Dans quatre de ces six élevages, l'eau distribuée aux dindonneaux (dès J0) contenait des bactéries ASR, mises en causes lors des cas d'entérites «non spécifiques» (Bouvarel et al, 2005).

#### 2.6. Evènements concomitants

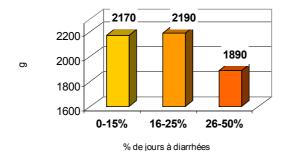
2.5.2. Canalisations

Les épisodes de diarrhée de tous les élevages ont été rassemblés et étudiés minutieusement (soit 20 épisodes). Pour chaque épisode, l'humidité anormale des fientes a été mise en relation avec un ou des paramètres mesurés comme hors norme ce jour là (température, analyse d'eau, hygiène, consommation d'eau ou d'aliment, défaut d'équipement,...). Ce travail a permis de mettre en lumière des évènements récurrents (seuls ou en combinaison) entre élevages et qui ont coïncidé avec l'apparition de fientes humides. Les apparitions de ces troubles ont été concomitantes dans 70 % des cas avec des défauts de qualité d'eau (bactériologiques ou physicochimiques soit 14 cas/20), de températures ambiantes trop élevées (50 % soit 10 cas/20) et de consommation excessive d'eau (50 % soit 10 cas/20). Une forte consommation d'eau semble avoir eu un impact sur l'humidité des fientes et sur le ratio eau/aliment, notamment en condition de fortes températures. La consommation élevée d'eau persistait après que la température soit revenue normale, soulignant qu'une élévation de température pourrait être un facteur de risque conduisant à l'apparition de fientes l'humides (Bessei et al, 1999). Ceci pourrait être exacerbé par une qualité d'eau médiocre du point de vue bactériologique.

#### 2.7. Impacts technico-économiques

Un poids plus faible, en moyenne de 300g a été constaté à 42 jours (figure 2), entre les lots d'animaux fortement touchés par les problèmes d'entérites « non spécifiques » (ENS++) et les autres lots (ENS0/ENS/ENS+). De plus, une relation (R² = 0,54) est apparu comme reliant la fréquence des jours à diarrhées et la marge Poussin/Aliment (Marge PA) des lots enquêtés. Bien que de nombreux facteurs entrent en ligne de compte, selon nos résultats, l'élevage 8 avait une marge PA réduite de 7 €/m² comparée à l'élevage 1. Ceci parait confirmer l'impact négatif des troubles digestifs sur les performances techniques et économiques des élevages, déjà bien connu.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Traitements réalisés de manière systématique (1 fois/semaine dès 15 j d'âge) ou lors d'épisodes de diarrhées, selon les élevages



**Figure 2.** Poids des dindons à J42 en fonction du pourcentage de jours à diarrhées.

#### CONCLUSIONS

Nos résultats ont permis de soulever quelques pistes quant aux moyens de limiter l'apparition des ENS. Néanmoins, il convient de confirmer ces hypothèses sur un plus grand nombre d'élevage et avec un protocole adapté. Il est apparu que ces troubles digestifs touchent la quasi totalité des élevages enquêtés (7/8), de manière plus ou moins marquée. L'observation plus précise de l'installation et des pratiques de l'éleveur 1 (ENS0) a indiqué que cet éleveur gère correctement l'ambiance du bâtiment. les traitements de l'eau, le N&D du bâtiment, matériel et canalisations et respecte soigneusement les règles sanitaires. Ces critères apparaîtraient donc comme des éléments de maîtrise de l'apparition des troubles digestifs. Le respect des précautions sanitaires est indispensable pour limiter l'introduction dans le bâtiment, de germes pouvant induire des déséquilibres digestifs (Hermans et al., 2006). L'ambiance du bâtiment est un facteur primordial à maîtriser (Bessei et al., 1999; Donald, 1997; Koncicki et al., 1991; Pattison, 1987) afin d'éviter les augmentations de température et ainsi ne pas favoriser un abreuvement excessif. Ici, détérioration de la qualité physico-chimique ou bactériologique de l'eau a été, dans 70% des cas,

concomitante avec l'apparition d'ENS. La sécurisation de l'eau de boisson passe par une connaissance de sa qualité physico-chimique, le choix de produits adaptés pour le N&D et les traitements antibactériens, des contrôles de doses résiduelles en bout de ligne.

Ainsi, il paraît indispensable de préciser ces différentes pistes sur un plus grand nombre d'élevages. C'est l'objectif du travail proposé par Travel et al. (2007) concernant les critères relatifs à l'eau de boisson.

#### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Bessei W., Reiter K., Feile H.,1999. Arch. Fur Geflug. 63 (3): p 115-121.

Bidault O.; Bouvarel I.; Chevalier D., 2003. Sc. & Tech. Av. (40): p 21-28.

Bouvarel I.; Chevalier D.; Chatenet X.; Lebrasseur A.; Quimerc'h S.; Vivien S.; Puterflam J.; Ragot O.; Travel A.; Bourdette C.; Gabriel I. 2005. Sc.&Tech. Av. (53): p 4-11.

Donald M., 1997. Poult. Dig 56 (1): p 44-45.

Hermans P.G., Fradkin D., Muchnik I.B., Morgan K.L., 2006., The Vet. Rec (158): p 615-622.

Koncicki A., Krasnodeska-Depta A., Zdunczyk E., Felska M., 1991. Medycyna Weterynaryjna 47 (2): p 81-84.

Mayne R K, 2005. World's Poult. Sc. Journ.61 (2) :p256-7.

McFerran J. B., 1993. Publication – Vet. Cont. Educ., Massey University (151): p 39-44.

Pattison M., 1987. Rec. Adv. in Anim. Nut.: p 27-

Plaquette CRAPDL/ITAVI, 2000. «Eau de boisson en aviculture: éleveurs, faites le point!» septembre 2000.

Travel A., Chevalier D., Merlet F., Fulbert L., 2007. Journ. Rech. Avic. (7): sous presse.

**Tableau 1.** Récapitulatif des notes attribuées à chaque élevage, par le diagnostic «bâtiment», le diagnostic «eau de boisson» et résultats d'analyses d'eau des 8 élevages, classés selon l'importance des épisodes d'entérite non spécifique (ENS).

Source des résultats	diagi	nostic «bâtiı	o a			Boite de contact		Analyses bactériennes de l'eau à J0		Notations ElancoBox		
N° Elevage	Note bâtiment	Gestion ambiance	Règles sanitaires	Origine eau	Traitement permanent eau	Traitement par l'eau	N&D bâtiment	N&D matériel	N&D canalisations	Bactéries eau J0	Diarrhées J10-15	Notation ENS
Elevage 1	Mauvais	Excellent	Très Bien	Puits	oui	Bien	Très Bien	Très Bien	biofilm-	-	absence	ENS0
Elevage 2	Bien	Bien	Moyen	Réseau	non	Moyen	Bien	Bien	biofilm-	-	absence	ENS
Elevage 3	Bien	Excellent	Moyen	Réseau	non	Moyen	Très Bien	Très Bien	biofilm+	++	présence	ENS
Elevage 4	Très Bien	Bien	Très Bien	Réseau	non	Bien	Très Bien	Moyen	biofilm+	+++	présence	ENS+
Elevage 5	Très Bien	Très Bien	Très Bien	Réseau	non	Bien	Bien	Bien	biofilm+	-	présence	ENS+
Elevage 6	Bien	Moyen	Bien	Réseau	oui	Très Bien	Très Bien	Très Bien	biofilm+	-	présence	ENS++
Elevage 7	Très Bien	Bien	Bien	Réseau	oui	Bien	Très Bien	Très Bien	biofilm+	++	présence	ENS++
Elevage 8	Très Bien	Bien	Moyen	Forage	non	Mauvais	Bien	Mauvais	biofilm+	+++	présence	ENS++

N&D= Nettoyage et désinfection ; J=Jour d'âge des dindonneaux ; -/+/++++= quantité croissante de bactéries dans l'eau.

### CINETIQUE DES PODODERMATITES CHEZ LES POULETS DE CHAIR ELEVES SUR PAILLE OU COPEAUX EN ELEVAGE COMMERCIAL

### Mirabito Luc<sup>1</sup>, Ziemniak Lucile<sup>1,2</sup>, Chevalier Dylan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ITAVI, 21 rue du Rocher, 75 008 Paris <sup>2</sup>Chambre Régionale d'Agriculture des Pays de la Loire, 9 rue André Bouard, 49 100 Angers

#### RÉSUMÉ

Cette étude avait pour objectif de décrire la cinétique d'apparition des pododermatites dans deux systèmes d'élevage différents par la nature de la litière utilisée afin d'être en mesure ultérieurement de mieux cibler les mesures correctives éventuelles.

Les observations ont été réalisées dans dix lots de poulets des pays de la Loire durant le printemps 2006, cinq lots étant élevés sur litière de paille de blé et cinq lots sur litière de copeaux de bois. Chaque lot a fait l'objet de 4 visites durant la phase d'élevage au cours desquelles la présence de pododermatites était contrôlée chez 100 poulets.

Dès la première observation des pattes, à 6-10 jours d'âge des poulets, la moitié des animaux présentaient des lésions modérées (54% en moyenne). Au cours de l'élevage, la proportion de lésions modérées n'a pas évolué, le nombre de pattes sans lésions ou avec lésions mineures a diminué (P<0,1) et des lésions graves de petite taille sont apparues (P<0,05), notamment entre la 3ème et la 5ème semaine (P<0,05), concomitamment aux lésions graves de grande taille. Dans les lots de poulets élevés sur copeaux, lors de la première observation,  $81\% \pm 33\%$  des pattes ne présentaient pas de lésions ou des lésions mineures et, de la 3ème à la 5ème semaine d'élevage, il n'y a pas eu d'évolution significative de ces fréquences. Dans les lots de poulets élevés sur paille, la majorité des animaux ( $84\% \pm 6\%$  en moyenne) présentaient des pattes avec des lésions modérées dès la 2ème semaine d'élevage, fréquence qui diminuait ultérieurement (P<0,05). Si aucune évolution significative ne ressort pour les autres classes, on notera cependant que les lésions graves sont apparues dès la 3ème semaine. Les résultats obtenus à l'abattoir reproduisaient globalement la situation observée en élevage, notamment celle observée lors de la cinquième semaine, à l'exception de deux lots élevés sur copeaux pour lesquels la situation s'est fortement dégradée en relation sans doute avec des troubles digestifs apparus tardivement.

En conclusion, dans l'objectif de réduire la fréquence des pododermatites, il semble donc nécessaire de se focaliser dans un premier temps sur les conditions de démarrage et/ou les caractéristiques de la litière sans négliger cependant les autres conséquences, notamment environnementales et économiques, que pourraient avoir des modifications de ces paramètres.

#### **ABSTRACT**

This study was carried out to describe the kinetics of appearance of footpad dermatitis in two poultry farming systems differing in terms of the nature of the litter used in order to be able, at a later date, to target possible corrective measures more effectively.

The observations were made in the Loire Region on ten flocks of broilers during spring 2006, 5 flocks reared on wheat straw and 5 reared on wood shaving. Each flock was the subject of 4 weekly visits, during which a control of foot pad dermatitis of 100 chickens was realised.

Right from the first observation at 6-10 days of age, lesions were already present with half of the birds presenting moderate lesions (54% on average). During the rearing period, the proportion of these lesions did not change while the number of foot without lesions or with minor lesions fell (P< 0.1) and small severe lesions appeared (P< 0.05), especially between the 3<sup>rd</sup> and 5<sup>th</sup> weeks (P< 0.05). When broilers were reared on wood shaving, , 81%  $\pm$  33% of chicken did not present lesions in the first observation. From the 3<sup>rd</sup> to the 5<sup>th</sup> week of rearing, there was no significant change in the levels of incidence of each kind of lesion. On the contrary, broilers reared on straw showed a high level of moderate lesions at the end of the first week of age (84%  $\pm$ 6%). Over the whole rearing period, the frequency of these moderate lesions decreased (P< 0,05). If no significant change was observed for the other classes, it is noteworthy that severe lesions appeared at the beginning of the 3<sup>rd</sup> week.

In conclusion, under the rearing conditions in our sample, footpad dermatitis appeared very early on, and was probably linked to the initial conditions inside the building and/or the type of litter used.

#### INTRODUCTION

Depuis 2004, un programme de travail, conduit par l'ITAVI, l'INRA et l'AFSSA a été mis en place afin d'analyser les relations entre différentes lésions indicatrices de bien-être mesurées à l'abattoir (Mirabito et al., 2007). Parmi celles-ci, les pododermatites sont apparues comme des lésions dont la fréquence semblait élevée, notamment par rapport à d'autres études réalisées en Europe (Ekstrand et al., 1997; Dawkins et al., 2005). Aussi, pour mieux comprendre, l'origine et les causes de ces lésions nous avons souhaité réaliser une étude de leur cinétique d'apparition en élevage qui devrait aussi nous permettre, ultérieurement, de mieux cibler les mesures correctives éventuelles à mettre en place.

Ce travail a été réalisé dans deux situations d'élevage différentes en terme de litière utilisée. En effet, plusieurs auteurs ont déjà mentionné l'impact du type de sol, de la nature de la litière ou de ses caractéristiques sur les pododermatites (Martrenchar et al., 2002; Su et al., 2000; Ekstrand et al., 1997). Or, dans les données collectées par Mirabito et al. (2007), tous les lots de poulets ont été élevés sur terre battue et litière de paille. Il nous semblait, par conséquent, intéressant d'introduire ce variant parce qu'il pouvait être une des causes des fréquences élevées observées dans la précédente étude. Arbitrairement, nous avons donc choisi de réaliser ce suivi sur des lots élevés sur paille et sur copeaux, ce dernier type de litière étant facilement disponible et ayant déjà été évalué en station expérimentale.

#### 1. MATERIEL ET METHODES

#### 1.1. Caractérisation de l'échantillon

Les observations ont été réalisées dans cinq sites d'élevage des Pays de la Loire, sur un total de dix lots de poulets, chaque site comprenant deux bâtiments (tableau 1).

**Tableau 1.** Caractéristiques des bâtiments et des lots suivis (X % correspond au pourcentage d'animaux abattus à cet âge lorsqu'il y a eu détassage)

LOT	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2	E1	E2
Site	A		В		С		D		Е	
Type de bâtiment				CO	DLORADO (vent	ilation dynami	que)			
Taille bâtiment (m²)	150	00	120	00	100	0	1000	1200	650	850
Litière	copeau	paille	paille		copeau	paille	copeau	paille	cor	eau
Epaisseur litière (cm)	4	10	12		4	8	5	15		5
Type d'abreuvement	pipette récupé		pipette avec récupérateur		pendulaire	Coupelle en ligne	1 1	te avec érateur	coupelle	en ligne
Densité initiale (animaux/m²)	Densité initiale		23		21,	4	21,9	22,9	22,6	22
Age où les lésions ont été mesurées à l'abattoir	37j	37j	36j (50%)	36j (50%)	34j (50%)	34j (50%)	36j (70%)	36j <i>(25%)</i>		1j 0%)

#### 1.2. Planning des observations

Chaque lot a fait l'objet de 4 visites durant la phase d'élevage (semaine 2 : 8±2 jours, semaine 3 : 15±2 jours, semaine 4 : 22±2 jours, semaine 5 : 29±2 jours d'âge des poulets) et 1 visite à l'abattoir (entre 34 et 37 jours d'âge). Pour les lots E1 et E2 cependant, les mesures n'ont pas été réalisées, pour des raisons pratiques, au cours de la semaine 2 et l'abattage suivi a eu lieu à 41 jours. De plus, lors de cet abattage les poulets des lots E1 et E2 étaient mélangés

#### 1.3. Observations réalisées en élevage

La fréquence des pododermatites de contact a été déterminée par l'observation de 100 poulets les 2ème, 3ème et 4ème semaines et de 50 poulets lors de la 5ème semaine. Les animaux ont été prélevés en 5 points répartis sur une diagonale du bâtiment, et bloqués dans des cadres de 1 m². La classification des pododermatites reposait sur une combinaison de la profondeur de la lésion et de la surface relative du coussinet atteint tel que décrit par Mirabito et al. (2007).

#### 1.4. Observations réalisées en abattoir

La fréquence des pododermatites a été déterminée sur un échantillon de 200 à 400 poulets selon la taille du

lot. Les pattes (une par animal) ont été récupérées pour l'observation des pododermatites après leur coupe. La classification des lésions était la même que celle utilisée en élevage.

#### 1.5. Analyse des résultats

Les analyses ont été effectuées d'abord pour l'ensemble des lots (unité statistique), puis en différenciant les lots de poulets élevés sur paille et les lots de poulets élevés sur copeaux qui n'ont pas été comparés directement compte tenu du déséquilibre du dispositif expérimental. Les effets de l'âge sur les différentes variables ont été testés grâce aux tests non paramétriques de Friedman et lorsqu'ils étaient significatifs, les différents âges étaient comparés deux à deux en utilisant le test de Wilcoxon. Les différents tests statistiques ont été réalisés au moyen du logiciel Statview 5.

#### 2. RESULTATS

# 2.1. Résultats techniques des lots de poulets de l'échantillon

Par rapport à la moyenne du Grand Ouest (résultats de l'enquête auprès des aviculteurs du Grand Ouest, édition 2004-2005, réalisée par les Chambres d'Agriculture), les lots suivis ont eu une période d'élevage plus courte (37 j vs 41,4j), un poids moyen

proche (1837g vs 1891g), de meilleures croissances (49,4 g/j vs 46,9g/j) et Indice de Consommation (1,810 vs 1,848), une mortalité inférieure (2,9 % vs 4,2 %) et un taux de saisie plus faible (0,25 % vs 0,66 %) pour une densité moyenne d'élevage initiale comparable (22,5 poulets/m²). Ces résultats caractérisaient donc un groupe aux performances techniques très correctes par rapport à la moyenne des élevages.

#### 2.2. Cinétique des lésions en élevage

Une analyse de la corrélation entre les fréquences des différentes classes de lésion pour chaque semaine d'élevage a confirmé la justification des regroupements proposés et utilisés dans Mirabito et al. (2007). Toutefois, dans le cadre de cette étude et compte tenu de notre objectif de suivre l'évolution dans le temps des lésions, nous avons considéré de façon indépendante les petites lésions modérées ou graves.

Les classes finalement retenues étaient les suivantes : la classe « 0123 » qui correspondait à "absence de lésions ou lésions mineures", la classe « 4 » qui correspondait à des "lésions modérées" couvrant moins de 25 % de la surface du coussinet, la classe « 56 » qui correspondait à des "lésions modérées" couvrant plus de 25 % de la surface, la classe « 7 » qui correspondait à des "lésions ulcéreuses" couvrant moins de 25 % de la surface et, enfin, la classe « 89 » qui correspondait à des "lésions graves" couvrant plus de 25 % de la surface

#### • Ensemble des lots

Dès la première observation des pattes, à 6-10 jours d'âge des poulets, des lésions étaient déjà présentes. En moyenne, la moitié des animaux présentaient des lésions modérées de classe « 56 » (54%), le tiers des poulets ne présentaient pas de lésions ou des lésions mineures (32 %), et le reste présentait des lésions notée « 4 ». Au cours de l'élevage, les fréquences des lésions « 56 » et « 4» n'ont pas évolué, la fréquence de pattes notées « 0123 » a diminué (P<0,1) et des lésions graves de petite taille (classe « 7») sont apparues (P<0,05), notamment entre la 3ème et la 5ème semaine (p<0,05). De même, à partir de la 3ème semaine, des lésions «89» ont été observées. Cependant il faut noter aussi que des phénomènes de guérison caractérisés par un coussinet présentant une zone blanche lisse ont été observés durant toutes les semaines d'élevage.

• Les lots de poulets élevés sur copeaux (figure 1) A la première observation,  $81\% \pm 32\%$  des pattes ne présentaient pas de lésions ou des lésions mineures « 0123 ». Les quelques lésions visibles étaient des lésions de classes « 4» ( $13\% \pm 21\%$ ) et « 56» ( $7\% \pm 12\%$ ). De la 3ème à la 5ème semaine d'élevage, il n'y a pas eu d'évolution significative de ces fréquences. Des lésions notées « 7 » ont pu être observées en  $5^{\rm eme}$  semaine mais aucune lésion notée « 89 ».

• Les lots de poulets élevés sur paille (figure 2) En moyenne, la majorité des animaux (84 % ± 6 %) présentait des pattes avec des lésions modérées « 56 » dès la 2ème semaine d'élevage. A cet âge, les autres pattes observées présentaient principalement des lésions de classe « 4» (12 % ± 7 %), les lésions de classe « 0123» ne représentant que 3 % ± 2 % des pattes. Sur l'ensemble de la période, la fréquence de la classe « 56 » a diminué (P<0,05), cette baisse étant significative entre la 2ème semaine et les autres semaines (P<0,05), ainsi qu'entre la 3ème et la 5ème semaine (P<0,1). On notera que les lésions graves de classe « 7 » et « 89 » ont été visibles sur certains lots dès la 3ème semaine et que leurs fréquences augmentait ultérieurement.

L'absence de relation apparente entre la diminution de la fréquence de la classe des lésions modérées « 56 » et l'apparition d'autres lésions pourrait s'expliquer par une évolution propre à chaque lot. Ainsi, pour le lot A2, la fréquence de la classe « 4» augmentait avec l'âge des animaux tandis que les autres classes restaient à des niveaux très faibles, évolution qui semblerait donc traduire une tendance à l'amélioration de l'état des pattes des animaux. Pour les lots B1 et B2, la fréquence de la classe « 4» augmentait en 3ème et 4ème semaine puis celle des classes « 7» et « 89 » en 5ème semaine (double en B2 par rapport à B1), évolution qui globalement illustrerait plutôt une dégradation de la situation. Enfin, les lot C2 et D2 se caractérisaient par une augmentation de la fréquence de la classe « 7 » en 3 ème semaine et 4 ème semaine mais sans qu'il apparaisse véritablement de tendances nettes vers un des deux états précédents. Ces observations restent à confirmer car les effectifs réduits et le nombre important de classes de lésion pourraient également expliquer l'absence de relation entre l'évolution de la classes «56» et celle des autres classes

#### 2.3. Les lésions observées à l'abattoir (figure3)

Les résultats obtenus font apparaître une très grande variabilité du niveau d'atteinte des animaux, avec un pourcentage de poulets « sans lésions ou avec lésions mineures » variant de 0 à 90 % et, inversement, une fréquence des lésions graves de grande taille variant de 0 à 43 %. Lorsque les poulets étaient élevés sur copeaux, l'état des pattes des animaux variait considérablement. Les animaux des lots A1 et D1 ne présentaient aucune lésion ou des lésions mineures dans près de 90 % des cas. Les animaux du lot C1 présentaient à part égale des coussinets avec des lésions notées « 0123 » et « 4» (environ 40%) tandis que les lésions « 89 » étaient présentes dans 2% des cas. Enfin, les animaux du lot E (E1-E2 mélangés) étaient porteurs dans 41 % des cas de lésions « 89 ». Pour les lots élevés sur paille, la fréquence moyenne des poulets «0123» s'élevait à 3,6 %, valeur comprise entre 0 et 6 %, tandis que la fréquence des lésions notées « 89 » s'élevait en moyenne à 21,4 %, les valeurs étant comprises entre 10 et 43 % des pattes observées.

# 2.4. Corrélation entre les pododermatites en élevage et à l'abattoir (tableau 2)

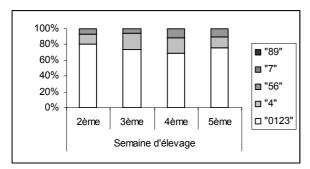
Sur l'ensemble des lots (excepté le lot E en raison du mélange des lots E1 et E2), il est apparu des corrélations significatives ou des tendances :

-positives entre les variables « 0123 » élevage quelle que soit la semaine et la variable « 0123 » abattage

-négatives entre les variables « 0123 » élevage quelle que soit la semaine et les variables « 4 » à « 89 » abattage

-négatives entre les variables « 56 » élevage quelle que soit la semaine et la variable « 0123 » abattage

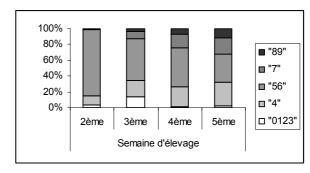
**Figure 1.** Evolution (%) des pododermatites au cours des semaines d'élevage pour les lots élevés sur copeaux (3 lots la 2ème semaine; 5 lots pour les semaines suivantes)



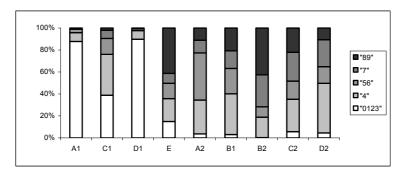
-positives entre les variables « 56 » élevage (semaine 2,3,4) et les variable « 7 » et « 89 » abattage -positive entre la variable « 89 » élevage en semaine 5 et la variable « 89 » abattage

Dans l'ensemble ces corrélations étaient le reflet des différences d'évolution des lots sur les deux types de litière. Ainsi, la classe « 0123 » était surtout représentative des lots élevés sur copeaux et la classe « 56 » des lots élevés sur paille. Lorsque nous avons considéré seulement le cas des lots élevés sur paille, nous n'avons obtenu des corrélations positives qu'entre la fréquence des lésions des classes « 4», « 56 », « 7» et « 89 » relevées en 5ème semaine et à l'abattoir.

**Figure 2.** Evolution (%) des pododermatites au cours des semaines d'élevage pour les lots élevés sur paille (n=5)



**Figure 3.** Répartition des classes de pododermatites (%) à l'abattoir par lot (Copeaux : A1, C1, D1, E – Paille : A2, B1, B2, C2, D2)



**Tableau 2.** Corrélations entre les classes de pododermatites en élevage et à l'abattoir pour les lots des sites A à D (n=8)

			Notes abattoir							
		0123	4	56	7	89				
	0123	>0	<0	<0	<0	<0				
	0123	s2-s3-s4-s5	<b>s2</b> - <i>s3T</i> - <b>s4</b> - <b>s5</b>	s2T-s3T-s4T-s5T	s2-s3-s4-s5	<b>s2</b> - <i>s4T</i> - <i>s5T</i>				
	4	>0		>0						
Natas	4	s5T		s5T						
Notes	=(	<0	>0	<0	>0	>0				
élevage	56	s2-s3-s4-s5	s5T	s2T	<b>s2-</b> s3T	<b>s2</b> - <i>s3T</i> - <i>s4T</i>				
	7									
	89					>0				
	89					s5				

s= semaine - >0 = corrélation positive - <0 : corrélation négative en gras : P<0.05- en italique T : P<0.1.

#### 3. DISCUSSION ET CONCLUSION

Au cours d'une étude du même type mais réalisée dans un seul élevage, Greene et al. (1985) avaient observé les premières lésions vers 19 jours chez des poulets de chair standard mais suggèrent que poulets pourraient être affectés dès 9 jours. Dans notre cas, les premiers signes (lésions mineures ou modérées) sont apparus dès la fin de la première semaine et les lésions ulcéreuses sont apparues dans certains élevages entre 13 et 17 jours. Il semble que le développement des pododermatites puisse être très rapide puisque lors d'une visite préliminaire dans les élevages (réalisée entre 1 et 3 jours d'âge des poulets), l'observation rapide non quantifiée des pattes faisait apparaître une absence de lésion.

Greene et al.(1985), en marquant individuellement les animaux, ont observé une évolution des lésions modérées vers les lésions de type ulcérative. Ces auteurs n'ont cependant travaillé que sur un seul lot qui, de plus, a été affecté par une coccidiose entre 19 et 25 jours. Dans notre échantillon, un cas similaire s'est présenté avec les lots E1 et E2, touchés par une coccidiose à partir de 17 jours qui a entrainé une dégradation nette de la litière en fin d'élevage (observée à 34 jours lors d'une visite supplémentaire) qui pourrait être une des causes principales de la fréquence élevée de pododermatites graves observée à l'abattoir dans ce lot (sans que l'on puisse exclure aussi un effet de l'âge d'abattage des animaux).

Dans notre cas, l'évolution vers une dégradation de l'état des animaux n'est pas systématique mais, au contraire, des réponses plus diverses ont été observées qui peuvent aussi prendre la forme d'amélioration ou de stabilisation. Nous avons aussi observé, dans certains de nos lots, des phénomènes de guérison, déjà mentionnés dans la littérature (Martland, 1985).

De la même manière, l'analyse des corrélations entre la situation observée en élevage et à l'abattoir conduit à des résultats relativement ambigus. Certes, la différenciation majeure entre l'évolution des lots de poulets élevés sur copeaux et celle des lots élevés sur paille conduit à établir des liens entre ces deux phases. Mais inversement dans les lots élevés sur paille, la fréquence des pododermatites mesurée précocement ne permet pas de prédire le niveau final. Même si on peut formuler de nombreuses méthodologiques sur ces résultats (nombre de lots, caractéristiques des lots, échantillonnage en élevage), on pourrait globalement les interpréter comme la caractérisation d'une situation à deux niveaux : d'une part, une dégradation ou non, précoce de l'état des animaux et, d'autre part, une évolution ultérieure sous l'influence des conditions d'élevage (dont les problèmes pathologiques qui affectent notamment la litière).

L'apparition très précoce des pododermatites pourrait être mise en relation avec les conditions de démarrage des animaux, période durant laquelle une hygrométrie élevée est généralement maintenue dans les bâtiments ce qui peut avoir des conséquences sur l'humidité de la litière, facteur maintes fois décrit comme cause potentielle du développement des dermatites. Toutefois, comme le montrent les résultats obtenus lorsque les poulets étaient élevés sur copeaux, il s'agit vraisemblablement surtout d'une question d'interaction entre l'air ambiant et le type de litière. De plus, à cette période sensible pour l'animal, d'autres paramètres sont à prendre en compte (choc thermique et hygrométrique, état du poussin, pathologies...) qui nécessitent la réalisation d'investigations complémentaires.

Même si le dispositif expérimental ne nous permet pas de conclure à un effet significatif du type de litière, les résultats obtenus montrent cependant l'effet potentiel de ce facteur sur la fréquence des pododermatites. Il ne saurait cependant être question d'une réponse systématique comme le montrent les résultats des lots E1 et E2. Comme nous l'avons mentionné en introduction, certains auteurs ont déjà rapporté l'effet positif des copeaux de bois en comparaison à la paille (Su et al., 1999; Martranchar et al., 2002 mais confusion avec d'autres facteurs). Dans cette étude, nous ne pouvons cependant pas dissocier l'effet propre du type de litière d'effets indirects comme la réduction de « l'humidité » de surface ou de facteurs de confusion (épaisseur de litière moindre avec les copeaux) qui sont apparus comme des facteurs de risque dans une étude épidémiologique conduite en Suède (Ekstrand et al, 1997). De nouveau, des études complémentaires sont nécessaires au cours desquelles devront aussi être pris en compte les conséquences économiques et environnementales du type de litière, les copeaux ayant été choisis dans le cadre de notre travail uniquement comme un modèle.

En conclusion, cette étude suggère, que dans les conditions d'élevage couramment rencontrées sur le terrain, la phase de démarrage des lots semble constituer une phase critique pour le développement des pododermatites. Mais, un travail sur le type de litière utilisé en élevage pourrait permettre une amélioration sensible de l'état des pattes des animaux, une approche qui devra être conduite en prenant aussi en compte les aspects environnementaux et économiques.

#### REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier les entreprises et les éleveurs qui nous ont accueillis et permis de réaliser ce travail ainsi que C. Arnould (INRA) et V. Michel (AFSSA) pour leurs conseils. Ce travail a reçu le soutien financier de l'OFIVAL et de la région des Pays de la Loire.

#### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Ekstrand, C., Algers, B., Svedberg, J., 1997.. *Prev. Vet. Med.* **31**: 167-174.

Greene, J.A., McCracken, R.M., Evans, R.T, 1985 *Avian Path.* **14**: 23-38.

Martland, M.F., 1985. Avian Path. 14: 353-364.

Martrenchar A., Boilletot E., Huonnic D., Pol F. 2002 *Prev. Vet. Med.* **52**: 213-226.

Mirabito L., Colas M., Allain V., Arnould C., Michel V. 2007 Septièmes Journées de la Recherche Avicole, Tours, 28 et 29 mars 2007

Su G., Sorensen P., Kestin C. 2000 *Poultry Science*, 79: 1259-126

## AMELIORATION DE LA PRISE EN COMPTE DE L'ACTIVITE PHYSIQUE ET DE LA PRESENTATION DE L'ALIMENT DANS LA PREVISION DES PERFORMANCES DES POULETS DE CHAIR

Bignon Laure 1,2,4, Llorca Alban 1, Bouvarel Isabelle 3, Lescoat Philippe 4

<sup>1</sup> CENTRALYS Service Volailles 9-11, avenue F Arago, BP 108 78191 Trappes Cedex <sup>2</sup> Etudiante en mémoire de fin d'études de l'Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie de *Toulouse* 

<sup>3</sup> ITAVI, UR83 Recherches Avicoles, 37380 Nouzilly <sup>4</sup> INRA, UR83 Recherches Avicoles, 37380 Nouzilly

Ce travail a été réalisé dans le cadre de l'Unité Mixte Technologique BIRD (Biologie et Innovation pour la Recherche et le Développement en aviculture)

#### RÉSUMÉ

Le modèle de simulation de croissance des poulets de chair, CENTRAVI (adapté de INAVI) intègre l'impact de l'activité physique des animaux sur les performances. Le but de ce travail a été d'améliorer les prévisions par une meilleure prise en compte de ce paramètre.

Les mesures d'activité ont été effectuées sur des poulets Ross élevés en bâtiment obscur, selon 2 séries successives. La première série, réalisée sur 3 lots d'élevage, a permis de connaître la variation de l'activité sur la journée et d'en déduire un protocole d'observation. La deuxième (9 lots) a permis de constituer une base de référence sur l'activité physique en élevage. Cette dernière a été étudiée par scan sampling, calcul du pourcentage de poulets debout sur une zone définie, à un moment donné. Le pourcentage de poulets qui mangent, quelle que soit leur position (couché ou debout), a également été considéré afin de mettre cette valeur en relation avec les caractéristiques physiques des aliments (taux de fines, longueur des granulés, durabilité, dureté). Ainsi la variation de l'activité du poulet en fonction de la présentation des aliments a pu être étudiée.

Un pic d'activité à l'allumage et une activité constante le reste de la journée ont été constatés. La décroissance de l'activité avec l'âge est observée, en cohérence avec des travaux antérieurs. L'activité sur la journée a été d'autant plus importante que la nuit a été longue. En revanche, avec une température élevée et une intensité lumineuse faible, les poulets ont été, de facon assez surprenante, actifs au moment de nos observations.

Concernant les caractéristiques physiques mesurées des aliments, seul le taux de fines a un effet significatif sur le temps passé à manger.

Ces résultats ont indiqué des pistes à suivre pour l'évolution de CENTRAVI. Le niveau d'activité physique initial ainsi que le facteur de décroissance d'activité avec l'âge ont pu être modifiés. Cette étude a permis de faire évoluer CENTRAVI en fonction des problématiques de terrain et a ainsi montré l'intérêt de la prise en compte de ces dernières qui continueront à être développées dans les prochaines années.

The model of broiler growth simulation, CENTRAVI (adapted from INAVI) incorporates the impact of physical activity on performance. The aim of this work was to improve predictions by a better use of this parameter.

Two series were carried out, in dark birdhouses with Ross broilers: the first one, with 3 flocks, to study the variations of physical activity throughout a day and the ideal time to take further measures, the second one, with 9 flocks, to create a base of reference on physical activity in stockbreeding. Physical activity was measured by scan sampling on a given place at a precise time (the unit is the percentage of standing broilers). Percentage of eating broilers (lying or standing) was considered to emphasize the link between this value (representative of physical activity) and the physical characteristics of the feed (pellet hardness, durability, length and fine levels). A peak of activity at the beginning of the light period followed by a constant level was observed. A drop in physical activity with age was observed, consistently with previous studies. The activity is higher when the dark period is long. However, the higher the temperature and the lower light intensity, the higher activity was seen. Regarding the physical characteristics of the feed, fine level is the only criterion which significantly affected the

duration of feeding.

These results highlighted possible improvements for CENTRAVI. Firstly, the level of activity at the age of 21d can be modified. Secondly, factor of activity which represents the drop of activity with age, can also be changed. As a conclusion, this study allowed the evolution of CENTRAVI in given field conditions and showed the importance of these approaches which will be further developed in the future.

#### INTRODUCTION

Les performances des poulets de chair dépendent de nombreux paramètres tels que les caractéristiques génétiques des souches considérées, caractéristiques nutritionnelles et physiques de l'aliment, et l'environnement d'élevage. Pour prendre en compte tous ces paramètres, un modèle de simulation de croissance des poulets de chair, baptisé INAVI, a été développé par Maxime Quentin en thèse à l'ITAVI et l'Unité de Recherches Avicoles de Nouzilly de 2002 à 2004 et par Michel Picard (Quentin, 2004). Ce modèle met en œuvre plusieurs approches particulières: les besoins d'entretien et l'activité physique constituent deux éléments distincts. Il a pour force motrice l'ingestion. Ses paramètres et lois de réponse sont accessibles aux utilisateurs et modifiables par eux. Il a ensuite été diffusé auprès de différentes entreprises. C'est dans ce cadre que Centralys, firme-services du groupe Provimi, en a bénéficié. Centralys a validé le modèle avec ses propres données et l'a rebaptisé CENTRAVI. Le travail autour de la prise en compte de l'activité dans le modèle a été la première voie d'amélioration. En effet, ce paramètre a été très peu étudié en élevage et les données sont souvent anciennes.

L'activité physique des poulets de chair diminue avec l'âge (Preston, Murphy, 1989, Bessei, 1992; Richard et al., 1997). De plus, un aliment carencé ou présentant un taux de fines ( $\emptyset$  < 0.6mm) élevé entraîne une augmentation de cette dernière (Picard et al., 1994; Bizeray et al., 2002). Tous les paramètres d'ambiance en élevage ont également un impact fort (Classen et al., 1991; Yahav et al., 1996; Lott et al., 1998). Cette étude s'est concentrée sur l'activité physique de façon à définir un niveau d'activité du poulet à 21 jours et une variation de l'activité en fonction de l'âge et de différents paramètres d'ambiance. Parallèlement à cela, des mesures sur les aliments ont été effectuées de façon à considérer les variations d'activité liées aux caractéristiques physiques des aliments.

#### 1. MATERIELS ET METHODES

#### 1.1. Observations en élevage commercial

Les observations se sont déroulées en 2 étapes et ont concerné des poulets de souche Ross, pour la plupart, élevés en bâtiment obscur. La première étape a permis de connaître la variation de l'activité sur la journée, avec trois lots suivis en mai et juin 2006. La deuxième étape a permis de constituer une base de référence sur l'activité en élevage standard, avec 9 lots suivis en juillet et août 2006. L'activité physique du poulet de chair a été assimilée dans cette étude au pourcentage

de poulets debout quelles que soient leurs occupations: manger, se toiletter, boire... La mesure de cette activité a donc été effectuée par du scan sampling sur 2% du troupeau, comptages répétés des poulets debout et qui mangent à un instant donné et sur des zones définies à l'aide de scotchs au milieu du bâtiment. Les poulets qui mangent (couchés ou debout) sont considérés afin de voir si les modifications de l'activité des poulets liées à des caractéristiques des aliments sont dues à un changement du temps passé à se nourrir. La donnée obtenue est donc un budget temps, exprimé en pourcentage de poulets debout ou de poulets mangeant. Dans la première série de mesures, les scans ont été effectués toutes les 3h, de l'allumage à l'extinction, les horaires et la durée de coupure variant suivant les élevages commerciaux visités, et les poulets ont été suivis de 8 à 37j. Lors de la deuxième série, une seule mesure par jour a été réalisée entre 8h et 19h (à au moins une heure de l'allumage et de l'extinction) à 14, 21 et 28 jours. Le contenu d'une assiette d'aliment granulé a également été prélevé. De plus, les mesures des paramètres d'ambiance (température et intensité lumineuse) ont été effectuées.

#### 1.2. Mesures sur les aliments

Les 12 aliments testés provenaient tous de la même usine. Le taux de fines de l'aliment granulé ( $\varnothing$  < 0,6mm), la dureté (résistance à l'écrasement du granulé en Newton), la durabilité (pourcentage de granulés intacts après une période de chocs mécaniques de 30s) et la longueur des granulés ont été mesurés. Le taux de fines a été déterminé après tamisage avec une tamiseuse Retsch. La dureté a été mesurée à l'INSTRON suivant les préconisations de TECALIMAN. La durabilité l'a été à l'aide d'un durabilimètre SABE. La longueur retenue est la moyenne sur 150 granulés.

#### 1.3. Analyses statistiques

Les données ont été traitées grâce au logiciel StatView. Les budgets temps ont été mis en relation avec les paramètres d'ambiance et d'environnement ainsi qu'avec les caractéristiques physiques des aliments.

Des ANOVA ont été réalisées pour l'ensemble des résultats et le test a posteriori de Bonferroni/Dunnett a été choisi après observation de nos données brutes. Le premier groupe de données a été traité par des ANOVA avec mesures répétées, les différences 2 à 2 n'ont pas pu être réalisées. Toutes les différences significatives ont été déterminées au seuil de 5%.

#### 2. RESULTATS ET DISCUSSION

# 2.1. Variations de l'activité au cours d'une journée

Un pic d'activité est observé à l'allumage, conformément à la bibliographie (Buyse et al., 1993; Birte Nielsen, Danish Institute of Agricultural Science, communication personnelle) (cf figure 1). Ce pic peut être dû à l'activité d'ingestion plus importante à l'allumage. Cependant, ceci n'est pas confirmé par l'observation du temps passé à manger (17% de poulets qui mangent à l'allumage, 30% 3h après) effectuée simultanément (résultats non présentés ici). L'activité est constante le reste de la journée. Les mesures effectuées à n'importe quel moment de la journée hormis dans l'heure suivant l'allumage, sont donc représentatives du budget temps quotidien du poulet. Il n'est pas observé de pic d'activité avant extinction. Il n'y a donc pas d'anticipation de la phase obscure par les poulets, dans les conditions testées.

#### 2.2. Variations d'activité avec l'âge

L'étude a confirmé la décroissance de l'activité avec l'âge (cf figure 1). Cependant, suivant les conditions d'élevage dont les paramètres d'ambiance, cette décroissance est plus ou moins nette. Lors de la série de mesures effectuée pendant les fortes chaleurs du mois de juillet 2006, deux élevages ont même présenté une augmentation ponctuelle de l'activité avec l'âge.

# 2.3. Impact de différents paramètres d'ambiance sur l'activité

Le facteur ayant l'impact le plus important sur l'activité est la durée de la phase obscure (cf figure 2). En effet, pour une durée de coupure supérieure à 5h, l'activité augmente significativement (multipliée par 2) par rapport à celle enregistrée pour une durée de coupure plus courte.

L'intensité lumineuse a eu un impact différent d'une série de mesure à l'autre (cf figure 3). Lors de la première série, nous n'avons pas constaté de différence dans le niveau d'activité (p = 0,96) mais dans la variation d'activité au cours de la journée (p = 0,01). Lors de la deuxième série de mesures une diminution de 18% a été observée.

Lors de la deuxième série de mesures, le résultat concernant l'intensité lumineuse et celui de la température (activité plus importante pour des fortes températures), sont certainement à mettre en relation avec la conduite d'élevage. En effet, pendant cette période chaude, les éleveurs ont modifié leur conduite (ouverture des portes des bâtiments, mise en place de turbines, mise à jeun pendant la journée...) ce qui a pu faire varier la valeur de l'activité.

#### 2.4. Caractéristiques physiques des aliments

Les caractéristiques physiques des granulés sont différentes selon l'âge des poulets (cf tableau 1). En effet, les mesures ont montré que les granulés pour les poulets de 21 à 28 jours sont moins durables, moins durs et moins longs que ceux distribués aux poulets de 28j à l'abattage. Ils donnent également lieu à plus de fines

La seule caractéristique ayant un impact sur le temps passé à manger est le taux de fines (cf figure 4). Pour un taux supérieur à 13%, le poulet passe 2 fois plus de temps à manger. Ceci est conforme à ce qu'avait observé Quentin (2004).

#### **CONCLUSION**

Cette étude a permis de confirmer le pic d'activité à l'allumage et la décroissance de l'activité physique en fonction de l'âge. Elle a également montré que la durée de la phase obscure influait sur l'activité physique et le temps passé à manger. Ces différents résultats ont permis d'apporter des modifications à CENTRAVI. Le niveau d'activité initiale ainsi que la définition de la décroissance d'activité avec l'âge ont pu être adaptés à des conditions de terrain. Cependant. les lois de réponses du modèle concernant les variations du niveau d'activité selon les paramètres d'ambiance doivent encore être révisées. Cette étude a également confirmé la nécessité de futurs travaux visant l'amélioration de la prévision des performances par ce modèle, en particulier, une meilleure prise en compte des cycles lumineux.

#### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Bessei, 1992. Arch. Geflügelk 56 (1): 1-7

Bizeray, Leterrier, Constantin, Picard, Faure, 2002. Poult. Sci. 81: 1798-1806

Buyse, Adelsohn, Decuypere, Scanes, 1993. Br. Poult. Sci. 34: 699-709

Classen, Riddell, Robinson, 1991. Br. Poult. Sci., 32: 21-29

Lott, Simmons, May, 1998. Poult. Sci. 77: 391-393

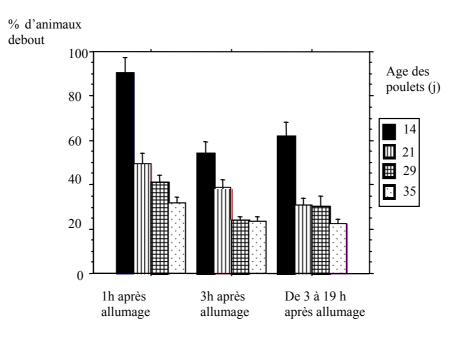
Picard, Faure, Siegel, Dunnington, Uzu, Dalibard, 1994. In: Rhônes Poulenc animal nutrition. Antony (France). 1st edition, 42p

Preston, Murphy, 1989. Br. Poult. Sci. 30: 519-532 Quentin, 2004. Thèse à l'université de Rennes 125p; hors publications

Richard, Vilarino, Faure, Leon, Picard, 1997. Revue Elev. Méd. Vét. Pays trop. 50 (1): 65-74

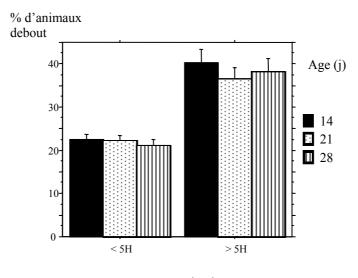
Yahav, Straschnow, Plavnik, Hurwirtz, 1996. Br. Poult. Sci., 37: 43-54

Figure 1. Activité des poulets en fonction de l'âge suivant le moment de la journée (n = 3 lots)



Pour l'âge et le temps après l'allumage : p < 0,0001

**Figure 2.** Activité physique en fonction de la durée d'extinction (n = 9 lots)

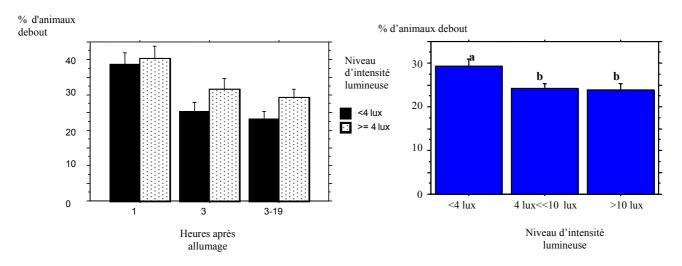


Durée extinction

Durée d'extinction : p < 0,0001

Age: p = 0.6143

**Figure 3.** Activité physique suivant l'intensité lumineuse lors de la première série (graphique de gauche, n = 3 lots), et de la deuxième série (graphique de droite, n = 9 lots)



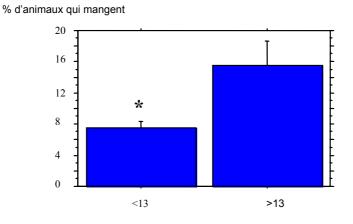
Les lettres a et b représentent des différences significatives au seuil de 5%

**Tableau 1.** Caractéristiques physiques des granulés suivant leur catégorie : croissance (de 22 à 28j) ou finition (de 29j à abattage)

	Dureté	Longueur	Durabilité	Taux de fines
Croissance	78	82	81	100
Finition	100	100	100	59
Signification au seuil de 5%	S	S	S	s

Les valeurs sont exprimées en base 100 pour la valeur la plus élevée

Figure 4. Impact du taux de fines sur le temps passé à manger (n = 12)



Taux de fines en %

 $<sup>\</sup>boldsymbol{*}$  signifie une différence significative au seuil de 5%

# ETOURDISSEMENT GAZEUX DE 3 GENOTYPES DE POULETS - STANDARD, CERTIFIE, LABEL :

#### APPROCHE COMPORTEMENTALE

Gomez Susana<sup>1</sup>, Deiss Véronique<sup>1</sup>, Gatellier Philippe<sup>1</sup>, Gigaud Vérane<sup>2</sup>, Berri Cécile<sup>3</sup>, Santé-Lhoutellier Véronique<sup>1</sup>

<sup>1</sup>INRA, UR Qualité des Produits Animaux, 63122 SAINT GENES CHAMPANELLE <sup>2</sup>ITAVI, UR83 Recherches Avicoles, 37380 NOUZILLY <sup>3</sup>INRA, UR83 Recherches Avicoles, 37380 NOUZILLY

Ce travail a été réalisé dans le cadre de l'Unité Mixte Technologique BIRD (Biologie et Innovation pour la Recherche et le Développement en aviculture)

#### RÉSUMÉ

L'étourdissement des animaux est une obligation légale qui doit satisfaire les conditions suivantes : 1. induction de l'insensibilité indolore 2. insensibilité effective et maintenue jusqu'à la mort de l'animal. L'étourdissement gazeux des poulets de chair a surtout été étudié chez les poulets Standards. Nos travaux ont porté sur l'étude comportementale de trois génotypes (Standard, Certifié, Label) de poulets étourdis avec deux méthodes d'anesthésie gazeuse biphasique basées sur le principe d'hypercapnie/hyperoxie (C1 Stork ®) et sur le principe d'hypercapnie moderée /hypoxie légère (C2). Le comportement des poulets a été filmé dans le caisson sans gaz puis avec gaz. L'analyse de chaque film a été réalisée selon une grille de comportement que nous avons développée. L'analyse statistique a porté sur la comparaison des génotypes et les relations entre le comportement des animaux en absence et en présence de gaz. L'analyse du comportement des poulets nous a permis de déterminer la durée optimale pour chaque génotype de chacune des phases gazeuses. Le comportement des poulets diffère en fonction du génotype considéré. Une fois placés dans le caisson sans gaz, les poulets Label changent de posture après 1 minute environ alors que pour les poulets Standard et Certifié, ce temps de latence est doublé. Ces deux derniers génotypes émettent une déjection entre 5 et 20 secondes après leur introduction dans le caisson. L'augmentation de la concentration en CO<sub>2</sub> dans la première phase se traduit par une diminution des temps de latence des réponses comportementales (fermeture des yeux, défécation, perte de posture, agonie). L'agitation des animaux dans le caisson sans gaz (plus de battements d'ailes, de changement de posture...) est positivement corrélée à un étourdissement plus tardif en présence de gaz.

#### **ABSTRACT**

The aim of this experiment was to study the behavioural response of 3 broiler genotypes (fast-growing line or Standard, medium-growing line or Certifié and slow-growing line or Label) subjected to gas stunning. Two methods of gas stunning were performed in two phases, based on 1. hypercapnia/hyperoxia (C1 Stork ®) and 2. moderate hypercapnia/slight hypoxia (C2). The broiler behaviour of each animal was recorded by video when the box was either empty or full of gas. The analysis of the films was realised according to our specific grid. We compared the behaviour of each genotype without gas and during stunning. We determined the optimal stunning duration for each phase and each genotype. We observed that the behaviour was genotype dependent. In the box without gas, the slow-growing line broiler changed position after 1 minute while for the two other genotypes, this latency duration was doubled. Defecation occured rapidly for the fast and medium-growing lines, between 5 and 20 sec since they have been introduced in the box. The highest the CO2 concentration in the first phase the shortest the latency of behaviour responses (eye closed, defecation, position loss, mortal agony).

The agitation of the animal in the box without gas (more wing flapping, position changes, ...) is positively correlated with a delayed gas stunning.

#### INTRODUCTION

L'étourdissement des animaux est une obligation légale (Directive 93/119/CE) qui doit satisfaire les conditions suivantes : 1. induction de l'insensibilité non aversive et indolore 2. insensibilité effective chez tous les animaux et maintenue jusqu'à la mort de l'animal. L'étourdissement des volailles en France est majoritairement basé sur une électronarcose réalisée en bain électrifié. La réglementation européenne fixe une intensité minimale par poulet de 120 mA. Les limites de ce système sont liés à. la nécessité de suspendre les poulets par les pattes avant l'étourdissement, ce qui est en contradiction avec les règles de respect du bien être animal appliquées à l'ensemble des animaux de boucherie.

L'étourdissement gazeux des poulets de chair représente une alternative dont le principe repose, entre autres, soit sur l'anoxie (l'inconscience se produisant par une diminution de la pression partielle de l'oxygène dans le cerveau), soit sur l'hypercapnie (l'inconscience est due à une diminution du pH du fluide cérébrospinal). Différents mélanges gazeux adaptés aux volailles ont fait l'objet de recommandations au niveau de la commission européenne<sup>1</sup>. Cependant, les travaux scientifiques à l'origine de ces recommandations n'ont concerné que les poulets de chair Standard (Raj & Gregory 1990a; Raj & Gregory 1990b; Gerritzen et al., 2000).

Or, en France, la filière poulet est segmentée en poulets de type Standard, Certifié et Label dont la réactivité sur la chaîne d'accrochage diffère notamment (Debut *et al.*, 2005). Notre étude a porté sur l'analyse du comportement de ces trois génotypes pendant la narcose gazeuse et a consisté à déterminer un mélange gazeux et une durée d'anesthésie adaptés à chacun des génotypes.

<sup>1</sup>(http://europa.eu.int/comm/food/fs/sc/scah/out08\_en. html).

#### 1. MATERIEL ET METHODES

#### 1.1. Anesthésie gazeuse

Notre étude a porté sur l'étude comportementale de trois génotypes (Standard, Certifié, Label) étourdis d'anesthésie deux méthodes gazeuse biphasiques basées sur des principes différents. La méthode commerciale C1Stork (Hypercapnie/Hyperoxie): 40%CO<sub>2</sub>/30%O<sub>2</sub>/30%N<sub>2</sub> suivi de 60%CO<sub>2</sub>/40% Air et une méthode expérimentale C2 correspondant à des mélanges gazeux que nous avions définis lors d'une pré-étude, modérée (Hypercapnie hypoxie légère): 25%CO<sub>2</sub>/75%Air suivi de 60%CO<sub>2</sub>/40%Air. La première phase consistait à calmer et étourdir les animaux et la seconde phase avait pour objectif de maintenir un état d'étourdissement profond. La durée de chacune des phases a été déterminée expérimentalement. La durée de la première phase correspond au temps nécessaire pour remplir les critères suivants chez tous les animaux : perte de posture, fermeture des yeux et absence de mouvements. La durée de la phase 2 ne devait pas dépasser 4 minutes et être suffisamment longue pour qu'aucun poulet ne se réveille pendant la saignée.

#### 1.2. Animaux

Au total, 60 poulets (20 Standards, 20 Certifiés et 20 Labels) issus de fermes commerciales de la région d'Auvergne et transportés selon les recommandations du conseil de l'Europe n°R (90) 6, sur le transport des volailles ont été utilisés. Les poulets de chaque génotype ont été logés pendant une semaine avant les essais d'anesthésie dans des enclos séparés (barrière physique et visuelle) dans l'animalerie de l'installation expérimentale. A l'issue de l'anesthésie, la présence de battement cardiaque a été immédiatement évaluée par stéthoscope et les poulets ont été sacrifiés par section des carotides.

#### 1.3. Mesures comportementales

Le comportement des poulets a été filmé, enregistré par vidéo dans le caisson sans gaz puis avec gaz et ce pendant une durée comprise entre 3 et 4 min. L'analyse de chaque film a été réalisée selon une grille de comportements spécifiques, établie lors d'une pré-étude (pour les définitions, voir table 1). Dans le caisson avec gaz la perte de conscience était évaluée par la perte de posture et la fermeture des yeux,.

#### 1.4. Analyses statistiques

Les effets de la méthode gazeuse et du génotype des animaux ont été estimés par une analyse de variance (ANOVA) à deux facteurs. Des corrélations entre les données de comportement dans le caisson sans gaz et dans le caisson avec gaz ont également été déterminées (SAS).

#### 2. RESULTATS ET DISCUSSION

Le poids moyen était respectivement de 1.7, 1.78 et 2 Kg pour les génotypes Standard, Certifié et Label,. Les durées d'exposition adaptées pour chaque génotype figurent dans le tableau 2. La durée de la première phase correspond au temps nécessaire pour que le poulet ait les yeux clos, soit calme et respire régulièrement. La méthode C2 nécessite une durée d'exposition supérieure dans la première phase pour satisfaire les critères précités.

**2.1.** Comportement des animaux avant l'anesthésie Les génotypes expriment des comportements différents avant l'étourdissement et à l'étourdissement quelle soit la méthode. Une fois placés dans le caisson

sans gaz, l'activité physique des poulets Label est supérieure à celle des autres génotypes. En effet, ils changent de posture environ 1 minute après leur introduction dans le caisson alors que pour les poulets Standard et Certifié, ce temps de latence est doublé. Les poulets Label présentent un nombre plus grand de battements d'ailes (Figure 1). Ces comportements sont corrélés avec plus d'activité à l'étourdissement (r² = 0.41, p<0.001) comme le souligne le nombre de postures élevé, les vocalisations et la latence à l'étourdissement augmentée. Ce génotype est plus réactif que les autres, ainsi que Debut *et al.* (2005) l'on déjà montré en étudiant le comportement de ce génotype sur une chaîne d'abattage où les poulets étaient suspendus tête en bas.

Dans le caisson sans gaz, le génotype Certifié présente une variabilité de comportement supérieure, en terme de mouvement de tête. Les poulets Standard ont tendance à plus vocaliser (p = 0.08).

Ces deux derniers génotypes émettent une déjection entre 5 et 20 secondes après leur introduction dans le caisson et adoptent une position de « freezing » une fois placés dans le caisson. Ce comportement statique s'exprime notamment chez les poulets Certifié, dont l'absence de mouvement face à un nouvel environnement a été interprétée comme un signe de peur selon Bruyère *et al.* (1996).

# 2.2. Comportement des animaux pendant l'anesthésie

Avec la méthode C1 (hypercapnie/hyperoxie) on observe une diminution des temps de latence des réponses comportementales (fermeture des yeux, défécation, perte de posture, agonie) quel que soit le génotype (Figure 2). Ces comportements apparaissent systématiquement plus tardivement pour le génotype Label (Figure 3). En effet, la latence de fermeture des yeux, de perte de posture, de défécation, de contraction, du pédalé et de la mort comportementale (absence de mouvements perceptibles) est supérieure pour le génotype Label. Par ailleurs, des mouvements de tête (P < 0.001), des postures (P < 0.05), et des vocalisations (P <0,05) plus nombreux sont observés par rapport aux autres génotypes. Les battements d'ailes, le halètement et la latence de déjection ne diffèrent pas significativement entre génotype.

Pour les génotypes Certifié et Label, à l'étourdissement, des concentrations plus basses en CO<sub>2</sub> et en O<sub>2</sub> (Méthode C2), s'accompagnent d'un plus grand nombre de comportements (halètements ou *gasping*, nombre de postures), interprétés comme signes de détresse d'après Lambooij et *al.* (1999). Or, d'un point de vue physiologique, les halètements observés peuvent s'expliquer par le fait que l'inhalation de CO<sub>2</sub> conduit à l'augmentation de la pression partielle en CO<sub>2</sub>, qui va à son tour stimuler l'augmentation du volume tidal afin de compenser. Ce comportement relèverait plus d'un phénomène réflexe. Pour les 3 génotypes, une hypercapnie modérée (20-25% CO<sub>2</sub>) se traduit par une phase de

latence d'endormissement allongée, situation déjà décrite dans la littérature (Raj & Gregory, 1990; Gerritzen et al., 2000). Pendant la seconde phase, les génotypes Standard et Certifié, présentent des signes évidents d'agonie et de mort, plus rapidement avec la méthode C1 (Figure 2). A la sortie du caisson, des battements cardiaques sont perceptibles essentiellement pour les poulets Label (environ 7% et 25% pour les méthodes C1 et C2, respectivement). Ce signe pourrait être interprété au niveau du bien-être animal comme un élément à améliorer. En effet, le sang oxygéné pourrait arriver au cerveau et réveiller l'animal pendant la saignée (Raj, 1998). Cependant une activité cardiaque peut être décelée sans pour autant que l'animal soit conscient. Dans notre expérimentation, aucun des poulets Label étourdis avec cette méthode n'a présenté de signe de réveil la saignée, laissant supposer étourdissement irréversible.

#### **CONCLUSION**

génotypes présentent des comportements différents avant l'étourdissement et à l'étourdissement L'agitation des animaux dans le caisson sans gaz (battements d'ailes, changement de posture) est corrélée à un étourdissement plus tardif lorsque les poulets sont placés dans la caisson avec gaz (latence de fermeture des yeux plus élevée). Les signes d'agonie apparaissent plus tardivement. Le génotype Label se distingue particulièrement des autres génotypes, notamment en terme de réactivité. D'une manière générale, l'agitation induite par l'anesthésie gazeuse nécessiterait des études complémentaires afin de déterminer de manière précise la latence de perte de conscience des animaux et de définir la chronologie de cette agitation par apport à l'état de conscience/inconscience de l'animal.

#### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Brugère H., Laurent J., Le bars D., Mahouy G., Milhaud G., Schmitt S., Wintergerst J. Expérimentation animale; Mode d'emploi 1992. Ed. INSERM, Paris, France. Pp. 153.

Debut M., Berri C., Arnould C., Guéméné D., Santé-Lhoutellier V., Sellier N., Baéza E., Jehl N., Jégo Y., Beaumont C. & Le Bihan-Duval E. British Poultry Science 46 (5): 527-535

Gerritzen M.A., Lambooij E., Hillebrand S., Lankhaar J. & Pieterse C. Poultry Science 2000; 79: 928-933.

Lambooij E., Gerritzen M., Engel B., Hillebrand S., Lankhaar J. & Pieterse C. Applied Animal Behaviour Science 1999; 63: 225-265.

Raj A.B.M. & Gregory N.G. Research in Veterinary science 1990a 49: 360-363.

Raj A.B.M. & Gregory N.G. Research in Veterinary science 1990b 49: 364-366.

Raj A.B.M. Poultry Science 1998; 77: 1815-1819.

Tableau 1. Définition des différents comportements analysés dans les caissons sans gaz et avec gaz.

Comportement p	oendant la période	Définition	Caisson		
d'enreg	istrement		sans gaz	avec gaz	
En nombre					
Battemen	its des ailes	Nombre de battements d'ailes présents	X	X	
Mouvem	ent de tête	Nombre de mouvements de tête présents	X	X	
Pos	tures	Nombre de positions adoptées	X	X	
Vocal	isations	Nombre de cris émis	X	X	
Halè	tement	Un halètement correspond à l'ouverture et la fermeture de bouche. Mesuré en nombre d'halètement dès la mise du poulet dans le caisson jusqu'à sa sortie.		X	
En latence					
Déjo	ection	Temps passé avant de l'émission de la première déjection (en sec)	X	X	
Premièr	e position	Temps passé avant que l'animal ne change de position une fois placé dans le caisson (en sec)	X	X	
Fermetui	re des yeux	Temps de latence depuis la mise du poulet dans le caisson jusqu'au moment où il ferme les deux yeux (en sec).		X	
Perte d	e posture	Temps de latence jusqu'à ce que le poulet s'assoit ou tombe par effet du gaz (en sec)		X	
Comportements d'agonie et de	Contraction	Temps de latence avant la contraction musculaire violente qui précède le pédalé et la mort comportementale (en sec).		X	
mort	Pédalé	Temps de latence du mouvement de pattes involontaire qui précède la mort comportementale.		X	
Mort comportementale		Temps de latence avant la perte de tout mouvement.		X	

Tableau 2. Durée d'exposition des poulets Standard, Certifié et Label selon la méthode d'étourdissement

	Méthod	le C1	Méthode C2		
	Phase 1	Phase 2	Phase 1	Phase 2	
Standard	1'	1'45 "	1'5"	1'45"	
Certifié	1 ' 15"	1'45"	1'5"- 1'20"	1'45"	
Label	1 ' 30"-1' 45"	1'45"	2'	1'15"-1'30"	

Figure 1: exemples de comportement des poulets Standard (S), Certifié (C) et Label (L) dans le caisson sans gaz

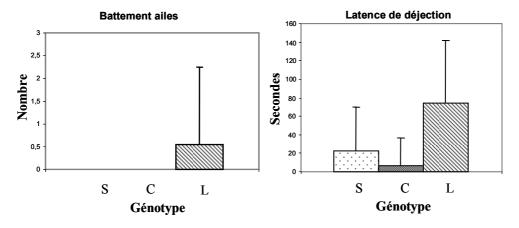


Figure 2 : exemples de comportement des poulets selon la méthode d'anesthésie gazeuse

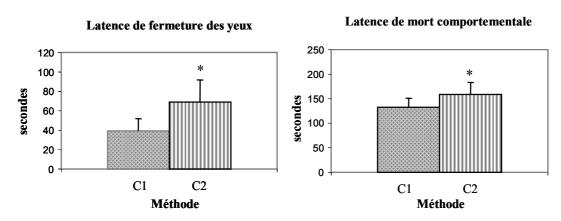
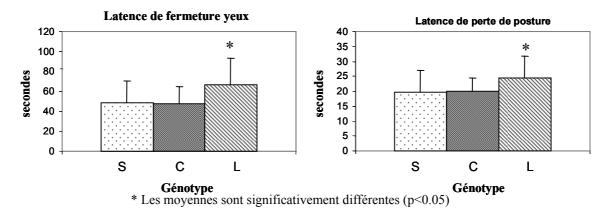


Figure 3 : exemples de comportement des poulets Standard (S), Certifié (C) et Label (L) dans le caisson avec gaz



### REMPLACEMENT DU SULFATE DE ZINC PAR LA 3-PHYTASE MICROBIENNE D'ASPERGILLUS NIGER DANS LES ALIMENTS POUR POULETS DE CHAIR

# Jondreville Catherine<sup>1</sup>, Magnin Michel<sup>2</sup>, Lescoat Philippe<sup>3</sup>, Feuerstein Dieter<sup>4</sup>, Gruenberg Bernd<sup>4</sup>, Nys Yves<sup>3</sup>

<sup>1</sup>INRA UMR INRA Agrocampus Rennes Systèmes d'Elevage Nutrition Animale et Humaine - 35590 SAINT-GILLES, France

<sup>2</sup>BASF Nutrition Animale – 53200 CHATEAU GONTIER, France

<sup>3</sup>INRA UR83 Recherches Avicoles – 37380 NOUZILLY, France

<sup>4</sup>BASF AG, Rheincenter - 67056 LUDWIGSHAFEN, Allemagne

#### RÉSUMÉ

L'expérience a été conduite afin d'évaluer la possibilité de réduire la supplémentation en zinc d'aliments pour poulets contenant de la phytase microbienne. Un aliment à base de maïs et de tourteau de soja contenant 33 mg de zinc / kg, supplémenté avec 0, 6, 12, 18, 24, 30 ou 60 mg de zinc sous forme de sulfate ou avec 250, 500, 750 ou 1000 FTU de 3-phytase d'Aspergillus niger (Natuphos®) / kg a été distribué pendant 20 jours à des poussins mâles de souche Ross, âgés de deux jours. Chaque aliment a été distribué à 16 poulets placés en cage individuelle, excepté l'aliment de base non supplémenté qui a été attribué au double d'animaux. L'addition de phytase microbienne mesurée se situait entre 280 et 850 FTU / kg d'aliment. Les performances des animaux ont été peu affectées par l'addition de zinc ou de phytase dans l'aliment de base. Le poids de l'os et sa teneur en cendres étaient indépendantes de la supplémentation en zinc ou en phytase (P > 0.1). Les teneurs en zinc du plasma et de l'os ont augmenté de façons linéaire (P < 0.001) et quadratique (P < 0.001) avec la supplémentation en zinc. Seule une réponse linéaire de la teneur en zinc du plasma (P = 0.07) et de l'os (P < 0.01) à l'apport de phytase a été détectée. Des modèles mathématiques de type linéaire plateau ont été ajustés à la réponse des teneurs en zinc du plasma et de l'os afin de calculer les équivalences entre zinc sous forme de sulfate et phytase. Sans phytase, les teneurs en zinc du plasma et de l'os étaient maximisées pour un apport alimentaire de respectivement 55 et 51 mg/kg. De 280 à 850 FTU, 100 FTU étaient équivalentes à 1 mg de zinc sous forme de sulfate. Par conséquent, à partir d'un aliment à base de maïs et de tourteau de soja formulé pour contenir 60 mg de zinc, la quantité de zinc ingéré et donc excrété peut être réduite de 10% environ si l'aliment contient 500 FTU de phytase Natuphos ® / kg.

#### **ABSTRACT**

The experiment was conducted to evaluate the sparing effect of microbial phytase on the need for dietary zinc supplementation in chicks. A maize-soybean meal basal diet, containing 33 mg of zinc / kg, supplemented with 0, 6, 12, 18, 24, 30 or 60 mg of zinc as sulphate or with 250, 500, 750 or 1000 units (FTU) of microbial phytase (3-phytase from Aspergillus niger, Natuphos ®) was given to two day-old chicks during 20 days. Sixteen chicks placed in individual cages were assigned to each diet except the un-supplemented basal diet which was attributed to 32 cages. Actual range of phytase supplementation was 280 to 850 FTU / kg diet. Growth performance was slightly affected by zinc supplementation and not affected by microbial phytase. Bone weight and bone ash were independent (P > 0.1) of zinc and phytase supplementations. Plasma and bone zinc concentrations increased linearly (P < 0.001) and quadratically (P < 0.001) with zinc added. Plasma zinc tended to increase linearly (P = 0.07) and bone zinc increased linearly (P < 0.01) with phytase added but no quadratic response was detected (P > 0.01) 0.1). Mathematical functions were fitted to the response of plasma and bone zinc to zinc and phytase added and used to calculate zinc equivalency values of phytase. The models included a linear plateau response to zinc added and a linear response to phytase added. Without phytase, plasma and bone zinc concentrations were maximised for a dietary zinc concentration of 55 and 51 mg/kg respectively. Over the range of 280 to 850 FTU, 100 FTU was equivalent to 1 mg of zinc as sulphate. Consequently, with a maize-soybean meal chicken diet formulated to contain 60 mg zinc / kg, zinc ingested, and in turn, zinc excreted may be reduced by around 10% if the diet contains 500 FTU as Natuphos ® / kg.

#### INTRODUCTION

L'acide phytique, principale forme de stockage du phosphore dans les matières premières d'origine végétale, forme des complexes insolubles avec le zinc et limite sa disponibilité chez les animaux monogastriques (O'Dell et Savage, 1960). La présence de quantités importantes de phytates dans les aliments peut donc avoir des conséquences négatives sur les rejets non seulement de P mais également de zinc. L'usage de phytase microbienne pour améliorer la disponibilité de P et en limiter les rejets par les animaux monogastriques est désormais courant (Kornegay, 2001). Jondreville et al. (2005) ont montré que cette enzyme améliore significativement la disponibilité du zinc chez le porcelet sevré et ont estimé que 500 unités (FTU) de 3-phytase (Natuphos®) sont équivalentes à 30 mg de zinc sous forme de sulfate. De plus, comme pour la réponse de la disponibilité de P aux apports de phytase, l'efficacité de la phytase sur la disponibilité du zinc par unité de phytase diminuait lorsque l'apport de phytase augmentait. La phytase microbienne améliore aussi la disponibilité du zinc chez le poulet mais dans de moindres proportions que chez le porc (Biehl et al., 1995; Yi et al., 1996; Mohanna et Nys, 1999b). Par ailleurs, Yi et al. (1996) ont obtenu une réponse linéaire de l'utilisation du zinc chez le poulet à l'introduction de phytase jusqu'à 600 FTU / kg d'aliment mais la réponse à des niveaux plus élevés n'est pas connue. La phytase microbienne étant introduite dans la plupart des aliments pour poulets, il est important connaître la possible réduction de la supplémentation en zinc qu'elle permet. Un essai a donc été conduit de façon à calculer, chez le poulet, des équivalences entre zinc et phytase introduite jusqu'à 1000 FTU / kg dans des aliments à base de maïs et de tourteau de soja.

#### 1. MATERIELS ET METHODES

#### 1.1. Aliments

Un aliment à base de maïs et de tourteau de soja contenant 33 mg de zinc / kg a été formulé pour satisfaire l'ensemble des besoins nutritionnels du poulet jusqu'à trois semaines d'âge (INRA, 1989), à l'exception du zinc. A partir de l'aliment de base, dix autres aliments ont été élaborés en lui ajoutant 6, 12, 18, 24, 30 ou 60 mg de zinc sous forme de sulfate / kg (ZnSO<sub>4</sub>, 7H<sub>2</sub>O, 321 mg zinc / kg) ou 250, 500, 750 ou 1000 unités (FTU) de phytase microbienne / kg (3phytase Natuphos ® produite par Aspergillus niger, BASF AG, Ludwigshafen, Allemagne, 6450 FTU / g). Les apports de P et de Ca ont été ajustés en fonction de l'addition de phytase microbienne en considérant que 100 FTU correspondent à 0,16 g de P disponible et 0,20 g de Ca pour des niveaux de supplémentation inférieurs à 500 FTU et à 0,08 g de P disponible et 0.10 g de Ca pour des niveaux supérieurs. Les matières premières ont été broyées avec un broyeur à marteaux muni d'une grille de 2,5 mm avant d'être mélangées. Les aliments ont été distribués aux animaux sous forme granulée.

# 1.2. Animaux, procédures expérimentales et analyses

Jusqu'à deux jours d'âge, 240 poussins mâles Ross ont reçu un aliment de démarrage standard. A J2, ils ont été pesés individuellement et les 192 poussins présentant le poids le plus proche de la moyenne ont été répartis en 16 blocs de 12 animaux de poids similaire et placés en cages individuelles dont tous les composants, y compris les mangeoires, étaient en matière plastique, durant 20 jours. Dans chaque bloc, chaque aliment a été attribué à un poussin, à l'exception de l'aliment de base qui a été distribué à deux animaux. Les conditions de température et de lumière ont été celles décrites par Mohanna et Nys (1999a). Les animaux avait un accès libre à l'eau (< 0,7 mg de zinc / l).

La consommation individuelle d'aliment a été mesurée. A la fin de l'expérimentation, après une nuit de jeûne, chaque animal a été pesé et sacrifié. Un échantillon de sang et le tibia droit ont été prélevés. Les échantillons (aliment, sang et os) ont été préparés comme décrit par Jondreville et al. (2005). Toutes les analyses ont été effectuées en double. L'activité phytasique dans l'aliment de base et dans les aliments additionnés de phytase microbienne a été contrôlée par colorimétrie (Engelen et al., 1994). Les minéraux ont été dosés par spectrométrie d'absorption atomique à l'exception de P, dosé selon la méthode colorimétrique Vanadate.

#### 1.3. Analyses statistiques

Les effets linéaire et quadratique des quantités ajoutées de zinc (mg / kg d'aliment) et de phytase (FTU / kg d'aliment) sur les indicateurs de performance de croissance et du statut en zinc ont été testés par régression linéaire multiple (procédure GLM de SAS), en considérant le poussin comme l'unité expérimentale, selon un dispositif en bloc.

Dans un second temps, des modèles de type linéaire plateau (Procédure NLIN de SAS) ont été ajustés à la réponse des teneurs en zinc plasmatique et osseuse à la supplémentation en zinc. Dans ces modèles, l'apport de zinc supplémentaire était considéré comme la somme du zinc ajouté sous forme de sulfate et une fonction de la phytase ajoutée. La forme (linéaire ou non) de cette dernière fonction, qui a servi au calcul des équivalences entre phytase et zinc sous forme de sulfate, a été choisie en fonction des résultats de la régression linéaire. Pour ces calculs, les teneurs en zinc et activités phytasiques alimentaires mesurées ont été utilisées. Les modèles non linéaires ont été établis à partir des moyennes par régime. La précision de chaque modèle a été évaluée au moyen du coefficient de détermination R<sup>2</sup>, calculé comme le carré du coefficient de corrélation entre les valeurs individuelles prédites et observées.

**Tableau 1.** Performances de croissance et caractéristiques du plasma et de l'os des poulets en fonction de l'apport alimentaire de zinc et de phytase microbienne entre J2 et J22

	Alimer	it (/ ]	kg) <sup>a</sup>		Performances de croissance			ssance	Plasma		Os		
Zn ajouté	Phytase ajoutée <sup>b</sup>	Zn°	Activité phytasique <sup>c</sup>	n	Poids initial (J2)	Gain de poids	Aliment ingéré	IC <sup>e</sup>	Zn	Poids	Cendres	Zn	
mg	FTU	mg	FTU		g	g	g		mg/l	g	g/kg MS <sup>e</sup>	mg/kg MS	
0	0	33	40	30	59,2	863	1089	1,26	1,31	3,69	495	101	
6	0	39	40	16	59,1	873	1104	1,27	1,65	3,54	503	137	
12	0	45	40	15	58,7	938	1164	1,24	1,77	3,84	507	166	
18	0	50	40	16	58,8	898	1130	1,26	1,89	3,60	498	177	
24	0	55	40	16	58,9	870	1082	1,24	2,11	3,65	492	181	
30	0	63	40	14	59,1	923	1155	1,25	2,13	3,80	501	187	
60	0	94	40	16	58,9	877	1095	1,25	2,13	3,61	489	189	
0	250	33	320	16	58,9	894	1140	1,28	1,39	3,59	498	115	
0	500	31	430	16	59,0	908	1131	1,25	1,47	3,48	491	123	
0	750	31	700	15	58,5	885	1108	1,26	1,59	3,70	486	129	
0	1000	31	890	16	59,3	883	1105	1,25	1,69	3,74	496	140	
			Probabilité d										
			Zn ajouté	L	0,83	*	0,12	0,27	***	0,15	0,99	***	
				Q	0,87	*	0,11	0,35	***	0,18	0,62	***	
			Phytase	L	0,71	0,09	0,12	0,85	0,07	0,84	0,25	**	
			ajoutée	Q	0,73	0,14	0,14	0,93	0,99	0,51	0,39	0,52	
				ETR <sup>c</sup>	3,66	84,2	107,5	0,0586	0,265	0,518	25,2	17,6	

<sup>&</sup>lt;sup>a</sup> L'aliment de base était composé de (g/kg): maïs, 514,7; tourteau de soja, 317,7; isolat de soja, 75,0; huile de tournesol, 45,0; DL-méthionine, 2,3; chlorure de sodium, 3,0; amidon de maïs, 0,2; carbonate de calcium, 13,1; phosphate monobicalcique, 23,5; coccidiostatique, 0,5; aliment minéral et vitaminique sans zinc, 5,0. Il contenait (/kg): protéine  $(N \times 6,25)$ , 259 g; Energie métabolisable (EMAn), 12,7 MJ; Ca, 9,9 g; P, 7,6 g; P phytique, 2,4 g; P disponible, 4,2 g.

#### 2. RESULTATS ET DISCUSSION

La teneur en zinc des aliments expérimentaux est conforme aux valeurs attendues (Tableau 1). L'aliment de base présente une activité phytasique faible de 40 FTU / kg. La quantité de phytase ajoutée varie de 280 à 850 FTU / kg au lieu des 250 à 1000 FTU / kg attendus.

#### 2.1. Performances de croissance

Les performances de croissance des animaux ne sont que légèrement affectées par la supplémentation en zinc et sont indépendantes (P > 0,1) de la supplémentation en phytase. Les effets linéaire et quadratique de l'addition de zinc sur la vitesse de croissance des animaux sont dus à une vitesse de croissance accrue des animaux ayant reçu les aliments supplémentés avec 12 et 30 mg de zinc / kg. Une tendance similaire est observée sur la consommation

d'aliment. Cependant l'aliment supplémenté avec 60 mg de zinc / kg a conduit aux mêmes performances que l'aliment de base.

Selon le NRC (1994), l'apport de 40 mg de zinc / kg d'aliment est nécessaire pour maximiser la croissance des poulets jusqu'à 21 jours d'âge. Cependant la présence ou l'absence d'effets de la supplémentation en zinc ou en phytase microbienne d'aliments à base de maïs et de tourteau de soja sur les performances de croissance de poulets semble dépendre de la teneur en zinc de l'aliment de base. Avec un aliment de base contenant au moins 28 mg de zinc / kg l'addition de zinc ou de phytase microbienne n'ont eu aucun effet (Mohanna et Nys, 1999b; Burrell et al., 2004; Jondreville et al., 2006) alors que lorsque l'aliment contenait au plus 20 mg de zinc / kg l'addition de zinc a permis d'améliorer les performances (Yi et al., 1996; Mohanna et Nys, 1999a). Selon Burrell et al. (2004) les effets ne seraient pas détectables en raison

<sup>&</sup>lt;sup>b</sup> Le niveau d'incorporation de carbonate de calcium dans les aliments supplémentés avec 250, 500, 750 et 1000 FTU / kg était de respectivement 12,98 ; 12,87 ; 12,81 et 12,75 g / kg ; le niveau d'incorporation du phosphate monobicalcique (181 g Ca, 196 g P / kg) était de respectivement 20,95 ; 18,40 ; 17,12 et 15,85 g / kg.

<sup>&</sup>lt;sup>c</sup> Analysé comme décrit dans la section Matériels et Méthodes

d ETR, écart type résiduel ; effets linéaire (L) et quadratique (Q) du zinc ajouté sous forme de sulfate et de la phytase microbienne ; \*, P < 0.05 ; \*\*, P < 0.01 ; \*\*\*, P < 0.001

<sup>&</sup>lt;sup>e</sup> MS, matière sèche ; IC, indice de consommation

de la faible durée des essais pendant laquelle les poussins soumis à l'aliment non supplémenté pourraient avoir recours à leurs réserves osseuses.

# 2.2. Caractéristiques de l'os et du plasma et équivalence entre zinc sous forme de sulfate et phytase microbienne

Le poids de l'os et sa teneur en cendres sont indépendantes (P>0,1) de la supplémentation en zinc et en phytase. L'absence de diminution de la teneur en cendres des os, en dépit de la diminution des teneurs en P et Ca des aliments additionnés de phytase microbienne, suggère l'efficacité de l'enzyme pour hydrolyser les phytates. La teneur en zinc du plasma et de l'os augmentent de façons linéaire et quadratique (P<0,001) avec la supplémentation en zinc et de façon linéaire (respectivement P=0,07 et P<0,01) avec la supplémentation en phytase, sans effet quadratique (P>0,1). La supplémentation avec le niveau le plus élevé de phytase microbienne conduit à des teneurs en zinc du plasma et de l'os inférieures à ce que permet l'addition de 60 mg de zinc / kg.

Les paramètres des modèles linéaire plateau ajustés à la réponse des teneurs en zinc plasmatique et osseuse à l'apport de zinc et de phytase alimentaires sont présentés Figure 1. Conformément aux résultats de l'analyse de régression précédente, la quantité de zinc libérée par la phytase a été considérée comme une fonction linéaire de la phytase ajoutée (d x phytase). Les modèles ont été ajustés avec un coefficient de détermination de 0,52 et de 0,76 pour les teneurs en zinc respectivement du plasma et de l'os. Sans phytase ajoutée, ces teneurs augmentent linéairement avec la supplémentation en zinc tant qu'elle est inférieure à respectivement 22 et 18 mg / kg d'aliment puis se stabilisent à respectivement 2,13 mg / 1 et 185 mg / kg MS. Ce résultat confirme que l'apport de zinc nécessaire à la maximisation des teneurs en zinc du plasma et de l'os (ici respectivement 55 et 51 mg / kg d'aliment) sont supérieurs à ceux qui permettent la maximisation de la croissance (Mohanna et Nys, 1999a).

Chez le poulet, Yi et al. (1996) ont observé une réponse linéaire de la teneur en zinc de l'os à l'addition de phytase jusqu'à 600 FTU / kg d'aliment. Cependant, les estimations de Biehl et al. (1995) de 3,8 et 5,5 mg de zinc sous forme de sulfate pour 600 et 1200 FTU suggèrent une diminution de l'efficacité de la phytase microbienne avec l'augmentation du niveau de supplémentation. Malheureusement, dans la présente étude, le niveau maximum supplémentation de phytase, qui était de 850 au lieu de 1000 FTU / kg, ne nous permet pas de répondre à cette question. La valeur du paramètre d indique qu'entre 280 et 850 FTU, il est possible d'épargner 1 mg de zinc sous forme de sulfate par 100 unités de phytase microbienne. Cette valeur est en accord avec l'estimation de 0,9 mg de zinc sous forme de sulfate par 100 FTU de Yi et al. (1996). Elle est très inférieure aux 30 mg de zinc sous forme de sulfate

pour 500 FTU estimée chez le porcelet sevré (Jondreville et al., 2005; Revy et al., 2006). De plus, chez cette espèce, la libération de zinc par la phytase était proportionnelle à celle de P. Les résultats d'un essai récent conduit dans notre laboratoire (Jondreville et al., 2006) suggèrent que le faible pH dans le proventricule-gésier permet la dissociation des complexes zinc-phytates, même en l'absence de phytase. Au contraire, dans l'estomac des porcelets, où le pH est plus élevé, l'hydrolyse des phytates par la phytase serait un préalable indispensable à la libération du zinc. De ce phénomène résulterait une plus grande aptitude des poulets à utiliser le zinc présent dans les matières premières, même en l'absence de phytase microbienne, expliquant leur moindre besoin en zinc total par rapport au porcelet (50-60 mg / kg d'aliment selon la présente étude contre 85-90 mg / kg selon Jondreville et al. (2005) et Revy et al. (2006)). Cela expliquerait également la plus grande efficacité de la phytase microbienne sur la disponibilité du zinc chez le porc par rapport au poulet.

Selon notre étude, un aliment sans phytase ajoutée contenant 60 mg de zinc / kg aboutirait aux mêmes performances et à la même rétention de zinc que le même aliment contenant 500 FTU et 55 mg de zinc / kg. En considérant un indice de consommation de 1,25, un gain de poids de 1000 g / oiseau et une rétention de 20 mg de zinc / kg gain (Mohanna et Nys, 1999a), cette réduction de la quantité de zinc ingéré de 75 à 69 mg / oiseau permettrait une réduction de l'excrétion de 11% (55 à 49 mg / oiseau) tout en maintenant la rétention à 20 mg / oiseau.

#### **CONCLUSION**

Cette étude confirme l'efficacité de la phytase microbienne pour améliorer la disponibilité du zinc chez le poulet. Jusqu'à 850 FTU, la supplémentation en zinc d'aliments à base de maïs et de tourteau de soja peut être réduite de 1 mg par 100 FTU sans altération des performances et du statut en zinc des poulets. Dans un aliment pour poulets, formulé pour contenir 60 mg de zinc / kg, le remplacement de 5 mg de zinc par 500 FTU sous forme de Natuphos® permettrait une réduction de la quantité de zinc excrétée par les poulets d'environ 10%.

#### REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient S. Hillion et A.M. Chagneau pour leur collaboration à cette étude. Ils remercient également M. Mills, K. Gérard, J.M. Meslier, F. Mercerand, M. Derouet et T. Bordeau de la Station de Recherche Avicole ainsi que G. Guillemois, P. Touanel et R. Vilboux de l'UMR SENAH.

#### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Biehl R., Baker D., DeLuca, H., 1995. J. Nutr., 125, 2407-2416.

Burrell A.L., Dozier W.A., Davis A.J., Compton M.M., Freeman M.E., Vendrell P.F., Ward T.L., 2004. Br. Poult. Sci., 45, 255-263.

Engelen A. J., van der Heeft F. C., Randsdorp P. H. G., Smit E. L. C., 1994. J. AOAC Intern., 77, 760-764.

Jondreville C., Hayler R., Feuerstein D., 2005. Anim. Sci., 81, 77-83.

Jondreville C., Schlegel P., Hillion H., Chagneau A.M., Nys Y., 2006. Livest. Sci., in press.

Kornegay, E. T., 2001. In: Enzymes in Farm Animal Nutrition (Bedford M.R., Partridge G.G., eds), CABI, Wallingford, UK, 237-271.

Mohanna C., Nys Y., 1999a. Br. Poult. Sci., 40, 108-114.

Mohanna C., Nys Y., 1999b. Anim. Feed Sci. Technol., 77, 241-253.

NRC, 1994. Nutrient requirements of poultry. 9th edition. National Research Council, National Academy Press, Washington, DC.

O'Dell B. L., Savage J. E., 1960. Proc. Soc. Exp. Biol. Med., 103, 304-306.

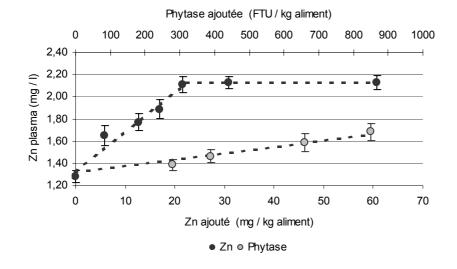
Revy P. S., Jondreville C., Dourmad J. Y., Nys Y. 2006. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr., 90, 50-59.

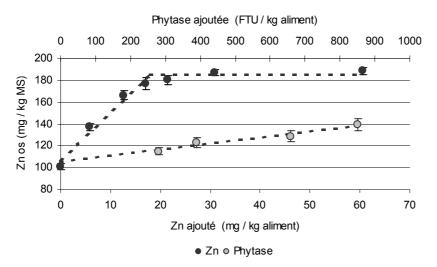
Yi Z., Kornegay E.T., Denbow D.M., 1996. Poult. Sci., 75, 540-546.

**Figure 1**. Teneur en zinc du plasma et de l'os en fonction des quantités de zinc et de phytase microbienne ajoutées dans l'aliment : moyennes (± écart type de la moyenne) et modèles non linéaires <sup>a</sup>

Si Zn < a, Y = c + b (Zn + d Phyt - a); si  $Zn \ge a$ , Y = c, avec Y = critère de réponse (teneur en zinc du plasma ou de l'os), Zn = zinc ajouté sous forme de sulfate (mg / kg aliment); Phyt = phytase microbienne (FTU / kg aliment)

**Zn plasma** : a = 22 ; b = 0.0363 ; c = 2.13 ; d = 0.011 ;  $R^2 = 0.52$  ; ETR = 0.217 **Zn os** : a = 18 ; b = 4.48 ; c = 185 ; d = 0.0086 ;  $R^2 = 0.76$  ; ETR = 15.9





<sup>&</sup>lt;sup>a</sup> Les modèles sont de la forme suivante :

# LE TRAITEMENT DES DECHETS DE COUVOIR PAR COMPOSTAGE EN MELANGE AVEC DU FUMIER DE VOLAILLES

#### **Aubert Claude**

ITAVI - Zoopôle Beaucemaine BP 37 22 440 PLOUFRAGAN

#### RÉSUMÉ

Le règlement européen 1774 d'octobre 2002 concerne la gestion des sous-produits d'origine animale non destinés à la consommation humaine, dont les déchets de couvoir. Ces déchets peuvent être recyclés après un traitement approprié dans une unité de transformation agréée. Parmi les techniques de traitement envisageables, le compostage paraît une bonne solution, mais avec des exigences très fortes pour garantir une bonne hygiénisation (réacteur fermé, température de 70 °C pendant au moins une heure). Dans le cade de cette étude, deux techniques de compostage de déchets de couvoirs en mélange avec du fumier de volailles ont été testées : l'un en silo fermé avec aération forcée, l'autre en andain classique avec utilisation d'un inoculum bactérien. Le compostage en silo a porté sur 51 760 kg de matière (déchets de couvoirs : 27 %; fumier :70 % et paille : 3 %). Le compostage avec utilisation d'un inoculum bactérien a concerné 86 140 kg de produits (déchets de couvoir : 17 %; fumier: 81 % et paille: 2 %). Dans les 2 cas, il y a eu une phase thermophile de 42 jours et une phase de maturation de 42 jours. Dans le cas du compostage en silo, les enregistrements en continu de la température montrent que le niveau de 70 °C est atteint, aussi bien à cœur (60 cm de profondeur) qu'en sub-surface (20 cm). La température s'est maintenue au-dessus de 60 °C pendant 21 jours soit 49 % du temps de la phase d'aération. Lors du compostage avec inoculum, les mêmes niveaux de température sont atteints, et celle-ci s'est maintenue au-dessus de 60 °C pendant 25 jours soit 75 % du temps d'enregistrement. Après 84 jours de traitement, il est démontré que le co-compostage permet une bonne hygiénisation de produits, avec une montée et un maintien en température satisfaisants. Par ailleurs, le compost obtenu est conforme à la norme des amendements organiques actuellement en vigueur (NFU 44 051). Le règlement européen de 2002 a été modifié le 7 février 2006, stipulant qu'il n'y a plus d'obligation de moyens, mais obligation de résultat, à charge pour les autorités compétentes de valider les procédés mis en œuvre. Dans ces conditions, les deux techniques de compostage testées satisfont totalement aux exigences du règlement européen modifié.

#### **ABSTRACT**

The 1774 European regulation of October 2002 relates to the management of the animal origin by-products not intended for the human consumption, of which hatcheries waste. This waste can be recycled after a suitable treatment in a approved transformation unit. Among the possible treatment techniques, composting appears a good solution, but with very strong requirements to guarantee a good hygienisation (closed engine, temperature of 70°C during at least an hour). For this study, two techniques of waste hatcheries composting in mixture with poultry manure were tested: one with silo closed and forced ventilation, the other in traditional windrow with use of a bacterial inoculum. Composting in silo has been realised with 51.760 kg of matter (waste of hatcheries: 27 %; manure: 70 % and straw: 3 %). Composting with bacterial inoculum related to 86.140 kg of products (waste of hatchery: 17 %; manure: 81 % and straw: 2%). In the 2 cases, there were a 42 days thermophilous phase and a 42 days maturation phase. In the case of composting in silo, the uninterrupted temperature recordings show that the level of 70 °C is reached, as well in heart (60 cm of depth) that in sub-surface (20 cm). The temperature was maintained above 60 °C during 21 days in 49 % of time of the ventilation phase. During composting with inoculum, the same levels of temperature are reached, and were maintained above 60 °C during 25 days is 75 % of the recording time. After 84 days of treatment, it is shown that co-composting allows a good hygienisation of products, with a satisfactory rise and a temperature maintenance. In addition, the compost obtained is in conformity with the standard of the organic soil conditioners currently into force (NFU 44 051). The European regulation of 2002 was modified on February 7, 2006, stipulating that there is no more means obligation, but result obligation, with load for the proper authorities to validate the used processes. Under these conditions, the two composting techniques tested completely satisfy the requirements of the modified European payment

#### 1. INTRODUCTION

Le règlement européen 1774 d'octobre 2002 concerne la gestion des sous-produits d'origine animale non destinés à la consommation humaine. Il fixe des règles sanitaires applicables à la collecte, au transport, à l'entreposage, à la manipulation, à la transformation et à l'élimination de ces sous-produits. Les déchets de couvoirs sont concernés par cette réglementation.

En effet, une partie des produits issus de l'œuf ou du poussin doit être retirée au cours du processus de production. Il s'agit :

- des œufs non incubés, éliminés en élevage de reproduction ou avant leur mise en incubation,
- des déchets liés à la transformation du produit :
  - o les œufs clairs éliminés après 18 jours d'incubation,
  - o les coquilles, œufs embryonnés non éclos éliminés après éclosion,
  - o les poussins morts ou euthanasiés après l'éclosion.

Le règlement européen classe les sous-produits au sein de différentes catégories, dont deux concernent les déchets de couvoirs :

- les cadavres et animaux de tri, appartenant à la catégorie 2,
- les autres déchets de couvoir (œufs déclassés et clairs, coquilles, duvet, œufs embryonnés non éclos), appartenant à la catégorie 3.

Ces déchets peuvent être recyclés après un traitement approprié dans une unité de transformation agréée. Parmi les techniques de traitement envisageables, le compostage présente un intérêt, mais cette technique appliquée aux déchets de couvoir manque de référence., contrairement au compostage de fumier de volailles (Aubert et al, 1997; Tricot et al, 2000; Robin et al, 2001, Guillouais et al, 2003).

Dans le cadre de cette étude, deux modalités techniques de traitement par compostage applicables à l'échelle d'un couvoir ont été testées : le compostage par aération forcée en silo et le compostage avec inoculum bactérien.

#### 2. INTERET DU COMPOSTAGE

Le compostage constitue un traitement comportant différents avantages non négligeables :

- hygiénisation du produit,
- valorisation des matières organiques,
- structure homogène,
- destruction partielle ou totale des résidus de produits phytosanitaires,

• réduction des odeurs (or, les produits issus de couvoirs sont très fermentescibles et donc facilement sujets à des dégagements d'odeurs).

Le compostage serait donc une bonne solution de gestion des déchets de couvoirs, applicable par tous (même couvoirs petits et/ou isolés). Les exigences du règlement européen sont les suivantes :

- atteindre une température minimum de 70°C pendant au moins une heure,
- contrôler la température en temps réel,
- hygiéniser le compost sur le plan bactériologique (0 salmonelle dans 25 g et moins de 300 entérobactéries dans 1 g sur 5 échantillons de compost).

C'est pour cet ensemble de raisons que la technique du compostage des déchets de couvoirs est apparue comme une technique méritant d'être testée. Toutefois compte-tenu, d'une part de la nature du produit, et d'autre part de la présence d'un autre coproduit d'élevage, abondant (les fumiers de volailles) et complémentaire sur le plan de la biologie du compostage, il a semblé plus judicieux de tester le cocompostage de déchets de couvoir en mélange avec un fumier de volailles.

#### 3. MATERIELS ET METHODES

#### 3.1. Dispositifs mis en œuvre

#### 3.1.1.Compostage par aération forcée en silo

Le dispositif mis en œuvre est un compostage en silo fermé VAL'ID®. Celui-ci est composé d'éléments de béton armé formant un silo étanche. Chaque élément a une dimension de 5 m de large sur 2,40 m de profondeur, et un volume de 20 m³ (soit environ 5 t). Le fond de ces modules est équipé d'un système de drains perforés permettant une aération forcée par soufflage. La totalité du système est pilotée par quatre sondes à température permettant d'enregistrer et de réguler la ventilation.

Huit éléments ont été utilisés, permettant ainsi un chargement d'environ 50 t de produit. L'essai a été réalisé à partir d'un mélange de déchets de couvoirs (déchets non triés aspirés sous vide: œufs clairs, embryons morts, coquilles et membranes) en provenance du couvoir SICAMEN à VOLNAY (72) et de fumier de poussinières (sciure bouchonnée), mélange réalisé au moment du remplissage du silo, à l'aide d'une mélangeuse verticale.

Cet essai a été réalisé à partir de 51 760 kg de matière, résultat d'un mélange de :

- 14 400 kg de déchets de couvoirs (27 %),
- 37 030 kg de fumier (70 %),

 1 330 kg de paille (3 %) destinés à améliorer la structure de l'ensemble pour une meilleure aération.

L'aération forcée du silo a été pratiquée pendant 42 jours (J0 à J42), puis, après vidange du silo, pesée du compost (49 460 kg pour l'essai en silo et 62 260 kg pour l'essai avec inoculum) et mise en andain, il y a eu une phase de maturation de 42 jours (J43 à J84). L'essai s'est déroulé entre mai et août 2005.

#### 3.1.2. Compostage avec inoculum bactérien<sup>1</sup>

Depuis quelques années des techniques de compostage sans retournement et sans aération forcée, mais avec utilisation d'un inoculum bactérien, tendent à se développer. Des souches sauvages sont sélectionnées en fonction de leurs critères métaboliques et de leur aptitude à se développer sur des milieux peu dégradés.

L'essai a été réalisé à partir d'un mélange de déchets de couvoirs (déchets non triés – œufs clairs, embryons morts, coquilles et membranes - en provenance du couvoir ECLOSION à ROUSSAY (49) et de fumier de canes reproductrices (paille broyée rebouchonnée).

La production de déchets de ce couvoir est en moyenne de 2,5 t/jour sur ce site, quantité qu'il convient de traiter au fur et à mesure de sa production.

Pour répondre à cette exigence d'utilisation des déchets de couvoir, le tas mis en compostage doit être suffisamment important pour permettre l'installation d'un véritable foyer fermentaire.

Cet essai a été réalisé à partir de 86 140 kg de matières, résultat d'un mélange de :

- 14 640 kg de déchets de couvoirs (17 %),
- 70 000 kg de fumier (81,3 %),
- 1 500 kg de paille (1,7 %), soit 3 ballots de paille de 500 kg destinés à prévenir d'éventuels écoulements latéraux.

Pour réunir les 15 t de déchets de couvoir, il a fallu 6 jours de production. Il a été procédé de la manière suivante:

- constitution d'un lit de fumier d'environ 50 tonnes en forme de légère cuvette,
- chaque jour, déversement de la production de déchets de couvoir (après pesée) sur ce lit de fumier,

Le complexe bactérien utilisé est constitué de 8 souches issues de 2 grandes familles de bactéries lactiques et de *Bacillus subtilis*. Ces souches sauvages, non OGM, sont sélectionnées en fonction de leurs critères métaboliques et de leur aptitude à se développer sur des milieux peu dégradés. Elles appartiennent toutes à la classification AFNOR IA, sans danger ni pour l'homme ni pour les animaux ni pour l'environnement.

- chaque jour pulvérisation sur les déchets de couvoir de la quantité utile de bactéries (marque commerciale : BACTIVOR<sup>®</sup>),
- recouvrement ensuite des déchets de couvoir par une petite couche de fumier de canes prélevé sur la fraction restante des 70 t.

A J0 les masses de chacun des produits mis en œuvre ont été déterminées par pesées de chacun des intrants. Le millefeuille fumier-déchets de couvoir a été repris, pulvérisé à nouveau avec le cocktail bactérien, et passé avec la paille dans un épandeur à fumier fonctionnant à poste fixe.

L'andain a été constitué sur une plate-forme bétonnée, sa hauteur maximale étant de 2 m. Il est resté en place, sans aucun retournement pendant 6 semaines (de J0 à J42) à l'issue desquelles une pesée de tout le compost a été effectuée, avant remise en andain par simple bennage pour une phase de maturation de 6 semaines (de J43 à J84).

L'essai s'est déroulé du juillet à octobre 2005.

#### 3.2. Mesures et contrôles

Chacun des produits entrant dans la composition du mélange déchets de couvoir/fumier, et le mélange luimême, a été caractérisé sur le plan des caractéristiques physiques, de la composition chimique et de la microbiologie. Le poids de chacun des constituants a été établi à J0 et la totalité du compost a fait l'objet d'une pesée à J42. A J84, le poids a été estimé sur la base de la conservation de la masse minérale. Dans chaque cas, la température a été suivie à cœur et en sub-surface (20 cm de profondeur) à l'aide de sondes à enregistrement en continu.

Pour les différentes analyses, à chaque fois, 6 échantillons ont été constitués (3 pour les analyses chimiques et 3 pour les analyses microbiologiques). Parmi-ceux-ci, 4 ont été envoyés au laboratoire (LDA 22) pour analyses et 2 ont été stockés au congélateur en cas de besoin. Les échantillons ont été constitués à partir de prélèvements du produit à différents endroits de l'andain et à différentes profondeurs. L'ensemble de ces prélèvements ont été regroupés et mélangés. Des divisions successives ont permis de déterminer les échantillons envoyés au laboratoire d'analyses.

#### 4. RESULTATS

#### 4.1. Compostage en silo

Après 42 jours d'aération forcée et 42 jours de maturation, le compost obtenu à partir du mélange fumier/déchet de couvoir (tableau 1) présente des caractéristiques physico-chimiques conforme à la norme amendement organique actuelle (NFU 44 051),

**Tableau 1.** Caractérisation des produits bruts destinés à composter (compostage en silo)

	Fumier	DC	Mélange
MS (%)	71,6	67,4	69,9
MM (%)	13,5	58,1	25,9
MO (%)	58,1	9,3	44,0
N total (%)	2,61	1,86	2,36
N-NH <sub>4</sub> (%)	0,70	0,39	0,61
N org (%).	1,91	1,47	1,75
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	3,20	0,35	2,39
K <sub>2</sub> O (%)	2,10	0,09	1,50
Cu (mg/kg)	37	1,1	21
Zn (mg/kg)	220	14	130

DC = Déchets de couvoir

**Tableau 2.** Evolution de la composition des produits (compostage en silo)

		t BRUT	Produit SEC		
	J0	J84	J0	J84	
MS (%)	69,9	74,0	100,0	100,0	
MM (%)	25,9	29,4	37,1	39,7	
MO (%)	44,0	44,6	62,9	60,3	
N tot (%)	2,36	2,42	3,38	3,27	
N-NH <sub>4</sub> (%)	0,61	0,61	0,87	0,82	
N org (%).	1,75	1,81	2,50	2,45	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	2,39	2,80	3,42	3,78	
K <sub>2</sub> O (%)	1,50	1,7	2,15	2,3	
Cu (mg/kg)	21	26	30	35	
Zn (mg/kg)	130	190	186	257	

**Tableau 3.** Statut microbiologique du compost obtenu en silo (germes/g)

		J84		
	Fumier	DC	Mélange	Compost
E. coli	< 10	360 000	2 000	< 10
C. perfringens sporulés	20	14 000	180	< 10
C. perfringens végétatifs	10	43 000	1 500	< 10
Salmonelles	absence ds 25 g	absence ds 25 g	absence ds 25 g	absence dans 25 g
Œufs d'Helminthes	absence	absence	absence	absence

DC = Déchets de couvoir

**Tableau 4.** Evolution de la composition des produits (compostage avec inoculum bactérien)

	Produit	t BRUT	Produ	it SEC
	J0	J84	J0	J84
MS (%)	46,3	52,6	100,0	100,0
MM (%)	20,7	22,7	44,6	43,2
MO (%)	25,7	29,9	55,4	56,8
N tot (%)	1,11	1,20	2,41	2,29
N-NH <sub>4</sub> (%)	0,47	0,37	1,00	0,69
N org (%).	0,82	0,84	1,76	1,60
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	1,05	1,60	2,27	3,04
K <sub>2</sub> O (%)	0,97	1,60	2,08	3,04
Cu (mg/kg)		21		40
Zn (mg/kg)		110		209

c'est à dire N+P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>+K<sub>2</sub>P < 7 %, sauf pour le critère Ntotal/MS qui reste un peu au-dessus de la valeur attendue, c'est-à-dire < 3 % (tableau 2). Les teneurs en cuivre et en zinc sont en dessous des préconisations de la norme NFU 44 095 pour les boues de station d'épuration (respectivement 300 et 600 mg/kg MS) et des préconisations ECOLABEL (cuivre : 100 mg et zinc : 300 mg/kg MS).

Le procédé aboutit à une perte de masse globale de 11 % ; pour l'azote, cette perte est de 9 %.

Les enregistrements en continu de la température montrent que le niveau de 70 °C est atteint, aussi bien à cœur (60 cm de profondeur) qu'en sub-surface (20 cm). La température s'est maintenue au-dessus de 60 °C pendant environ 21 jours soit 49 % du temps de la phase d'aération.

A la fin de l'essai (après 84 jours), les concentrations en germes contaminants sont soit nulles soit en dessous des seuils de détection; ces résultats montrent que le compostage permet d'obtenir une bonne hygiénisation du produit (tableau 3).

#### 4.2. Compostage avec inoculum bactérien

La composition physico-chimique du compost obtenu (tableau 4) est conforme à la norme amendement organique actuelle (NFU 44 051); les teneurs en cuivre et en zinc sont en dessous des préconisations de la norme NFU 44 095 (boues de station d'épuration) et des préconisations ECOLABEL.

La perte de masse globale est de l'ordre de 20 %; pour l'azote, cette perte est de 12 %.

Les enregistrements en continu montrent que la température de 70 °C est atteinte aussi bien à cœur (60 cm de profondeur) qu'en sub-surface (20 cm) ; la température s'est maintenue au-dessus de 60 °C pendant environ 25 jours soit 75 % du temps d'enregistrement..

L'évolution microbiologique du produit est présentée dans le tableau 5. A J0, la flore aérobie mésophile est à un niveau normal, compte tenu de la qualité des constituants du mélange. Les contaminants sont relativement importants, mais en relation avec l'origine des constituants. On notera l'absence de salmonelles et d'œufs d'helminthes.

Par la suite, l'action combinée de l'inoculum bactérien et de la montée en température au cours de la phase de compostage entraîne une modification importante du nombre de germes présents à l'origine. La flore aérobie mésophile se maintient à un niveau élevé du fait de la modification biochimique du milieu sous l'action de l'inoculum bactérien Les contaminants, et en particulier les coliformes et les anaérobies, passent sous la barre des 10 germes/g (limite de détection) mais il apparaît encore des streptocoques et des entérobactéries, provenant sans doute d'une recontamination lors de la prise d'échantillons. A J84, on note également une réapparition des coliformes et un léger accroissement des entérobactéries, en relation probable avec la recontamination. Les concentrations atteintes par ces germes sont soit en dessous des seuils de détection soit trop faibles pour exercer un pouvoir pathogène.

Ces résultats s'expliquent probablement par le fait que les différents prélèvements sont regroupés dans un même récipient puis déversés à même la dalle bétonnée en vue de leur mélange pour une bonne homogénéisation. Dans ces conditions, la dalle peut contaminer les échantillons. Par ailleurs, l'environnement lui-même de la plate-forme d'essai au moment des manipulations est une source potentielle de recontamination.

Les résultats obtenus montrent que le compostage permet d'obtenir une bonne hygiénisation du produit sans pour autant que le niveau « zéro germe » soit atteint. La recontamination, probable dans nos conditions expérimentales, est un phénomène habituel des entreprises qui produisent et exportent des composts. Ce phénomène rappelle la question non résolue du lieu de prélèvement de l'échantillon (sur site de production, dans le moyen de transport, sur le site d'utilisation) et des indicateurs utilisés pour des productions agricoles plus ou moins exigeantes.

**Tableau 5.** Statut microbiologique du compost obtenu avec l'inoculum (germes/g)

****	i inocurani	(Bermes, B)	
	J0	J42	J84
Flore aérobie mésophile	7 400 000	5 400 000	6 250 000
Coliformes thermotolérants	5 000	< 10	25
Streptocoques fécaux	16 000	320	205
Anaérobies sulfito-réducteurs	3 200	< 10	< 10
Entérobactéries	12 000	25	40
Salmonelles	absence ds25 g	absence ds 25 g	absence ds 25 g
Listeria	présence ds25 g	absence ds 25 g	absence ds 25 g
E. coli	80	< 10	< 10
Œufs d'Helminthes	absence	absence	absence

#### **5. CONCLUSION**

Le règlement européen 1774 d'octobre 2002 prévoit le traitement des déchets de couvoir dans une unité de transformation agréée, à condition que cette unité permette de répondre à un certain nombre d'objectifs, notamment en ce qui concerne la température atteinte et l'hygiénisation des produits.

Les couvoirs étant relativement disséminés sur le territoire, pour cette étude, nous avons privilégié des techniques susceptibles de répondre au cahier des charges du règlement européen tout en étant applicable à l'échelle d'un couvoir.

Seul l'essai avec le silo VALID® rempli l'obligation d'utiliser un réacteur fermé.

Pour ce qui est de l'obtention d'une température de 70 °C pendant 1 heure, les 2 essais de compostage ont montré que c'était possible ; par contre, toutes les matières compostées ne sont pas soumises à une température aussi élevée mais sont maintenues pendant une longue période (plusieurs jours) à une température de l'ordre de 60-65 °C.

Pour les 2 essais, l'objectif du règlement européen a été atteint en ce qui concerne l'hygiénisation..

Le règlement européen de 2002 a été modifié le 7 février 2006. Il prévoit que le système de compostage en réacteur fermé ne soit pas exclusif, à condition de satisfaire aux autres exigences du règlement; par ailleurs, à partir du moment où l'on peut démontrer que l'on réduit les risques biologiques, il n'y a plus d'obligation absolue d'utiliser les paramètres de contrôles du règlement (en particulier la température). Ceci revient à dire qu'il n'y a plus d'obligation de moyens, mais obligation de résultat.

Dans ces conditions, les 2 techniques de compostage testées satisfont totalement aux exigences du règlement européen modifié. Il conviendra par la suite d'entreprendre des démarches auprès des pouvoirs publics pour valider officiellement ces techniques de traitement des déchets de couvoir.

#### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Aubert C., Guiziou F., 1997, Sc. et Tech. Av.,n°19, 21-30

Guillouais S. Couronne M.PP, 2003, Sc. et Tech. Av., n°43, 27-34

Robin P., Aubert C., Bline D., Tricot G., Vacher V., 2001, Sc. et Tech. Av., n°35, 9-12

Tricot G., Aubert C., Robin P., Bline D., 2000, Sc. et Tech. Av., n°31, 23-31

#### Remerciements

Merci à tous ceux qui de près ou de loin ont participer à ces essais, notamment E. Limousin (VALID), J. Pellouin (SICAMEN), L. Rineau (ECLOSION) et J. Pénaud (GBP).

Action ayant bénéficiée du soutien financier de l'OFIVAL et de l'ADAR

# COMPOSTAGE SANS RETOURNEMENT D'UN MÉLANGE LITIÈRES DE POULETTES REPRO ET LISIERS DE POULES REPRO EN PRESENCE DE L'INOCULUM BACTÉRIEN BACTIVOR®

#### Pénaud Jean, Berraute Yannick

G.B.P. ENVIRONNEMENT, 7, rue Philippe LEBON 37000 TOURS

#### RÉSUMÉ

Cette étude avait pour but de tester s'il était possible de composter, sans nuisance pour l'environnement, un mélange fumier de volailles lisier de poules. La proportion de lisier devait être supérieure à 40 % de façon à répondre aux proportions de fumiers et lisiers produites habituellement dans les stations d'accouvage. Afin de permettre l'exportation du produit final, il était indispensable que ce dernier réponde soit à la norme amendement organique (NFU 44051), soit à celle engrais organique (NFU 42001).

Un mélange comprenant 57 % de fumier et 43 % de lisier a été mis en andain sous un bâtiment ventilé après inoculation avec le complexe bactérien BACTIVOR®. Le Bactivor® en solution aqueuse : 5 à 8 litres pour 10 tonnes de mélange à composter, a été apporté au fur et à mesure de la vidange de la remorque mélangeuse : 36 tonnes sont ainsi mises en compostage. Des échantillons ont été prélevés à J0 pour établir les statuts chimiques et bactériologiques du mélange. D'autres prélèvements ont été effectués à J+52 et J+127. La température interne de l'andain a été suivie pendant 50 jours grâce à 2 sondes enregistreuses placées à 30 et 60 cm de la surface. Deux autres séries de mesures ont été menées en 7 points et à 3 profondeurs grâce à une sonde à thermocouple.

Le suivi chimique a montré qu'à J+127 la matière sèche atteignait 69,1 %, soit une augmentation de plus de 50 % par rapport à J0, ce qui correspond à une élimination d'eau d'environ 7 tonnes. Pendant le même temps le pourcentage d'azote ammoniacal passait de 54 à 24 %, alors que la variation de la teneur en N<sub>T</sub> était inférieure à 12 %. La M.O était de 78,7 % sur sec, donc très élevée. Les températures, en tout point de l'andain étaient comprises entre 45 et 60°C et se maintenaient jusqu'à la fin de l'essai (J+127) sans retournement. Le mélange à J0 bactériologiquement très contaminé y compris par *salmonella* et *listeria* était totalement hygiénisé dès J+52. Seules quelques spores (<10² UFC/g) de type anaérobie sulfito-réducteurs ont été retrouvées. Très peu de nuisances olfactives ont été perçues : NH<sub>3</sub> indécelable à plus de 50 cm du tas dans la phase de compostage et 1 m lors du transfert. Le produit final obtenu répondait à la norme NFU 42001 : engrais organique

#### **ABSTRACT**

This study shows that it is possible to compost, a mixture of poultry manure and hens slurry, without harmful effects on the environment. The proportion of slurry must be higher than 40% to fulfil requirements of the stations of hatchery. To be exported, the end-product must answer one of the standards of fertilizer (NFU 44051) or organic manure (NFU 42001).

A mixture including 57 % of manure and 43 % of slurry is put in wind-row, under a ventilated building after inoculation with a bacterial complex BACTIVOR®. This product in aqueous solution: 5 to 8 liters for 10 tons of mixture to compost, is progressively brought during the unloading of the mixing trailer. 36 tons are thus put in composting. Samples are taken on day 0 to establish the chemical and bacteriological status of mixture. Other samplings are made on day 52 and 127. The internal temperature of the wind-row is followed during 50 days thanks to two recording probes located at 30 and 60 cm under the surface. Temperatures have been recorded twice, in 7 points and 3 depths with a thermocouple probe. The chemical follow-up shows that on day 127, the dry matter reaches 69,1 %, an increase of more than 50 % compared to day 0, this corresponds to an elimination of approximately 7 tons of water. During same time, the percentage of ammoniacal nitrogen decreases from 54 % to 24 %, whereas the N<sub>T</sub> content is lower than 12 %. The organic matter is 78,7 % on dryness, therefore very high . Temperatures inside the wind-row lie between 45 and 60°C and remain until the end of the test (day 127), without reversal. On day 0, the mixture was very contaminated, including salmonella and listeria. On day 52, the mixture was completely sanitized, less than 10² UFC/g of sulfito reducing anaerobe are found. Odours are reduced: Undetectable NH<sub>3</sub> at more than 50 m of the heap during composting, and at 2 m during the transfer. the end-product conforms to NFU 42001 standard: organic manure.

#### INTRODUCTION

inquiétudes suscitées par le possible développement de la grippe aviaire en Europe ont ravivé par contre-coup les exigences sur la propreté bactériologique des effluents stockés, a fortiori transportés. Le compostage peut être une réponse à ce problème pour ses propriétés d'hygiénisation du produit final et par sa structure chimique non polluante du fait de la réorganisation des structures organiques. Or le compostage est une technique aérobie qui impose périodiquement des apports d'oxygène, soit par retournement, soit par insufflation d'air. Ces interventions en désorganisant complètement la structure complexe et transitoire des produits en transformation sont génératrices de nuisances parfois importantes, dissémination de particules, ce aui l'installation d'une véritable plate-forme industrielle dont les coûts annihilent souvent l'intérêt du recourt à une telle méthodologie. Pour les stations d'accouvage, le même problème se pose pour les déchets de couvoir. Dans une étude menée avec l'ITAVI, nous avons montré que grâce à l'apport de l' inoculum bactérien spécifique BACTIVOR® de type aérobieanaérobie facultatif, le co-compostage des déchets de couvoir avec des litières de volailles était réalisable sans retournement tout en limitant au maximum les nuisances, en assurant l'hygiénisation compostage des différents intrants. Parmi les autres déchets, le lisier de poules pose le problème de son élimination. Il était donc particulièrement intéressant de tester l'action de l'inoculum BACTIVOR® lors du compostage d'un mélange fumier de volailles lisier de poules. L'objectif de cette étude était de tester les taux possibles d'incorporation du lisier de poules en évitant l'écoulement gravitaire du lisier pendant la phase initiale de compostage, de vérifier la possibilité compostage sans apport d'oxygène l'hygiénisation du milieu.

#### 1. MATERIELS ET METHODES

#### 1.1. Mise en place du mélange

Le fumier de poulettes a comme support des copeaux de bois blanc. Ces fumiers, après curage, sont entreposés à l'abri dans un hangar ventilé. Les lisiers sont prélevés directement dans la fosse d'un bâtiment en activité. Pour répondre au cahier des charges de cet établissement, il serait souhaitable de constituer un mélange contenant un minimum de 40 % de lisier en poids. Deux difficultés devaient être résolues en ce début d'essai : effectuer un mélange de qualité contenant suffisamment de lisier et constituer un andain qui corresponde au moins à une semaine de production des effluents. Pour réaliser cet essai, nous disposions d'un bâtiment clos et ventilé par un bardage bois sur les 4 cotés. La surface disponible était de 200 m², le sol était bétonné. Un épandeur à

fumier de grande capacité (>10 tonnes) muni d'un fond mouvant servait de mélangeuse. Le remplissage était assuré par un tractopelle muni d'un godet de 1m<sup>3</sup>. Dans un premier temps le poids du fumier remplissant le godet était mesuré à 400 kg et le volume du même poids de lisier était repéré sur le godet. Pour constituer l'andain 7 remorques ont été utiles. Les proportions du mélange lisier fumier ont évolué au fur et à mesure de l'avancée du travail. Partant d'un mélange initial 2/3 fumier, 1/3 lisier nous avons pu atteindre un mélange contenant chaque constituant à poids égal. Au final l'andain avait un poids de 36 tonnes avec une proportion moyenne de lisier de 43 %. Chaque remorque est vidée grâce au système d'épandage avec hérissons horizontaux, ce qui permettait d'avoir un andain non tassé de 1,80 à 2 m de hauteur pour une largeur au pied de 6 à 7 mètres. L'andain était de forme arrondie. Une dose de BACTIVOR® en solution dans 5 litres d'eau de source était appliquée sur le mélange lisier litière à l'aide d'un pulvérisateur manuel au fur et à mesure du déchargement de chaque remorque. L'apport bactérien était de 10<sup>6</sup> UFC/kg de mélange à composter. Une fois l'andain terminé, une dernière pulvérisation était effectuée sur l'ensemble de sa surface extérieure. Trois types de paramètres ont été suivis au cours de cet essai : l'évolution chimique du mélange, l'évolution de son statut microbiologique et l'évolution des températures.

#### 1.2. Contrôles chimiques et microbiologiques

Afin de pouvoir suivre l'évolution chimique du mélange fumier lisier lors de la phase de compostage, un échantillon moyen était constitué à trois moments de son évolution. Lors de la constitution, il était prélevé en début, milieu et fin de vidange 2 kg de mélange lors du déchargement de chaque remorque mélangeuse. Les échantillons prélevés rassemblés en un seul, et mélangés avec une pelle directement sur le sol préalablement balayé. Le tas est ensuite divisé en 2 parts égales sur lesquelles un échantillon de 2 kg sera prélevé, l'un servant à chimique, l'autre à l'analyse l'analyse bactériologique. Les paramètres chimiques suivis sont: MS, MM, MO, N<sub>T</sub>, NH<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O. Les paramètres microbiologiques étudiés sont: Flore Mésophile Aérobie Totale (FMAT), entérobactéries, coliformes totaux, E. coli, anaérobies sulfitoformes sporulées réducteurs et végétatives, salmonelle, listeria, levures et moisissures.

#### 1.3. Contrôles de température

Après réalisation complète, l'andain a été équipé de 2 sondes à thermocouples programmées pour un enregistrement en continu. Ces sondes ont été identifiées 2 et 7. Le temps entre 2 mesures était de 1 minute. Pour des raisons de disponibilité du matériel, les sondes ont été mises en place 4 jours après

constitution des andains. La sonde 7 était placée à une profondeur de 30 cm par rapport à la paroi et à 80 cm du sommet de l'andain. La sonde 2 était placée plus profondément : 60 cm soit à égale distance de la paroi et du cœur de l'andain et à la même distance du sommet que la sonde 7. La distance entre les deux sondes était d'environ 10 m. Toujours pour des raisons de disponibilité du matériel, ces sondes ont été laissées en place pendant 43 jours pour la n°7 et 50 jours pour la n°2. De façon à avoir une cartographie plus complète des températures dans les diverses zones de l'andain, les températures ont été relevées à l'aide d'une sonde canne de 1,5 m de long, en 7 points différents matérialisés sur les côtés de l'andain. Les températures ont été relevées en chaque point pour 3 profondeurs: 20 cm, 60 cm et 120 cm. Le cœur de l'andain était ainsi ausculté. Ces mesures ont été effectuées à J+16 et J+56.

#### 2. RESULTATS ET DISCUSSION

#### 2.1. Evolution chimique du mélange

Il était impossible dans cet essai de suivre l'évolution de la matière sèche pendant les 52 premiers jours car le mode de prélèvement des échantillons pendant la phase de constitution des andains favorisait la collecte des particules les plus sèches qui étaient éjectées à plus de 1 mètre de la remorque mélangeuse alors que les particules plus chargées en eau tombaient au pied de la remorque. La matière sèche à J<sub>0</sub> était de 53 %. L'échantillon prélevé à 52 jours était beaucoup plus représentatif de la valeur matière sèche, le prélèvement étant effectué par carottage jusqu'au cœur de l'andain. L'ensemble du produit recueilli représentait les diverses strates du tas. Entre le 52ème et le 127<sup>ème</sup> jour, instant de la reprise du tas, le taux de matière sèche était passé de 45,8 % à 69,1 % ce qui représente une perte en eau d'environ 7 tonnes. Pour un poids initial de 36 tonnes et pour éviter des problèmes de reprise en eau, il est recommandé de constituer les andains sous une structure couverte. Les taux des matières minérales et organiques en fin d'essai montraient que malgré une période de compostage longue (127 jours) la matière organique était conservée :78,7 %, ce qui confère au produit final un grand intérêt comme amendement organique. Le mélange lisier fumier est naturellement riche en azote et particulièrement en azote ammoniacal. Dans cet essai le pourcentage d'azote ammoniacal obtenu in fine est de 24 % alors qu'il était encore de 54 % à 57 jours. Dans le même temps l'azote total ne varie que dans de faibles proportions, inférieures à 10 % ce qui est conforme aux résultats obtenus avec d'autres intrants. Pendant les 127 jours du compostage, il était impossible de détecter des vapeurs ammoniacales à plus de 30 cm de la surface du tas. A J+127 l'éventration de l'andain dégage une grande quantité de vapeur d'eau, de faibles quantités d'ammoniac

indécelables à plus de 1m. Aucune autre odeur putride n'a été décelée.

#### 2.2. Evolution de la température des andains

A l'ouverture de l'andain, il apparaît que les deux sondes étaient placées dans des zones à forte teneur en matière sèche. Cette observation permet de comprendre la cinétique des températures pendant la période d'enregistrement. La lecture des deux sondes enregistreuses après leur extraction du tas montrait un léger retard de 72 heures de la montée en température pour la sonde 2 placée la plus en profondeur. La sonde n°7 atteint 60°C dès sa mise en place. Pendant les 43 jours suivants et en l'absence de tout apport d'air par retournement ou insufflation, la température subissait une très légère décroissance pour atteindre 51°C au moment où elle était retirée. La température enregistrée par la sonde n°2 atteint 56°C et présentait la même cinétique que la n°7 mais la décroissance observée pendant les 50 jours est limitée à 5°C. Pour les 2 sondes, le temps passé avec une température supérieure à 50°C était de 1 000 heures. Celui inférieur à 50°C était de 53 heures pour chaque sonde, soit 5 % du temps d'enregistrement. Ce maintien d'une température élevée au sein de l'andain était obtenue alors que la température extérieure n'avait jamais excédée 15°C et était très souvent négative. L'examen approfondi des courbes d'enregistrement montrait des ondulations en relation avec les variations du temps Celles de la sonde n°2 étaient toujours décalées de quelques jours par rapport à la sonde n°7, la plus superficielle. Les températures enregistrées manuellement avec la sonde canne confirmaient parfaitement celles des enregistreuses. Ainsi à J+16 toutes les mesures à 30 et 60 cm de profondeur étaient supérieures à 55°C. A 120 cm les températures étaient légèrement plus basses, la moyenne se situant à 52°C. Pour les sondes in situ on notait une baisse légère et régulière des températures : 7°C pour celle placée à 30 cm et 5 °C pour celle à 60 cm. Le temps passé dans la plage de températures 55-60 °C atteignait, pour chaque sonde 23 % du temps de présence des sondes. Lors de l'ouverture de l'andain à J+127 les températures prises en plus de 30 points étaient toutes supérieures à 45°C et certains points situés à 40 cm de la surface étaient encore à 65°C.

#### 2.3. Evolution bactériologique du mélange

Les analyses bactériologiques ont été réalisées sur des prélèvements effectués aux mêmes moments que ceux destinés à la chimie, à J0, J52 et J127 (voir tableau 1). L'échantillon prélevé à J0 faisait apparaître une contamination très importante. La FMAT dépassait  $10^7$  UFC/g, les entérobactéries étaient à  $10^4$  UFC/g comme les coliformes totaux et les staphylocoques. Les sporulés anaérobies étaient autour de  $10^5$  UFC/g. Clostridium perfringens atteignait 2,3. $10^4$  UFC/g.

L'échantillon était également contaminé par salmonella et listéria. Sur l'échantillon prélevé à J+52 la FMAT était ramenée autour de 3.10<sup>5</sup> UFC/g alors qu'il aurait été plus logique de trouver une valeur plus élevée puisque ce prélèvement a un taux de matière sèche inférieur à celui de J0. Les autres germes aérobies ont été éliminés du milieu. Aucun n'était détectable par les méthodes de référence requises par les normes NFU 44051 et 42001. Salmonella et listéria n'ont pas été retrouvées. Pour les germes anaérobies, il apparaissait une différence entre les anaérobies sulfito-réducteurs qui voyaient leur concentration chuter d'un minimum de 3 log mais avec une concentration résiduelle comprise entre  $0.3.10^2$  et  $4.10^2$  UFC/g. alors que *Clostridium* perfringens n'était plus décelable, ce qui traduisait une chute de plus de 4 log. Ces constatations concernant le nettoyage du milieu à composter sont très importantes car jamais les températures enregistrées n'ont atteint 70°C. Elles se sont maintenues entre 60 et 50°C. Il est également important de constater que l'hygiénisation des composts ainsi traités était obtenue bien avant l'obtention d'un véritable compost au plan chimique. Les résultats à J+127 étaient identiques à ceux de J+52. Ceci montrait que les spores ne peuvent profiter d'une baisse des températures à l'intérieur des andains pour germer et passer à l'état végétatif même si la de 70°C, température indispensable à l'hygiénisation, n'était pas atteinte.

#### CONCLUSION

Cette étude qui faisait suite à celles réalisées directement sur les litières in situ et sur le cocompostage des déchets de couvoirs confirme que le co-compostage des lisiers et des fumiers de poules en utilisant le complexe bactérien Bactivor®, et sans retournements permettait de composter ces divers effluents. Malgré les imperfections importantes du mélange réalisé, liées à l'emploi d'un matériel peu adapté, le compostage du mélange fumier de volailles lisier de poules a été obtenu sur une période de 127 jours, sans avoir recourt à un ou plusieurs retournements afin d'assurer le renouvellement en oxygène comme le demandent les compostages traditionnels. Avec un apport en poids de 43 % de lisier à 7 % de M.S, il n'y a pas eu de ruissellement de lisier, le mélange restant stable. Avec des matériels adaptés il paraît donc parfaitement possible d'atteindre un taux d'incorporation de 50 % de lisier à condition d'avoir un support fumier suffisamment sec. titrant au minimum 75 % de matière sèche. Pendant toute la période de compostage, les températures se maintenaient entre 50 et 60°C, ce qui fait que le temps passé à ces niveaux de température se situait autour de 1000 heures pour les 45 jours d'enregistrement. L'hygiénisation était obtenue rapidement (<J+52) et ce, bien que dans cet andain les températures n'aient iamais atteint 70°C. D'autres mécanismes

interviennent donc. Soit le nombre d'heures passées au dessus de 50°C intervient dans le sens quantité de chaleur produite, soit des inter-relations directes s'exercent entre la flore de contamination et celle apportée comme inoculum. Cette question fera l'objet de travaux que nous mènerons en complément de ce travail. Cette technique de compostage de mise en œuvre simple et sans incidence négative sur l'environnement permet d'obtenir un produit final de type compost qui peut être exporté puisqu'il correspond à la norme NFU 42001 : engrais organique (voir tableau 2).

#### REFERENCES BIBLIOGAPHIQUES

Aubert C., 2006. Sciences et techniques avicoles, 56: 10-15.

Le Douarin P, 2006. Réussir aviculture, 118 : 25 – 27. Guinebert E., Pénaud J., 2005. 6<sup>émes</sup> Journées de la Recherche Avicole, 122-125.

Tableau 1. Evolution du statut microbiologique (U.F.C./g) du mélange fumiers de volailles lisiers de poule

	Ј0	J52	J 127
Flore mésophile aérobie totale	2,7.10 <sup>7</sup>	$3.10^{5}$	9.10 <sup>5</sup>
Entérobactéries	1,2.10 <sup>4</sup>	<10	<10
Coliformes Totaux	$6,9.10^3$	<10	<10
Coliformes thermotolérants	4,6.10 <sup>3</sup>	<10	<10
Staphylocoques	$1.10^{4}$	<10	<10
E. coli	$3,9.10^3$	<10	<10
Anaérobies sulfito réducteur sporulés	1,6.10 <sup>5</sup>	0 ,6.10 <sup>2</sup>	$7.10^2$
Anaérobies sulfito réducteur végétatifs	2,3.10 <sup>4</sup>	$2.10^{2}$	$2,8.10^2$
Clostridium perfringens	2,3.10 <sup>4</sup>	<10	<10
Salmonelles	+	Abs.	Abs.
Listeria	+	Abs.	Abs.
Œufs d'helminthe	Abs.	Abs.	Abs.

Tableau 2. Situation du produit obtenu par rapport à la norme engrais organique

Norme NFU 42001	Compost fumiers et lisier de volailles	Conformité
N+P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ≥7%	8,16	Conforme
N ou P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ou K <sub>2</sub> O≥3%	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> =3%	Conforme
N>2%	2,66	Conforme
K <sub>2</sub> O>2%	2,50	Conforme
N organique≥1% sur brut	2,66	Conforme

# CONTRIBUTION A LA MISE AU POINT D'UNE METHODE SIMPLIFIEE DE MESURE DES EMISSIONS D'AMMONIAC ET DE PROTOXYDE D'AZOTE D'ELEVAGES DE DINDONS

Hassouna Mélynda <sup>1,2</sup>, Robin Paul <sup>1</sup>, Bensii Yassine <sup>1</sup>, Lecomte Marcel <sup>1</sup>

<sup>1</sup> INRA, UMR1069 SAS, 65 rue de Saint-Brieuc, CS 84215, 35000 Rennes cedex <sup>2</sup> INRA, UMR SENAH, – Domaine de la prise – 35590 Saint-Gilles

#### RÉSUMÉ

Pour répondre à un besoin en facteurs d'émission nationaux, nous contribuons au développement d'une méthode simplifiée de mesures des émissions gazeuses des bâtiments d'élevage. Les résultats présentés, obtenus à la Station de Recherche Avicole de Tours, font partie de cette mise au point méthodologique. Des mesures de température et d'hygrométrie intérieures et extérieures ont été réalisées en continu entre les 48<sup>ème</sup> et 56<sup>ème</sup> jours d'élevage pour 4 lots de dindonneaux (270 dindons / lot et 2 lots / salle) élevés sur litière de copeaux de bois ainsi que des mesures de concentrations en NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O et H<sub>2</sub>O au premier jour et au dernier jour de la période concernée. L'ensemble de ces données a permis d'estimer la quantité d'azote volatilisée sous forme polluante pour cette 8<sup>ème</sup> semaine d'élevage. Les émissions d'ammoniac estimées pour chaque lot variaient entre 2.21 et 3,45 g N-NH<sub>3</sub> /dindon et les émissions de protoxyde d'azote entre 0,16 et 0,70 g N-N<sub>2</sub>O /dindon. Pour cette 8<sup>ème</sup> semaine d'élevage, la perte d'azote par volatilisation mesurée (NH<sub>3</sub>+ N<sub>2</sub>O) était comprise entre 9 et 15% de l'azote excrété ce qui est inférieur aux valeurs proposées par le groupe CORPEN volailles en 1996 (40% d'azote volatilisé) et de la Commission Européenne (35%±35%). Nos résultats plus faibles s'expliquent par le fait que nos estimations n'ont pas été réalisées sur l'ensemble de la période d'élevage, à partir de mesures en continu et ne tiennent pas compte de l'azote émis sous forme non polluant (N<sub>2</sub>). De plus, la valeur donnée par le CORPEN inclue les pertes relatives au stockage. En conclusion, au vu des résultats obtenus, il semble possible d'obtenir des facteurs d'émission représentatifs des systèmes existant à partir de mesures simplifiées réalisées sur une courte période. Cependant, afin de ne pas les sous-estimer, il est préférable de réaliser plusieurs séries de mesure au cours de la bande.

#### **ABSTRACT**

Today in France, emission factors of animal housing are associated to a high uncertainty because of the few scientific studies compared to the large number and high diversity of animal buildings. In order to enrich the current data base, we contribute to the development of a simplified method and the results presented above contributed to perfect this method. To calculate  $NH_3$  and  $N_2O$  emissions, measurements of indoor and outdoor temperature and moisture have been performed continuously during the  $8^{th}$  growing week and  $NH_3$ ,  $N_2O$  and  $H_2O$  concentrations have been monitored at the beginning and at the end of this week. Mass balances for different elements have been calculated over the studied period in order to quantify the solid manure productions (based on phosphorus balance) and to validate the measured gaseous emissions (based on water and nitrogen balances).

 $NH_3$  emissions varied between 2.21 and 3.45 g N-NH $_3$  /turkey and  $N_2O$  emissions between 0.16 and 0.7 g N- $N_2O$  /turkey. During this  $8^{th}$  growing week, the nitrogen lost ( $NH_3 + N_2O$ ) varied between 9 and 15 % of the excreted nitrogen. These values were less than those given by the CORPEN (40% gaseous loss) and the European Community (35% $\pm$ 35%). This difference can be explained by the short measurement period which covered only the beginning of the growing period and by the fact that  $N_2$  emissions were not included in our emission factors. Moreover, the value given by the CORPEN included the nitrogen loss during the storage. To conclude, the results obtained during this experiment showed that it is possible to assess emission factors using simplified measurements during a short period. Nevertheless, to provide an accurate result, measurements should be performed at different moments during the growing period. The definition of the relevant periods will be validate in an on-going project.

#### INTRODUCTION

agricole contribue à l'émission L'activité d'ammoniac et de gaz à effet de serre (GES) au travers du méthane (CH<sub>4</sub>) et du protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O). Selon les estimations nationales des émissions, à partir des recommandations de l'IPCC développées à l'échelle mondiale, l'agriculture couplée à la sylviculture représente 27 % des émissions brutes de la France métropolitaine (CITEPA, 2006). Elle contribue majoritairement aux émissions de CH<sub>4</sub> (72% des émissions totales de la France métropolitaine hors puits) et celle de N<sub>2</sub>O (76%). Les émissions de méthane de ce secteur proviennent de l'élevage (fermentations entériques et déjections animales) et celles de protoxyde d'azote proviennent des cultures (en particuliers l'épandage de fertilisants). En valeur nette ces émissions sont compensées par la fixation de gaz à effet de serre (puits de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) mais l'incertitude sur les sources et puits reste élevée.

Toujours selon le CITEPA<sup>2</sup>, 98 % des émissions ammoniacales sont d'origine agricole.

Cependant, tous ces chiffres sont basés sur des facteurs d'émissions globaux issus de la littérature étrangère avec une typologie des combinaisons de systèmes de logement, stockage, pratiques de l'éleveur, différente de celle rencontrée au niveau national. Par conséquent, la quantification des émissions de gaz à effet de serre et d'ammoniac d'origine agricole en France est actuellement très imprécise et celle-ci rend difficile la prise en compte des efforts faits par les éleveurs pour réduire leurs émissions.

C'est donc pour répondre à ce besoin en facteurs d'émission nationaux et pour faire face à la diversité des systèmes d'élevage français que nous contribuons au développement d'une méthode simplifiée de mesures des émissions gazeuses des bâtiments d'élevage. Les résultats présentés, obtenus à la Station de Recherche Avicole de Tours, font partie de cette mise au point méthodologique et nécessitent une validation en élevage commercial .

#### 1. MATERIELS ET METHODES

#### 1.1. L'élevage

Les mesures ont été réalisées à la Station de Recherche Avicole de l'INRA (SRA) à Tours à 6 jours d'intervalle (le 19 et le 26 avril 2005, ce qui correspond aux 48<sup>ème</sup> et 56<sup>ème</sup> jour d'élevage), avant

<sup>1</sup> IPCC: Groupes Intergouvernementaux d'Experts sur le Changement Climatique

le démarrage d'un essai ayant pour objectif de tester des solutions alimentaires pour limiter les quantités d'azote et de phosphore excrétées par les dindons tout en maintenant les performances zootechniques (Travel et al., 2006). Les dindonneaux ont été séparés en 4 lots (A, B, C, D) de 270 dindons et placés dans 2 salles (P11, P12) ayant les mêmes caractéristiques et situées dans le même bâtiment (donc 2 lots par salle avec une surface de 65m² par lot ce qui correspond à une densité plus faible que celle rencontré sur le terrain). Les dindons ont été élevés au sol sur litière de copeaux de bois pendant 111 jours (du 21 mars 2005 au 21 juin 2005) avec des programmes d'élevage classiques : température, ventilation, programmes lumineux et sanitaires.

Les ventilations des salles étaient dynamiques et sur notre période de mesure, des radians ont chauffés les salles (la densité plus faible explique le besoin de chauffage à ce stade d'élevage. L'abreuvement des animaux était réalisé par système BAR'AVI.

Les animaux ont été pesés individuellement à 21, 35 et 56 jours, ce qui nous a permis de produire une courbe d'évolution de leur poids sur notre période de mesure.

#### 1.2. Caractérisation de l'ambiance

Des capteurs-enregistreurs de température et d'hygrométrie (TESTO 177-H1) ont été installés à l'extérieur et à l'intérieur du bâtiment, dans l'aire de vie des animaux (un au-dessus de chaque lot), hors d'atteinte de ceux-ci. La fréquence des mesures était de 10 minutes.

Les mesures de concentration en ammoniac, protoxyde d'azote et eau ont été réalisées au moyen d'un analyseur infrarouge photoacoustique (Brüel et Kjaer 3426, filtres 976, 985, 527). L'air était aspiré par l'analyseur au moyen d'un tuyau PTFE placé au dessus de chaque lot à environ 1,5m du sol. 10 acquisitions successives (intervalle entre mesures égal à 2 minutes) pour chaque lot et à l'extérieur du bâtiment ont été réalisées le 19/04/2005 et le 26/04/2005 (1 acquisition correspond à 3 données de concentration, une pour chaque gaz).

#### 1.3. La quantification des émissions gazeuses

Pour calculer les émissions gazeuses d'un bâtiment, il est nécessaire de connaître les concentrations des gaz à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment et les débits d'air dans le bâtiment, cette dernière donnée n'étant pas toujours disponible ou mesurable. Cependant, il est possible de la calculer en partant d'hypothèses sur les productions de chaleur et de vapeur d'eau des systèmes d'élevage (CIGR, 2002). Pour cette expérimentation, le débit d'air a été calculé à partir de la production de chaleur totale et

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> CITEPA: Centre Interprofessionnel Technique d'Etude de la Pollution Atmosphérique

de l'écart d'enthalpie<sup>3</sup> entre l'air intérieur et extérieur, de la production de chaleur sensible (chaleur produite par les animaux est dissipée sous forme d'élévation de température de l'air) et du gradient de température, de la production de vapeur d'eau et du gradient d'humidité (Robin et al., 2004). On a ainsi disposé de trois estimations du débit d'air exprimé « par animal présent ».

Quand les écarts entre ces différentes estimations étaient inférieurs à 30%, nous avons considéré que le débit était correctement estimé. Sinon, nous avons exclu le pas de temps.

Les différents modèles utilisés pour calculer le débit d'air requièrent un certain nombre de données d'entrée (Robin et al., 2004):

- calcul de la production de chaleur totale des animaux en fonction du poids vif des animaux pesés individuellement par la SRA;
- ajout de la chaleur apportée par le chauffage et l'éclairage. Cet apport d'énergie a été estimé en fonction du nombre de lampes par animal, de leur puissance et des heures d'éclairage et pour le chauffage, les durées de fonctionnement des radians nous ont été fournies par la SRA en supposant constante la puissance des radiants. L'incertitude liée à cette hypothèse est acceptable en regard de la précision que l'on peut attendre de mesures simplifiées d'émissions gazeuses (environ 20%). Dans certains cas le rayonnement solaire constitue une entrée de chaleur supplémentaire mais lorsque les mesures ont été effectuées, le temps était couvert.
- déduction de la chaleur sortant par convection et conduction à travers les parois du bâtiment. Les pertes par convection et conduction dépendent des caractéristiques thermiques du bâtiment (surface et isolation des murs et toiture). Nous avons fait l'hypothèse d'un coefficient d'isolation thermique égal à 1 W/m³.K (bâtiment normalement isolé en murs, portes et toiture).

Les émissions de vapeur d'eau, d'ammoniac et de protoxyde d'azote ont été déduites du débit d'air estimé lors des mesures de concentration en gaz. Une estimation en continu sur la période de mesure a été réalisée à partir de l'interpolation linéaire des concentrations observées et des débits d'air calculés.

#### 1.4. La validation des résultats

Pour valider l'estimation des émissions gazeuses, des calculs de bilan de masse pour l'eau, le carbone, l'azote, le phosphore, et le potassium ont été réalisés sur la période de mesure.

Les consommations d'eau et d'aliments ont été enregistrées par la SRA. Les analyses d'aliments ont permis de connaître les quantités d'eau, de carbone, d'azote, de phosphore et de potassium ingérées par les animaux.

La pesée des animaux et l'estimation de leur poids en début et fin d'expérimentation ont permis d'évaluer la rétention corporelle de ces éléments et d'en déduire les rejets (CORPEN, 1996).

Des prélèvements de fumier ont eu lieu le même jour que les mesures de concentration dans chaque case. L'effluent a été prélevé sur toute son épaisseur en 9 points et un échantillon global représentatif de chaque case a été utilisé pour déterminer les teneurs en eau, carbone, azote, phosphore et potassium des effluents. Les échantillons ont ensuite été congelés et par la suite broyés avant d'être analysés par l'INRA.

Par la suite, à partir d'hypothèses sur la conservation du phosphore et sur la représentativité de l'échantillonnage de l'effluent, nous avons calculé pour chaque lot les quantités de fumier produites au cours de cette 8ème semaine de mesure, la connaissance de cette quantité étant primordiale pour le calcul des bilans de masse des autres éléments.

#### 2. RESULTATS ET DISCUSSION

Les concentrations en ammoniac mesurées ont varié entre 5 et 7 ppm le 19/04 et entre 8,5 et 11 ppm le 26/04. Pour l'extérieur, nous avons relevé 0,3 ppm le 19/04 et 1,6 ppm le 26/04. Les concentrations en protoxyde d'azote observées étaient environ 5 fois plus faibles que celles observées pour l'ammoniac (comprises entre 0,85 et 1,7 ppm le 19/04 et entre 0,85 et 1,30 ppm le 26/04 avec 0,6 ppm à l'extérieur pour ces 2 dates). Les émissions cumulées d'ammoniac et de protoxyde d'azote estimées à partir de ces mesures pour chaque lot sont données dans le tableau 1.

Les résultats concernant les analyses chimiques des effluents sont présentés dans le tableau 2. Les teneurs en phosphore des échantillons de fumier ont permis de calculer les quantités de fumier produites pour cette 8<sup>éme</sup> semaine d'élevage en tenant compte des quantités de phosphore excrétées par les animaux. Cette étape a conduit à exclure les analyses effectuées sur les échantillons de fumier des lot A et B au 19/04, et pour le lot C au 26/04. Les quantités de fumier calculées à partir de ces valeurs étaient incohérentes (différences importantes des quantités de fumier produites entre lots et pour ces lots, entre dates successives). Ces incohérences peuvent s'expliquer par des artefacts lors de l'échantillonnage, du sous échantillonnage avant analyse, ou lors de l'analyse elle-même. La

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Enthalpie: C'est l'énergie (ou chaleur) totale contenue dans l'air humide. Elle inclut la chaleur sensible et la chaleur latente contenues dans l'air.

quantité de fumier des lots A et B au 19/04 a donc été calculée à partir de la production journalière de fumier par dindon déduite de la quantité de fumier du 26/04 (et inversement pour le lot C). Ainsi, les quantités de fumier produites pour cette 8ème semaine d'élevage varient entre 118 et 155kg.

Les quantités de fumier ainsi calculées ont permis de réaliser des calculs des bilans d'eau pour chaque lot et d'estimer ainsi l'erreur de mesure d'après le défaut de bilan. Un exemple est donné dans le tableau 3.

**Tableau 3.** Bilan d'eau pour le lot A (en kg/lot A ; on compte positivement l'eau entrante)

Eau aliment	+44
Eau bue	+750
Eau métabolique	+53
Eau Fumier	-54
Eau retenue par les Dindons	-149
Eau évaporée (déduites des	-532
mesures))	
Erreur	+112 (13%)

Des calculs de bilan d'azote ont également été faits afin de s'assurer que les émissions azotées mesurées n'étaient pas supérieures au défaut de bilan (figure 1). Les défauts de bilan observés sont faibles (compris entre 2 et 4 kg) et nous permettent donc de valider les facteurs d'émissions azotées obtenus pour cette 8ème semaine d'élevage. Ainsi, la perte d'azote par volatilisation mesurée (NH<sub>3</sub>+N<sub>2</sub>O) étaient comprise entre 9 et 15% de l'azote excrété, ce qui est inférieur aux valeurs proposées par le groupe CORPEN volaille en 1996 (40% d'azote volatilisé, CORPEN, 1996) et de la commission européenne (35%±35% d'après EK, 2002). Nos résultats plus faibles s'expliquent par le fait que nos estimations n'ont pas été réalisées à partir de mesures en continu sur l'ensemble de la période d'élevage et ne tiennent pas compte de l'azote émis sous forme non polluant (N2) qui ne peut être mesuré. De plus la valeur donnée par le CORPEN inclue les pertes relatives au stockage.

Ces résultats soulignent l'importance du choix de la période de mesure au cours d'un lot. Ainsi, au vu des résultats, il pourrait sembler évident que pour ne pas sous-estimer les émissions, il est préférable de réaliser des mesures en fin de bande. Cependant, les émissions étant croissantes au cours d'un lot, l'extrapolation de ces mesures pour toute la durée du lot risque d'aboutir à une surestimation des émissions. C'est pourquoi aujourd'hui, une étape importante dans la mise au point d'une méthode simplifiée reste le choix des périodes de mesure, leur nombre et le mode d'extrapolation à tout le lot. Quant au protocole de mesures, les résultats obtenus pour les différents bilans de masse prouvent l'intérêt d'associer le bilan de masse aux

mesures d'émissions gazeuses. Pour quantification de facteurs d'émission il est donc préférable d'utiliser des méthodes simplifiées robustes plutôt que des méthodes de mesures en continu plus lourdes. On peut ainsi réaliser des observations dans un grand nombre d'élevages et améliorer la représentativité des facteurs d'émissions du parc de bâtiments français et mettre en évidence la variabilité en fonction du climat, des pratiques, du bâtiment et du mode de gestion des effluents. Il reste cependant à améliorer les protocoles d'échantillonnage des effluents et d' analyse, afin de réduire le risque d'erreurs au cours de ces étapes, et à proposer un mode de contrôle numérique des résultats destiné à détecter ces éventuelles erreurs.

#### CONCLUSION

En conclusion, les résultats obtenus montrent qu'il est possible d'obtenir des facteurs d'émission pour les gaz polluants représentatifs des systèmes existant à partir de mesures simplifiées réalisées sur une courte période. Cependant, afin d'obtenir une estimation valide pour l'ensemble du lot, il semble de réaliser des mesures concentrations, de température et d'hygrométrie à différents moments au cours du lot. Le choix des périodes de mesure et du nombre de répétitions devrait être prochainement arrêté dans le cadre d'un projet ACTA démarré depuis un an et qui a pour objectif la mise au point méthodologique de mesures simplifiées des émissions de gaz à effet de serre, en bâtiments et stockages, avicoles, porcins et bovins, en vue de leur quantification en France.

De plus, ce projet devrait également nous permettre de valider sur le terrain ces résultats obtenus en station expérimentale.

#### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CIGR, 2002. Heat and moisture production at animal and house levels Pdersen S. et Sällvik K.
- CITEPA, 2006. Inventaire des émissions de polluants dans l'atmosphère en France- format SECTEN, 247 p.
- CORPEN,1996. Estimation des rejets d'azote par les élevages avicoles, 11p.
- EK, 2002. Livestock manure- Nitrogen equivalents. Luxembourg. Office of official publication of the european communities, 25p.
- Robin P., Hassouna M., Texier C., 2004. Rapport intermédiaire convention MEDD-DE/INRA.
- Travel A., Bouvarel I., Aubert C., Marichal V., Lescoat P., Chagneau A-M., Hallouis J-M., Lessire M., 2006. Scie. Tech. Avicoles, (54), 4-13.

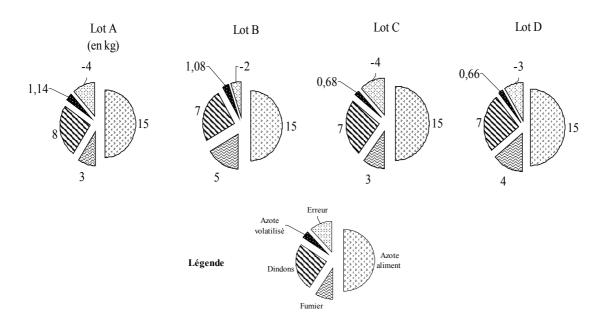
Tableau 1. Les émissions cumulées d'ammoniac NH3, de protoxyde d'azote N2O et d'eau H2O

Lots	A	В	C	D
Ammoniac (g N_ NH <sub>3</sub> /dindon)	3,45	3,25	2,37	2,21
Protoxyde d'azote (g N_ N <sub>2</sub> O /dindon)	0,65	0,70	0,16	0,21
Eau (kg H <sub>2</sub> O/dindon)	1,9	2,0	1,3	1,4

Tableau 2. Analyses chimiques des effluents

Lots	A		I	3	(	7	D		
Date	19/04 26/04		19/04	26/04	19/04	26/04	19/04	26/04	
K (g/100g de MS)	2,00	2,36	2,09	2,25	2,08	2,44	1,94	2,31	
P (g/100g de MS)	0,82	1,08	0,98	1,06	0,92	1,26	0,90	1,07	
Cu (mg/ kg de MS)	56,6	67,5	60,4	67,8	58,9	71	57,4	66,2	
Quantité de MS (en kg/par kg de produit brut)	0,840	0,802	0,863	0,797	0,843	0,796	0,846	0,765	
Azote total (g/kg de produit brut)	26,82	26,49	26,01	28,06	25,41	25,74	24,71	27,63	
Azote ammoniacal (g/kg de produit brut)	3,47	4,22	3,15	4,51	3,71	4,61	2,95	4,90	

**Figure 1.** Bilan d'azote pour les 4 lots pour la 8<sup>ème</sup> semaine d'élevage (une erreur négative signifie un excès d'entrée par rapport aux sorties)



## INVENTAIRE NATIONAL DES EMISSIONS GAZEUSES (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>) LIEES A LA GESTION DES DEJECTIONS ANIMALES : LES DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES ET LES RESULTATS POUR L'ELEVAGE AVICOLE

#### Gac Armelle, Béline Fabrice, Bioteau Thierry

Cemagref, 17 avenue de Cucillé, 35044 Rennes

#### RÉSUMÉ

L'objectif de cette étude est d'établir un inventaire détaillé des émissions de méthane (CH<sub>4</sub>), protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) et ammoniac (NH<sub>3</sub>) issues des déjections animales en France. Une méthode basée sur le concept du bilan matière a été développée pour quantifier les émissions issues des élevages bovins, porcins et avicoles, en prenant en compte les pratiques d'élevage nationales. Une base de données Access® contenant des facteurs d'émissions spécifiques, des données statistiques et des compositions de déjections a été élaborée pour réaliser ce calcul. Les émissions totales de méthane ont été estimées à 365,2 kt C-CH<sub>4</sub>, les émissions de protoxyde d'azote à 28,7 kt N-N<sub>2</sub>O et celles d'ammoniac à 382 kt N-NH<sub>3</sub>. Les déjections des volailles représentent 9 % des émissions totales de CH<sub>4</sub>, 6 % des émissions de N<sub>2</sub>O et 15 % des émissions de NH<sub>3</sub>, avec des contributions différentes des sept catégories de volailles étudiées et des quatre postes d'émissions (extérieur, bâtiment, stockage, épandage). Ces résultats dépendent des facteurs d'émissions utilisés, or l'étude bibliographique a mis en évidence un manque de données concernant les volailles dans la majorité des cas (hormis l'ammoniac au bâtiment). Cela mène à identifier quelques pistes de travail pour améliorer les connaissances sur les émissions gazeuses en élevage avicole.

#### **ABSTRACT**

The objective of this study is to draw up a detailed inventory of emissions of methane  $(CH_4)$ , nitrous oxide  $(N_2O)$  and ammonia  $(NH_3)$  emissions produced from livestock manure in France. A methodology based on the mass flow concept was developed to quantify the emissions from cattle, swine and poultry production, by taking into account the national practices. An Access® database containing specific emission factors, statistical data and manure composition was developed to carry out this calculation.

Total methane emissions were estimated as 365.2 kt C-CH<sub>4</sub>, nitrous oxide emissions as 28.7 kt N-N<sub>2</sub>O and ammonia emissions as 382 kt N-NH<sub>3</sub>. Poultry manure represents 9 % of the CH<sub>4</sub> total emissions, 6 % of the N<sub>2</sub>O emissions and 15 % of the NH<sub>3</sub> emissions, with differing contributions from the seven types of poultry and four sources of emission (outdoor, buildings, storage, spreading). These results depend on the emission factors used, but the bibliographic review revealed a lack of data about poultry in most of the cases (except for ammonia in buildings). This leads to the identification of further work to improve the knowledge about gaseous emissions in poultry production.

#### INTRODUCTION

Les déjections d'élevage sont une source majeure d'émissions gazeuses. Elles contribuent à 22 % de l'ensemble des émissions nationales de méthane (CH<sub>4</sub>), à 27 % des émissions de protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) et à 78 % des émissions d'ammoniac (NH<sub>3</sub>) (CITEPA, 2005a et b).

Pour réaliser les inventaires français de ces émissions, les méthodologies internationales disponibles pour les gaz à effet de serre (IPCC, 1997) et pour l'ammoniac (EMEP/CORINAIR, 2003) sont utilisées. Elles présentent des résultats agrégés et, malgré une possibilité d'adapter les facteurs d'émission proposés, elles ne permettent pas de rendre compte des spécificités nationales. Ainsi, des travaux ont été menés à l'étranger, à l'échelle de pays ou continents pour proposer d'autres approches plus précises (notamment Pain, 1998, Chadwick, 1999, Freibauer, 2003).

Dans ce contexte, une étude a été menée pour estimer les flux de gaz à effet de serre (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) et d'ammoniac (NH<sub>3</sub>) liés à la gestion des déjections des élevages bovins, porcins et avicoles pour la France, en tenant compte des pratiques d'élevage nationales. Nous développerons ici plus particulièrement les résultats qui concernent l'élevage avicole.

#### 1. MATERIELS ET METHODES

#### 1.1. Méthodologie de calcul

Les émissions azotées ( $N_2O$  et  $NH_3$ ) et de méthane liées aux déjections d'élevage proviennent des quantités d'azote (N) et de méthane potentiel ( $C\text{-}CH_4$ ) excrétées par les animaux. Ces excrétions sont réparties entre l'extérieur et le bâtiment, en proportions variables en fonction des conduites d'élevage. Les émissions gazeuses interviennent ainsi à l'extérieur et/ou au bâtiment, puis successivement au stockage et à l'épandage des déjections.

Dans la présente étude, l'approche par bilan matière a été adoptée pour les trois gaz considérés. Les émissions sont ainsi calculées à chaque étape en fonction des quantités de N et de C-CH<sub>4</sub> potentiel entrant à une étape (cf. Schéma 1). Pour s'assurer de la cohérence du bilan matière, les émissions non polluantes (N<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub>) ont également été considérées. Dans le cadre de la révision de la méthodologie EMEP/CORINAIR, l'approche par bilan matière a d'ailleurs été identifiée comme la seule manière de décrire les émissions provenant des élevages à partir des quantités excrétées, en prenant en compte l'aspect de conservation de la matière tout au long de la filière de gestion des déjections (Dämmgen, Webb, 2005). Cette approche permet par ailleurs de considérer plusieurs systèmes d'élevage de manière simple, en faisant varier uniquement les quantités excrétées (Webb, Misselbrook, 2004).

#### 1.2. Les données nécessaires au calcul

Les données d'entrée du calcul sont les quantités de N et C-CH<sub>4</sub> excrétées pour chaque catégorie d'animaux, à l'extérieur d'une part et au bâtiment d'autre part. Elles ont été estimées à partir des effectifs annuels moyens d'animaux, des quantités excrétées par tête et du temps passé par les animaux à l'extérieur et au bâtiment. Ces données ont été établies à partir de références et statistiques nationales et de publications, et validées en collaboration avec les instituts techniques, afin de traduire les principales conduites d'élevage existantes (lisier, fumier, fientes, production standard ou de qualité, etc.). En ce qui concerne les volailles, seules les catégories les plus représentatives en terme de quantités de déjections sont considérées. Ainsi, les oies, pintades, cailles et pigeons, qui réunies produisent moins de 1,5 % de l'ensemble des déjections avicoles, n'ont pas été intégrés dans l'approche.

Par ailleurs, une étude bibliographique a été réalisée afin de déterminer des facteurs d'émission (FE) représentatifs des contextes d'élevage français. Les données issues de 167 publications internationales ont été harmonisées dans une unité commune permettant le calcul par bilan matière (%N et %C-CH<sub>4</sub> entrant dans un poste). Puis une analyse de la variance a été effectuée afin de mettre en évidence les éventuels facteurs d'influence sur les FE et de constituer ainsi des modules gaz - animal - poste d'émission facteurs d'influence (type de déjection, stade physiologique, etc.). Une fois les modules identifiés, la moyenne et l'écart type ont été calculés. Cette analyse n'a pas permis de déterminer de FE pour tous les cas et des recherches ponctuelles ont fourni les informations manquantes. On présente dans le tableau 1 les facteurs d'émission utilisés pour le calcul des émissions liées aux déjections avicoles.

#### 1.3. L'outil de calcul des émissions

L'outil de calcul des émissions gazeuses est une base de données développée sous Access 2000 ®. Elle intègre les facteurs d'émissions, les données de caractérisation des modes d'élevage et la méthodologie par bilan matière. Les calculs correspondants aux différentes étapes sont effectués en chaîne grâce à des requêtes imbriquées. Son caractère évolutif permet une actualisation des données nécessaires au calcul pour mettre à jour les résultats ou considérer de nouvelles conduites d'élevage.

#### 2. RESULTATS ET DISCUSSION

L'inventaire des émissions gazeuses liées aux déjections issues des élevages de bovins, porcins et volailles a été calculé pour l'année 2003. Les émissions de méthane ont été estimées à 365,2 kt C-CH<sub>4</sub> +/- 233 % (majoritairement liées aux

déjections de bovins et aux postes bâtiment et stockage), les émissions de protoxyde d'azote à 28,7 kt N-N<sub>2</sub>O +/- 157 % (émis principalement par les bovins au pâturage, ainsi qu'au cours de l'épandage) et les émissions d'ammoniac à 382 kt N-NH<sub>3</sub> +/- 125 % (avec une répartition plus homogène entre les espèces animales et les postes d'émissions). Alors que les volailles représentent respectivement 8,0 et 8,4 % des quantités totales de méthane potentiel et d'azote excrétées, elles contribuent à 9 % des émissions totales de CH<sub>4</sub>, soit 34,4 kt C-CH<sub>4</sub> +/- 275 %, à 6 % des émissions de N<sub>2</sub>O, soit 1,6 kt N-N<sub>2</sub>O +/- 207 % et à 15 % des émissions de NH<sub>3</sub>, soit 56,7 kt N-NH<sub>3</sub> +/- 125 %, devant les porcs dont la contribution est de 13 % pour ce gaz (et 9,3 % de l'azote excrété) (cf. Figure 2).

En regardant de manière détaillée les résultats obtenus pour l'élevage avicole (cf. Tableau 2), il apparaît que les sept catégories de volailles d'une part, et les quatre postes d'émissions d'autre part, participent de manière différente aux émissions : les canards à rôtir contribuent à 32 % des émissions de  $\mathrm{CH_4}$  et le stockage des déjections à 62 % ; les émissions de  $\mathrm{N_2O}$  sont principalement liées aux poules pondeuses d'œufs de consommation (40 %) et à l'épandage (50 %) ; les émissions de  $\mathrm{NH_3}$  proviennent pour 36 % de l'élevage de poulets de chair et pour 65 % du poste bâtiment.

En identifiant les secteurs les plus émetteurs, ces résultats indiquent des pistes de travail possibles sur la réduction des émissions gazeuses en élevage avicole.

Toutefois, ces résultats et les niveaux d'incertitude associés sont directement influencés par les facteurs d'émission utilisés. Les données bibliographiques dont ils sont issus ont été sélectionnées en fonction de leur représentativité par rapport aux pratiques d'élevage et aux conditions climatiques nationales. L'étude bibliographique a ainsi mis en évidence des domaines pour lesquels peu de facteurs d'émissions sont disponibles dans la littérature. Ainsi, parmi les données sélectionnées, aucune ne concernait les aires de parcours des volailles (les FE du tableau 1 ont été obtenus par extrapolation) ; dans les bâtiments, les gaz à effet de serre sont très peu étudiés (0 donnée exploitable pour le N<sub>2</sub>O, une seule pour le CH<sub>4</sub>), les travaux étant concentrés sur l'ammoniac (38 données); le constat est similaire en ce qui concerne les émissions liées à la gestion des fientes au cours du stockage (1 seule donnée de terrain concernant NH<sub>3</sub>) et de l'épandage (0 donnée).

Ce constat met en évidence la nécessité d'approfondir les connaissances dans ces domaines. Les prochaines mesures de terrain obtenues pourraient ainsi être prises en compte pour améliorer la qualité de l'approche.

#### **CONCLUSION**

L'inventaire obtenu permet de disposer de données détaillées par catégorie d'animal et par poste d'émission, en prenant en compte les modes d'élevage nationaux.

L'étude bibliographique a identifié des domaines pour lesquels les connaissances sur les émissions liées aux élevages avicoles sont insuffisantes et l'obtention de données de terrain supplémentaires serait nécessaire. La base de données développée est un outil nouveau pour estimer les émissions gazeuses liées aux déjections animales en France. Grâce à la méthodologie adoptée, elle permet également d'évaluer l'impact global de technologies de réduction des émissions (par changement des facteurs d'émissions). Elle pourrait ainsi devenir un outil d'aide à la décision utile pour orienter l'élevage avicole vers des pratiques plus respectueuses de l'environnement vis à vis des émissions gazeuses.

Cette étude a fait l'objet d'un financement de l'Ademe (contrat n° 0375C0118) que les auteurs tiennent ici à remercier.

#### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Chadwick DR, Sneathe RW, Phillips VR, Pain BF, 1999. Atmos. Environ., (33), 3345-3354

CITEPA, 2005. CORALIE format CCNUCC mise à jour décembre 2005. pp362.

CITEPA, 2005. CORALIE format CEE-NU mise à jour décembre 2005. pp186.

Dämmgen U, Webb J, 2006. Agr. Ecosyst. Environ., (112), 241-248

EMEP/CORINAIR, Atmospheric Emission Inventory Guidebook, 3<sup>rd</sup> Edition, September 2003

Freibauer A., 2003. Europ. J. Agronomy, (19), 135-160

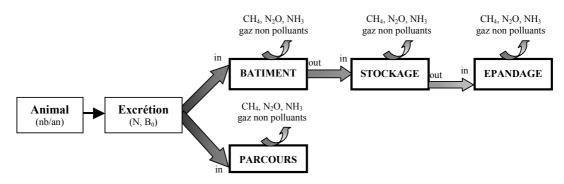
Gac A, Béline F, Bioteau T, 2006. Flux de gaz à effet de serre (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) et d'ammoniac (NH<sub>3</sub>) liés à la gestion des déjections animales : Synthèse bibliographique et élaboration d'une base de données. rapport final. Cemagref, Ademe, pp98

IPCC, Revised 1996 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories: reference manual, 1997

Pain BF, Van Der Weerden TJ, Chambers BJ, Phillips VR, Jarvis, SC, 1998. Atmos. Environ., Vol. 32, No 3, 309-313

Webb J, Misselbrook TH, 2004. Atmos. Environ.,j (38), 2163-2176

Figure 1. Le calcul des émissions gazeuses par bilan matière



**Tableau 1.** Facteurs d'émission pour les volailles utilisés dans le calcul de l'inventaire (NH<sub>3</sub> et N<sub>2</sub>O en % du N entrant, CH<sub>4</sub> en % du C-CH<sub>4</sub> entrant, écart type entre parenthèses)

	,		CH <sub>4</sub>			N <sub>2</sub> O		NH <sub>3</sub>			
		lisier	fumier	fientes	lisier	fumier	fientes	lisier	fumier	fientes	
PATURAGE			0,04 (0,04)			0,9 (0,9)			10,7 (10,7)		
BATIMENT	Poules Chair	31,8 (24,4)	4,4 (4,4) 0 (0)	4,4 (4,4) 0 (0)	0,09 (0,09)	1,2 (1,2) 0 (0)	1,2 (1,2) 0 (0)	29,2 (13)	30,4 (26)	12,3 (13,5)	
STOCKAGE		16,7 (20,4)	10,4 (21,4)	10,4 (10,4)	0 (0)	0,3 (0,36)	0,15 (0,15)	3,5 (3,3)	9,5 (11,5)	8,5 (3,3)	
<b>EPANDAGE</b>			0,04 (0,04)			0,9 (1)		19,6 (13,6)	10,7 (9,3)	10,7 (10,7)	

**Figure 2.** Contribution (en pourcentage) des trois espèces animales aux émissions nationales de CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O et NH<sub>3</sub>, et valeur des émissions pour chaque espèce en kt de C-CH<sub>4</sub>, N-N<sub>2</sub>O et N-NH<sub>3</sub>

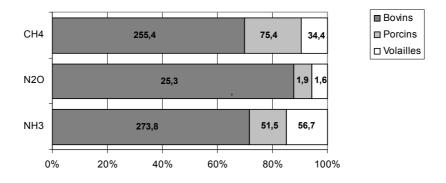


Tableau 2. Emissions gazeuses calculées pour les différentes catégories de volailles pour l'année 2003

		kt C-CH <sub>4</sub>				kt N-N <sub>2</sub> O					kt N-NH <sub>3</sub>				
	Parc.	Bât.	Stoc.	Ep.	Total	Parc.	Bât.	Stoc.	Ep.	Total	Parc.	Bât.	Stoc.	Ep.	Total
poulettes	0,0	0,6	1,3	0,0	1,9	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	1,7	0,4	0,4	2,5
pondeuses – OAC <sup>1</sup>	0,0	0,3	0,7	0,0	0,9	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	1,9	0,4	0,4	2,6
pondeuses - œufs conso <sup>2</sup> .	0,0	3,6	3,5	0,0	7,1	0,0	0,4	0,0	0,2	0,6	0,1	5,3	2,2	3,1	10,7
poulets de chair	0,0	0,0	7,1	0,0	7,1	0,0	0,0	0,1	0,3	0,4	0,3	14,1	3,1	3,1	20,5
dindes et dindons	0,0	0,0	5,2	0,0	5,2	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,0	9,2	2,0	2,0	13,3
canards gras <sup>3</sup>	0,0	0,6	0,5	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,6	0,1	0,2	1,1
canards à rôtir	0,0	8,1	2,9	0,0	10,9	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	3,9	0,3	1,8	6,1
TOTAL VOLAILLES	0,0	13,1	21,2	0,1	34,4	0,0	0,5	0,2	0,8	1,6	0,5	36,8	8,5	10,9	56,7

1: OAC :œufs à couver 2: œufs conso.:œufs de consommation 3: canards gras : ensemble PAG et en gavage Parc.: parcours Bât.: bâtiment Stoc.: stockage Ep.: épandage

# FORMULES DE CALCUL DE DISTANCE A RESPECTER ENTRE BATIMENTS D'ELEVAGE ET HABITATIONS POUR QUE L'ODEUR SOIT ACCEPTABLE : COMPARAISONS ET PROPOSITION, PUIS VALIDATION D'UNE FORMULE POUR LA WALLONIE (BELGIQUE)

#### Nicolas Jacques, Cobut Pierre, Otte Benoît, Romain Anne-Claude

UNIVERSITE DE LIEGE – Département Sciences et Gestion de l'Environnement – Unité Surveillance de l'Environnement – Avenue de Longwy, 185 - 6700 ARLON (Belgique)

#### RÉSUMÉ

Le Gouvernement de la Région wallonne (Belgique) a confié à l'unité de recherche la tâche d'inventorier les différentes directives relatives au calcul de la distance à respecter entre les bâtiments d'élevage (dont les élevages de volailles) et les habitations pour assurer un niveau d'acceptabilité de l'odeur générée. Huit formules de calcul, appliquées dans différents pays, ont été examinées et comparées et une étude de sensibilité des différents paramètres a été menée.

Cette première comparaison a donné lieu à une appréciation des différentes méthodologies, selon des critères de pertinence par rapport à la réalité de terrain, de faisabilité technique, d'applicabilité à la Région wallonne et de cohérence avec les théories de la génération et de la dispersion des odeurs.

Sur la base de ces différents éléments, une formule originale a été proposée : elle permet de calculer une distance d'acceptabilité de la nuisance olfactive sur la base de facteurs multiplicatifs incluant les éléments suivants : nombre et type d'animaux, facteurs techniques du bâtiment d'élevage (type, stockage et manipulation des effluents, ventilation, nourriture), environnement orographique et météorologique et type de voisinage.

Les différents paramètres de cette formule ont été ajustés grâce à des visites de terrain, puis la formule a été validée sur 22 poulaillers et élevages de canards. La compatibilité a été testée avec les unités d'odeur, les débits d'odeur et les percentiles spatio-temporels utilisés pour apprécier les zones de nuisances olfactives.

#### **ABSTRACT**

The Government of the Walloon region (Belgium) entrusted our research group with the task of inventorying the various directives related to the calculation of the minimum distance to recommend between livestock buildings (of which poultry breeding cases) and dwellings to ensure a level of acceptability of the generated odour. Eight formulas, applied in various countries, were examined and compared and sensitivity study of the various parameters was undertaken.

That first comparison gave rise to the appreciation of the various methodologies, according to criteria's relevant to field reality, technical feasibility, applicability to the Walloon region and coherence with the theories of odour generation and dispersion.

On the basis of those various elements, an original formula was proposed: it allows to calculate a distance of the odour annoyance acceptability on the basis of multiplicative factors including the following elements: animal number and type, breeding technical factors (litter type, storage and handling, ventilation, food), orographic and wind conditions and type of surrounding residential area.

The various parameters of this formula were adjusted thanks to field inspections, then the formula was validated on 22 hen houses and ducks breeding or force-feeding buildings. The compatibility was tested with odour units, odour rate and percentiles usually applied to assess the odour annoyance zones.

#### INTRODUCTION

La nuisance olfactive est considérée comme un des principaux problèmes environnementaux liés aux élevages de porcs et de volailles.

Plusieurs pays ou régions proposent des méthodes d'évaluation des distances de séparation entre les bâtiments d'élevage et les zones résidentielles afin de rendre acceptable cette nuisance par les riverains. Trois niveaux d'évaluation sont suggérés : des distances fixes, des lignes directrices constituées de formules ou d'abaques empiriques, ou l'usage d'un modèle de dispersion atmosphérique.

Le présent travail s'intéresse à l'approche des lignes directrices, en particulier pour le secteur avicole. Ces formules permettent de calculer une distance en fonction du nombre et du type d'animaux, des caractéristiques de l'élevage, de l'environnement du site et du type de voisinage. Le Gouvernement de la Région wallonne (Belgique) a confié à l'unité de recherche les tâches suivantes:

- en premier lieu, inventorier les différentes formules proposées par différents pays ou régions,
- ensuite, les comparer entre elles, notamment en s'intéressant à la sensibilité des différents paramètres sur la distance calculée et à la cohérence des approches avec les concentrations et débits d'odeurs évalués par les méthodes olfactométriques,
- enfin, concevoir une formule applicable pour la Région wallonne, en Belgique, et qui pourrait être utilisable par les agents traitant les dossiers de demande de permis.

#### 1. MATERIELS ET METHODES

La première étape du travail a consisté à rassembler les informations sur 8 méthodes, dont la plupart avaient été établies il y a un certain temps et qui avaient donc fait leurs preuves.

- La méthode allemande de la Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (Règlementation technique en matière de pollution de l'air) de 1986 (TA-LUFT, 1986): bien qu'ancienne et modifiée depuis, elle est simple à mettre en œuvre et constitue une base de comparaison pour la suite.
- La méthode allemande préconisée par les "Verein Deutscher Ingenieure" (VDI): d'abord la VDI3472 (VDI, 1986), spécifique aux élevages de volailles, puis la VDI3474, (VDI, 2001) qui rassemble tous les types d'élevages.

- La méthode hollandaise: mise en place par le ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement (VROM=Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer) dès 1985, puis améliorée en 1996 (VROM, 1996).
- La méthode suisse (Richner et Schmidlin, 1996)
- La méthode préconisée par l'université de Gand, en Belgique (Neukermans et Van Hyfte, 1991), sur base des VDI allemandes.
- Sa transposition dans la règlementation flamande, c'est-à-dire dans la partie nord de la Belgique (Moniteur Belge, 1995).
- La méthode autrichienne (Schauberger et al., 1997)
- La méthode québécoise (Assemblée nationale, 1997).

Le travail avait été initié dès 2001 et a vu son aboutissement en 2006, par l'élaboration d'une formule applicable pour la Wallonie. Durant ces 5 années, les différentes approches ont évolué et la méthode finalement proposée prend en compte ces évolutions récentes.

L'inventaire des méthodes s'est concrétisé par une description détaillée de toutes les formules et de leurs paramètres (Nicolas et al., 2002), ce qui a par exemple permis de les intégrer à une feuille de calcul Excel (Microsoft Office).

Ensuite, les différentes méthodes ont été testées et comparées, d'abord dans l'absolu, par des études de la sensibilité et de la dynamique des différents paramètres, puis sur des cas particuliers d'élevages wallons. Au total 43 élevages ont ainsi été investigués, dont 21 porcheries, 5 élevages de poules pondeuses (plein air ou batterie), 13 élevages de poulets de chair (sur parcours, en locaux fermés, bio, label, ...) et 4 élevages de canards (élevage ou gavage). Dans chaque cas, un certain nombre d'informations ont été récoltées chez l'éleveur (nombre et type d'animaux, type d'élevage, ventilation, gestion des effluents, ...), quelques mesures rapides ont été effectuées (débit de ventilation, température, hauteur des cheminées d'évacuation), un "tour odeur" ponctuel a été réalisé pour apprécier, avec les conditions météorologiques du jour, la distance maximum de perception en l'occurrence d'une olfactive. Il s'agit méthodologie largement éprouvée dans le cadre d'études concernant des centres d'enfouissement technique (Nicolas, Craffe, Romain, 2006). Dans certains cas, la concentration de l'odeur a été mesurée dans les locaux d'élevage par olfactométrie dynamique.

Cette étude systématique a permis de faire émerger les principaux atouts et limites de chaque ligne directrice et de créer une formule applicable en Wallonie, qui, à son tour a été validée sur les cas particuliers.

#### 2. RESULTATS ET DISCUSSION

#### 2.1. Formule générale

Le principe général qui est d'application pour la plupart des lignes directrices est d'évaluer une distance <u>d'acceptabilité</u> de la nuisance olfactive générée par les bâtiments d'élevage. En aucun cas donc il ne s'agit de distance limite de perception ou de reconnaissance de l'odeur, ni même de distance "zéro nuisance", mais bien d'une distance qui prend en compte les facteurs sociologiques liés à l'acceptabilité de certaines tonalités olfactives en fonction notamment de l'aménagement du territoire et de divers paramètres liés à l'odeur (fréquence, durée, caractère hédonique).

La forme générale de la relation permettant de calculer cette distance d'acceptabilité est :

Distance D (m) = Facteur x  $(Neq)^n$ 

Dans cette formule, Neq est le nombre d'équivalents animaux, qui tient compte du nombre réel d'animaux (actuel ou potentiel pour un élevage donné) corrigé par un facteur d'équivalence qui, dans la plupart des cas, ramène le nombre d'animaux en équivalent "porcs à l'engraissement". Cette équivalence résulte de mesures de débit d'odeur réalisées sur le terrain. Par exemple, 1 porc à l'engraissement vaut 30 poules pondeuses ou 40 poulets de chair.

L'exposant n, qui varie entre 0.3 et 0.6 selon les régions, tient compte à la fois du fait que le débit d'odeur émanant d'un élevage n'augmente pas linéairement avec le nombre d'animaux et de la divergence géométrique due à la dispersion de l'odeur dans l'atmosphère (la concentration de l'odeur diminue en fonction de la distance).

Quant au facteur multiplicatif, il tient compte de plusieurs aspects :

- les caractéristiques de l'élevage : ventilation des bâtiments, type, stockage et évacuation de la litière
- le type de voisinage : zone résidentielle, agricole, ...
- le relief et le régime des vents locaux.

Cette formule générale est cependant déclinée en différentes variantes, selon les régions et les pays : certains préfèrent introduire le facteur technique lié aux caractéristiques de l'élevage à l'intérieur de la parenthèse, d'autres font varier l'exposant n en fonction du type d'animaux, ...

#### 2.2. Sensibilité des paramètres

D'une manière générale, les méthodes hollandaise, autrichienne et suisse fournissent des distances assez proches les unes des autres et relativement faibles par rapport aux méthodes allemandes et belges (flamandes), plus sévères. Ainsi, avec les méthodes hollandaise, autrichienne et suisse les distances typiques estimées pour des bâtiments d'élevage de volailles sont de l'ordre d'une centaine de mètres, alors qu'elles valent en général plus du double lorsque les autres méthodes sont utilisées. Ces dernières sont cependant plus sensibles aux caractéristiques de l'élevage, ce qui les rend particulièrement attractives.

En effet, le facteur technique relatif à l'élevage doit agir suffisamment sur la distance pour inciter à pratiquer un élevage minimisant les odeurs.

Dans les formules, les principes généraux concernant les techniques d'élevage sont les suivants :

- une protection du stockage des effluents est meilleure qu'un stockage ouvert,
- pour l'élevage en batterie, le séchage des excréments est préconisé,
- l'évacuation régulière du lisier ou du fumier est toujours conseillée,
- une alimentation solide est conseillée,
- une ventilation dynamique est préférée à une ventilation naturelle,
- la cheminée devrait dépasser le faîte du toit d'au moins 0.5m,
- l'air vicié doit être évacué dès que la température des effluents est supérieure à la température extérieure.

Pour la plupart des méthodes (sauf la méthode hollandaise), le facteur technique est le paramètre le plus important et peut faire évoluer la distance d'un facteur 1 à 5 entre la meilleure et la pire des situations. Cependant, certaines données sont parfois difficiles à obtenir. Ainsi, le débit de ventilation réel des locaux n'est connu que via les informations de l'installateur et une mesure ponctuelle n'est pas représentative de la situation moyenne annuelle.

Ce sont les méthodes hollandaise et autrichienne qui sont les plus sensibles à une variation du nombre d'animaux. Quant aux équivalences entre animaux, elles sont variables d'une méthode à l'autre, mais on retrouve pratiquement toujours, par ordre d'odeur décroissante : le canard d'élevage, le canard au gavage, la poule pondeuse et le poulet de chair.

C'est la formule hollandaise qui attache le plus d'importance aux caractéristiques du voisinage, avec une gradation du type (de la plus petite distance vers la plus grande): zones agricoles, zones rurales non agricoles, zones d'habitat hors agglomération et enfin zones résidentielles en agglomération. Selon que le premier riverain est dans une zone résidentielle ou une zone agricole, la distance peut être divisée par 3.

Par contre, le régime des vents et la topographie ne sont que rarement pris en compte. Seule l'Autriche préconise un facteur "orographie et météorologie", mais qui, en pratique, n'est applicable qu'en pays montagneux, pour établir une distinction entre des élevages situés en altitude et d'autres situés dans la plaine. Aucune méthode ne tient compte de la direction des vents dominants : la distance calculée est considérée comme représentant le rayon d'un cercle autour de l'élevage ou, au mieux, comme une distance à porter autour de l'enceinte de la propriété.

## 2.3. Relation avec le débit et la concentration d'odeur

Pour établir une formule de calcul des distances qui reste cohérente avec une politique globale en matière d'odeur, il nous a semblé essentiel de relier l'émission à un débit d'odeur, exprimé en unités odeur par seconde (uo/s), et l'exposition à un percentile spatio-temporel définissant une zone d'acceptabilité de la nuisance.

Une vaste étude bibliographique a été menée et il a été constaté une très grande variabilité des émissions d'odeur estimées selon les auteurs, selon la saison de la mesure et selon le moment considéré dans le cycle d'élevage.

Les taux d'émission par animal fournis dans la littérature résultent d'une mesure de concentration d'odeur (en uo/m³) évaluée par olfactométrie dynamique à partir d'un échantillon prélevé dans le bâtiment, multipliée par le débit d'extraction de l'air (en m<sup>3</sup>/s), le tout étant divisé par le nombre d'animaux présents dans le bâtiment au moment de la mesure. Des valeurs moyennes ont été extraites de ces études publiées. Il a finalement été considéré un débit d'odeur de 20 uo/s par porc à l'engraissement. En utilisant les équivalences typiques des méthodes de calcul des distances, cela représente, pour les volailles, 0.5 uo/s/poulet 0.66 uo/s/poule pondeuse, 0.66 uo/s/canard au gavage et 1 uo/s/canard à l'élevage.

Toujours en considérant un compromis entre divers auteurs, le percentile 98 relatif à 10 uo/m³ (P98-10 uo/m³) a été choisi comme le plus représentatif de la zone d'acceptabilité de la nuisance olfactive générée par les élevages. Les distances typiques qu'il définit sont assez cohérentes avec les distances calculées par les méthodes empiriques. Rappelons

qu'à l'extérieur du P98-10 uo/m³, la concentration d'odeur de 10 uo/m³ n'est dépassée que durant moins de 2 % du temps.

## 2.4. Principes d'une formule applicable localement

Les résultats de l'analyse des différentes lignes directrices et des études bibliographiques ont permis de proposer une formule qui pourrait être applicable à la Région wallonne en Belgique. Nous n'en fournissons ici que la philosophie de base et les principes qui ont guidé son élaboration.

Les études de cas sur le terrain ont démontré que les distances de perception de l'odeur approximativement évaluées par notre opérateur étaient assez cohérentes, dans l'ensemble, avec celles proposées par les méthodes hollandaise, autrichienne et suisse pour chacun des élevages considérés. Cependant, une grande variabilité a été observée parmi la vingtaine de cas d'élevage de volailles traités, avec des distances évoluant de 60 à 500 mètres. En moyenne, 60 % des élevages respectent toutes les lignes directrices, 10 % n'en respectent aucune et 30 % ne respectent que les lignes directrices proposant des distances faibles.

Pour être applicable à notre région, la formule devrait tenir compte de la particularité de l'aménagement du territoire (les catégories définies par les "plans de secteurs"), de la forte densité de l'habitat, du relief et du régime des vents propre à la Wallonie et de l'histoire "rurale" de la région, qui a favorisé l'implantation des élevages au sein des villages, à proximité des habitations.

Nous nous sommes largement inspirés des lignes directrices analysées, en exploitant dans chacune d'entre elles les principaux atouts : la dynamique des facteurs (surtout du facteur technique) des VDI allemandes et des méthodes qui en sont dérivées, l'approche préconisée par la Hollande pour tenir compte des catégories de voisinage, le type de formule préconisée par l'Autriche et l'ordre de grandeur des distances calculées par les méthodes autrichienne, suisse et hollandaise.

La formule générale proposée est du type (Nicolas et al., 2006):

$$D=kf_Df_R(Nf_Af_T)^n$$

où D est la distance en mètres, k un coefficient d'ajustement,  $f_D$  le facteur de dispersion, lié au relief,  $f_R$  le facteur de catégorie de voisinage, N le nombre d'animaux,  $f_A$  le facteur de conversion selon les équivalences animales ( $f_A$ =1 pour le porc à l'engraissement),  $f_T$  le facteur technique de

l'élevage et n un exposant, toujours choisi égal à 0.5

L'originalité de l'approche est que l'intérieur de la parenthèse caractérise l'émission et est comparable à un débit d'odeur, alors que les autres facteurs et coefficients expliquent la dispersion l'acceptabilité hédonique de l'odeur. L'émission et l'immission sont donc identifiées indépendamment, ce qui rend la formule compatible avec l'approche des modèles de dispersion atmosphérique. Une autre originalité est que tous les facteurs sont multiplicatifs, ce qui n'était pas toujours le cas dans les méthodes analysées. Cela permet d'apprécier très facilement leur influence sur la distance finale. Enfin, nous avons choisi de faire varier chacun des facteurs autour de la valeur 1. celle-ci correspondant au cas le plus probable pour la Wallonie (c'est-à-dire, par exemple, une ventilation mécanique avec cheminée verticale arrivant au faîte du toit, une litière séchée, sur sol plein, avec évacuation en fin de cycle, des bâtiments d'élevage à proximité d'une zone d'habitat à caractère rural et un relief moyennement perturbé).

Le facteur technique f<sub>T</sub> est le produit d'un facteur lié à la ventilation des bâtiments, d'un facteur groupant le type de fumier, son stockage et son évacuation et d'un facteur caractéristique de l'alimentation. Des tableaux d'affectation de valeurs à ces facteurs ont été spécifiquement développés pour les porcheries et pour les élevages de volailles. Le facteur f<sub>D</sub> considère trois types de rugosité l'environnement, selon les perturbations du relief avoisinant. Le facteur f<sub>R</sub> fait référence aux trois catégories d'aménagement de territoire en Wallonie et le facteur k a été ajusté à 5 en comparant les distances ainsi calculée aux mesures de terrain et aux estimations du P98-10 uo/s obtenues par modélisation.

Ainsi, à titre d'exemple, en considérant une situation typique pour notre région (facteurs égaux à 1), un élevage de 50 000 poulets correspondrait à une distance de 177 mètres, un élevage de 30 000 poules pondeuses à 157 mètres et un élevage de 3000 canards à 61 mètres. Ces distances d'acceptabilité de la nuisance olfactive pourraient cependant être réduites d'un facteur au moins égal à deux en considérant des conditions plus favorables, comme une évacuation de l'air dépassant le faîte du toit, un séchage plus efficace des excréments, ou des bâtiments localisés complètement en zone agricole plutôt qu'à proximité d'une zone d'habitat.

#### **CONCLUSION**

La plupart des formules de calcul des distances s'avèrent assez faciles à manipuler et l'information nécessaire au calcul est assez rapidement collectée. L'évaluation d'une distance par des lignes directrices se révèle donc être un bon compromis entre l'imposition d'un distance fixe et l'usage d'un modèle de dispersion atmosphérique, basé sur un débit d'odeur qu'il faut évaluer.

Une formule locale a été proposée, elle présente l'avantage d'être compatible avec la théorie de la dispersion des odeurs et une correspondance avec les concepts de concentration d'odeur, de débit d'odeur et de percentiles peut être établie.

#### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Assemblée Nationale, 1997. Rapport de la Commission de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation - Québec (disponible sur Internet à l'adresse : <a href="http://www.assnat.qc.ca/archives-35leg2se/fra/Publications/racapac1.html">http://www.assnat.qc.ca/archives-35leg2se/fra/Publications/racapac1.html</a>)

Moniteur Belge, 1995. Vlarem II du 31-07-1995

Neukermans G. et Van Hyfte J., 1991. Agricontact n°226 - mars 1991

Nicolas J., 2002. Rapport final d'étude – Région wallonne –DPA- DGRNE

Nicolas J., Otte B., 2004. Rapport Final d'étude FPW-FACW.

Nicolas J., Cobut P., Otte B., 2006. Rapport final d'étude – DPA-DGRNE

Nicolas J., Craffe F., Romain A.C., 2006. Estimation of odor emission rate from landfill areas using the sniffing team method. Waste Management, Vol. 26, pp. 1259-1269

Richner B., Schmidlin A., 1996. Rapport n°476 de Station fédérale de recherches en économie et technologie agricoles (FAT) - Tänikon - Suisse

Schauberger G., Piringer M., Eder J., Fiebiger H., Köck M., Lazar R., Pichler-Semmelrock F., Quendler Th., Swoboda M., Thiemann G., Teufelhart J., 1997. Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft, (57), 399-408

Ta Luft, 1986. Heymanns Verlag, Köln

VDI, 1986. VDI 3472 Emissionsminderung Tierhaltung-Schwein. Beuth - Berlin

VDI, 2001. VDI 3474 Emission control livestock farming odorants – VDI-Richtlinien-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 3

VROM, 1996. *Richtlijn "Veehouderij en stankhinder 1996"*, disponible sur le site http://www.infomil.nl.