

L'autonomie protéique : état des lieux et voies d'amélioration pour l'alimentation des volailles

E. RECOULES¹, N. BREVAULT², P. LE CADRE³, C. PEYRONNET⁴, I. BOUVAREL⁵, M. LESSIRE¹

¹ URA, INRA, 37380, NOUZILLY, France

² MIXSCIENCE - Centre d'Affaires Odyssée, Z.A.C Cicé Blossac, 35172, BRUZ, France

³ CEREOPA, 16 rue Claude Bernard, 75231, PARIS, France

⁴ TERRES UNIVIA, 11 rue de Monceau, 75378, PARIS, France

⁵ ITAVI, 37380, NOUZILLY, France

Courriel : emilie.recoules@tours.inra.fr

La forte dépendance de la filière avicole au tourteau de soja provenant principalement d'Amérique du Sud pose des problèmes d'ordre économique, environnemental et sociétal. Améliorer l'autonomie protéique est un enjeu important pour l'alimentation des volailles en France. Aussi, les travaux de recherche visant à mieux caractériser l'utilisation digestive des ressources métropolitaines contribuent à l'identification de leviers d'action pour réduire cette dépendance.

En élevage avicole, 60% des protéines consommées en France proviennent des matières premières importées. Le soja représente environ un quart des matières premières utilisées dans les aliments avicoles, et la majorité provient d'importations notamment d'Amérique du Sud. Dans ce contexte, la recherche d'une amélioration de l'autonomie protéique, par une meilleure utilisation des ressources protéiques métropolitaines, n'est pas nouvelle (encadré 1), mais reste encore aujourd'hui un réel enjeu pour les filières avicoles françaises afin de tendre vers des systèmes d'élevage plus durables (compétitivité, attentes des citoyens, limitation des impacts environnementaux, création d'emplois).

Plusieurs travaux ont déjà été entrepris dans ce sens et ont notamment porté sur la sélection variétale des sources de protéines métropolitaines, permettant une réduction des teneurs en facteurs antinutritionnels, mais aussi sur les procédés technologiques (réduction notamment de la teneur en fibres) et l'ajout d'enzymes exogènes. Bien que ces travaux aient contribué à améliorer l'autonomie protéique des filières avicoles, il ne semble pas encore possible, dans les conditions de productions actuelles, de s'affranchir totalement des importations de tourteaux de soja. D'autres recherches sont encore nécessaires pour améliorer la compréhension des mécanismes de digestion des protéines, et une sélection génétique pour des volailles mieux adaptées aux régimes actuels et futurs semble nécessaire.

Après avoir présenté la dépendance des filières avicoles au tourteau de soja et les améliorations déjà entreprises en vue d'accroître l'autonomie protéique, de nouvelles voies d'amélioration et les bénéfices attendus de la recherche sont présentés.

1 / Une forte dépendance des filières avicoles au tourteau de soja aujourd'hui remise en question

La dépendance protéique de la France, c'est-à-dire, la part de protéines végétales importées par rapport à la quantité totale nécessaire pour l'élevage (toutes espèces confondues), est de 42% et est constituée majoritairement par le soja (33%) (Prospective Aliment ; Cereopa 2013). Par rapport aux autres productions animales, les filières avicoles sont les plus dépendantes des importations de matières premières riches en protéines, du fait de besoins protéiques plus élevés (figure 1).

1.1 / Plusieurs facteurs favorisent l'utilisation du soja

a) Les volailles ont des besoins élevés en protéines

En poulet de chair, plusieurs types de marché coexistent : le poulet prêt à cuire dominé par le poulet Label Rouge et les produits découpés et élaborés, dominés par le poulet standard. Le formulateur

d'aliment doit s'adapter, d'une part en respectant les cahiers des charges (Label Rouge et Cahiers des charges privés), et d'autre part en recherchant l'optimisation du prix de revient du produit final.

Environ trois quarts de la viande de volaille sont issus de la production standard qui utilise des souches sélectionnées sur la vitesse de croissance et le rendement en filets. Les progrès génétiques conduisent aujourd'hui à des animaux ayant une croissance particulièrement rapide. Le gain estimé est de l'ordre d'un jour par an pour obtenir le même poids. Pour produire un poulet de 2 kg, il fallait 42 jours d'élevage il y a 10 ans contre moins de 35 jours aujourd'hui. De ce fait, les besoins nutritionnels évoluent, notamment avec une baisse des besoins énergétiques d'entretien liée à la baisse de l'âge à l'abattage. Le rapport protéines/énergie des aliments est ainsi modifié et la contribution de la fraction protéique au coût alimentaire est de plus en plus forte. A titre d'exemple, les besoins en protéines brutes du poulet de chair varient de 220 g/kg à 190 g/kg d'aliment avec l'âge des animaux. En comparaison, en production porcine les besoins en protéines brutes sont plus faibles puisqu'ils sont de 165 g/kg d'aliment pour un porc en croissance et 150 g/kg pour un porc en finition. Pour la truie, les besoins en protéines brutes dans l'aliment sont également plus faibles avec 140 g/kg en gestation et 165 g/kg en lactation (Corpen 2003). La production de volaille standard est ainsi exigeante en protéines et il

est difficile de satisfaire le besoin en utilisant des matières premières protéiques moins conventionnelles et plus variées que le tourteau de soja, ayant pour la plupart des concentrations en protéines plus faibles.

Pour la production de poulets Label Rouge, à croissance plus lente, l'âge à l'abattage est fixé par le cahier des charges. L'optimisation du coût alimentaire pourrait être recherchée par la diversification protéique, en augmentant la part

de coproduits de céréales et d'oléoprotéagineux. Cependant, le cahier des charges actuel, imposant un minimum de 75% de céréales et coproduits céréaliers, nécessite l'utilisation de matières premières concentrées en protéines, et donc de soja, pour couvrir les besoins des animaux ce qui limite les possibilités de substitution. Les besoins protéiques de la poule pondeuse sont plus faibles puisqu'en général, un apport de 150 g/kg de protéines brutes dans l'aliment peut être suffisant. Cependant, il est nécessaire de veiller à ce que les apports en acides aminés soufrés et en lysine soient équilibrés. Le choix des matières premières protéiques dans l'aliment est donc important.

Encadré 1. Dépendance protéique de la France et plans Protéines successifs.

Le déficit protéique pour l'alimentation animale en Europe a pour origine la situation agricole sinistrée après la deuxième guerre mondiale et en parallèle, aux Etats-Unis, un fort développement de la production et des exportations de soja. Néanmoins en 1973, suite à une baisse de leur production, les Etats-Unis bloquent les exportations de soja afin de satisfaire leur marché intérieur. Un plan de développement agricole est alors mis en place et entraîne une forte croissance de la production de soja au Brésil. Les importations européennes de soja se diversifient alors au profit de l'Amérique latine et une longue série de plans Protéines commence en France et plus largement en Europe. Afin d'encourager la production de protéines végétales, plusieurs mesures sont mises en œuvre avec notamment des prix minimums pour l'achat aux producteurs des graines oléagineuses (colza et tournesol) et des protéagineux (pois, féverole). Entre 1978 et 1992, les cultures de protéagineux et oléagineux augmentent fortement et le taux d'indépendance protéique progresse. Les Etats-Unis s'inquiètent des conséquences de ce plan Protéines européen pour leurs exportations de soja et se tournent vers le GATT afin d'y faire obstacle. A partir du début des années 1990 et avec les différentes réformes successives de la PAC, les prix intérieurs s'alignent progressivement sur les cours mondiaux. Les aides directes versées aux producteurs d'oléagineux et de protéagineux sont insuffisantes pour maintenir l'intérêt relatif de ces cultures par rapport aux céréales, surtout avec le découplage des aides de la PAC à partir du début des années 2000. Dans le même temps, la demande en matières premières riches en protéines s'accroît et c'est le soja d'importation qui en tire profit. Le taux d'indépendance protéique diminue à nouveau. Toutefois, avec l'opportunité de la jachère industrielle, le colza a trouvé un relais dans l'instauration d'une industrie spécialisée avec le biodiesel. Mais les surfaces de pois diminuent régulièrement en France dès 1994 malgré la mise en place de nouveaux plans Protéines français.

Actuellement, un nouveau plan Protéines (2015-2020 ; <http://www.planproteines.org/>) a été mis en place. Il semble important, à l'avenir, que ces cultures riches en protéines et de diversification par rapport aux céréales soient soutenues. Les politiques doivent inciter à l'innovation pour améliorer le bilan environnemental dans le cas du colza, l'augmentation et la stabilité des rendements pour les protéagineux, le développement de débouchés industriels à haute valeur ajoutée et/ou leur insertion dans des stratégies de développement durable pour augmenter la production et l'utilisation des protéagineux (Thomas *et al* 2013).

b) Le soja est une source de protéines et d'acides aminés indispensables intéressante

La teneur en protéines brutes du tourteau de soja est de 53,5% de la matière sèche contre seulement 39% pour le tourteau de colza obtenu avec une extraction par solvant. Outre sa teneur en protéines, le tourteau de soja permet d'apporter des quantités intéressantes d'acides aminés essentiels (non synthétisés par l'animal ou en quantité insuffisante). Le profil idéal en acides aminés pour des volailles de chair entre 20 et 40 jours d'âge (Mack *et al* 1999) donne une référence sur l'équilibre « idéal » afin d'optimiser l'apport protéique et les performances zootechniques. Les profils en acides aminés du tourteau de soja, du tourteau de colza, de la féverole et du lupin sont comparés au profil idéal (tableau 1). Les tourteaux de soja et colza présentent un profil relativement bien équilibré, contrairement à la féverole et au lupin, pauvres en acides aminés soufrés (méthionine + cystine) et riches en arginine. Cet équilibre est important à prendre en compte en formulation et explique en partie pourquoi le tourteau de soja, lorsqu'il est supplémenté en méthionine, est la principale source de protéine utilisée en alimentation avicole (Balloun 1980, Beski *et al* 2015).

L'interdiction des PAT (Protéines Animales Transformées), riches en protéines et en minéraux, par principe de précaution en 2000 suite à la crise de l'ESB (Encéphalopathie Spongiforme Bovine), a entraîné un recours accru aux matières premières végétales riches en protéines telle que le tourteau de soja, qui se rapproche le plus des PAT en termes de teneurs en protéines totales et en lysine. Bien que l'amélioration des connaissances sur les alternatives au soja, associée à l'utilisation d'enzymes et de pré- ou probiotiques, ait permis l'utilisation de matières premières locales, celles-ci restent moins bien valorisées que le tourteau de soja.

Par ailleurs, la réduction de l'utilisation des antibiotiques et les préoccupations

Figure 1. Part de la MAT (Matière Azotée Totale) couverte selon l'origine des Matières Premières (MP) industrielles pour différents espèces, hors fabrication à la ferme et hors fourrages pour les bovins viande et les vaches laitières (D'après Cereopa 2013).

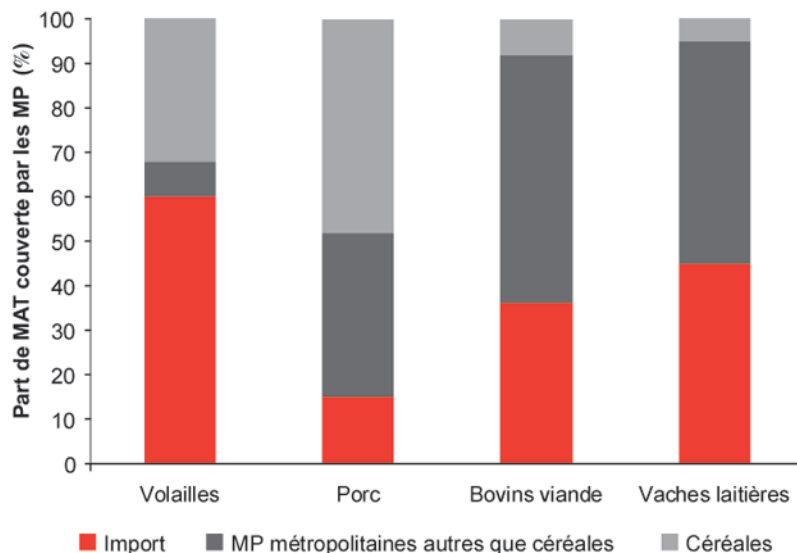


Tableau 1. Profils en acides aminés de quatre matières premières comparés au profil idéal (base 100 lysine, D'après Mack et al 1999 et INRA –AFZ 2004).

	Profil idéal	Tourteau de soja 48	Tourteau de colza	Féverole à faible teneur en tanins	Lupin
Lysine	100	100	100	100	100
Méthionine + Cystine	75	45	91	26	50
Thréonine	63	62	87	53	78
Arginine	112	123	129	157	237
Isoleucine	71	76	84	61	99
Valine	81	78	107	68	90

sociétales liées au respect du bien-être animal ont conduit à une plus grande sécurisation des aliments afin d'optimiser l'intégrité digestive des animaux, et donc à une plus grande utilisation du tourteau de soja. La santé intestinale, résultat d'un équilibre entre la muqueuse intestinale, le microbiote et l'aliment, est un élément clé pour avoir des animaux sains et performants. L'aliment doit être optimisé de manière à ne pas perturber la santé, la structure et les fonctionnalités du tractus digestif afin de permettre une digestion des aliments et une absorption des nutriments les plus efficaces possibles (Bach Knudsen *et al* 2012). Il s'agit donc de sécuriser les aliments en portant une attention particulière au choix des matières premières et des additifs utilisés. En effet, il a été montré que le type de céréales, la teneur en protéines et en facteurs antinutritionnels de l'aliment sont des facteurs qui influencent l'apparition d'entérite nécrotique. De la même manière, une teneur trop importante en composants non digérés dans le tractus digestif, constitue un substrat pour la microflore et une opportunité pour les bactéries pathogènes de se développer (M'Sadeq *et al* 2015).

Ces différents éléments ont contribué à une généralisation de l'utilisation du tourteau de soja dans l'alimentation avicole et expliquent pourquoi le tourteau de soja représente la matière première qui contribue le plus à la matière azotée totale des formules (figure 2). Cependant, l'utilisation de cette matière première est aujourd'hui remise en cause pour plusieurs raisons.

1.2 / Des problèmes économiques, environnementaux et sociétaux liés à l'utilisation du soja

a) Une offre concentrée sur trois pays fournisseurs et une forte volatilité des prix

Au niveau Européen, la consommation de viande *per capita* a tendance à diminuer mais avec une disparité entre espèces animales puisque l'on observe une forte augmentation de la consommation de viande de volailles (+ 12% entre 2004 et 2014 dans l'UE-28), au détriment des

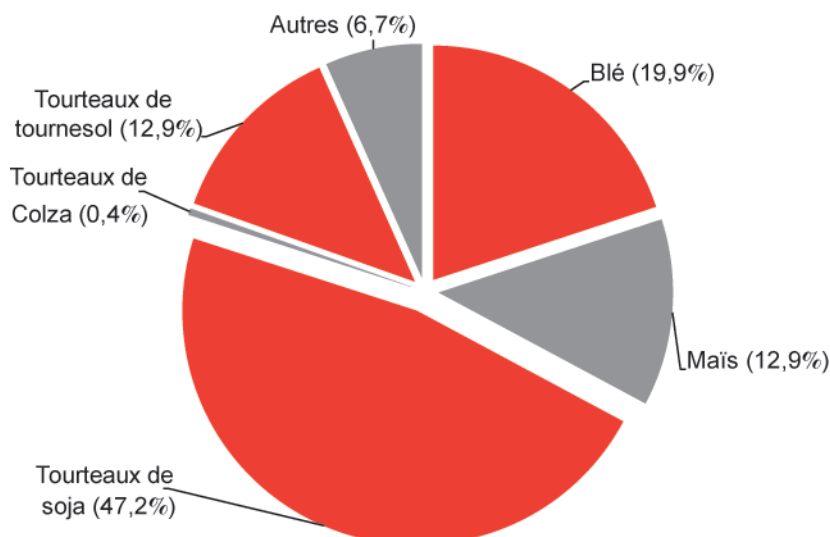
autres espèces. Au niveau français, une augmentation de la consommation de viande de 1,6% a été observée entre 2013 et 2014 avec notamment une progression de la consommation de volailles (+ 2,4% entre 2013 et 2014 ; France Agrimer 2015).

Du fait de cette augmentation de la consommation de viande, le besoin en protéines végétales à destination de l'alimentation animale augmente ce qui explique une demande croissante de soja. En France, la production de soja représentait à peine 3% de la consommation française en protéines de soja en 2012. Entre 2013 et 2014, une augmentation des surfaces dédiées à la culture de soja (de 43 000 ha à 74 700 ha) a permis une augmentation de la production française de graines (de 112 000 t à 215 000 t), mais cela reste faible et nécessite de recourir massivement aux importations. A l'échelle mondiale, la production de soja progresse puisqu'elle a dépassé les 300 Mt de graines sur la saison 2014-2015 alors qu'elle était d'environ 160 Mt en 1998-1999. L'offre reste cependant concentrée sur trois pays (les Etats-Unis, le Brésil et l'Argentine ; de Visser *et al* 2014) qui couvraient 82% de la production mondiale en 2014-2015. La demande

mondiale est très diversifiée, mais l'Asie occupe une place croissante. Sur la quantité de graines de soja exportées en 2014-2015 (39% de la production mondiale), la demande de la Chine représente 61% contre 11% pour l'UE-28. La Chine importe avant tout les graines qu'elle triture elle-même pour son approvisionnement en huile, alors qu'une grande partie de la demande européenne concerne le tourteau destiné à l'élevage. En effet, la France ne possédant qu'une seule usine de trituration dédiée au soja, n'a pas la possibilité d'arbitrer entre tourteaux ou graines lorsque le marché de l'un ou de l'autre est plus favorable. La forte concentration géographique de la production mondiale et le peu de fournisseurs entraînent une volatilité des prix qui n'est pas nouvelle (Martin 2014), mais qui a tendance à s'exacerber avec l'augmentation de la demande par la Chine.

b) Le soja associé à la déforestation

Malgré des efforts importants en termes de productivité, la forte augmentation de la production de soja conduit en partie à la destruction de la végétation native sud-américaine où les surfaces de cultures

Figure 2. Contribution de différentes matières premières à la matière azotée totale des formules pour la filière volaille en 2012 (D'après Cereopa 2013).

se développent. Les conséquences sont la perte de biodiversité dans des zones encore préservées, et l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre. L'impact potentiel sur le changement climatique est 2,8 fois plus élevé pour le tourteau de soja associé à la déforestation au Brésil comparé à du soja non associé à la déforestation (ECO-ALIM, 2015). L'élevage de volailles, principal consommateur de soja, est ainsi montré du doigt par le WWF (« *World Wildlife Fund* ») qui prône l'utilisation de soja « responsable », c'est-à-dire un soja dont la production n'a pas participé à la déforestation, et cultivé suivant un cahier des charges qui concerne aussi bien les modalités d'utilisation des pesticides et fertilisants, que les droits des travailleurs. Par ailleurs, l'impact environnemental de la production est un critère qui devient important pour les consommateurs puisque d'après le CREDOC (Centre de Recherche pour l'Etude et l'Observation des Conditions de vie), les motivations d'achat liées au développement durable (garanties écologiques associées au produit, produits fabriqués en France ou dans la région) paraissent être des éléments majeurs, plus importants que la confiance dans la marque (Hébel *et al* 2009). Néanmoins, la substitution du tourteau de soja par des ressources protéiques métropolitaines souvent moins digestibles peut conduire à des rejets azotés plus importants (Lessire *et al* 2015). Il est donc important de pouvoir réduire l'utilisation de tourteau de soja importé, au profit de matières premières métropolitaines, mais aussi d'améliorer la digestibilité des protéines de celles-ci afin de limiter l'impact sur l'environnement.

c) Une demande citoyenne pour des graines de soja non génétiquement modifiées

Le tourteau de soja utilisé en alimentation animale provient principalement de graines génétiquement modifiées (GM ; Henrion 2012) souvent rejetées par les citoyens. Il existe une réelle demande au niveau mondial (Europe, Asie) pour le soja non GM même si les volumes en font encore un marché de niche.

Sur les 29,6 Mt de tourteaux consommés dans l'UE en 2014, 1,7 Mt étaient estimés être non GM. L'Allemagne en est le premier utilisateur (14% de sa consommation en 2014), suivie par la France (11% de la consommation et 12% des importations de tourteaux de soja). Une dizaine d'Etats Membres ont une demande régulière pour ce marché non GM, en particulier pour l'élevage biologique dont le cahier des charges interdit l'utilisation d'OGM. La filière volaille est à l'initiative de cette demande dans de nombreux pays (Finlande, Autriche, Danemark, Allemagne, France, Royaume-

Uni, Irlande, Hongrie). Une initiative intéressante, « Soja Danube » (<http://www.donausoja.org/>), a vu le jour en 2012. Il s'agit d'une association à but non lucratif qui vise à promouvoir la culture de soja non GM en Europe afin d'assurer la pérennité des filières européennes reposant sur l'usage de soja non GM. L'objectif est de lancer ou relancer la culture de soja non GM sur le bassin versant du Danube mais également de favoriser la recherche en s'intéressant prioritairement aux problématiques rencontrées dans le contexte européen, à savoir le développement de variétés précoces, une résistance aux basses températures et une teneur élevée en protéines (Hébing et Labalette 2014). Des produits labellisés « Soja Danube », tels que des œufs, du porc ou du poulet sont déjà disponibles et commercialisés en Autriche et en Suisse.

2 / Quelles adaptations à ce contexte ?

Le tourteau de soja présente des avantages « nutritionnels », mais les différents problèmes évoqués précédemment ont conduit à plusieurs travaux visant à réduire son utilisation.

2.1 / La formulation sur la base de la protéine idéale

La formulation consiste à optimiser un mélange de matières premières pour satisfaire des contraintes de « besoins » et répondre à des objectifs de performances, de qualité des produits et à des éléments de cahier des charges qui correspondent au marché visé. En effet, en production avicole, il est nécessaire de raisonner par segment de production et types de produits. Les enjeux de production portent sur des performances zootechniques, mais aussi sur des caractéristiques sensorielles et sur les aptitudes technologiques des produits pour la découpe ou la transformation. Il s'agit donc d'adapter un schéma de production (choix génétique, modèle d'élevage) et d'optimiser l'alimentation pour satisfaire toutes les contraintes à moindre coût (économique, environnemental).

La formulation doit aboutir à des aliments apportant un ensemble équilibré de nutriments digestibles, pour répondre au mieux aux besoins des animaux et aux divers cahiers des charges. Le besoin en protéines n'est pas exprimé en tant que tel, mais *via* un besoin en acides aminés indispensables digestibles et un équilibre entre ces acides aminés. Le concept de protéine idéale est utilisé pour représenter un profil en acides aminés, qui permet de maximiser le critère de performance fixé (poids vif, indice de consommation,

rendement Prêt A Cuire et Filet), tout en limitant l'apport d'azote non retenu (excrété). Chaque matière première a son propre profil en acides aminés, ce qui lui confère plus ou moins d'intérêt lors de l'optimisation des formules alimentaires.

L'obtention de la protéine idéale est permise par les apports des matières premières souvent complétées par l'utilisation d'acides aminés de synthèse ou de fermentation tels que la DL-méthionine, la lysine HCl, la L-thréonine, le L-tryptophane et la L-valine. D'autres sont disponibles (tyrosine, arginine, isoleucine), mais ne semblent pas encore produits à des prix suffisamment compétitifs pour être utilisés pour l'alimentation des volailles. La supplémentation de l'aliment en acides aminés de synthèse permet non seulement d'améliorer l'équilibre de l'aliment mais aussi de réduire la teneur en protéines (Beski *et al* 2015) et ainsi d'améliorer les performances de l'élevage (performances zootechniques, bien-être animal, rejets environnementaux). Dans les cas où la protéine idéale peut être satisfaite, la formulation doit également tenir compte de la fraction non digestible qui varie selon les matières premières et qui peut avoir un impact négatif sur la santé digestive, le bien-être des animaux et les rejets dans l'environnement. Lorsque la formulation ne respecte plus la protéine idéale, il peut être observé une baisse de la croissance et de l'efficacité alimentaire. Ce constat est particulièrement vrai en production biologique pour laquelle l'ajout d'acides aminés de synthèse n'est pas autorisé. Des travaux sont ainsi nécessaires afin de mieux caractériser la protéine idéale pour chacune des productions, en fonction de l'âge des animaux.

2.2 / La valorisation de sources de protéines locales et la formulation sans soja

a) Des efforts pour améliorer la valeur nutritionnelle des ressources protéiques locales

Les différentes matières premières riches en protéines produites en France présentent généralement une teneur en fibres supérieure à celle du tourteau de soja et contiennent des facteurs antinutritionnels. Cela les rend donc moins intéressantes que le tourteau de soja. Par ailleurs, les protéagineux sont produits en faible quantité ce qui limite leur utilisation en alimentation animale. Cependant, plusieurs travaux ont visé, à travers la sélection variétale, les procédés technologiques et l'utilisation d'enzymes exogènes, à améliorer la qualité nutritionnelle de ces matières premières afin d'augmenter leur utilisation en alimentation avicole.

Le tourteau de colza présente un équilibre en acides aminés relativement mieux adapté que celui du tourteau de soja (tableau 1) et pourrait être une ressource protéique intéressante pour l'alimentation animale compte tenu d'une importante disponibilité en France (2,3 Mt, Prolea 2012). Cependant, sa composition et ses propriétés nutritionnelles freinent son utilisation massive en alimentation des volailles. La teneur en facteurs antinutritionnels (acide érucique, glucosinolates), bien que réduite par la sélection variétale, reste encore une limite à laquelle s'ajoute une faible teneur en protéines (39%) et une forte teneur en fibres (NDF : 26,9%, ADF : 18,8% et lignine : 7,9% de la matière sèche).

Le tourteau de tournesol « pailleux » (extraction par solvant, non décortiqué), présente une teneur en protéines trop faible (31,3% de la matière sèche) et nécessite d'être décortiqué non seulement pour concentrer les protéines (37,7% de la matière sèche), mais aussi la fraction énergétique utilisable. Ce tourteau de tournesol décortiqué 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 (Peyronnet *et al* 2012).

Des coproduits comme les glutens de maïs et de blé, sont des produits à haute teneur en protéines, pratiquement aussi digestibles que celles du soja, mais avec un profil en acides aminés déséquilibré (Bouvalet *et al* 2014). Leur prix élevé et leur faible disponibilité (gluten de blé) rendent difficile leur utilisation à grande échelle.

Les travaux de Cozannet *et al* (2010) ont permis de mieux caractériser la valeur nutritionnelle des drêches de blé et de maïs et leur variabilité. La maîtrise des facteurs à l'origine de cette variabilité constitue un enjeu majeur pour l'utilisation des drêches dans l'alimentation des volailles, avec notamment les procédés d'extraction de composés d'intérêt tels que les germes et les sons, la fermentation puis les niveaux de température appliqués lors du séchage.

La valeur nutritionnelle et les contraintes d'utilisation des graines de protéagineux (pois, féverole et lupin) chez les volailles sont relativement bien connues (Lacassagne 1988, Vilariño *et al* 2009). La teneur en facteurs antinutritionnels (anti-trypsiques du pois, tannins, vicine et convicine de la féverole, alcaloïdes du lupin...) a déjà été fortement réduite par la sélection variétale ou les procédés technologiques permettant leur valorisation en alimentation animale. Le plus grand frein à leur utilisation est le manque de disponibilité dû à des problèmes agromonomiques.

b) La substitution du tourteau de soja par d'autres matières premières

L'utilisation de ressources protéiques autres que le soja est possible notamment pour les productions dont les exigences en protéines et acides aminés sont plus faibles. Des analyses multicritères ont permis d'évaluer l'impact d'une alimentation sans soja sur des critères économiques, sociaux et environnementaux (Dusart *et al* 2015, Protino *et al* 2015).

Pour le poulet à croissance lente (type Label Rouge), une stratégie sans soja n'a pas dégradé les performances zootechniques, le bien-être des animaux et la qualité de la viande. Cela a engendré une légère hausse des coûts de production et une forte réduction des émissions de gaz à effet de serre (Méda *et al* 2015). Pour le poulet à croissance intermédiaire (Certification de Conformité de Produits), la substitution partielle du tourteau de soja (36, 42 et 58% en phases de démarrage, croissance et finition, respectivement) par des tourteaux d'oléagineux, des coproduits de céréales, et des protéagineux n'a pas dégradé les performances zootechniques, le bien-être animal et la qualité de la viande. La stratégie sans soja, pour laquelle les apports en énergie, protéines et acides aminés étaient légèrement inférieurs (comparé au régime avec soja) en phases de démarrage et de croissance, a en revanche légèrement dégradé le poids vif, l'indice de consommation et le rendement en filet, et par conséquent le coût de production. Par ailleurs, les stratégies de substitution partielle et sans soja ont permis de réduire considérablement les émissions de gaz à effet de serre (Lessire *et al* 2015).

Chez la dinde, Palander *et al* (2006) ont mis en évidence que l'utilisation des légumineuses entre 5 et 10 semaines est limitée en raison d'une faible teneur en énergie (lupin) et d'une faible digestibilité iléale apparente des protéines et acides aminés (féverole). Cependant, en finition (13-18 semaines), une substitution partielle du tourteau de soja par du lupin n'a pas eu d'effet sur les performances de croissance, les caractéristiques de la carcasse et la qualité sensorielle de la viande (Mikulski *et al* 2014).

Chez la poule pondeuse, la substitution totale du tourteau de soja par du lupin dépelliculé à 18 semaines et pendant 10 semaines a entraîné une légère baisse de la consommation (-2,2 g/j), mais n'a pas eu d'effet sur la croissance et l'indice de consommation (Laudadio et Tufarelli 2011). De la même manière, l'inclusion de drêches de maïs à hauteur de 15% dans la ration n'a eu d'effet négatif ni sur les performances de ponte, ni sur la qualité des œufs tant que le profil nutritionnel des drêches était connu et que la formulation a été faite sur la base des

acides aminés digestibles. En revanche, une inclusion à hauteur de 20% a conduit à une baisse de la consommation, du taux de ponte, du poids des œufs et donc à une moindre efficacité alimentaire (Deniz *et al* 2013).

Chez le canard mulard mâle, l'inclusion de drêches de maïs dans le régime à hauteur de 8, 16 ou 24% en substitution au tourteau de soja a été testée entre 5 et 12 semaines d'âge. À l'âge de 8 semaines, l'inclusion de 16 et 24% de drêches dans l'aliment a eu un impact négatif sur les performances zootechniques, mais ces différences n'étaient plus visibles en fin d'élevage et après gavage. Ces taux d'incorporation nécessitent d'être confirmés en conditions d'élevage (Peillod *et al* 2010). En période de démarrage (1 à 28 jours), l'inclusion de tourteau de colza dans l'aliment à hauteur de 7 ou 14 % n'a pas eu de conséquences sur les performances zootechniques de canards mulards mâles. En revanche, l'inclusion à hauteur de 21% a entraîné un poids vif inférieur et ce jusqu'à l'âge de 6 semaines. Des apports de 14 et 21% ont entraîné une diminution de l'emplumement et une augmentation du poids de la glande thyroïdienne, ce qui témoigne d'un effet pénalisant du tourteau de colza dans l'aliment. Cependant, en fin de période d'élevage (12 semaines), l'impact du tourteau de colza sur les performances zootechniques reste faible, ce qui peut s'expliquer par le fait que les animaux ont reçu un régime dépourvu de tourteau de colza en périodes de croissance et finition (5-12 semaines) et ont donc pu récupérer leur retard (Bernadet *et al* 2010).

Au final, limiter l'apport de tourteau de soja dans les rations s'accompagne en général pour le moment d'une augmentation du coût des aliments, variable selon le contexte économique, avec une moindre valeur nutritionnelle des matières premières locales qu'il faut compenser par un apport d'ingrédients plus concentrés, tels que les matières grasses et acides aminés. La substitution partielle ou totale du tourteau de soja par d'autres sources protéiques est toutefois possible sans dégradation des performances de croissance et du bien-être animal. Une bonne connaissance de la digestibilité des acides aminés et de l'« additivité » des matières premières dans le cas de formules complexes est ainsi nécessaire pour optimiser la formulation.

3 / Des voies d'amélioration de l'autonomie protéique

3.1 / Le développement du soja local

Une alternative au soja importé serait d'en produire localement, et d'utiliser

des semences non GM. Afin d'augmenter la production de soja local, un des enjeux importants est de mettre au point des itinéraires techniques impliquant de nouvelles variétés mieux adaptées aux conditions pédoclimatiques françaises. A l'heure actuelle, les deux principaux bassins de production sont le Sud-Ouest, et l'Est de la France. Plusieurs projets de recherche existent, notamment en région Midi-Pyrénées afin de sélectionner de nouvelles variétés précoces et très précoces de soja qui soient adaptées aux conditions pédoclimatiques, riches en protéines et résistantes à la verse (Guerreiro 2014).

Bien que la production de soja local semble une solution intéressante pour réduire les importations, la surface totale envisageable à relativement court terme (150 000 ha en 2020, Labalette *et al* 2010) ne serait certainement pas suffisante pour satisfaire l'ensemble des besoins (alimentation humaine et animale). De plus, cela nécessiterait de mettre en place des outils logistiques (stockage, transformation, distribution) adaptés afin de pouvoir valoriser cette production locale. Ainsi, bien que représentant une alternative intéressante, d'autres perspectives complémentaires sont à envisager.

3.2 / Amélioration de procédés technologiques et utilisation de nouveaux ingrédients

a) Des améliorations de procédés technologiques

Les outils existants en France pour transformer le soja métropolitain, de par leur capacité réduite, utilisent des procédés qui ne permettent qu'un déshuilage partiel, mal adapté à la valorisation du soja. Des procédés simplifiés (presse-extrudeuse) ainsi que des variétés à faible teneur en facteurs anti-trypsiques ont déjà été testés pour proposer des solutions adaptées à de petits bassins de production (Quinsac *et al* 2005). Des procédés, tels que le décorticage ou le blutage existent déjà, mais mériteraient d'être encore améliorés (taux de décorticage plus poussé) pour augmenter la teneur en protéines de certaines matières premières comme le colza, le tournesol ou encore la fêverole (Bouvarel *et al* 2014).

En termes de process des aliments, l'utilisation d'un broyeur à disque améliore l'homogénéité de la granulométrie, réduisant ainsi la part de particules de tailles extrêmes. La digestibilité des aliments granulés à partir d'une telle mouture, et notamment la digestibilité des protéines est améliorée (Klein *et al* 2015).

b) L'utilisation d'enzymes

L'utilisation d'enzymes exogènes dans l'alimentation des volailles permet

une amélioration de l'efficacité d'utilisation des nutriments, permettant ainsi une meilleure croissance et une diminution des rejets dans l'environnement (Adeola et Cowieson 2011). Dans l'alimentation des volailles, l'ajout de xylanase (enzyme hydrolysant les arabinoxylanes du blé principalement) permet de réduire la viscosité intestinale et d'hydrolyser les polysaccharides des aliments riches en fibres solubles, améliorant ainsi la digestibilité des aliments. De la même manière, la phytase est une enzyme permettant d'améliorer la disponibilité du phosphore dans les aliments. L'emploi relativement nouveau et quasi systématique de ces enzymes (xylanase, phytase) qui améliorent la digestibilité des nutriments, a permis de lever des contraintes de formulation et d'incorporer une proportion plus importante de blé et de divers coproduits (drêches, tourteaux métropolitains) plus dilués en protéines que le soja.

Les protéases (enzymes qui hydrolysent les protéines par rupture des liaisons peptidiques) pourraient être un atout supplémentaire pour l'épargne de protéines. Contrairement aux protéases endogènes qui sont spécifiques, c'est-à-dire qu'elles coupent la chaîne peptidique entre des acides aminés bien définis (par exemple, la trypsine coupe après une arginine ou une lysine), l'objectif est de développer des protéases exogènes qui soient peu spécifiques et actives dans les conditions physico-chimiques du tractus digestif en synergie avec les autres enzymes endogènes et exogènes. Plusieurs études ont mis en évidence un effet bénéfique de l'ajout de protéase dans l'aliment sur la digestibilité iléale apparente de l'azote (Angel *et al* 2011, Freitas *et al* 2011, Fru-Nji *et al* 2011, Kamel *et al* 2015). Cependant, les résultats sont encore controversés et des recherches sont nécessaires pour mieux comprendre leur mode d'action et ainsi améliorer leur efficacité, notamment lors de l'utilisation de régimes alimentaires complexes avec des matières premières protéiques variées.

c) De nouveaux ingrédients : insectes et algues

De nouveaux ingrédients pourraient avoir de l'intérêt dans les années à venir. Les larves d'insectes, qui du fait d'une teneur élevée en protéines et d'un profil en acides aminés assez similaire à celui du soja, représentent une source de protéines théoriquement intéressante. Plusieurs projets de recherche ont permis de tester l'utilisation de larves d'insectes en alimentation animale (Makkar *et al* 2014, Sánchez-Muros *et al* 2014) et d'autres programmes de recherche (Desirable, <http://www.projet-desirable.fr/fr> ; PROteINSECT, <http://www.proteinsect.eu/>) sont en cours. Ces derniers laissent présager des développements industriels en Europe à

l'horizon 2020. Actuellement, les insectes et les produits dérivés sont interdits en France car considérés comme des PAT. Si l'intérêt d'utiliser les larves d'insectes comme source de protéines dans l'alimentation des volailles est démontré d'un point de vue nutritionnel, les conséquences sur les performances de croissance, la santé intestinale et l'immunité, sont encore à approfondir aux différents stades du développement des volailles nourries avec ce type de régime (Khan *et al* 2016). Il s'agira également de développer une filière de production et de transformation, mais aussi d'évaluer les effets à long terme sur la santé des consommateurs et sur l'environnement.

Les algues pourraient aussi constituer une matière première d'intérêt dans les années à venir. Elles présentent de nombreux atouts nutritionnels du fait de leurs teneurs en protéines (jusqu'à 65% de la matière sèche), lipides, vitamines, pigments, antioxydants et autres composants cellulaires. Elles restent pour l'instant économiquement inaccessibles en alimentation animale (Becker 2007), mais les coproduits issus des filières biocarburants ou autres pourraient, à terme, représenter de grandes quantités disponibles et abordables. La production d'algues comme source alternative de protéines est une industrie qui débute et qui n'a pas encore un impact significatif en alimentation animale. Par ailleurs, bien que nutritionnellement intéressante, la production d'algues est confrontée à trois problèmes majeurs limitant son développement en Europe : *i*) des conditions climatiques peu appropriées, notamment en Europe du Nord, *ii*) une faible demande et *iii*) une complexité réglementaire pour l'autorisation de nouveaux ingrédients alimentaires (Vigani *et al* 2015).

Enfin, depuis plusieurs années les législateurs et les politiques s'interrogent sur l'opportunité d'autoriser à nouveau ou non dans l'Union Européenne, les PAT de volailles chez le porc et inversement. Une telle réintroduction pourrait modifier les formules alimentaires et donc économiser les sources végétales de protéines. Cela permettrait de réduire la compétition entre terres arables pour l'alimentation humaine, animale et la production de biocarburants, mais cette perspective reste encore mal acceptée par les consommateurs.

3.3 / Mieux cibler les leviers d'action par une meilleure compréhension des mécanismes de digestion et une sélection sur l'efficacité digestive

Les deux principaux leviers d'action permettant de moduler les réponses multiples des animaux (performances,

bien-être, impact environnemental...) sont la nutrition et la sélection génétique. Ces deux approches doivent être menées conjointement et nécessitent une amélioration des connaissances de l'utilisation digestive des ressources protéiques locales.

a) Mieux comprendre la cinétique de digestion des protéines

La formulation des aliments s'est jusqu'à présent basée sur des modèles de prédiction de la valeur nutritionnelle des aliments qui considéraient l'additivité des valeurs nutritionnelles des différentes matières premières utilisées. Ces valeurs sont supposées fixes (INRA-AFZ 2004, Feedipedia 2015). Or, plusieurs études indiquent que de nombreux facteurs peuvent influencer les valeurs nutritionnelles des matières premières et des aliments : procédés technologiques (Quinsac *et al* 2013), ajout d'enzymes exogènes (Bedford 1995), taille des particules (Carré 2000), teneur en fibres (Jiménez-Moreno *et al* 2011, Jiménez-Moreno *et al* 2013), pH du tractus digestif (Angel 2014), âge de l'animal, etc.

L'hypothèse d'additivité de la valeur nutritionnelle des matières premières ne permet pas de rendre compte de la complexité des interactions entre les nutriments issus des différentes matières premières qui constituent l'aliment ou celles qui peuvent exister entre l'aliment et l'animal (par l'intermédiaire du tractus digestif et de la flore microbienne). Afin d'améliorer la prédiction de la valeur nutritionnelle des aliments, il est nécessaire d'intégrer les connaissances sur les mécanismes de digestion et notamment leurs facteurs de variation.

Les mécanismes de digestion chez la volaille semblent bien connus (Creveieu-Gabriel 1999, Klasing 1999). Cependant, il est encore difficile de comprendre les mécanismes digestifs qui permettent à certaines matières premières d'être mieux digérées que d'autres. Au-delà des mécanismes classiques (sécrétion de pepsine, d'enzymes pancréatiques...), il semble nécessaire de comprendre à quels moments de la digestion des différences peuvent être observées selon la source de protéines utilisée. Une étude expérimentale a été réalisée afin d'étudier les mécanismes impliqués dans la digestion des protéines de pois chez le poulet de chair. La combinaison d'analyses par électrophorèse et western blot avec des anticorps spécifiques des protéines de pois ont permis de montrer que la lectine et la légumine étaient encore présentes en fin de tractus digestif, ce qui témoigne de leur résistance à la digestion (Creveieu *et al* 1997, Gabriel *et al* 2008). Cette approche a également permis de mettre en évidence des protéines endogènes,

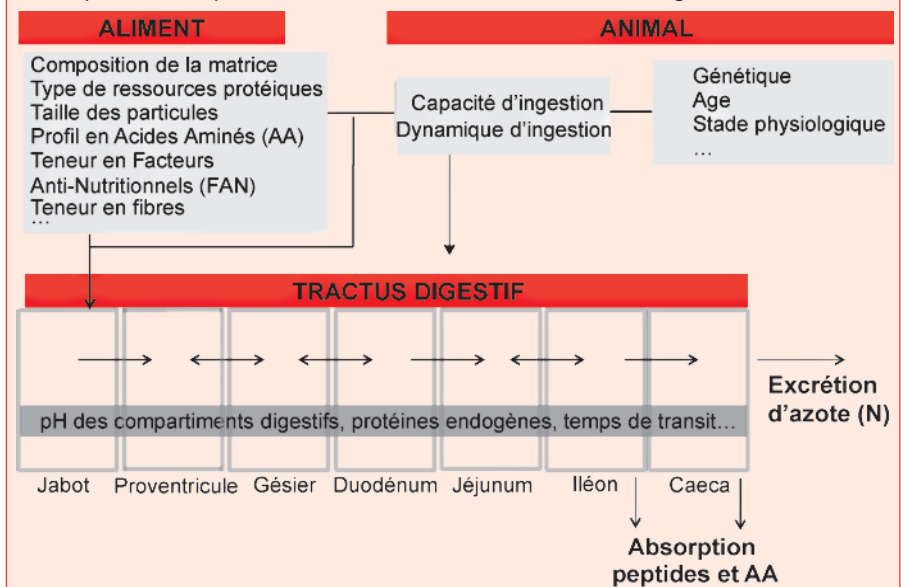
puisqu'elles étaient retrouvées à la fois chez des animaux nourris à base de pois et chez des animaux ayant reçu un régime sans protéine (Creveieu *et al* 1997). A titre de comparaison, ce type d'étude a également été réalisé chez le porc où l'incorporation de différentes variétés de pois dans la ration a été testée. Des analyses par électrophorèse et spectrométrie de masse ont permis d'identifier des protéines alimentaires et des protéines endogènes en fin de tractus digestif (Le Gall *et al* 2003, Le Gall 2004). Ces travaux portant sur le pois méritent d'être généralisés aux autres matières premières protéiques que l'on souhaiterait mieux valoriser dans l'alimentation des volailles.

D'autres travaux de recherche sont en cours afin de mieux comprendre les processus digestifs et notamment de mieux caractériser les spécificités induites par la source de protéines utilisée dans l'aliment, notamment dans le cas de matrices complexes. Il s'agit d'analyser la cinétique d'hydrolyse des protéines dans le tractus digestif, c'est-à-dire d'étudier

comment les protéines alimentaires sont dégradées par les enzymes digestives pour être transformées en peptides et acides aminés absorbables dans l'intestin. La protéomique, bien que peu utilisée jusqu'à présent en sciences animales (coût, manque de données génomiques dans les espèces d'intérêt...) se développe avec l'avancée des technologies relatives à la séparation et l'identification des protéines dans des mélanges complexes que sont les tissus et fluides biologiques. Les travaux en productions animales concernent plutôt les espèces bovines et porcines où la protéomique permet d'identifier des biomarqueurs de la qualité de la viande ou du stress. Plus récemment, les approches de protéomique se développent dans les recherches en production avicole et piscicole (Soares *et al* 2012, Almeida *et al* 2015). L'utilisation d'une telle approche en nutrition avicole permet notamment d'identifier les protéines présentes dans les différents compartiments du tube digestif, qu'il s'agisse de protéines animales (protéases endogènes) ou de protéines végétales et

Encadré 2. Intégrer les connaissances et aller vers une meilleure prédiction de l'utilisation digestive des aliments.

Le principe d'additivité de la valeur nutritionnelle des matières premières n'est pas suffisant pour prédire de manière pertinente la valeur nutritionnelle d'un aliment. Il est en effet nécessaire de mieux prendre en compte la complexité des phénomènes digestifs et les différentes interactions ayant lieu entre composants de la matrice alimentaire, mais également entre aliment et animal. Du fait de la complexité de ces interactions, les facteurs de variation de la digestibilité (stade physiologique, taille des particules alimentaires...) sont généralement étudiés de manière isolée. Le schéma ci-dessous propose une représentation conceptuelle simplifiée de la digestion des protéines chez la volaille et liste les principaux facteurs de variation connus pour moduler l'efficacité digestive. Plusieurs facteurs de variation au niveau de l'aliment, de l'animal et même de la physiologie du tractus digestif vont moduler les mécanismes de digestion des protéines tout au long du tractus digestif pour aboutir à des efficacités d'utilisation digestive différentes et également à des niveaux variables de rejets azotés dans l'environnement. Un des enjeux de la recherche est de pouvoir intégrer l'ensemble des connaissances puis aller, à terme, vers un outil permettant de simuler des conditions variées (aliment, animal) et de prédire la réponse des animaux en terme d'efficacité digestive.



de mettre en évidence des spécificités selon la source de protéines utilisée. Des travaux expérimentaux ont permis de comparer différentes sources de protéines alimentaires et de suivre leur dégradation tout au long du tractus digestif. Les approches classiques par électrophorèse ont été complétées par de la spectrométrie de masse (Recoules *et al* 2015a et b). Ces nouvelles méthodes d'analyse sont prometteuses pour approfondir les connaissances, mais restent encore coûteuses ce qui limite pour l'instant le champ d'investigation. Par ailleurs, les connaissances générées par ces nouvelles approches devront être intégrées afin d'avoir une vision globale et précise de l'effet de la source de protéines de l'aliment et des interactions avec le reste de la matrice alimentaire ou encore avec le tractus digestif sur les mécanismes de digestion et ce, afin de proposer des leviers d'action plus ciblés pour améliorer l'utilisation digestive des ressources protéiques (encadré 2).

b) Sélectionner des animaux efficaces et adaptables

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. En effet, la sélection génétique animale est réalisée pour une production mondiale, avec des aliments à base de maïs et de soja, classiquement utilisés. Ceci ne permet pas une valorisation optimale des matières premières métropolitaines, plus riches en fibres (Grasteau *et al* 2013). Aujourd'hui, la diversification des matières premières utilisées en alimentation animale pour limiter le coût alimentaire, remettent en cause ce modèle de sélection et impliquent d'améliorer l'adaptabilité des animaux face à des aliments de composition plus complexe et plus variable.

Plusieurs études ont montré qu'il est possible d'améliorer l'efficacité alimentaire en sélectionnant les animaux sur la croissance, l'indice de consommation et l'ingestion qui sont des critères héréditaires. La capacité d'un animal à digérer son aliment peut également être un critère de sélection. Ainsi, l'efficacité digestive, évaluée par l'énergie métabolisable apparente corrigée pour un bilan azoté nul

(EMAn), a été utilisée comme critère de sélection chez des poulets de chair de 21 jours et a permis de créer deux lignées : D-, mauvais digesteurs et D+, bons digesteurs. La sélection sur l'énergie métabolisable n'a pas affecté la croissance des animaux, en revanche les digestibilités de l'amidon, des lipides et des protéines ont été améliorées chez les animaux de la lignée D+ (Mignon-Grasteau *et al* 2004). Ces différences entre les deux lignées peuvent notamment s'expliquer par des différences d'ingestion, plus faible pour la lignée D- (Rougière et Carré 2010), et des différences morphologiques au niveau du tractus digestif (Rougière *et al* 2009, De Verdal *et al* 2010). Par exemple, les poids du proventricule et du gésier étaient supérieurs pour les animaux de la lignée D+ par rapport à ceux de la lignée D- (de Verdal *et al* 2011). Ces différences morphologiques peuvent expliquer une meilleure efficacité digestive puisque qu'un proventricule et un gésier mieux développés permettent un meilleur broyage des aliments, une meilleure sécrétion d'enzymes digestives qui contribuent à une meilleure digestion. Rougière *et al* (2010) rapportent également un temps de transit du digesta dans le proventricule et le gésier plus important pour la lignée D+ comparé à la lignée D- ce qui peut être un autre élément d'explication d'une meilleure efficacité digestive. En effet, un temps de rétention plus long améliore l'hydrolyse des nutriments et facilite ainsi leur digestion et absorption au niveau de l'intestin grêle.

Compte-tenu des effets de la sélection sur la morphologie du tractus digestif, il apparaît important de mener conjointement sélection génétique et meilleure compréhension des mécanismes de digestion des protéines afin de bien cibler les leviers d'action potentiels pour aboutir à une meilleure efficacité d'utilisation digestive des protéines.

Conclusion

Bien que le tourteau de soja soit une matière première protéique massivement utilisée en alimentation avicole, plusieurs considérations d'ordre économique, environnemental et social, amènent la filière avicole à développer des alternatives. Qu'il s'agisse d'une production de soja « local » garanti non GM ou bien d'une

meilleure valorisation d'autres matières premières protéiques produites en France (colza, tournesol...), ces solutions permettraient d'améliorer l'autonomie protéique des filières avicoles françaises et la durabilité des systèmes d'élevage. À l'heure actuelle, l'utilisation de ressources protéiques autres que le soja est possible, mais ne permet pas encore d'atteindre les mêmes niveaux de performances zootechniques, excepté pour les productions moins exigeantes en protéines telles que le poulet Label ou le poulet en période de finition. Il est donc nécessaire de poursuivre les efforts sur les matières premières métropolitaines, que ce soit pour augmenter leur disponibilité (soja français et protéagineux), leur teneur en protéines ou encore pour améliorer la digestibilité et la disponibilité de leurs acides aminés.

Avant de réfléchir aux bénéfices économiques dont la filière avicole pourrait bénéficier en réduisant la dépendance protéique vis-à-vis du tourteau de soja, il semble nécessaire d'évaluer la faisabilité technique et logistique. Une fois les leviers identifiés pour mieux valoriser les ressources protéiques métropolitaines, la mise en place de filières de production et de valorisation dédiées pourra les rendre économiquement intéressantes en comparaison au tourteau de soja importé. L'évolution des exigences des cahiers des charges des productions sous signe de qualité, l'autorisation de nouveaux additifs ainsi que les aides à la production sont autant de facteurs dont il faudra tenir compte à l'avenir pour améliorer l'utilisation de matières premières locales.

Utiliser moins de soja, c'est aussi utiliser moins de protéines dans les aliments en optimisant les systèmes de formulation, mais aussi en approfondissant les connaissances sur la physiologie digestive et le métabolisme des oiseaux. Des travaux de recherches portant sur une meilleure compréhension des mécanismes de digestion des protéines et sur la sélection génétique d'animaux plus efficaces sont donc en cours pour mieux cibler les leviers d'action à la fois aux niveaux de l'aliment et de l'animal. Ils permettront d'améliorer l'utilisation digestive d'aliments complexes, incluant des matières premières diversifiées et au profil nutritionnel moins favorable que le tourteau de soja.

Références

- Adeola O., Cowieson A., 2011. Board-invited review: Opportunities and challenges in using exogenous enzymes to improve nonruminant animal production. *J. Anim. Sci.*, 89, 3189-3218.
- Almeida A., Bassols A., Bendixen E., Bhide M., Ceciliani F., Cristobal S., Eckersall P.D., Hollung K., Lisacek F., Mazzucchelli G., McLaughlin M., Miller I., Nally J.E., Plowman J., Renaut J., Rodrigues P., Roncada P., Staric J., Turk R., 2015. Animal board invited review: advances in proteomics for animal and food sciences. *Animal*, 9, 1-17.
- Angel C.R., 2014. What more do we need to know to optimize the use of a protease ? In: Absorption et digestion des protéines : que savons nous et quelles voies d'amélioration ? In : Journ.Techn. DSM. La Chapelle sur Erdre, France, 5 juin 2014.
- Angel C.R., Saylor W., Vieira S.L., Ward N., 2011. Effects of a monocomponent protease on performance and protein utilization in 7- to 22-day-old broiler chickens. *Poult. Sci.*, 90, 2281-2286.
- Bach Knudsen K.E., Hedemann M.S., Lærke H.N., 2012. The role of carbohydrates in intestinal health of pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 173, 41-53.
- Balloun S.L., 1980. Soybean meal in poultry nutrition. American Soybean Association, St. Louis, MO, 122p.
- Becker E.W., 2007. Micro-algae as a source of protein. *Biotechnol. Adv.*, 25, 207-210.
- Bedford M.R., 1995. Mechanism of action and potential environmental benefits from the use of feed enzymes. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 53, 145-155.
- Bernadet M. D., Ducamp C., Guy G., Lessire M., 2010. Définition du taux optimal d'incorporation de tourteau de colza dans la ration alimentaire des canards mulards mâles en phase de croissance et finition. In : 9^{èmes} Journ. Rech. Palmipèdes à Foie Gras, Bordeaux, France, 55-59.
- Beski S.S.M., Swick R.A., Iji P.A., 2015. Specialized protein products in broiler chicken nutrition: A review. *Anim. Nutr.*, 1, 47-53.
- Bouvalet I., Lessire M., Narcy A., Duval E., Grasteau S., Quinsac A., Peyronnet C., Tran G., Heuzé V., 2014. Des sources de protéines locales pour l'alimentation des volailles : quelles voies de progrès ? *Oilseeds & fats Crops and Lipids*, 21, D405.
- Carré B., 2000. Effets de la taille des particules alimentaires sur les processus digestifs chez les oiseaux d'élevage. *INRA Prod. Anim.*, 13, 131-136.
- Cereopa, 2013. Etude interne sur le modèle Prospective Aliment.
- Corpen, 2003. Estimation des rejets d'azote - phosphore - potassium - cuivre et zinc des porcs. Influence de la conduite alimentaire et du mode de logement des animaux sur la nature et la gestion des déjections produites. 44p.
- Cozannet P., Lessire M., Gady C., Métayer J.P., Primot Y., Skiba F., Noblet J., 2010. Energy value of wheat dried distillers grains with solubles in roosters, broilers, layers, and turkeys. *Poult.Sci.*, 89, 2230-2241.
- Creveieu I., Carré B., Chagneau A.M., Quillien L., Gueguen J., Berot S., 1997. Identification of resistant pea (*Pisum sativum* L) proteins in the digestive tract of chickens. *J. Agri. Food Chem.*, 45, 1295-1300.
- Creveieu-Gabriel I., 1999. Digestion des protéines végétales chez les monogastriques. Exemple des protéines de pois. *INRA Prod. Anim.*, 12, 147-161.
- de Verdal H., Mignon-Grasteau S., Jeulin C., Le Bihan-Duval E., Leconte M., Mallet S., Martin C., Narcy A., 2010. Digestive tract measurements and histological adaptation in broiler lines divergently selected for digestive efficiency. *Poult. Sci.*, 89, 1955-1961.
- de Verdal H., Narcy A., Bastianelli D., Chapuis H., Meme N., Urvoix S., Le Bihan-Duval E., Mignon-Grasteau S., 2011. Improving the efficiency of feed utilization in poultry by selection. 1. Genetic parameters of anatomy of the gastro-intestinal tract and digestive efficiency. *BMC Genetics*, 12, 59.
- de Visser C.L.M., Schreuder R., Stoddard F., 2014. The EU's dependency on soya bean import for the animal feed industry and potential for EU produced alternatives. *Oilseeds & fats Crops and Lipids*, 21, D407.
- Deniz G., Gencoglu H., Gezen S.S., Turkmen I.I., Orman A., Kara C., 2013. Effects of feeding corn distiller's dried grains with solubles with and without enzyme cocktail supplementation to laying hens on performance, egg quality, selected manure parameters, and feed cost. *Livest. Sci.*, 152, 174-181.
- Dusart L., Méda B., Protino J., Chevalier D., Dezat E., Chenut R., Ponchant P., Lescoat P., Berri C., Bouvalet I., 2015. Ovali: une méthode d'évaluation de la durabilité des filières avicoles. 2 - Utilisation pour la conception de nouveaux systèmes de production. In : 11^{èmes} Journ. Rech. Avicole et Palmipèdes à Foie Gras, Tours, France, 881-886.
- Eco-alim, 2015. Base ECO-ALIM des impacts environnementaux des matières premières de l'alimentation animale. http://rmtelevagesenvironnement.org/bd_ecoalim.htm.
- Feedipedia, 2015. <http://www.feedipedia.org/>
- France Agrimer, 2015. Données et bilans, viandes rouges, viandes blanches. Consommation des produits carnés en 2014. 150p.
- Freitas D.M., Vieira S.L., Angel C.R., Favero A., Maiorka A., 2011. Performance and nutrient utilization of broilers fed diets supplemented with a novel mono-component protease. *J. Appl. Poult. Res.*, 20, 322-334.
- Fru-Nji F., Klünter A.M., Fischer M., Pontoppidan K., 2011. A Feed Serine Protease Improves Broiler Performance and Increases Protein and Energy Digestibility. *J. Poult. Sci.*, 48, 239-246.
- Gabriel I., Lessire M., Juin H., Burstin J., Duc G., Quillien L., Thibault J.N., Leconte M., Hallouis J.M., Ganier P., Mézière N., Sève B., 2008. Variation in seed protein digestion of different pea (*Pisum sativum* L.) genotypes by cecectomized broiler chickens: 1. Endogenous amino acid losses, true digestibility and in vitro hydrolysis of proteins. *Livest. Sci.*, 113, 251-261.
- Grasteau S., Narcy A., Tran T.S., De Verdal H., Bastianelli D., Juin H., Carré B., 2013. Variabilité génétique de l'efficacité alimentaire en régime alimentaire suboptimal chez le poulet de chair: perspectives pour la sélection. In : 10^{èmes} Journ. Rech. Avicole et Palmipèdes à Foie Gras, La Rochelle, France, 502-506.
- Guerreiro L., 2014. Sélection du soja en France : les défis à relever. In : Coll. National soja, Toulouse, France, 20-30.
- Hébel P., Siounandan N., Lehuède F., 2009. Le consommateur va-t-il changer durablement de comportement avec la crise ? *Cahier de recherche*, 268, 90p.
- Hébingier H., Labalette F., 2014. Le soja en Europe et en France - Un net regain d'intérêt pour la culture. Coll. National soja, Toulouse, France, 10-19.
- Henrion A., 2012. Comment relancer la production et l'utilisation de protéines végétales françaises à partir de protéagineux et de soja ? In : Coll. Légumineuses à graines, Paris, France, 6p.
- INRA-AFZ, 2004. Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage. INRA Editions, Paris, France, 301p.
- Jiménez-Moreno E., Chamorro S., Frikha M., Safaa H.M., Lázaro R., Mateos G.G., 2011. Effects of increasing levels of pea hulls in the diet on productive performance, development of the gastrointestinal tract, and nutrient retention of broilers from one to eighteen days of age. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 168, 100-112.
- Jiménez-Moreno E., Frikha M., de Coca-Sinova A., García J., Mateos G.G., 2013. Oat hulls and sugar beet pulp in diets for broilers 1. Effects on growth performance and nutrient digestibility. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 182, 33-43.
- Kamel N.F., Naela, Ragaa M., El-Banna R.A., Mohamed F.F., 2015. Effects of a Monocomponent Protease on Performance Parameters and Protein Digestibility in Broiler Chickens. *Agricult. and Agricult. Sci. Procedia*, 6, 216-225.
- Khan S., Naz S., Sultan A., Alhidary I.A., Abdelrahman M.M., Khan R.U., Khan N.A., Khan M.A., Ahmad S., 2016. Worm meal: a potential source of alternative protein in poultry feed. *WPSJ*, 72, 93-102.
- Klasing K.C., 1999. Avian gastrointestinal anatomy and physiology. *Semin. Avian Exot. Pet.*, 8, 42-50.
- Klein S., Thoraval Y., Mathiaud A., Mansuy E., 2015. Etude des effets du broyage des matières premières avec un broyeur à disques sur la granulométrie et la digestibilité de l'aliment chez le poulet de chair. In : 11^{èmes} Journ. Rech. Avicole et Palmipèdes à Foie Gras, Tours, France, 514-518.
- Labalette F., Bourrel C., Jouffret P., Lecomte V., Quinsac A., Ledoux S., 2010. Panorama et

- futur de la filière du soja français. *Oilseeds & fats Crops and Lipids*, 17, 345-355.
- Lacassagne L., 1988. Alimentation des volailles : substituts au tourteau de soja. 1. Les protéagineux. *INRA Prod. Anim.*, 1, 47-57.
- Laudadio V., Tufarelli V., 2011. Influence of substituting dietary soybean meal for dehulled-micronized lupin (*Lupinus albus* cv. Multitalia) on early phase laying hens production and egg quality. *Livest. Sci.*, 140, 184-188.
- Le Gall M., Salgado P., Hess V., Duc G., Quillien L., Sève B., 2003. Identification des protéines de pois indigestibles au niveau iléal chez le porc en croissance, effet variétal et technologique. In : 35^{èmes} Journ. Rech. Porcine, Paris, France, 35, 121-126.
- Le Gall M., 2004. Digestion des protéines de poids chez le porcelet et le porc en croissance : caractérisation des peptides résistants à la digestion. PhD, Ecole Nationale Supérieure Agronomique, Rennes, France, 202p.
- Lessire M., Meda B., Dusart L., Hallouis J.M., Bordeau T., Souchet C., Mercierand F., Hatté C., Bouvarel I., Berri C., 2015. Remplacement du tourteau de soja par des matières premières riches en protéines : évaluation multicritère chez le poulet de chair à croissance intermédiaire. In : 11^{èmes} Journ. Rech. Avicole et Palmipèdes à Foie Gras, Tours, France, 893-898.
- Mack S., Bercovici D., De Groote G., Leclercq B., Lippens M., Pack M., Schutte J.B., Van Cauwenberghe S., 1999. Ideal amino acid profile and dietary lysine specification for broiler chickens of 20 to 40 days of age. *Br. Poult. Sci.*, 40, 257-265.
- Makkar H.P.S., Tran G., Heuzé V., Ankers P., 2014. State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 197, 1-33.
- Martin N., 2014. What is the way forward protein supply ? The European perspective. *Oilseeds & fats Crops and Lipids*, 21, D403.
- Méda B., Lessire M., Dusart L., Hallouis J.M., Bordeau T., Souchet C., Mercierand F., Hatté C., Bouvarel I., Berri C., 2015. Remplacement du tourteau de soja par des matières premières riches en protéines : évaluation multicritère chez le poulet de chair de type label rouge. In : 11^{èmes} Journ. Rech. Avicole et Palmipèdes à Foie Gras, Tours, France, 1082-1087.
- Mignon-Grasteau S., Muley N., Bastianelli D., Gomez J., Peron A., Sellier N., Millet N., Besnard J., Hallouis J.M., Carré B., 2004. Heritability of digestibilities and divergent selection for digestion ability in growing chicks fed a wheat diet. *Poult. Sci.*, 83, 860-867.
- Mikulski D., Zduńczyk Z., Juśkiewicz J., Rogiewicz A., Jankowski J., 2014. The effect of different blue lupine (*L. angustifolius*) inclusion levels on gastrointestinal function, growth performance and meat quality in growing-finishing turkeys. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 198, 347-352.
- M'Sadeq S.A., Wu S., Swick R.A., Choct M., 2015. Towards the control of necrotic enteritis in broiler chickens with in-feed antibiotics phasing-out worldwide. *Animal Nutrition*, 1, 1-11.
- Palander S., Laurinen P., Perttilä S., Valaja J., Partanen K., 2006. Protein and amino acid digestibility and metabolizable energy value of pea (*Pisum sativum*), faba bean (*Vicia faba*) and lupin (*Lupinus angustifolius*) seeds for turkeys of different age. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 127, 89-100.
- Peillod C., Mancini V., Métayer J.P., Skiba F., Laborde M., 2010. Détermination du taux optimal d'incorporation des drêches de maïs dans la ration alimentaire des canards mulards mâles en phase de croissance et finition. In : 9^{èmes} Journ. Rech. sur les Palmipèdes à Foie Gras, Bordeaux, France, 49-53.
- 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. *Oilseeds & fats Crops and Lipids*, 19: 341-346.
- Prolea, 2012. De la production à la consommation. France – Europe – Monde. Statistiques des oléagineux et protéagineux 2012-2013. 50p.
- Protino J., Magdelaine P., Berri C., Méda B., Ponchant P., Dusart L., Chevalier D., Dezat E., Lescoat P., Bouvarel I., 2015. Ovali: Une méthode d'évaluation de la durabilité des filières avicoles. 1- utilisation pour évaluer l'existant et identifier des marges de progrès. In : 11^{èmes} Journ. Rech. Avicole et Palmipèdes à Foie Gras, Tours, France, 1047-1054.
- Quinsac A., Bouvarel I., Buffo P., Burghart P., Carré P., Duroueix F., Evrard J., Larroude P., Leroux Y., Lessire M., Loison J.P., Métayer D., Pages X., Raimbault J., 2005. Intérêt de différents tourteaux de soja partiellement déshuilés par extrusion-pression, pour l'élevage de poulets "label". In : 6^{èmes} Journ. Rech. Avicole, St-Malo, France, 30-31 mars 2005, 82.
- Quinsac A., Auger B., Carré P., Nesi N., Peyronnet C., Rakow G., Relf-Eckstein J., Renard M., Lessire M., 2013. Comparison of yellow seed trait and dehulling effects on the chemical composition and nutritional value of rapeseed meal. In: GCIRC Technic. Meet., Changins, Switzerland, 1p.
- Recoules E., Sabbah-Jourdan H., Narcy A., Lessire M., Harichaux G., Duclos M.J., Réhault-Godbert S., 2015a. Caractérisation des protéines dans le tractus digestif de poulets de chair nourris avec quatre matières premières protéiques différentes. In : 11^{ème} Journ. Rech. Avicole et Palmipèdes à Foie Gras, Tours, France, 534-538.
- Recoules E., Sabbah-Jourdan H., Narcy A., Lessire M., Harichaux G., Duclos M.J., Réhault-Godbert S., 2015b. Identification of protein fractions in digesta of broilers fed with four different protein sources. In: 20th Europ. Symp. Poult. Nutr., Prague, Czech republic, 236.
- Rougière N., Gomez J., Mignon-Grasteau S., Carré B., 2009. Effects of diet particle size on digestive parameters in D+ and D- genetic chicken lines selected for divergent digestion efficiency. *Poult. Sci.*, 88, 1206-1215.
- Rougière N., Carré B., 2010. Comparison of gastrointestinal transit times between chickens from D+ and D- genetic lines selected for divergent digestion efficiency. *Animal*, 4, 1861-1872.
- Sánchez-Muros M.J., Barroso F.G., Manzano-Agugliaro F., 2014. Insect meal as renewable source of food for animal feeding: a review. *J. Clean. Prod.*, 65, 16-27.
- Soares R., Franco C., Pires E., Ventosa M., Palhinhas R., Koci K., Martinho de Almeida A., Varela Coelho A., 2012. Mass spectrometry and animal science: Protein identification strategies and particularities of farm animal species. *J. Proteomics*; 75, 4190-4206.
- Thomas A., Schneider A., Pilorge E., 2013. Politiques agricoles et place du colza et du pois dans les systèmes de culture. *Agron. Env. & Soc.*, 3, 61-73.
- Vigani M., Parisi C., Rodríguez-Cerezo E., Barbosa M.J., Sijtsma L., Ploeg M., Enzing C., 2015. Food and feed products from micro-algae: Market opportunities and challenges for the EU. *Trends Food Sci. & Technol.*, 42, 81-92.
- Vilarinho M., Métayer J.P., Crépon K., Duc G., 2009. Effects of varying vicine, convicine and tannin contents of faba bean seeds (*Vicia faba* L.) on nutritional values for broiler chicken. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 150, 114-121.

Résumé

L'apport protéique dans les aliments pour volailles est principalement réalisé avec du tourteau de soja essentiellement importé d'Amérique du Sud. Cependant, cette dépendance protéique pose plusieurs problèmes d'ordre économique (concurrence et volatilité des prix), environnemental (transport, déforestation) et sociétal (soja OGM mal accepté par les consommateurs). Dans un objectif de développement durable, la dépendance protéique vis-à-vis du soja pose question. L'utilisation de matières premières locales riches en protéines (tourteaux de colza, tournesol, pois,...) a été étudiée. Plusieurs voies permettant de réduire leur teneur en facteurs antinu-tritionnels (génétique, procédés technologiques) ou d'améliorer la disponibilité des nutriments (utilisation d'enzymes exogènes, traitements technologiques) pour augmenter leur incorporation dans les aliments volailles ont déjà été explorées. Cependant, d'autres voies existent et nécessitent des approfondissements. Au niveau agronomique, un enjeu important est de mettre au point des itinéraires techniques innovants impliquant de nouvelles variétés de soja adaptées aux différentes conditions pédoclimatiques françaises. Des progrès peuvent être escomptés en termes de process technologiques avec notamment un décorticage plus poussé du tournesol afin d'augmenter sa teneur en protéines. Des travaux sont initiés afin de mieux comprendre les mécanismes de digestion et de mieux appréhender le rôle de la sélection génétique pour aller vers une meilleure valorisation des matières premières par les animaux. Il semble nécessaire de poursuivre les recherches à travers des actions conjointes des acteurs de l'amont et l'aval de la filière afin de proposer des solutions permettant une meilleure utilisation des matières premières locales et de tendre vers des systèmes d'alimentation plus durables.

Abstract

Protein self-sufficiency in France: what is the future for poultry productions?

Protein supply in poultry diets is mainly based on soybean meal, imported from South America. This protein dependency has negative impacts on different aspects: economic (high price volatility), environmental (transport, deforestation) and social (GMO soybean unaccepted by consumers). To go towards a sustainable development, this protein dependency is questionable. The use of local protein sources (rapeseed meal, sunflower meal, pea...) in poultry diets is possible. Previous works have led to a decrease in antinutritional factor content (genetic, technological process) or an increase in nutrient bioavailability (exogenous enzymes) allowing an increase in the use of these protein sources in poultry diets. However, improvements still need to be made. Regarding plant production, one important challenge is to develop crop management techniques that include new varieties of soya which are better adapted to French pedoclimatic conditions. Progress can also be expected regarding technological process with a higher sunflower meal dehulling that would allow an increase in its protein content. Studies focusing on a greater understanding of protein digestion mechanisms have started and aim to increase the valorization of local protein sources by poultry. For these purposes, different actors in crop and animal productions have to join in order to identify and propose solutions to go towards sustainable poultry feeding systems.

RECOULES E., BREVAULT N., LE CADRE P., PEYRONNET C., BOUVAREL I., LESSIRE M., 2016. L'autonomie protéique : état des lieux et voies d'amélioration pour l'alimentation des volailles. INRA Prod. Anim., 29, 129-140.