NOUVELLES DONNÉES SUR LES COPRODUITS CARNÉS EN ALIMENTATION DES ANIMAUX MONOGASTRIQUES.

NEW DATA ON THE VALUE OF RENDERED BY PRODUCTS FOR MONOGASTRIC ANIMALS.

par Aimé-Louis **Aumaitre**[1], Claude **Février**[2], Annie **Barbeau**[2]

RÉSUMÉ

Les coproduits carnés représentent en Europe un gisement de 2,7 Mt/an de farines, utilisées par le passé dans les aliments des animaux comme source de protéines et de minéraux (phosphore), et de 1,7 Mt/an de graisses animales. L'incinération systématique des seules farines rejette annuellement dans l'atmosphère 5 Mt de gaz carbonique et d'oxydes d'azote et de soufre. Grâce à la spécialisation des abattoirs et des ateliers de découpe, les filières porcine et avicole en France apportent plus de la moitié des matières premières alors qu'elles n'ont jamais été soupçonnées de la dissémination des EST. De tels produits sont encore systématiquement utilisés dans certains pays d' Amérique du Sud, d' Océanie et même d'Europe dans l'alimentation animale, plus particulièrement dans les aliments des animaux carnivores, en l'absence d' alternative aux coproduits animaux. Ces coproduits ont récemment suscité une activité de recherche et de publication accrues dans le monde de la nutrition animale: 26 articles scientifiques entre 1972 et 1982 contre 90 entre 1992 et 2002! L'incidence des nouvelles technologies de traitement sur leur valeur alimentaire a été évaluée, exclusivement sur les espèces porcine et avicole. L'analyse du contenu de 166 articles de la littérature scientifique publiée au cours des 30 dernières années permet de démontrer que les coproduits carnés issus des filières porcine et avicole constituent toujours une source de protéines utilisables chez les animaux monogastriques non concernés par les EST. Ainsi, des mesures de la teneur en acides aminés digestibles iléaux des principaux coproduits ont été récemment entreprises. Elles montrent une réduction de 10% en moyenne par rapport aux valeurs habituellement admises suite au traitement recommandé par la législation Européenne. Ces données permettent d'identifier les facteurs limitant en fonction de l'origine des produits et de confirmer leur valeur alimentaire potentielle pour les animaux non ruminants.

SUMMARY

Rendered by-products amounted 2.7 Mt /year in the European Union mostly used in the past as protein and mineral sources (phosphorus) in the diet of farm animals. Systematic destruction by incineration generated in the atmosphere 5 Mt of carbon dioxide, nitrogen and sulphur oxides. Thanks to the specialisation of slaughter houses, pig and poultry chains in France supplied more than half of the raw material processed and dehydrated in rendering plants and these particular products have never been demonstrated as deleterious for the disseminantion of the STE. Some of

[1] Correspondant de l'Académie d'Agriculture, président de la Fédération européenne de Zootechnie, membre de l'Académie vétérinaire de France, directeur de recherches à l'INRA 35 590 Saint Gilles.
E-mail : aumaitre@st-gilles.rennes.inra.fr
[2] INRA St-Gilles.

Copyright Académie d'Agriculture de France. Séance du 3 mars 2004.

these products are still largely used in South America, Oceania in the diet of farm animals and more specifically worldwide in pet food requiring high levels of crude protein from animal origin. On the basis of an intensive survey of the scientific literature, these by-products have been intensively studied in the recent past by animal nutritionists: 26 scientific articles have been published between 1972 and 1982 and 90 between 1992 and 2002. The effect of new technologies of treatment on the feeding value for pig and poultry species has been analyzed in the content of 166 articles published during the past 30 years. The digestive utilization of the rendered products by pigs and poultry is particularly concerned. Numerous estimations of their content in ileal digestible amino acids (lysine, methionine, cystine, threonine and tryptophane) for pig and poultry are sumarised in 9 tables. They showed an average decrease of 10 percentage units consecutive to the application of the European recommendations for the treatment of the by-products, compared to the previous estimations. These products could be still considered as a protein source in non ruminant animals.

INTRODUCTION

L'interdiction de l'incorporation des farines de viandes, d'os, de viandes osseuses, de sang, de plumes, de déchets de couvoirs, de cretons, et de graisses dans les aliments de toutes les espèces d'animaux de rente (et de compagnie), en application des arrêtés du 14 mars 2000 et du 13 février 2001 a mis fin à l'exploitation d'un gisement substantiel de sources protéiques et minérales utilisées en France et en Europe pour l'alimentation animale (Pérez *et al.*, 2002). L'estimation globale de la perte annuelle de nutriments effectuée pour l' Union Européenne et l'Allemagne s'élève respectivement à 2,3 Mt et 0,3 Mt de matière sèche ainsi qu'à 110.000 et 14.000 tonnes d'équivalent phosphate bicalcique (Rodehutscord *et al*, 2002). A titre d'exemple, rien que pour compenser la perte de protéines totales, il faudrait à l'Allemagne doubler sa surface annuelle en protéagineux et la porter à 420.000 hectares . Les mêmes auteurs rapportent que l'incinération (seule technique recommandée actuellement pour leur élimination) conduit à la production de 1,4 kg de gaz carbonique et d'oxyde de carbone et de 0,2 kg d'oxydes d'azote (NOx) par kg de produit brûlé, ainsi que de l'oxyde de soufre. Or les déchets carnés sont des aliments naturels pour certains animaux au delà du prélèvement effectué par la faune sauvage. Le Professeur Leroy recommandait dans son traité sur l'Alimentation des Animaux Domestiques d'incorporer (la "farine de viande") à la dose de 5 % de la ration des porcins, et de ne pas dépasser la proportion de 8 % sous peine de voir apparaître des troubles digestifs par intoxication azotée". Il envisageait cependant que la "farine de viande" puisse constituer le seul complément protéique aux céréales de la ration du porc au delà de 60 kg de poids vif en recommandant d'en distribuer jusqu'à 450 g par jour et par animal.

Les protéines animales transformées (PAT) continuent d'être utilisées dans les aliments de tous les animaux en Asie et Océanie, en Amérique du Sud, en Afrique, ainsi que dans les aliments des porcs et des volailles en Amérique du Nord comme dans certains pays d'Europe, hors Union Européenne. Leur intérêt nutritionnel a même suscité un regain de travaux expérimentaux chez le porc et la volaille. Ainsi, au cours des 3 dernières décennies (1972-2003), pas moins de 282 articles ont été recensés après consultation des résumés de "Commonwealth Agricultural Bureaux" dont 166 comportent un résumé détaillé en langue anglaise. La fréquence des publications se montait en moyenne à 2,6 articles par an entre 1972 et 1982, à 4,4 articles par an entre 1982 et 1992 et à 9 par an entre 1992 et 2002, témoignant d'un intérêt croissant pour ces produits dans le monde. On a même dénombré 17 publications au cours de l'année 1998! De plus, si 33 % d'entre elles proviennent d'Amérique du Nord (Etats Unis et Canada), 28 % de l'Europe, on en dénombre 25 % pour l'Australie et la Nouvelle Zélande. La France apporte une très faible contribution avec 4 publications durant les 30 dernières années. A partir des principaux résultats publiés dans les 166 articles de nutrition, nous nous proposons de considérer successivement pour le porc et la volaille :

Copyright Académie d'Agriculture de France. Séance du 3 mars 2004.

1- Origine des coproduits carnés, procédés de traitement, et composition chimique;
2- Source d'acides aminés indispensables (digestibilité iléale);
3- Source d'énergie alimentaire.
4- Source de phosphore alimentaire;

1. Origine des coproduits carnés, procédés de traitement, et composition chimique

Les protéines animales transformées sont très souvent fabriquées avec des mélanges de produits issus d'abattoirs, d'ateliers de découpes, du clos d'équarrissage, de plumaison ou de couvoirs. Dans le document INRA intitulé " L'alimentation des monogastriques", (INRA 1984), on avait convenu de distinguer les caractéristiques nutritionnelles de 11 produits déshydratés dont 6 issus de mélanges de matières premières, ainsi que les farines de coproduits des abattoirs de volailles, de déchets de couvoir, de plumes, de cretons, de sang et d'os.

Pour traiter ces produits, il existe de nombreux procédés de traitement des déchets d'abattoir en vue de leur utilisation en alimentation animale. Ils conduisent fondamentalement à une extraction d'eau et à un dégraissage. Un traitement thermique est appliqué pour la réduction de l'humidité, pour une meilleure efficacité du solvant dans l'extraction des graisses et pour l'élimination de la charge délétère. L'extraction d'une grande partie des graisses peut être effectuée par pression ou par le moyen de solvants. Cette dernière méthode conduit à des farines maigres, alors que la pression ne peut pas extraire la totalité des graisses qui ont formé des liaisons avec les protéines et les minéraux. L'extraction de la gélatine est obtenue seulement à partir des os, en coproduit avec la farine d'os.
Par le passé, et antérieurement à la directive de l'UE du Ier Avril 1997, il existait de nombreuses variantes en matière de température (de 90°C à 140°C) de durée de traitement (20 à 40 min) de pression (atmosphérique ou 3 bars) et de taille de particules. Comme nous le verrons, les traitements à faible température n'avaient pas seulement le but de réduire le coût énergétique, mais aussi de préserver la valeur nutritionnelle des produits carnés. La directive impose dorénavant une température minimale de 133 °C à cœur du produit traité, pendant 20 minutes, sous une pression de 3 bars, avec des produits dont la taille de particules doit être inférieure à 50 mm. Les procédés en continu sous pression atmosphérique sont donc proscrits. La seule variante est donc d'opérer la stérilisation des produits avant ou après l'extraction des graisses.
Ces produits, exception faite des derniers, sont principalement caractérisés par leur richesse en protéines brutes et plus encore en acides aminés indispensables. Leurs teneurs plus ou moins élevées en matières grasses et en cendres peuvent orienter leur utilisation pour certaines espèces animales en fonction de leurs besoins nutritionnels, de leur particularités digestives et métaboliques (Tableau 1).

Copyright Académie d'Agriculture de France. Séance du 3 mars 2004.

Tableau 1. Composition chimique des produits animaux transformés , en % de la matière sèche: étendue selon différents auteurs.

Auteurs (Echantillons)	INRA, 1984 (11)	Février *et al*, 2002 (11)	Johnson et Parsons (1997)	Dolz *et al.*,1992 (20)	Lessire *et al.*, 1983-1985 (10)
P. brutes Lysine A. a soufrés	27-86 (1) 1,4-7,6 0,9-4,1	52-88 (1) 1,7-4,8 1,25-4,8	18-56 1,3-3,0 1,2-2,1	53 - -	51-67 - -
M. grasses	3-12	4-18	-	14,5	2,2-13
Cendres	3-42 (2)	4-35	7-16 V* 15-24 M* 19 D* 24-34 mél*	30	19-41 (2)
Calcium Phosphore	0,4-16,5 0,3-0,6	0,6-11,7 0,3-0,6	- -	9,2 4,3	9,1-9,6 4,6

V*: volailles; M*: mouton; D*: dindon; mél*: mélange
(1) Farines de plumes ou de sang; (2) farines d'os et déchets de couvoir inclus.

Les produits animaux transformés sont aussi très bien pourvues en calcium et phosphore mais aussi en oligo-éléments: magnésium, zinc, fer, sans que l'on ait mis à profit tous leurs avantages. Très schématiquement, les farines d'os renferment beaucoup de minéraux, peu de protéines et d'acides aminés soufrés, contrairement à la farine de plumes; les farines riches en collagène (cretons et tendons) ont une très faible teneur en tryptophane. Les produits issus de couvoirs sont pauvres en protéines, plus riches en lipides et en minéraux que les farines issues de mélanges de produits.

Récemment, on s'est beaucoup intéressé aux farines issues de sous produits de volailles (Février *et al*, 2002; Sell *et al*, (1996); Johnson et Parsons (1997); Bureau *et al.*, (1999); Jauncey, (1998); Waibel *et al*; (1994 et 1998); El Boushy *et al* (1984). Leur teneur en lipides varie avec la technologie d'extraction et elles contiennent moins de minéraux.

Trois références sont disponibles sur la farine de sang (Bureau *et al.*, 1999); Eissler et Firman (1996); INRA 1984). Elles montrent une teneur très élevée en protéines et une quasi absence de lipides et de minéraux. Six références concernent la farine de plumes (Février *et al.*, 2002) Eissler et Firman, (1996); Bureau *et al.*, (1999); El Boushy *et al.*, (1984); Kennedy *et al.*, (1974); INRA (1984). Elle est riche en protéines, pauvre en lipides et minéraux. Enfin, autrefois, on reconnaissait les PAT comme une source de vitamines du groupe B, de vitamine B12 (Animal Protein Factor), de riboflavine, niacine, acide nicotinique et biotine, mais pauvre en thiamine (chauffage) et en pyridoxine (Hegedus *et al*., 1989) ! On ne retient désormais plus ces facteurs en raison de l'effet destructeur du chauffage et de la nécessité de supplémenter systématiquement les rations des animaux à haute performance. Il faut enfin souligner que les PAT sont plus particulièrement appréciées dans les pays tropicaux ou en développement pour leur potentiel de remplacement de la farine de poisson, chère et peu disponible quantitativement pour la fabrication des aliments des volailles et des poissons: cas de l'Inde, du Nigeria, de Cuba (Ibrahim, 1997; Sayed, 1998; Jauncey, 1998; El Deek *et al.*, 1997; Oruseibio, 1995; Sethi et Chawla, 1994; Herrera et Garcia, 1983; Babatunde *et al.*, 1980).

Copyright Académie d'Agriculture de France. Séance du 3 mars 2004.

2- Source d'acides aminés indispensables (digestibilité iléale);

2-1 Approche Zootechnique

Depuis plus d'un siècle, les critères zootechniques ou purement nutritionnels ont permis une première approche pour l'identification du potentiel ou des carences d'ordre nutritionnels des PAT, Depuis seulement deux décennies, les recherches scientifiques basées sur la détermination de la digestibilité dans l'intestin grêle ont permis d'en expliciter les modalités.

Une simple et courte expérience effectuée chez le poulet en mesurant le coefficient d'efficacité protéique permet de hiérarchiser la valeur alimentaire des PAT déshydratés de la façon suivante: 1) déchets de moutons et dindon; 2) déchets d'abattoirs de volailles; 3) viscères de moutons; 4) PAT à 24% de minéraux; 5) PAT issus de mélange à 34 % de minéraux (Johnson et Parsons, 1997). Le même critère permet d'affirmer que la qualité se dégrade significativement lorsque la température de traitement augmente (Skurray et Cumming, 1974).

A partir de supplémentations simples ou multiples en acides aminés de synthèse de rations destinées au porc (Leibholz, 1992; Cromwell *et al*., 1991; Evans et Leibholz, 1979; Leibholz 1979) ou au poulet (Johnson et Parsons, 1997; Herrera et Garcia, 1983; Wang et Parsons, 1998a; Wang et Parsons, 1998abc), on a montré que le remplacement progressif du tourteau de soja dans la ration sur la base des protéines brutes ou des acides aminés totaux fait baisser linéairement les performances (gain de poids, efficacité alimentaire, rétention azotée, performances de carcasses). Cependant, des supplémentations spécifiques en lysine, méthionine et ou tryptophane permettent d'identifier et de quantifier approximativement les acides aminés limitant. On a démontré de la sorte que la cystine et le tryptophane sont limitant chez le poulet, (Wang et Parsons, 1998abc; Wang et al., 1997). Chez le porc, selon les publications ce sont la lysine (Cromwell *et al*, 1991; Leibholz, 1985ab et 1986); le tryptophane (Batterham et Watson, 1985 et Leibholz, 1980), la méthionine (Leibholz, 1985b), le tryptophane et la cystine (Leibholz (1979), le tryptophane la méthionine et la lysine (Leibholz, 1982), le tryptophane et la lysine (Cromwell *et al.*, 1991) qui sont les acides aminés limitant . Leur incidence semble varier avec le taux d'incorporation et surtout avec l'origine des matières premières, en raison de l'extrême variabilité de la composition des produits traités. Ainsi, le tryptophane est le plus limitant dans le cas des PAT d'os et des PAT à base de produits aviaires. Dans la farine de plumes, c'est la lysine qui est la plus limitante.

Pour les volailles, une mention particulière concerne les observations effectuées chez le dindon dont la ration de démarrage nécessite d'incorporer jusqu'à 50 % de tourteau de soja pour couvrir les besoins protéiques (Boling et Firman, 1997). D'une façon générale, les performances zootechniques sont préservées jusqu'à 10 % de taux d'incorporation de farine dans la ration formulée sur la base des protéines brutes et des acides aminés totaux (Sell 1996).

Par ailleurs, un taux d'incorporation de farine de plumes supérieur à 4 % dégrade les performances chez les dindons (Eissler et Firman, 1996). Les PAT fabriqués à partir de sous produits d'abattoirs de volailles s'avèrent être encore la meilleure source azotée (Waibel et *al*., 1994). La faible disponibilité de la lysine (Waibel *et al.*, 1998; Carlson *et al*., 1992) semble alors le facteur limitant primaire identifié, ainsi que l'isoleucine dans le cas de la farine de plumes (Eissler et Firman, 1996) ou dans le cas de la farine de sang.

2.2 Digestibilité iléale des acides aminés et valeur nutritionnelle chez le porc et la volaille.

De nombreuses données ont été récemment publiées concernant la digestibilité des acides aminés mesurée chez le poulet caecectomisé (Tableau 2) ou sur le porc grâce à diverses techniques

Copyright Académie d'Agriculture de France. Séance du 3 mars 2004.

de dérivation et d'échantillonnage des effluents iléaux afin de mesurer la digestibilité iléale, brute, vraie ou standardisée, selon les auteurs.

La présente récapitulation se bornera à comparer la digestibilité iléale des principaux acides aminés indispensables les plus limitant pour le porc et la volaille. Elle ne pourra pas prendre en compte la variabilité des méthodes de préparation souvent absentes des publications. Chez le poulet, le CUD de tous les acides aminés (lysine; thréonine, méthionine et surtout cystine) des PATest très notablement inférieur et surtout beaucoup plus variable que celui observé pour le tourteau de soja (Tableau 2). Le CUD iléal de la lysine et celui de la thréonine sont faibles, même voisins de ceux observés pour la lysine et la thréonine du maïs grain chez le porc (60 % seulement d'après Bellaver *et al.*, 1997 et 1998).

Tableau 2. Digestibilité idéale vraie comparée des acides aminés des produits animaux transformés et des tourteaux de soja et de colza chez les volailles.

Provende	T. de soja	Farines de viande			T. de colza
CUD "iléal", %					
Lysine	91	62-79	82 (68-92)	60	63
Thréonine	89	62-77	-	48	75
Méthionine	91	68-85	87 (68-92)	66	54
Cystine	86	54-63	47 (20-71)	34	43
Auteurs	AFZ-INRA 2002	Green et Kiener, 1989	Wang *et al.*, 1998 abc) et 1997	Pertilla *et al.*, 2002	

Les données comparatives de Pertilla *et al.*, (2002) montrent que chez le poulet, malgré l'absence de constituants fibreux ou pariétaux, le CUD iléal des acides aminés des PAT est faible et comparable à celui observé pour le tourteau de colza. Le déficit le plus apparent concerne les acides aminés soufrés et plus particulièrement la cystine. Enfin, aucune donnée n'est disponible en ce qui concerne le tryptophane en raison sans doute de la difficulté de son dosage chimique.

Tableau 3. Digestibilité iléale vraie comparée des acides aminés des produits animaux transformés et du tourteau de soja chez le porc

Provende	T. soja	Produits animaux transformés				PAT de Volaille	PAT de plumes		
CUD iléal, %									
Lysine	91	71-83	84	65-84	67-78	88	55	74 (2)	63
Thre.	86	62-79	77	67-81	65-76	82	(1)	67	77
Meth.	92	75-85	85	69-85	72-80	85	63	66	69
Cyst.	87	45-64	71	50-59	29-49	62	55	43	70
Trypto	90	78-76	-	-	48-62	74	40	57	70
							44		
Auteurs	AFZ/INRA 2002	Amipig 2000	Donkoh *et al.*, 1994abcd	Green et Kiener 1989	Février *et al.*, 2002				Amipig 2000

(1) Séchées; (2) Hydrolysées

Copyright Académie d'Agriculture de France. Séance du 3 mars 2004.

Chez le porc également, on hésite à proposer une valeur moyenne pour la digestibilité iléale des acides aminés en raison d'une forte variabilité entre produits provenant soit de la matière première, soit du mode de traitement et une estimation toujours sensiblement inférieure en valeur absolue à celle observée pour le tourteau de soja (Tableau 3).

A partir des données précédentes, on observe que la digestibilité de la lysine des PAT peut être inférieure de 7 à 20 points par rapport au tourteau de soja, celle de la cystine jusqu'à 40 points inférieure sans pouvoir affirmer le rôle éminemment délétère du chauffage excessif réglementaire. La digestibilité du tryptophane, acide aminé particulièrement limitant des PAT reconnu depuis des décades est paradoxalement relativement mieux conservée avec une diminution de 15 à 25 points par rapport au soja. A l'issue d'une expérience systématique conduite récemment à l'INRA (Février, 2002), les PAT issus des abattoirs de poulets montre cependant toujours une valeur en acides aminés digestibles iléaux pour le porc bien supérieure aux meilleurs PAT plus riches en minéraux, bien que la digestibilité iléale de la cystine soit encore pénalisée. La farine de plumes, surtout après hydrolyse présente une valeur comparable à celle observée pour les PAT.

Tableau 4. Teneur en acides aminés digestibles des produits animaux transformés comparée au soja chez la volaille, g/ kg de matière sèche.

Provende	T. de soja	Produits animaux transformés		
		Médiocre	Bonne	
Lysine	26,4	20,8	26,4	26,0
Thréonine	16,4	13,0	14,3	15,0
Méthionine	6,0	7,2	6,4	6,6
Cystine	5,9	1,8	4,3	2,4
Tryptophane	-	2,4	2,2	-
Auteurs	AFZ/INRA 2002	Wang et Parsons, (1998abc) et Wang *et al*, (1997)		Pertilla *et al.*, 2002

On peut s'attendre, sur la base des résultats moyens observés pour les volailles et le porc mais surtout pour ce dernier d'abord à une déficience des PAT en lysine par rapport au tourteau de soja, accentuée dans le cas de la farine d'os stérilisée ou de la farine de plumes (Tableaux 4 et 5).

Tableau 5. Teneur moyenne en acides aminés digestibles "iléon" des produits animaux transformés comparée au tourteau de soja chez le porc, g/kg de matière sèche.

Provende	T. de soja	PAT de volailles	PAT F. de plumes	PAT stérilisés	Produits animaux transformés	
					Médiocre	Bonne
Lysine	26,5	25,4	**9,3**	**19,9**	**19,8**	**21,1**
Thréonine	16,3	15,6	24,8	14,7	**12,8**	**12,8**
Methionine	6,1	9,9	3,0	6,3	6,1	5,8
Cystine	6,1	**3,5**	17,0	**4,5**	**3,9**	**3,2**
Tryptoph.	5,6	**2,7**	**2,6**	**1,2**	**2,6**	**2,5**
Auteurs	AFZ/INRA 2002	Février *et al.*, 2002			Amipig, 2003	

Les PAT de volailles sont seulement déficients en cystine et en tryptophane, les PAT de plumes déficients en lysine et en tryptophane sont particulièrement riches en acides aminés soufrés digestibles. En effet, la faible digestibilité de la cystine est compensée par une très haute teneur du produit initial en cet acide aminé.

Sur la base de l'évaluation quantitative de la teneur en acides aminés exprimée en substance digestible iléale standardisée chez le porc, et par rapport au tourteau de soja (Tableau 6):

– les PAT de volaille ont comme facteur limitant le tryptophane;
– les PAT de plumes ont comme facteur limitant la lysine et le tryptophane à condition d'une équivalence cystine / méthionine;
– les PAT de produits mélangés stérilisés ont comme facteur limitant le tryptophane, la lysine, la cystine et à la limite la thréonine, le phénomène s'accentuant dans le cas des produits de basse qualité riches en os.

Les seules mesures du bilan azoté, et également les expériences zootechniques avaient déjà fortement orienté vers ces conclusions sans toutefois apporter de quantification nécessaire pour la formulation des aliments des porcs et des volailles sur la base des acides aminés digestibles au niveau iléal. A partir des observations moins nombreuses effectuées avec le poulet on peut tirer des conclusions similaires à celles énoncées pour le porc : la thréonine et la lysine étant également limitantes. Mais l'absence ou l'imprécision des données sur le tryptophane laissent encore planer une incertitude quantitative quant à l'importance de la déficience due à la fois à une faible teneur initiale associée à une faible digestibilité consécutive aux traitements recommandés.

2-3 Incidence de traitements technologiques sur la valeur nutritionnelle des PAT

Le traitement thermique à 130° C durant 20 minutes à 1 bar de la graine et du tourteau de soja entraîne toujours une amélioration des performances de tous les animaux et des poissons (Jauncey 1998). Au contraire, l'incorporation sans précaution de PAT traités à forte température et à forte pression réduit toujours les performances des animaux. Ainsi, on a observé une réduction de 17 % de la croissance et une augmentation de 9 % de l'indice de consommation chez le porcelet recevant un aliment contenant des PAT lorsque leur température de traitement s'élève de 115 à 150 ° C (Leibholz, 1979).

La digestibilité fécale de l'azote, critère grossier et peu explicatif, a donné une première indication sur l'effet des traitements thermiques. Ainsi, chez le poulet la digestibilité de l'azote d'une farine de viande ordinaire est toujours inférieure (64 à 79 %) à celle observée dans le cas des protéines du tourteau de soja (81 %). Des valeurs similaires sont observées pour les PAT issus de produits d'abattoir de volailles: le CUD de l'azote varie de 60 à 70 % contre 87 % pour le tourteau de soja (Bielorai *et al.*, 1983).

La même remarque est valable dans le cas du porc, surtout chez le jeune porcelet (Leibholz 1985); toutefois, la variabilité du CUD est considérable entre les échantillons (73 à 91 % selon Batterham *et al.*, (1980), sans liaison avec la composition chimique. Enfin, la digestibilité de l'azote est peu dépendante du taux d'incorporation lorsque les PAT fournissent de 5 à 10 points de protéines dans la ration du porc (Partanen, 1993). Cependant, la très faible digestibilité de l'azote des PAT incorporés à fort taux (15%) chez le porc, associée à une forte digestibilité post iléale introduit la nécessité d'exprimer la valeur des PAT en tenant compte comme décrit précédemment, de la digestibilité iléale de ses acides aminés (Taverner et Curic, 1974). Des données complémentaires observées chez le poisson confirment les précédentes observations et démontrent de plus qu'un faible taux de minéraux dans les PAT augmente la digestibilité de l'azote de 83 à 89 %.

Copyright Académie d'Agriculture de France. Séance du 3 mars 2004.

Chez le poulet, la teneur en lysine disponible est réduite de 30 à 37 % , consécutivement au chauffage prolongé jusqu'à 3-5 heures ou lorsque la température atteint 140 °C (Wang et al., 1997; Kondos et al., 1972; Johnson *et al.*, 1998). Cette réduction semble limitée à 10 % environ chez le porc (Février, *et al.*, 2002).Une température élevée appliquée à des PAT riches en minéraux diminue encore plus la digestibilité des acides aminés chez le poulet (Johnson *et al*., 1998), mais cet effet ne semble pas être identique chez le porc (Partanen, 1993 et 1994ab).

L'effet de la température de traitement sur la valeur alimentaire des PAT a été systématiquement étudié sur 5 échantillons de produits issus d'abattoir de porcs. Le passage d'une basse température (110-130°C) à une haute température (140-150°C) dans des conditions industrielles, hélas non précisées, dégrade seulement d'environ 5 % la digestibilité iléale de la lysine et de la thréonine, et conserve l'intégrité de la méthionine. Toutefois, elle dégrade de près de 20 % la digestibilité de la cystine (Tableau 6). De même et peut être un peu paradoxalement, une forte température de traitement réduit de façon substantielle la teneur en énergie métabolisable des PAT mesurée chez le poulet.

Tableau 6. Effet de la température de chauffage des PAT issus de produits d'abattoir de porcs sur leur valeur alimentaire chez le poulet (Wang et Parsons, 1998b).

Traitement (Température)	Basse (110-130°C)	Haute (140-150°C)	Différence, %
Digestibilité vraie, %			
Lysine	87,5	82,9	5,3
Thréonine	81,6	77,1	5,5
Methionine	89,2	88,5	0,8
Cystine	52,3	42,2	19,4
EMAn, Kilocalories /kg	2.977	2.543	15

Energie Métabolisable apparente corrigée pour un bilan azoté nul.

Les effets d'une variation de la pression et bien évidemment les effets conjugués de la température et de la pression, sont encore mal cernés. On sait cependant que la cuisson sous pression diminue la valeur alimentaire des produits riches en os préparés à partir de produits d'abattage des moutons. Lorsqu'ils sont administrés dans la ration du poulet, ils en diminuent les performances de croissance (Skurray, 1974). Une étude plus systématique de l'effet de la pression semble montrer que la dégradation de la valeur alimentaire exprimée par la digestibilité des acides aminés s'accélère lorsqu' on élève la pression de 2 à 4 kg / cm ^{2} (Tableau 7).

Tableau 7. Effets de la pression appliquée lors du traitement de la farine de viande (20 minutes) chez le poulet selon Shirley et Parson, (2000).

Pression psi	-	30	60
Pression kg/ cm ^{2}	-	2.05	4.1
CUD (%)			
Lysine	76	68	41
Cystine	65	50	15

Toutefois, si le traitement de pression est appliqué au produit frais dès le début du traitement, la diminution est observée seulement dans le cas extrême (60 psi ou 4,1 kg/cm ^{2}). Le choix définitif d'une technologie doit aussi être décidé en fonction de la difficulté d'extraction des lipides des produits gras autoclavés. Enfin, dans le cas du sang, le procédé d'atomisation doit être préféré au

Copyright Académie d'Agriculture de France. Séance du 3 mars 2004.

procédé de séchage sur cylindre pour préserver la digestibilité des protéines (CUD de 96 à 99 %) de l'azote de ce produit lors de son utilisation dans les aliments des poissons (Bureau *et al.*, 1999).

Avec Pérez *et al.*, (2002), on peut ainsi résumer les principales propriétés des PAT : une teneur variable en protéines brutes classiquement de 40 à 60 % de la matière sèche, une teneur élevée en certains acides aminés indispensables, mais toutefois une disponibilité insuffisante de ceux-ci, soit 15 % de moins pour la lysine; 20 % de moins d'acides aminés soufrés (la plume excepté) par point de protéine par rapport au soja.

3. Les PAT source d'énergie

La digestibilité de l'énergie des PAT déshydratés **chez le porc** est en général faible (63-77 % selon Batterham, *et al.*, 1980), contre 88 % pour l'énergie brute du tourteau de soja (AFZ-INRA, 2002). La présence de matière grasse qui augmente la teneur en énergie brute est un facteur favorable; à l'inverse, la présence des minéraux constitue un facteur de dilution. La faible digestibilité des lipides riches en acides gras saturés pénalise encore la teneur en énergie digestible des PAT riches en graisses (CUD énergie de 67 % selon INRA, 1984). Il en résulte que la teneur en énergie digestible des PAT est à la fois très variable et en général inférieure à celle du tourteau de soja. Une série d'équations d'estimation de la valeur énergétique (ED) chez le porc a été proposée par Batterham *et al.*, (1980): elle confirme les observations précédentes (Tableau 9).

Tableau 8. Récapitulation des valeurs comparées d'estimation de la teneur en énergie (AMEn et ED) des produits animaux transformés (PAT) respectivement pour les volailles et le porc. Valeurs en Kilocalories/ kg de matière sèche

Provende	Tourteau de soja	PAT	Référence/ Commentaire
Volailles	2.500	2.030-3.240	Lessire 1985; Taux d'inclusion
AMEn (1)	-	1.715-3.360	Lessire 1983; Taux Mat. grasse
	-	2.670-2.910	Dolz 1992; Tx EB; Tx inclusion
	-	2.930-3.950	Verma 1996 Tx Mat . grasse
	2.410	3.200	Verma 2000; (1)
	2.360	-	AFZ- INRA 2002
Porcs	3.500	2.600-4090	INRA 1984
Energie	3.290	-	AFZ-INRA 2002
digestible (ED)	3.610	2.250-3.320	Batterham *et al* (1980)

Energie métabolisable apparente corrigée pour un bilan azoté nul.
(1) Pas d'effet du taux d'inclusion entre 10 et 20 %.

Pour les Volailles, Les résultats expérimentaux disponibles sur la teneur en énergie métabolisable (EMAn) sont plus nombreux que chez le porc dans la littérature scientifique. Ainsi, les données semblent montrer que la teneur en EM des PAT est presque toujours supérieure à celle observée pour le tourteau de soja (Tableau 8). La teneur en EM varie avec le taux de lipides, mais peut aussi varier avec le taux d'inclusion. Toutes les valeurs observées diffèrent notablement des estimations du Nutritional Research Council, fixées à 1960 Kcal EMn /kg, et désormais généralement reconnues comme une sous estimation. Les équations de régression multiples calculées chez les volailles à partir des caractéristiques analytiques des matières premières permettent désormais de calculer avec précision la teneur en EM des divers PAT. Les teneurs en

matière grasse, en minéraux et en matières azotées totales, bien que critères non indépendants sont les principaux facteurs explicatifs de la variation de la densité énergétique des PAT.

Par contre pour le porc on dispose de très peu d'études et une seule publication déjà ancienne permet de prédire seulement le contenu en énergie digestible calculé à partir des caractéristiques analytiques (Tableau 9.).

Tableau 9. Equations de régression multiple pour l'estimation de la valeur énergétique des produits animaux transformés chez le porc et la volaille.

Volailles	- 631 + 36,9 MG + 0,75 EB (Kcal/kg)	Lessire 1985
	- 3639 + 66,98 MG - 49,5 Mx	Lessire 1983
AMEn	- -910 + 44,8 PB + 83,6 MG	Dolz 1992
(Kcal/kg)	- 48 PB + 45,3 MG + 180 ENA -202 CB - 12 Mx	Verma 2000
Porcs	- 3,97 + 0,94 EB (MJ/kg)	INRA, 1984
	- -4,03 + 0,021 PB + 0,048 MG	AFZ-INRA
ED (MJ/ kg)	- -2,97 + 0,77 EB + 0,020MG + 0,080 Ca - 0,159 P	Batterham (1980)

MG; Mx; PB; ENA; CB; Ca; P: matières grasses, minéraux, protéines brutes, extractif non azoté, calcium, phosphore, en grammes par kg de matière sèche

Les produits animaux transformés en farine sèche constituent une part importante de la composition des aliments des carnivores: chiens et chats, malgré l'existence d'un cas d'encéphalopathie féline encore récemment diagnostiquée en Suisse. Leur valeur alimentaire a été mesurée dans une expérimentation comparative entre le coq et le chien porteur d'une fistule duodénale. Les principaux résultats montrent d'une part que la digestibilité iléale des acides aminés est comparable entre les deux espèces et que les données observées sur la volaille peuvent être extrapolées au moins en première approximation pour les animaux de compagnie. Par ailleurs, l'avantage des PAT par rapport au tourteau de soja réside dans la très digestibilité élevée de leur matière sèche par rapport à la digestibilité faible de la matière sèche du tourteau, entraînant une augmentation considérable du volume des excréments rejetés par le chien (Johnson *et al*., 1998).

4. Les PAT source de phosphore.

Quantitativement, les PAT (excepté les produits issus des plumes et de sang) sont toujours une excellente source de calcium; toutefois, il n'existe pas de référence sur sa disponibilité. Par contre, le phosphore absent des farines de sang et de plumes est abondant surtout dans les farines issues de produits osseux riches en minéraux. Chez le poulet, quelque soit le critère zootechnique considéré, la source et la finesse de broyage (Sell, 1996), le phosphore des PAT a une efficacité identique à celle des différents phosphates, en particulier le phosphate monocalcique (Sartorelli *et al*., 2003, Kim *et al*, 1993; Waldroup et Adams, 1994). Le taux de cendres du tibia, critère métabolique chez le poulet est en général augmenté lorsqu' on incorpore des PAT dans la ration (Sell 1996; Waldroup et Adams, 1994). Chez le porc, la digestibilité du phosphore des PAT est supérieure à celle observée avec le tourteau de soja (Partanen *et al.,* 1994a et 1998). Elle est également plus élevée que celle du phosphore contenu dans la farine de poisson d'origine Européenne (Beers *et al.,* 1993) ! On peut donc considérer qu'il y a nécessité de substituer une quantité équivalente de phosphate d'origine minérale à la perte consécutive à l'interdiction de l'incorporation des PAT dans les aliments, soit 110.000 tonnes par an pour l'Union Européenne!

CONCLUSION

Les produits animaux transformés**,** malgré leur handicap évident de variabilité de composition en divers nutriments et malgré les traitements drastiques qu'ils doivent impérativement subir pour garantir leur sécurité hygiénique peuvent continuer d'être considérés comme des aliments protéiques de choix pour les animaux monogastriques. Des données expérimentales récentes et précises permettent de conseiller un emploi judicieux et adapté aux rations des différentes espèces d'animaux de ferme monogastriques chez lesquels les encéphalites spongiformes n'ont pas été détectées. La formulation des rations des porcs et des volailles prenant en compte la teneur en acides aminés indispensables digestibles dans l'iléon permet d'optimiser les performances de ces animaux ainsi que le confirme le récent ouvrage publié conjointement par l'AFZ et l'INRA (2002). Il reste toutefois à réintroduire dans cet ouvrage les données disponibles dans la version en langue anglaise concernant les PAT traitées selon les normes qui devront être appliquées dans les pays où ils seront encore, ou à nouveau autorisés. Leur destruction, outre la perte de protéines, d'énergie et de phosphore et les conséquences écologiques et économiques qui y sont associées nous paraît être une mesure pour le moins extrême dictée par des précautions excessives, plus d'ordre sociétal que scientifique.

Les traitements thermiques malgré leurs exigences, leur coût et leurs effets de diminution de la valeur alimentaire conservent encore aux PAT des propriétés intéressantes pour certains animaux, notamment les monogastriques élevés sur le sol de l'Europe. A tout le moins, dans l'immédiat, la compilation des résultats des 166 articles publiés depuis 30 ans dans la littérature scientifique à caractère nutritionnel nous permet de proposer que l'autorisation d'introduction des farines de viande préparées à base de sous produits d'abattoirs de volailles et de porc soit être rétablie. Quant à l'introduction de toutes les PAT, même préparées conformément à la législation Européenne, dans les aliments du porc et de la volaille, elle semble tout à fait recommandable sur des bases nutritionnelles. Elle doit être raisonnée scientifiquement sur les bases de leur sécurité pour les animaux monogastriques.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

(1) AFZ-INRA. 2002. Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage. In D. Sauvant, J.M. Pérez and G. Tran. INRA ed. Paris 301pp.

(2) Amipig 2000. Ileal standardised digestibility of amino acids in feedstuffs for pigs. AFZ-Ajinomoto-Aventis-INRA-ITCF Co.pub. CD.

(3) Babatunde G.M., Fetuga, B.L., Oyenuga, V.A., 1975. The value of meat and bone meal as the major protein concentrate in the diet of weaners and fattening pigs in the tropics. Proc. Conference Animal Feeds of Tropical and Subtropical origin. Univ. Ibadan, Nigeria 141-146.

(4) Batterham E.S., Lewis C.E., Lowe R.F., McMillan C.J., 1980 — Digestible energy content of meat meals and meat and bone meals for growing pigs. Anim. Prod., 31, 273-277.

(5) Batterham E.S., Watson, C., 1985. Tryptophan content of feeds, limitations in diets and requirement for growing pigs. Anim. Feed Sci. Techn.,13, 171-182.

(6) Beers S., Kemme P.A., Jongbloed A.W., Horsting V. B.J., 1993 — P-digestibility in feed phosphates and products of animal origin : results of several trials. Part 1: Apparent

digestibility of phosphorus in products of animal origin. Rapport - Instituut voor Veevoedingsonderzoek. No. 249, 25 pp.

(7) Bellaver C., Easter R.A., 1998 — Estimates of true ileal digestibilities of corn soyabean meal and alternative feed ingredients for swine. Pesquisa Agropecuaria Brasileira, 33, 737-744.

(8) Bellaver C., Easter R.A., Parsons C.M., Guidoni A.L., 1997 — Prediction equations for protein and amino acid digestibility in meat and bone meals. In Laplace J. P., Fevrier C., Barbeau A. Digestive physiology in pigs. Proceedings of the 7th International Symposium Saint Malo France 26-28 May 1997, 426-429.

(9) Bielorai R., Iosif B., Harduf Z., 1983 — The nutritive value of poultry by-product meal for chicks. Nutrition Reports International, 27, 891-898.

(10) Boling S.D., Firman J.D., 1997 — Rendered by-products as soybean meal replacement in turkey rations. Journal of Applied Poultry Research, 6, 210-215

(11) Bureau D.P., Harris A.M., Cho C.Y., 1999 — Apparent digestibility of rendered animal protein ingredients for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture, 180, 345-358.

(12) Carlson C.W., Waibel P.E., Liu J.K., Brannon J.A., Noll S.L., 1992 — Performance of male turkeys fed canola, meat poultry by-product and feather meals replacing a live quantity of bioavailable protein from soybean meal. 53rd Minnesota Nutrition Conference Bloomington Minnesota USA 22-23 September 1992., 293-302. CT 53rd Minnesota Nutrition Conference Bloomington Minnesota USA 22-23 September 1992.

(13) Cromwell G.L., Stahly T.S., Monegue H.J., 1991 — Amino acid supplementation of meat meal in lysine-fortified corn-based diets for growing-finishing pigs. J. Anim. Sci., 69, 4898-4906.

(14) Dolz S., Blas, de C., 1992. Metabolizable energy of meat and bone meal from Spanish rendering plants as influenced by level of substitution and method of determination. Poultry Science,71, 316-322.

(15) Donkoh A., Moughan P.J., 1999 — Endogenous ileal nitrogen and amino acid flows in the growing pig receiving a protein-free diet and diets containing enzymically hydrolysed casein or graded levels of meat and bone meal. Anim. Sci., 68, 511-518.

(16) Donkoh A., Moughan P.J., Smith W.C., 1994a — Comparison of the slaughter method and simple T-piece cannulation of the terminal ileum for determining ileal amino acid digestibility in meat and bone meal for the growing pig. Anim. Feed Sci. Technol., 49, 43-56.

(17) Donkoh A., Moughan P.J., Smith W.C., 1994b — The laboratory rat as a model animal for determining ileal amino acid digestibility in meat and bone meal for the growing pig. Anim. Feed Sci. Technol., 49, 57-71.

(18) Donkoh A., Moughan P.J., Smith W.C., 1994 — True ileal digestibility of amino acids in meat and bone meal for the growing pig - application of a routine rat digestibility assay. Anim. Feed Sci. Technol., 49, 73-86.

(19) Eissler C.R., Firman J.D., 1996 — Effects of feather meal on the performance of turkeys. Journal of Applied Poultry Research, 5, 246-253.

(20) El Boushy A.R., Roodbeen A.E., 1984. Amino acid availability in dry poultry waste (DPW) in comparison with relevant feedstuffs. Poultry Science, 63, 583-585.

(21) El-Deek, A.A., Barakat, M.O., Attia, Y.A., El Sebeay, A.S., 1997--. Effect of feeding muscovy ducklings different protein sources: performance, omega-3 fatty acid contents, and acceptability of their tissues. J. AO Chemists' Soc., 74, 999-1009.

(22) Evans D.F., Leibholz J., 1979 — Meat meal in the diet of the early-weaned pig. 1. A comparison of meat meal and soya bean meal. Anim. Feed Sci. Technol., 4, 33-42.

(23) Fevrier C., Jaguelin-Peyraud Y., Lebreton Y., 2001 — Effects of material and technological treatment on ileal protein digestibility of animal meals. in Fevrier C., Aumaitre A., Habe F., Vares T., Zjalic M., Workshop on protein feed for animal production in Central and Eastern Europe, Rennes France 30 June - 1 July 2000,139-148, EAAP ed, Rome.

(24) Green S., Kiener, T., 1989. Digestibilities of nitrogen and amino acids in soya-bean, sunflower, meat and rapeseed meals measured with pigs and poultry. Anim. Prod., 48,157-179.
(25) Hegedus M., Bokori, J., Tolgyesi, G., Andrasofky, E., 1989.Chemical composition and vitamin B content of abattoir by-product meal. Act. Vet. Hung., 37, 17-25.
(26) Herrera J.A., Garcia A., 1983 — Substitution levels of soybean meal by meat meal (A) in diets for broilers fed 20% torula yeast. Cuban J. Agric. Sci., 17, 299-306.
(27) Ibrahim K.A., 1997. Effect of feeding some local animal protein sources on the performance of RIR and silver Montazah. Egyp. Poult. Sci. J. , 17, 127-152.
(28) INRA, 1984. L'alimentation des animaux monogastriques: porc, lapin, volailles. INRA ed. Paris 282pp.
(29) Jauncey K., 1998. Utilisation of enriched soybean flour by *Garia gariepinus*. J. Acquaculture in the Tropics. 13, 1-10.
(30) Johnson M.L., Parsons C.M., 1997 — Effects of raw material source ash content and assay length on protein efficiency ratio and net protein ratio values for animal protein meals. Poultry Sci., 76, 1722-1727.
(31) Johnson M.L., Parsons C.M., Fahey G.C., Merchen N.R., Aldrich C.G.,1998 — Effects of species raw material source ash content and processing temperature on amino acid digestibility of animal by-product meals by cecectomized roosters and ileally cannulated dogs. J. Anim. Sci., 76, 1112-1122.
(32) Kennedy J.J., Aherne, F.X., Kelleher, D.L., Caffrey, P.J., 1974. An evaluation of the nutritive value of meat-and-bone meal. 1. Effects of level of meat-and-bone meal and collagen on pig and rat performance. Irish J. Agri. Res., 13, 1-10.
(33) Kim I.H,Shon J.C, Kim C.S., Hancock J.D., 1993 — Use of meat and bone meal and fish meal as substitutes for soybean meal and tricalcium phosphate in diets for broiler chicks. Korean J. Anim. Sci., 35, 421-426.
(34) Kondos A.C., McClymont, G.L., 1972. Nutritional evaluation of meat meals for poultry. 7. Effects of processing temperature on total and biologically available amino acids. Aust. J. Agri. Res., 23, 913-922.
(35) Leibholz J., 1979 — Meat meal in the diet of the early-weaned pig. 3. Meat meal quality and the processing of meat meals. Anim. Feed Sci. Technol., 4, 53-61.
(36) Leibholz J., 1980 — Tryptophane as a limiting factor for the growth of pigs fed meat meal and wheat diets. Proceedings of the Australian Society of Animal Production, 13, 507.
(37) Leibholz J., 1982 — Meat meal in the diet of the early-weaned pig. 4. The supplementation of diets with tryptophane lysine and methionine. Anim. Feed Sci. Technol., 7, 27-34.
(38) Leibholz J., 1985a — An evaluation of total and digestible lysine as a predictor of lysine availability in protein concentrates for young pigs. Brit. J. Nutr., 53, 615-624.
(39) Leibholz J., 1986 — The utilization of lysine by young pigs from nine protein concentrates compared with free lysine in young pigs fed *ad lib*. Brit. J. Nutr., 55, 179-186.
(40) Leibholz J., 1992 — The availability of lysine in diets for pigs: comparative methodology. Brit. J. Nutr., 67, 401-410.
(41) Leibholz J., Kirby A.C., 1985b — The utilization by pigs of methionine from five protein concentrates compared with synthetic methionine. Brit. J. Nutr., 53, 391-397.
(42) Lessire M., Leclercq B., 1983 — Metabolizable energy content of meat meal for chicken. Archiv fur Geflugelkunde, 47, 1-3.
(43) Lessire M., Leclercq B., Conan L., Hallouis J.M., 1985 — A methodological study of the relationship between the metabolizable energy values of two meat meals and their level of inclusion in the diet. Poultry Sci., 64, 1721-1728.
(44) Oruseibio S.M., 1995. Comparison of straight protein diets with mixed protein diets on egg production. Discovery and Innovation, 7, 151-162.

(45) Partanen K., 1993 — In Verstegen M. W. A., Hartog L. A. den, Kempen G. J. M. van, Metz J. H. M. Meat and bone meal as a protein and mineral source for growing pigs. Nitrogen flow in pig production and environmental consequences: Proceedings of the First International Symposium Wageningen (Doorwerth) The Netherlands 8-11 June 1993., 129-134.
(46) Partanen K., 1994a — The effect of ash content on the nutritive value of meat and bone meal for growing pigs. Acta Agriculturae Scandinavica. Section A Anim. Sci., 44, 152-159.
(47) Partanen K., Nasi M., 1994b — Nutritive value of meat and bone meal for growing pigs. Agricultural Science in Finland, 3, 449-455.
(48) Partanen K., Siljander-Rasi H., Alaviuhkola T., Gilse van der Pals N.,1998 — Utilisation of reactive lysine from meat and bone meals of different ash content by growing-finishing pigs. Agricultural and Food Science in Finland, 7, 1-11.
(49) Pérez J.M., Bories G., Aumaitre A., Barrier-Guillot B., Delaveau A., Gueguen L., Larbier M. Sauvant D. , 2002. Conséquences en élevage et pour le consommateur du remplacement des farines et des graisses animales. INRA Productions Animales, 15, 87-96.
(50) Pertilla S., Valaja J., Partanen K., Jalava T., Venalainen E., 2002 — Apparent ileal digestibility of amino acids in protein feedstuffs and diet formulation based on total vs digestible lysine for poultry. Anim Feed Sci. Technol., 98, 203-218.
(51) Rodehutscord M., Abel H. J., Friedt W., Wenk C., Flachowsky G., Ahlgrimm H. J., Johnke B., Kehl R., Breves G., 2002 — Consequences of the ban of by-products from terrestrial animals in livestock feeding in Germany and the European Union : alternatives nutrient and energy cycles plant production and economic aspects. Archives of Anim. Nutri., 56, 67-91.
(52) Sartorelli S.A.,Bertechini A.G., Fassani E.J., Kato R.K., Fialho E.T., 2003 — Nutritional and microbiological evaluation of meat and bone meal produced in the State of Minas Gerais. Revista Brasileira de Ciencia Avicola, 5, 51-60.
(53) Sayed A.N. 1998. Feed intake and digestibility of nutrients in rations with several feed combinations, by tilapia fish (*O. niloticus*). Assiut Vet. Med. J., 39, 242-257.
(54) Sell J.L., 1996 — Influence of dietary concentration and source of meat and bone meal on performance of turkeys. Poultry Sci., 75, 1076-1079.
(55) Sell J.L., Jeffrey M.J., 1996 — Availability for poults of phosphorus from meat and bone meals of different particle sizes. Poultry Sci., 75, 232-239.
(56) Sethi A.P.S., Chawla, J.S., 1994. Evaluation of meat meal and pro-o-liv as source of animal protein for layers. Ind. J. Poultry Sci., 29, 232-234.
(57) Shirley R.B., Parsons C.M., 2000 — Effect of pressure processing on amino acid digestibility of meat and bone meal for poultry. Poultry Sci. 79, 1775-1781.
(58) Skurray G.R., 1974 — The nutritional evaluation of meat meals for poultry. World's Poultry Sci. J., 30, 129-136.
(59) Skurray G.R., Cumming R.B., 1974 — Physical and chemical changes during batch dry rendering of meat meals. J. Sci. Food Agric., 25, 521-527.
(60) Taverner M.R., Curic D.M., 1974 — A comparison of rapeseed meal and meat meal in rations for gilts and sows. Proceedings of the Australian Society for Animal Production, 10, 375-378.
(61) Verma, S.V.S., Bhanja, S.K., 1996. Metabolizable energy of fish and meat meal for poultry. Inter. J. Anim. Sci., 11, 305-308.
(62) Verma, P., Kumar, A., 2000. A study on the metabolizable energy content of soybean meal and meat meal through bioassay and prediction equation. Indian J. Poultry Sci., 35, 167-170.
(63) Waibel P.E., Carlson C.W., Brannon J.A., Noll S.L., 1994 — Available amino acids in feed formulation of turkeys. Proceedings 9th European poultry conference Glasgow UK 7-12 August 1994: Volume 2.,352-355.
(64) Waibel P.E., Carlson C.W., Brannon J.A., Noll S.L., 1998 — Use of alternative protein sources on a true available amino acid bas (for growing turkeys. J. Applied Poultry Res., 7, 1-18.

(65) Waldroup P.W., Adams M.H., 1994 — Evaluation of the phosphorus provided by animal proteins in the diet of broiler chickens. J. Applied Poultry Res., 3, 209-218.
(66) Wang X., Parsons C.M., 1998a — Bioavailability of the digestible lysine and total sulfur amino acids in meat and bone meals varying in protein quality. Poultry Sci., 77, 1003-1009.
(67) Wang X., Parsons C.M., 1998b — Effect of raw material source processing systems and processing temperatures on amino acid digestibility of meat and bone meals. Poultry Sci., 77, 834-841.
(68) Wang X., Parsons C.M.,1998c — Dietary formulation with meat and bone meal on a total versus a digestible or bioavailable amino acid basis. Poultry Sci., 77,1010-1015.
(69) Wang XinCheng, Castanon F., Parsons C. M., 1997 — Order of amino acid limitation in meat and bone meal. Poultry Sci., 76, 54-58.

Copyright Académie d'Agriculture de France. Séance du 3 mars 2004.