

*PROTEIN SOURCES IN ANIMAL FEED*  
**LES SOURCES DE PROTÉINES DANS L'ALIMENTATION DU BÉTAIL**

## Des sources de protéines locales pour l'alimentation des volailles : quelles voies de progrès ?

Isabelle Bouvarel<sup>1,\*</sup>, Michel Lessire<sup>2</sup>, Agnès Narcy<sup>2</sup>, Elisabeth Duval<sup>2</sup>, Sandrine Grasteau<sup>2</sup>, Alain Quinsac<sup>3</sup>, Corinne Peyronnet<sup>4</sup>, Gilles Tran<sup>5</sup> et Valérie Heuze<sup>5</sup>

<sup>1</sup> ITAVI, Centre INRA de Tours, 37380 Nouzilly, France

<sup>2</sup> Unité de recherches Avicoles, Centre INRA de Tours, 37380 Nouzilly, France

<sup>3</sup> CETIOM, rue Monge, Parc Industriel, 33600 Pessac, France

<sup>4</sup> ONIDOL, 11 rue de Monceau, CS 60003, 75378 Paris Cedex 08, France

<sup>5</sup> AFZ, 16, rue Claude Bernard, 75231 Paris Cedex 05, France

Reçu le 30 janvier 2014 – Accepté le 17 mars 2014

**Résumé** – L'aviculture européenne est dépendante d'approvisionnements en soja essentiellement en provenance du Brésil. Cette matière première riche en protéines est intéressante d'un point de vue nutritionnel pour l'alimentation des volailles mais pose des problèmes importants notamment en termes de prix et de conséquences environnementales. Les matières premières riches en protéines produites en France (oléo-protéagineux et coproduits de l'amidonnerie et de la distillerie) ne remplacent qu'en partie le soja importé du fait d'équilibres nutritionnels moins propices. Les protéagineux sont de plus très peu disponibles sur le marché. L'aviculture européenne, et plus largement l'élevage et l'agriculture, sont ainsi face à des enjeux importants d'ordre économique, social et environnemental. Les contraintes et leviers relatifs à la formulation d'aliments destinés aux volailles sont analysés et différentes voies de progrès sont envisagées à plus ou moins long terme : développer l'alimentation de précision afin d'améliorer l'ajustement des apports aux besoins des animaux en fonction des objectifs fixés, disposer de matières premières adaptées (process, mis en œuvre de filières adaptées, nouvelles matières premières et additifs, sélection variétale) mais aussi d'animaux adaptables. Une plus grande coordination entre acteurs, amont et aval, apparaît indispensable pour relever ces défis.

**Mots clés** : Protéines / soja / alimentation / aviculture / local

**Abstract** – **Local sources of protein for poultry feed: which improvement paths?** The European poultry sector is dependent on soybean supplies, mainly from Brazil. This protein-rich raw material is indeed interesting from a nutritional point of view for poultry feed with consequences in terms of price and environmental issues. Protein-rich raw materials produced in France and Europe removes in part imported soybean due to less favorable nutritional balance. Leguminous seeds are also produced in small quantities. European poultry farming are facing major economic, social and environmental issues. Constraints and boosts relating to the poultry feed formulation are analyzed. Different ways of improvement are considered at middle and long-term: precision feeding, adapted raw materials (process, implemented appropriate production chain, new raw materials and additives, varietal selection) and finally adaptable animals. Greater coordination between actors is indispensable to meet these challenges.

**Keywords**: Protein / soybean / feed / poultry / local

### 1 Introduction

L'aviculture est un débouché important des filières de grandes cultures en Europe et apporte un complément de revenu à de nombreuses exploitations de polyculture élevage, garantissant ainsi leur pérennité. Elle est pourtant dépendante d'approvisionnements en soja essentiellement en provenance

du Brésil. En France, plus d'un quart de la ration des volailles est constitué en moyenne de soja. Cette matière première riche en protéines est en effet intéressante d'un point de vue nutritionnel mais pose différents problèmes cruciaux aujourd'hui : volatilité des prix avec une forte compétition de la ressource au niveau mondial et notamment avec la Chine, conséquences environnementales liées au transport et à la déforestation dans plusieurs zones de production, et culture

\* Correspondance : [bouvarel.itavi@tours.inra.fr](mailto:bouvarel.itavi@tours.inra.fr)

principalement d'OGM rejetés par les citoyens. L'aviculture européenne, et plus largement l'élevage et l'agriculture, sont ainsi face à différents enjeux d'ordre économique (amélioration de la compétitivité, moindre dépendance), social (création d'emplois, meilleure réponse aux attentes des citoyens) et environnemental (limitation des impacts environnementaux, plus grande biodiversité). Pourquoi les matières premières riches en protéines (MPRP) locales comme les oléo-protéagineux et différents coproduits de la distillerie et de l'amidonnerie ont-ils une faible place dans les aliments destinés aux volailles aujourd'hui ? Cet article se propose d'analyser les conditions d'utilisation des MPRP locales et les voies d'amélioration possibles, dans une perspective de développement durable de ces productions.

## 2 La formulation des aliments pour les volailles : situation, contraintes et leviers

Les aliments destinés aux volailles sont estimés être composés en moyenne de 34 % de blé, 27 % de maïs, 27 % de tourteau de soja et 12 % d'autres matières premières telles que huile (3 %), tourteau de colza (0.2 %), tourteau de tournesol (0.3 %) ou drêches (0.9 %) (Cereopa, 2012). En 2013, 15 % du maïs, 8 % du blé et 2 % du colza produits en France sont utilisés pour l'alimentation des volailles (Arvalis, 2013 ; France AgriMer, 2013). La production nationale de céréales est donc apte à fournir l'industrie de fabrication des aliments pour animaux. En revanche, l'apport protéique se fait majoritairement par le tourteau de soja importé, essentiellement d'Amérique du Sud : 40 à 50 % des matières premières riches en protéines sont importées dont 3 millions de tonnes/an de tourteau de soja, avec une volatilité des prix importante ces dernières années, liée à une demande mondiale en augmentation, et une forte proportion (trois quarts) issue de graines OGM (Henrion *et al.*, 2012).

Le formulateur d'aliment doit composer avec les contraintes nutritionnelles des matières premières disponibles dans l'usine et compenser les déficits en énergie, protéines, acides aminés... des unes par d'autres matières premières plus concentrées et cela, sans pénaliser le coût de l'aliment. L'équilibre protéique de l'aliment coûte cher et est l'un des principaux déterminants du résultat technique. Une formule alimentaire mal ajustée peut annuler la marge bénéficiaire de la production de poulets. Il est ainsi nécessaire d'optimiser les teneurs de l'aliment en chacun des acides aminés essentiels (méthionine, lysine, thréonine, tryptophane...), c'est-à-dire ceux que le métabolisme n'est pas (ou mal) capable de synthétiser, et aussi globalement, des acides aminés non essentiels (Quentin *et al.*, 2004). Des rapports adéquats entre acides aminés doivent être appliqués afin d'assurer un apport suffisant de chacun d'entre eux, pour atteindre les objectifs qui sont fixés : paramètres zootechniques, efficacité alimentaire, qualité de la viande... La formulation doit ainsi reposer sur des matrices adaptées en termes de valeurs nutritionnelles des matières premières et de définition des besoins des animaux.

Longtemps la formulation des aliments destinés aux volailles a été basée sur des besoins exprimés en protéines et

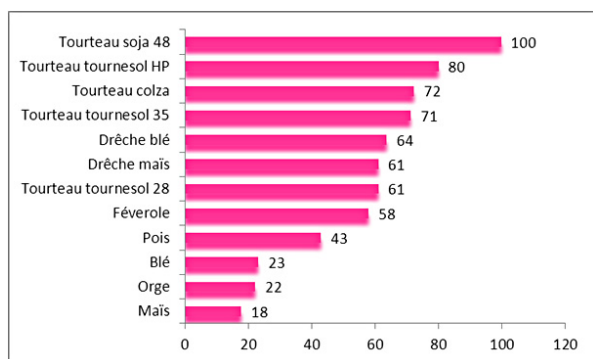
acides aminés totaux, il en était de même des caractéristiques des matières premières. À l'heure actuelle, les teneurs en éléments digestibles sont majoritairement utilisées par les formulateurs. On peut cependant s'interroger sur le niveau de connaissance réel des besoins dans la mesure où ceux-ci varient en fonction du stade physiologique de l'oiseau, du critère de production (gain de poids, indice, composition corporelle) à optimiser. Il en est de même des méthodes de détermination des digestibilités qui sont variables, avec des méthodologies mises en place sur coq avec ou sans caeca, sur poulet, et des modes d'expression également variables : digestibilité apparente ou réelle. Des développements récents, basés sur l'utilisation de la spectrométrie proche infra rouge, offrent des perspectives intéressantes pour la mesure de la digestibilité des aliments, en termes de souplesse d'utilisation, de rapidité et de coût (Coulbaly *et al.*, 2013).

La mise à disposition d'acides aminés industriels a largement contribué à l'équilibre des rations, en s'approchant de l'apport idéal et en réduisant l'apport en azote. À l'heure actuelle, cinq acides aminés sont disponibles : méthionine, lysine, tryptophane, thréonine et valine, avec des volumes de production qui peuvent largement dépasser le million de tonnes (Mt) au niveau mondial. L'apport en enzymes exogènes est plus récent. Xylanases,  $\beta$ -glucanases, phytases sont utilisées de façon systématique depuis une dizaine d'années et permettent d'améliorer la digestibilité des rations, limitant ainsi les apports et les rejets. L'apparition des protéases est plus récente et leur efficacité semble variable (Dokovic *et al.*, 2013).

Une meilleure adéquation des apports aux besoins en fonction des objectifs fixés, l'utilisation des acides aminés industriels et des enzymes ont permis de diminuer notablement les rejets en azote et en phosphore dans l'environnement. Des approches globales, avec l'utilisation des analyses de cycle de vie, sont développées afin d'acquiescer des références concernant les impacts environnementaux des matières premières et de l'élevage, avec des méthodologies partagées et communes au niveau français (AgriBalyse, 2013). L'impact potentiel sur le changement climatique et l'acidification des protéagineux et du tourteau de tournesol sont plus faibles que celui des céréales et du tourteau de soja brésilien (AgriBalyse, 2013 ; Nguyen *et al.*, 2012). Les matières premières françaises sont par ailleurs bien positionnées quant à l'impact potentiel sur l'eutrophisation, l'utilisation d'énergie et l'écotoxicité comparées au tourteau de soja brésilien (Nguyen *et al.*, 2012 ; AgriBalyse, 2013). Des études sont en cours afin de compléter les informations sur les matières premières, et d'identifier des itinéraires culturels et des pratiques de formulation limitant les impacts sur l'environnement (CAS DAR-ADEME ECOALIM, 2013–15). Ceci est d'autant plus important que, pour les produits avicoles, la production des matières premières représente globalement plus de deux tiers des impacts environnementaux.

## 3 Pourquoi une faible utilisation des MPRP locales ?

La faible utilisation des MPRP locales s'explique d'une part par une forte concurrence du soja liée à un profil nutritionnel particulièrement bien adapté aux volailles (teneur élevée en



**Fig. 1.** Apports protéiques de différentes matières premières relatifs à ceux du tourteau de soja (d'après Sauveur *et al.*, 2002).

protéines, en lysine, tryptophane. . .) (Fig. 1). Les volailles sont de plus, sélectionnées avec des aliments à base de maïs et de soja, représentatifs de ce qui est consommé au niveau mondial. Ceci ne facilite pas une valorisation optimale des matières premières métropolitaines, plus riches en fibres (Grasteau *et al.*, 2013).

La faible utilisation des MPRP locales s'explique d'autre part par une production nationale de soja très faible (104 327 t) (FAOSTAT, 2013), dont seulement la moitié est à destination de l'alimentation animale. Le développement de la culture de soja en France avec la mise en place de démarches concrètes pourrait être un tremplin si une demande forte de l'aval vers l'amont arrivait à émerger (Labalette *et al.*, 2010). Certaines unités de trituration de petite capacité ont d'ailleurs été créées récemment dans des contextes favorables de forte valorisation des produits animaux (Bio). L'association « Soja Danube » est en faveur d'une stratégie européenne globale d'approvisionnement en protéines dans le bassin du Danube. Elle compte plusieurs pays adhérents dont la Bosnie-Herzégovine, la Croatie, la Hongrie, la Serbie, la Suisse. . . Son objectif est de produire 5 millions de tonnes de soja à l'horizon 2018, ainsi que de créer des usines de transformation des graines.

### 3.1 Les oléagineux : colza et tournesol

Les tourteaux d'oléagineux locaux (colza, tournesol) présentent des équilibres nutritionnels moins propices que le tourteau de soja : taux protéique plus bas et profil en acides aminés plus ou moins équilibré, valeur énergétique plus faible et pour le colza uniquement, présence éventuelle de facteurs antinutritionnels.

Le tourteau de colza est une source de protéines intéressante en raison de sa disponibilité importante en France (3 millions de tonnes produits par an) et de l'équilibre de ses acides aminés. La teneur en protéines est cependant trop faible et les fractions pariétales trop importantes (cellulose brute : 12 %, lignine : 10 %) pour qu'il soit utilisé intensivement en alimentation des volailles. Il en est de même pour le tournesol, qui présente une teneur en protéines trop faible. Le décorticage permet de pallier cet inconvénient. En effet, les coques de tournesol représentent environ 25 % de la masse des graines et renferment l'essentiel des composés pariétaux (90 % de la cellulose brute), seulement 2 à 3 % de l'huile et environ 10 %

des protéines contenue dans la graine (Peyronnet *et al.*, 2012). Actuellement, un taux de décorticage de 50 % est appliqué dans un procédé industriel français, permettant la production de tourteaux à 36 % de protéines compétitifs vis-à-vis des tourteaux d'importation (Mer Noire). Ce tourteau de tournesol décorticé à environ 50 % et de type 36 trouve sa place en alimentation des volailles à raison de 5 à 10 % dans les formules avec un prix d'intérêt égal à environ 70 % de celui du tourteau de soja. Un décorticage plus poussé permettrait d'atteindre des taux d'incorporation encore supérieurs.

### 3.2 Les protéagineux

Les protéagineux (pois, féverole et lupin) présentent, outre leur faible disponibilité sur le marché national, une teneur en protéines plutôt moyenne (20 à 34 % selon les espèces). La concentration en méthionine et plus globalement en acides aminés soufrés est très faible, surtout pour le lupin, eu égard à sa richesse en protéines, malgré une teneur en lysine abondante. La concentration en méthionine est à peine supérieure à celle observée dans le blé, qui renferme pourtant deux fois moins de protéines. Il en est de même des teneurs en tryptophane, relativement limitées. La concentration énergétique (mesurée par sa teneur en énergie métabolisable) des trois protéagineux est moyenne et inférieure aux concentrations énergétiques d'un aliment destiné aux volailles, malgré leur teneur en amidon. Le lupin, dépourvu d'amidon, mais contenant environ 8 % d'huile, est plus proche du tourteau de soja que d'une céréale en termes de concentration énergétique et protéique. Les protéagineux présentent ainsi des valeurs nutritionnelles intermédiaires entre celles d'une céréale et du tourteau de soja. Dans ces conditions, leurs niveaux d'incorporation dans les aliments sont potentiellement d'autant plus élevés que les besoins des animaux en protéines et acides aminés sont faibles. Il est plus facile par exemple d'incorporer des protéagineux dans des aliments destinés au poulet sous Label Rouge, moins exigeant en protéines que le dindonneau en démarrage.

### 3.3 Les coproduits de la distillerie et de l'amidonnerie

Les coproduits comme les glutens de maïs et de blé issus de la séparation des fractions protéiques du blé et du maïs lors de la production d'amidon, sont des produits à haute teneur en protéines, pratiquement aussi digestibles que celles du soja, mais avec un profil d'acides aminés déséquilibré. Les drêches de blé et de maïs, issues de procédés de production d'éthanol très différents d'une usine à l'autre, présentent une variabilité de composition et de valeur alimentaire importante. Les travaux de Cozannet *et al.* (2010) montrent une grande hétérogénéité des compositions et des valeurs de digestibilité des drêches de blé chez les volailles, en grande partie due aux procédés de production d'éthanol et de séchage, ce que révèle la couleur du produit : les drêches claires ont une digestibilité forte, tandis que les drêches foncées ont une digestibilité faible. Une bonne caractérisation des drêches est un enjeu majeur pour leur utilisation dans l'alimentation des volailles.

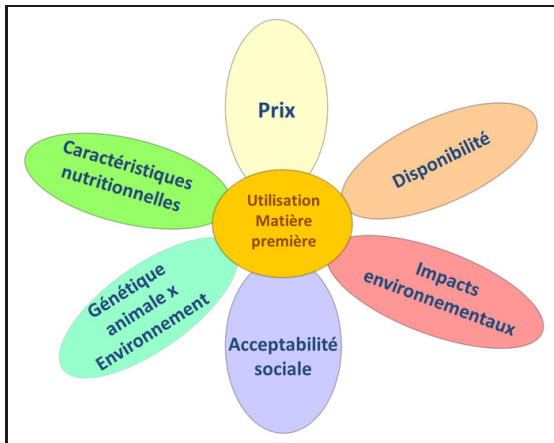


Fig. 2. Facteurs conditionnant l'utilisation d'une matière première.

## 4 Quelles voies d'amélioration ?

Compte-tenu des avantages du tourteau de soja importé, différentes voies doivent être étudiées pour permettre d'augmenter la production et l'utilisation des MPRP locales : amélioration de process, production de nouvelles matières premières, mise en place de filières adaptées et à plus long terme, améliorations génétiques tant végétales qu'animales. Différents facteurs économiques mais aussi d'ordre environnemental et social doivent être pris en compte (Fig. 2).

### 4.1 Des améliorations de process pour les oléagineux

Avec un décortiquage plus poussé, un tourteau à très haute teneur en protéines (> 40 %) serait envisageable pour une substitution au soja, totale ou en grande partie, dans l'alimentation des volailles. Un taux de décortiquage supérieur à 50 % entraînerait, s'il était appliqué avant l'extraction avec le procédé classique, des pertes de protéines et d'huile dans les fines et une gestion difficile du surplus de coques produites qui sont actuellement valorisées par combustion dans l'usine (Peyronnet *et al.*, 2012). La séparation de fractions de farines déshuilées plus ou moins riches en protéines par un autre procédé simple et peu coûteux, le blutage, est envisageable pour obtenir à court terme des tourteaux à très haute teneur en protéines. Il a été pratiqué sur du tourteau de tournesol et a permis de préparer un tourteau contenant 38 % de protéines (Gill, 2002). Ce procédé a aussi été testé sur du tourteau de colza pour préparer avec succès des concentrés (McCurdy et March, 1992).

Par ailleurs, le dépelliculage de la graine de colza a été envisagé depuis de nombreuses années pour obtenir des tourteaux plus concentrés en protéines et énergie (Lessire et Baudet, 1986) et dont la digestibilité est améliorée.

La féverole est également un bon candidat au décortiquage, ce dernier permettant une concentration des protéines associée à une réduction des teneurs en parois mais également des tanins contenus dans les coques. Des traitements complémentaires tels que l'extrusion sont envisageables pour améliorer la digestibilité (Kaysi et Melcion, 1992).

### 4.2 La mise en place de filières végétales adaptées : soja et blé

Concernant le tourteau de soja métropolitain, le faible volume de graines disponible pour une valorisation en alimentation animale n'est pas suffisant pour permettre la viabilité d'une unité de trituration classique mettant en œuvre une extraction par solvant. Les modes de transformation sont donc en général l'extrusion ou le toastage, techniques qui désactivent les facteurs antitrypsiques (FAT) mais ne séparent pas l'huile (environ 18 %), ce qui a l'inconvénient de mal valoriser celle-ci et de réduire le taux maximal d'incorporation du soja (Labalette *et al.*, 2010). Des procédés de déshuilage applicables à des unités de capacité réduite ont été étudiés avec succès (extrusion-pression, cuisson-pression) pour la production de tourteaux gras (6 % MG, 44 % de protéines) pour l'élevage avicole mais ils ne sont appliqués actuellement que pour des filières à forte valeur ajoutée (Bio) en raison des surcoûts liés à la taille des installations et à l'approvisionnement en graines métropolitaines (Quinsac *et al.*, 2005, 2012). Dans le contexte de la production des protéagineux en France qui ne va pas manquer d'évoluer prochainement, il est important d'identifier rapidement les facteurs favorables à la mise en place d'une filière de production de tourteau de soja pour l'alimentation de volailles. Des procédés simplifiés (presse-extrudeuse) ainsi que des variétés à faible teneur en FAT pourraient aussi être testés en association ou non pour proposer des solutions adaptées à de petits bassins de production.

Par ailleurs, la contribution des céréales à l'apport en protéines dans l'aliment des volailles, qui est d'environ 30 %, n'est pas à négliger. L'augmentation de la teneur en protéines du blé d'un point permet tout de même un gain de protéines de 0,5 point dans l'aliment. La production de blé à haute teneur en protéines et la mise en place de circuits spécifiques permettant de les isoler pourraient contribuer notablement à l'épargne de soja.

### 4.3 La production de nouvelles matières premières ?

L'utilisation de larves d'insectes, bien que théoriquement intéressante n'est encore qu'expérimentale en Europe (Feedipedia, 2013). Les températures optimales requises pour la production de farine de vers de mouches domestiques par exemple sont élevées (supérieures à 25 °C). Les travaux réalisés pour la production de tels produits ont pour la plupart été réalisés dans des pays tropicaux. Néanmoins, il existe des programmes de recherche prévoyant des développements industriels en Europe à l'horizon 2020, par exemple le programme ANR « Désirable ». Ces programmes sont conçus pour contribuer à un développement économique circulaire : la production d'insectes se fait grâce à l'utilisation de déchets par exemple produits par des élevages. Elle contribue ainsi à une meilleure gestion des déchets et à une meilleure acceptabilité sociale des productions animales (Van Huis *et al.*, 2012). L'évaluation dès à présent des produits à base d'insectes pour l'alimentation des volailles permettra de construire un référentiel utilisable dès que ces produits seront disponibles. Pour le moment, le statut réglementaire des invertébrés n'est pas tranché (protéines

animales ou non) et ces produits ne constituent qu'une solution à moyen et long terme. Comme pour les produits animaux transformés, se pose la question de leur acceptabilité par les consommateurs.

Par ailleurs, les algues pourraient constituer également une matière première d'intérêt dans les années à venir. Elles présentent de nombreux atouts nutritionnels du fait de leur teneur en protéines (jusqu'à 65 % MS), en lipides, en vitamines, en pigments, en antioxydants et autres composants cellulaires. Elles regorgent aussi de qualités durables en termes d'intrants (pas besoin d'engrais, ni d'eau douce, ni de pesticide), de captation du CO<sub>2</sub> et de rendement (besoin en moyenne d'un sixième de la surface nécessaire à une autre culture végétale). Elles restent pour l'instant inaccessibles économiquement en alimentation animale mais les farines de macro-algues et éventuellement les coproduits issus des filières biocarburants pourraient à terme, représenter de grandes quantités disponibles et abordables.

#### 4.4 La sélection génétique : des matières premières adaptées et des animaux adaptables ?

La sélection génétique à la fois des végétaux et des animaux est une voie à explorer à moyen terme.

Pour exemple, afin d'améliorer les qualités nutritionnelles du colza, des travaux de sélection variétale ont, depuis une vingtaine d'années, produit des variétés de colza à graines jaunes à teneur en lignine réduite (2 %). La valeur nutritionnelle (valeur énergétique et digestibilité des protéines) des tourteaux préparés à partir de ces variétés a été estimée supérieure aux variétés classiques à graines noires. L'écart a été trouvé comparable à l'amélioration apportée par le dépellucage, soit 300 kcal/kg (Quinsac *et al.*, 2013). Ces variétés basées au départ sur des cultivars de colza de printemps sont aussi produites maintenant en colza d'hiver, mais ne sont pas encore compétitives sur le plan agronomique. Ainsi, l'amélioration de la qualité des tourteaux réalisée par voie génétique reste pertinente à moyen terme et son évaluation doit être approfondie au regard des nouvelles exigences économiques et environnementales.

La sélection d'animaux plus adaptables aux variations alimentaires pourrait être une autre voie d'amélioration. La sélection du poulet standard a longtemps été menée dans un environnement alimentaire optimal avec des régimes de haute qualité protéique et énergétique permettant aux animaux d'exprimer pleinement leur potentiel génétique de croissance et de dépôt musculaire. Améliorer l'adaptabilité des animaux face à des aliments de moindre qualité ou en tout cas de qualité plus variable pourrait être une solution. Les travaux menés ces dernières années ont souligné qu'il existe une variabilité interindividuelle dans la fonction d'efficacité digestive : la variabilité entre animaux nourris avec des régimes à base de blé est plus forte que la variabilité entre variétés de blé (Carré *et al.*, 2002). De la même manière, la variabilité de digestibilité iléale des protéines et des acides aminés varie plus fortement entre animaux qu'entre régimes, même en utilisant des matières premières aussi variables que les drèches (Bandegan *et al.*, 2009). L'amélioration génétique de l'efficacité digestive est efficace chez des animaux de croissance intermédiaire

nourris avec un régime contenant 50 % de blé Rialto, difficile à digérer en raison de sa dureté et de sa viscosité élevées (de Verdal *et al.*, 2010). Évaluer pour, à terme, exploiter par sélection cette variation d'efficacité digestive en lien avec les performances d'élevage, la santé et le bien-être des animaux apparaît donc comme une étape intéressante pour la construction de systèmes d'élevage avicoles durables.

## 5 Conclusion

L'amélioration de l'autonomie protéique des filières avicoles françaises et européennes et la valorisation d'une image de « produit local » apparaît donc comme un challenge important pour les années à venir, et nécessite une plus grande coordination entre acteurs, amont et aval. Intégrer les cultures et l'élevage représente un enjeu fort en termes de compétitivité et d'écologisation. Différentes voies sont envisagées à plus ou moins long terme : développer l'alimentation de précision afin d'adapter au plus juste les apports aux besoins des animaux en fonction des objectifs fixés, disposer de matières premières adaptées et d'animaux plus adaptables.

## Références

- AgriBalyse. 2013. [www.ademe.fr/agribalyse/](http://www.ademe.fr/agribalyse/)
- Bandegan A, Guenter W, Hoehler D, Crow GH, Nyachoti CM. 2009. Standardized ileal amino acid digestibility in wheat distillers dried grains with solubles for broilers. *Poult. Sci.* 88: 2592–2599.
- Carré B, Idi A, Maisonnier S, *et al.* 2002. Relationships between digestibilities of food components and characteristics of wheats (*Triticum aestivum*) introduced as the only cereal source in a broiler chicken diet. *Br. Poult. Sci.* 43: 404–415.
- Coulibaly I, Métayer JP, Chartrin P, *et al.* 2013. La combinaison des informations issues des aliments et des fientes améliore la prédiction par SPIR de la digestibilité chez le poulet. *JRA, La Rochelle*, Vol. 10, pp. 640–644.
- Cozannet P, Lessire M, Métayer JP, *et al.* 2010. Valeur nutritive des drèches de blé et de maïs pour les volailles. *INRA Prod. Anim.* 23: 405–414.
- Doskovic V, Bogosavljevic-Boskovic S, Pavlovski Z, *et al.* Enzymes in broiler diets with special reference to protease. *WPSJ* 69: 343–359.
- Feedipedia, 2013. Feedipedia – Animal Feed Resources Information System – INRA CIRAD AFZ and FAO.
- Gill N. 2002. Effect of varying concentrations of partially dehulled and extruded sunflower-meal on growth performances and sensory attributes of post-juvenile atlantic salmon (*Salmo Salar*). Thesis. Univ. British Columbia, Vancouver, 92 p.
- Grasteau S, Narcy A, Tran TS, *et al.* 2013. Variabilité génétique de l'efficacité alimentaire avec des aliments sub-optimaux et perspectives pour la sélection. 10<sup>e</sup> JRA JRPFG, 26-28 mars 2013, La Rochelle, France, 6 p.
- Henrion A., 2012. Colloque Légumineuses à graines, Paris.
- Kaysi Y, Melcion J-P. 1992. Traitements technologiques des protéagineux pour le monogastrique : exemples d'application à la graine de féverole. *INRA Prod. Anim.* 5: 3–17.
- Labalette F, Bourrel C, Jouffret P, Lecomte V, Quinsac A, Ledoux S. 2010. Panorama et futur de la filière du soja français. *OCL* 17: 345–55.

- Lessire M, Baudet J-J. 1986. Valeurs alimentaires de tourteaux de colza riches ou pauvres en glucosinolates, issus de graines entières ou dépelliculées. 7<sup>e</sup> Conférence européenne d'aviculture, edited by M. Larbier. Tours, France.
- McCurdy SM, March BE. 1992. Processing of canola meal for incorporation in trout and salmon diets. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 69: 213–220.
- NGuyen TTH, Bouvarel I, Ponchant P, van der Werf HMG. 2012. Using environmental constraints to formulate low-impact poultry feeds. *J. Cleaner Prod.* 28: 215–224.
- Peyronnet C, Pressenda F, Quinsac A, Carré P. 2012. Impact du décorticage du tournesol sur la valeur nutritionnelle et l'intérêt économique des tourteaux en fabrication d'aliments composés. *OCL* 19: 341–346.
- Quentin M, Bouvarel I, Bastianelli D, et Picard M. 2004. Quels « besoins » du poulet de chair en acides aminés essentiels? Une analyse critique de leur détermination et de quelques outils pratiques de modélisation. *INRA Prod. Anim.* 17: 19–34.
- Quinsac A, Bouvarel I, Buffo P, *et al.* 2005. L'extrusion-pression, procédé adapté à la trituration de graines de soja pour les filières avicoles locales tracées. Sixièmes JRA, St Malo, pp. 292–296.
- Quinsac A, Labalette F, Carré P, Janowski M, Fine F. 2012. Comment valoriser dans l'alimentation animale, les graines de soja produites en France? Comparaison de deux procédés de transformation : l'aplatissage-cuisson-pression et l'extrusion-pression. *OCL* 19: 347–357.
- Quinsac A, Auger B, Carré P, *et al.* 2013. Comparison of yellow seed trait and dehulling effects on the chemical composition and nutritional value of rapessed meal. GCIRC technical meeting, Changins, Switzerland, April 29–30
- Van Huis A, Van Itterbeeck J, Klunder H, *et al.* 2013. FAO Forestry Paper 171.
- Verdal H de, Mignon-Grasteau S, Jeulin C. *et al.* 2010. Digestive tract measurements and histological adaptation in broiler lines divergently selected for digestive efficiency. *Poult. Sci.* 89: 1955–1961.

**Cite this article as:** Isabelle Bouvarel, Michel Lessire, Agnès Nancy, Elisabeth Duval, Sandrine Grasteau, Alain Quinsac, Corinne Peyronnet, Gilles Tran, Valérie Heuze. Des sources de protéines locales pour l'alimentation des volailles : quelles voies de progrès? *OCL* 2014, 21(4) D405.