

VERS UNE AUTONOMIE PROTEIQUE EN ALIMENTATION DU POULET DE CHAIR : COMMENT AMELIORER LA VALORISATION DES TOURTEAUX DE COLZA ET DE TOURNESOL ?

Danel Justine¹, Pampouille Eva², Gouyo Têko³, Vilariño Maria⁴, Carré Patrick³

¹ARVALIS, Rue de L'Etang, GranCastel, 56800 Ploërmel, France

²Institut Technique de l'Aviculture, Centre INRA Val-de-Loire, 37380 Nouzilly, France

³Terres Inovia, 11 rue Monge, Parc industriel, 33600 Pessac, France

⁴ARVALIS, Station Expérimentale, 2 Poulaine, 41100 Villers-les-Moines, France

j.danel@arvalis.fr ; p.carre@terresinovia.fr

RÉSUMÉ

L'objectif d'accroissement de la souveraineté protéique nationale va de pair avec la diminution, voire le remplacement du tourteau de soja (TS) importé par des sources de protéines locales. Pour se faire, il est essentiel de trouver des matières premières avec des profils nutritionnels intéressants. Une piste serait la transformation d'oléoprotéagineux (colza et tournesol notamment) par des procédés technologiques permettant d'accroître l'efficacité nutritionnelle des tourteaux, afin de s'approcher des performances zootechniques des TS importés. Ainsi, des travaux ont été effectués afin de produire des tourteaux avec des taux de fibres réduits, mais ne subissant pas de traitement thermique excessif afin de ne pas dégrader les protéines qu'ils contiennent. À la suite de décorticage / dépelliculage, un procédé associant Pression-Extrusion-Pression a été évalué. Pour chaque graine, deux niveaux de décorticage (D55 et D90) et deux niveaux de matière grasse résiduelle (MG5 et MG10) ont été produits. Les lots obtenus sont proches des objectifs, avec une réalisation satisfaisante. Ils ont des taux de fibres réduits et des teneurs en protéines augmentées. Les digestibilités des nutriments de ces tourteaux de tournesol (TT) et de colza (TC) ont été évaluées sur poulet de chair à croissance rapide (4TT et 4 TC) et à croissance lente (3TT et 3 TC). Les résultats sont encourageants, avec une réelle plus-value des procédés sur les valeurs nutritionnelles. Plus la valeur en fibres est diminuée, plus la valeur énergétique est élevée. Une matière grasse plus élevée semble avoir une incidence négative sur la valorisation des protéines pour les poulets à croissance rapide. Enfin, des aliments complets contenant soit du TS soit un des tourteaux expérimentaux (3 TT et 2 TC) ont été testés dans un essai de performances sur poulets de chair à croissance rapide. Dans ce dispositif, le poids vif final et le gain moyen quotidien des animaux ayant reçu le régime TS sont significativement supérieurs à ceux ayant reçu les régimes à base de TT et TC expérimentaux ($P < 0,001$). Cependant, les consommations et les indices de consommation ne varient pas de façon significative entre les groupes.

ABSTRACT

Towards protein autonomy in broiler feed: how to improve the valorisation of rapeseed and sunflower meals?

The aim of increasing national protein sovereignty goes hand in hand with the reduction or even replacement of imported soybean meal (SBM) with local protein sources. To do this, it is essential to find raw materials with interesting nutritional profiles and one alternative would be the transformation of oilseeds (rapeseed and sunflower in particular) by technological processes making it possible to increase the nutritional efficiency of the meals, to approach the zootechnical performances of imported SBM. Thus, work has been carried out to produce cakes with reduced fibre levels, but not subject to excessive heat treatment so as not to degrade the proteins they contain. Following dehulling, a process combining Pressure-Extrusion-Pressure was evaluated. For each seed, two levels of dehulling (D55 and D90) and two levels of residual fat (F5 and F10) were produced. The batches obtained are close to the objectives, with satisfactory achievement. They have reduced fibre levels and increased protein contents. The nutrient digestibility of these sunflower (SFM) and rapeseed (RSM) meals were evaluated on fast-growing (4 SFM and 4 RSM) and slow-growing (3 SFM and 3 RSM) broilers. The results are encouraging, with real added value of the processes in terms of nutritional values. The lower is the fibre value, the higher is the energy value. Higher fat appears to negatively impact protein valorisation for fast-growing chickens. Finally, complete feeds containing either SBM or one of the experimental meals (3SFM and 2RSM) were tested in a performance trial on fast-growing broilers. In this trial, the final live weight and the average daily gain of the animals having received the SBM diet are significantly higher than those having received the diets based on experimental SFM and RSM ($P < 0.001$). However, consumption and feed conversion ratio do not vary significantly between the groups.

INTRODUCTION

L'aviculture est un débouché important des filières de grandes cultures en France et apporte un complément de revenu à de nombreuses exploitations de polyculture-élevage, garantissant ainsi leur pérennité. Pourtant, en Europe, près de 65 % des protéines végétales (tourteaux) consommées par l'élevage sont importées (45 % en France ; Terres Inovia, 2023). En effet, l'autonomie protéique de l'alimentation des volailles est en France d'environ 40 %, en raison notamment d'importations massives de tourteau de soja (TS), très concurrentiel sur le plan économique et nutritionnel. Cette matière première riche en protéines (MPRP), qui constitue en moyenne près d'un quart de la ration des volailles, a un profil nutritionnel particulièrement bien adapté à ces espèces (teneur élevée en protéines digestibles et bon profil en acides aminés (AA)) (Recoules *et al.*, 2016). Elle pose cependant différents problèmes cruciaux aujourd'hui en France : volatilité des prix avec une forte compétition de la ressource au niveau mondial, conséquences environnementales liées au transport et à la déforestation dans plusieurs zones de production, non bouclage du cycle de l'azote sur le territoire et culture principalement sous forme d'OGM qui sont massivement rejetés par les citoyens (de Visser *et al.*, 2014 ; Lassaletta *et al.*, 2014).

A ce jour, la production métropolitaine de soja est encore trop faible bien qu'en progression (215 000 t en 2014 et 439 000 t en 2021) (Agreste, 2023). Compte-tenu des avantages du TS importé, différentes voies doivent être étudiées pour permettre d'augmenter la production et l'utilisation des MPRP locales en aviculture. La mise en œuvre de ces différentes solutions doit reposer sur une évaluation de leur impact sur le plan économique, mais aussi environnemental et social.

Dans l'objectif d'améliorer la valorisation des tourteaux, différents axes de travail peuvent être mis en avant comme l'ont précisé Khajali *et al.* (2012). Ainsi, la sélection génétique sur les graines (exemple du canola), les travaux sur les procédés technologiques (dépelliculage, décortilage), la préservation des AA aminés, en réduisant l'exposition aux traitements thermiques excessifs ou l'utilisation d'enzymes sont des pistes pour une meilleure valorisation nutritionnelle des tourteaux par les volailles. La finalité est d'augmenter la quantité de protéines disponibles dans le tourteau ainsi que de réduire le niveau de fibres, non digérées par les volailles.

Des premiers travaux sur la valorisation de nouvelles MPRP, dans le cadre du projet CASDAR VOCALIM, ont montré que des procédés technologiques permettent de mieux valoriser ces ressources sans altérer les performances ou la santé des animaux (Danel *et al.*, 2019 ; Pampouille *et al.*, 2021). Comme 73 % des fibres sont concentrées dans la pellicule pour le colza et 85 % pour le tournesol (Carré, 2021), il semblait intéressant de travailler sur des procédés de

décortilage / dépelliculage afin de diminuer le taux de fibres dans les tourteaux. L'émergence du tourteau de tournesol décortiqué HiPro (TThp) montre qu'une MPRP d'origine métropolitaine peut être valorisée en alimentation des volailles en substitution du TS, mais la production française reste limitée et la majorité des volumes provient principalement de l'import de la région Mer Noire.

L'un des objectifs du projet VALOAVAL, mené dans le cadre du programme CAP PROTEINES, était d'accroître l'efficacité nutritionnelle des tourteaux de colza et tournesol et de s'approcher des performances zootechniques des TS importés, par l'intermédiaire de procédés technologiques transférables au niveau industriel, l'un des axes les plus intéressants à court terme.

1. UNE TRANSFORMATION INNOVANTE POUR AMELIORER LE PROFIL NUTRITIONNEL DES TOURTEAUX

1.1. Pourquoi des tourteaux expeller de graines décortiquées ?

Si le tourteau de colza (TC) est actuellement la première ressource nationale de protéines concentrées, cette ressource souffre d'un triple déficit qualitatif par rapport au TS. Le premier est un déficit protéique : avec 38,1 contre 52,6 % MS pour le TS48. La cause principale est la présence de coques qui représentent 18 % de la masse des graines et près d'un tiers de celui des tourteaux. Le second est un déficit énergétique causé par la richesse en fibres lignifiées de la graine de colza : 1630 contre 2560 kcal/kg MS d'énergie métabolisable apparente à bilan azoté nul (EMAn) chez le poulet pour respectivement TC et TS (Tables INRAE-CIRAD-AFZ, 2017). Le troisième déficit est un différentiel de digestibilité des nutriments et de teneur en lysine toujours en faveur du TS. La teneur en lysine dans la protéine native des deux graines est presque similaire (6,2 %), cependant après transformation en tourteaux, la lysine ne représente plus que 5,3 % des AA pour le TC alors que le taux n'a pas varié dans le cas du TS. De plus, cette lysine est moins digestible pour le TC (78 vs. 88 % - digestibilité iléale poulet). La cause de cette double perte est l'effet d'un traitement technologique plus sévère lié à la capacité du TC à retenir le solvant, elle-même causée par la présence des pellicules dont il a été démontré par Wolff (1983) qu'elles ont un fort pouvoir d'adsorption de l'hexane. En conséquence, les tritrateurs sont contraints d'allonger la durée de la désolvantation exposant ainsi une protéine sensible à la chaleur aux effets des réactions de Maillard.

Dans le cas du tourteau de tournesol non-décortiqué (TT), l'enveloppe fibreuse est encore plus importante puisqu'elle représente 25 % de la graine et presque 50 % du tourteau. Celui-ci, lorsqu'il est issu de graines non décortiquées, est donc encore moins riche que le

TC (protéines : 30,7 % MS, EMAn poulet : 1470 kcal/kg MS).

Pour une meilleure valorisation des graines produites en France, il serait par conséquent très intéressant de produire des tourteaux issus de graines dépelliculées (Danel *et al.*, 2019), mais des barrières technologiques bloquent le développement de ces tourteaux de qualité. Pour le tournesol, il est techniquement possible de réduire de 50 à 70 % la teneur en coques ce qui permet de fournir au marché une qualité avec 40,4 % MS de matières azotées totales (MAT) et 1720 kcal/kg MS d'EMAn. Toutefois, aller au-delà de cette qualité pour le TT ou simplement tenter de décortiquer plus, entraîne un risque de perte de matière grasse (MG) dans les coques, ceci causé par la difficulté de bien séparer les enveloppes des amandes. Ce problème n'a pas été traité dans le cadre du projet car d'autres travaux sont en cours à ce sujet.

Le second obstacle technique est une difficulté accrue d'extraire mécaniquement l'huile des graines décortiquées. Cette difficulté s'explique par la moindre perméabilité du gâteau de pressage (phase solide issue par la trituration) en l'absence des coques. Lors de la compression, celles-ci permettent de maintenir un réseau de capillaires favorables au drainage de l'huile. La solution qui a été testée au cours du projet est le procédé pression-extrusion-pression (PEP) qui consiste à remplacer l'extraction au solvant par une seconde extraction mécanique précédée par un passage dans un extrudeur. L'extrusion permet de faciliter l'extraction de l'huile résiduelle en cisailant les parois des cellules et en réduisant la viscosité de l'huile par chauffage.

Le procédé PEP présente d'autres avantages dans un contexte de recherche de réduction des impacts environnementaux. Contrairement à l'extraction par solvant, il ne nécessite pas d'installations complexes et dangereuses et permet ainsi de rendre viables des unités industrielles de moindre capacité à l'échelle d'un territoire. Le changement d'échelle limite les distances que doivent parcourir les graines et les tourteaux, facilite la traçabilité des tourteaux et dynamise l'économie locale. De plus, la technologie PEP consomme moins d'énergie car une seule opération de cuisson a lieu au cours du traitement au lieu de deux pour les tourteaux conventionnels (extraction à l'hexane). Côté carbone, l'extrusion fonctionne à l'énergie électrique moins émettrice que l'énergie thermique mise en œuvre dans les unités utilisant l'hexane. Sans atteindre les rendements d'extraction du procédé conventionnel, la PEP permet néanmoins de limiter les teneurs en huile résiduelle dans les tourteaux en-dessous de 6 % et cause moins de dommages aux protéines car de plus courte durée. La qualité de l'huile est également améliorée avec une proportion importante d'huile de première pression à froid facile à raffiner.

La PEP présente malgré tout quelques inconvénients : une énergie plus chère au kWh, des coûts de maintenance plus importants et un procédé plus délicat

à piloter avec des risques de bourrage au niveau de l'extrudeur. De plus, ce procédé est plus sensible à la teneur en eau initiale des graines.

D'importants travaux de R&D sont en cours pour trouver une solution à la question du premier pressage à froid, c'est pourquoi il a paru nécessaire de confirmer l'intérêt en nutrition animale de ces tourteaux PEP.

1.2. Production des tourteaux expérimentaux

Les graines de colza et de tournesol oléique utilisées pour cette expérimentation (2 x 5000 kg) sont issues de lots commerciaux sans ségrégation variétale de la récolte 2020.

Le décortiquage des graines a été réalisé en utilisant un impacteur CPM « Ripple-flow » constitué d'un batteur horizontal de 250 mm de diamètre et d'une cible constituée d'une tôle ondulée permettant le rebond des graines pour multiplication du nombre des impacts. La séparation entre amandes et enveloppes a été réalisée sur un trieur combiné comprenant des tamis et un système d'aspiration (nettoyeur séparateur Denis D50). Pour le tournesol, la finition du tri des amandes a été réalisée à la table densimétrique KipKelly SY (lit fluidisé incliné agité de secousses).

Le pressage des amandes de colza en première et seconde pression a été réalisé sur une presse Olexa MBU 20 de 7 kW. Pour le tournesol, une presse MBU 75 de 22 kW a été utilisée en première pression et une presse MBU 20 pour la seconde pression. Les extrusions ont été faites au moyen d'un extrudeur France Extrusion de 80 mm de diamètre et d'une puissance de 30 kW. La teneur en MG des tourteaux a été contrôlée sur un spectromètre à RMN basse résolution « Minispeq 10 » Bruker.

Le protocole de préparation des tourteaux expérimentaux comprenait les étapes suivantes : ① nettoyage des graines sur le nettoyeur séparateur ; ② passage au décortiqueur ; ③ séparation des pellicules ou des coques par aspiration combinée à la séparation des graines non décortiquées et des amandes par tamisage ; ④ pour le tournesol uniquement, séparation entre amandes et graines partiellement décortiquées sur table densimétrique ; ⑤ recyclage des graines non décortiquées et partiellement décortiquées sur l'impacteur puis retour aux étapes ③&④ jusqu'à réduction de la fraction « partiellement décortiquée » permettant de disposer des quantités désirées d'amandes décortiquées à 90 % (± 5 % ; D90) et de graines partiellement décortiquées ; ⑥ Ajustement des taux de décortiquage (production d'amandes pures à 90 % (D90) et une teneur en coques de l'ordre de 55 % (D55)). Pour atteindre la cible, une partie des amandes D90 a été mélangée aux résidus partiellement décortiqués, la mesure de MG servant de marqueur pour cette détermination ; ⑦ La première pression a été faite à faible vitesse de rotation ; ⑧ L'extrusion a été paramétrée de manière à atteindre la cible de MG résiduelle en jouant sur l'entrefer de la filière ; ⑨ La seconde pression a été réalisée sur la presse MBU 20.

L'objectif des traitements technologiques était de produire des tourteaux avec deux niveaux de décortilage, et deux niveaux de MG résiduelle. Les tourteaux sont identifiés selon le codage suivant : Tg/Dx/MGy avec T : type de tourteau (g=C pour colza, ou T pour tournesol), D : niveau de décortilage (x=55 ou 90 %) et MG, taux de MG résiduelle (y=5 ou 10 %). Les tourteaux ont été produits en deux campagnes dans des conditions similaires à partir des mêmes graines de départ. En première pression, les presses ont fonctionné avec des débits de 50, 60, 149 et 51 kg/h pour respectivement les tourteaux TC/D90, TC/D55, TT/D90, TT/D55. L'extrudeur avait une vitesse de rotation de 400-410 RPM. Les températures mesurées en extrusion étaient de 94-97°C pour TC/D55, 95-115°C pour TC/D90, 125-130°C avec TT/D55 et 95-100°C avec TT/D90. Pour obtenir des teneurs en huile différenciées, la principale action a été de modifier la vitesse de rotation de la presse de finition : 7-8 vs. 11-13 RPM pour les TC et 7-8 vs. 12-15 RPM pour les TT. Le tableau 1 présente les résultats d'analyses des 8 tourteaux obtenus (moyenne des 2 lots). Les teneurs en MG après hydrolyse révèlent des niveaux supérieurs à la méthode sans hydrolyse comme attendu. Ce différentiel ici s'avère plus important pour les tourteaux visant 5 % d'huile résiduelle (+ 1,6 vs. + 0,9 %). L'espèce n'a pas d'effet sur la teneur en MG, il y a 0,5 % d'huile en plus dans les tourteaux les mieux décortiqués (D90 vs. D55) et 4,3 % d'huile en plus dans les tourteaux MG10 vs. MG5. Le différentiel lié au niveau de décortilage illustre la problématique de l'extraction des matrices bien décortiquées mais son niveau limité montre le potentiel du procédé PEP pour en limiter les conséquences. Le différentiel entre tourteaux MG10 et MG5 est proche des objectifs initiaux. Concernant la MAT, tous les paramètres ont un effet significatif : espèce (TT>TC : + 4,8 %), décortilage (D90>D55 : + 6,5 %) et cible MG (MG5>MG10 : + 2,4 %). Le meilleur TC (TC/D90/MG5) présente une teneur en MAT de 45,3 % MS tandis que le meilleur TT (TT/D90/MG5) est à 52,0 % MS. Les solubilités KOH des protéines sont préservées (> 90%, sauf pour TC/D55/MG5 et TT/D55/MG10). Dans les TC, les teneurs en glucosinolates sont également élevées. La concentration liée au décortilage et à l'absence de dégradation thermique l'explique facilement. Ce point est problématique car la réglementation fixe un seuil de 30 µMol/g de glucosinolates dans les TC. Il est également susceptible de générer des problèmes d'ingestion et de croissance chez les monogastriques.

2. VALEUR NUTRITIONNELLE DES TOURTEAUX EXPELLER CHEZ LES VOLAILLES

Certains freins existent à l'utilisation des tourteaux. En effet, plusieurs facteurs antinutritionnels (FAN) sont présents comme les fibres (en majorité dans les coques et pellicules) et les glucosinolates (plutôt dans

l'amande ; uniquement pour le colza). En effet, les TC contiennent 2,2 fois plus de fibres (NDF) que les TS et les TT 2,4 à 3,2 fois plus que les TS selon qu'ils soient décortiqués ou non (Tables INRAE-CIRAD-AFZ, 2017), notamment lié à la proportion de coques ou de pellicules par rapport au volume de la graine. Quant aux glucosinolates, ils ne sont pas toxiques mais les produits de dégradation, issus de l'action soit de la myrosinase, soit de la chaleur, soit des faibles pH, peuvent être nocifs. Ces produits seraient notamment amers et diminueraient ainsi l'appétence des aliments (Tripathi *et al.*, 2007).

A noter qu'un des points importants dans l'utilisation de procédés technologiques qui utilisent la chaleur comme moyen de réduction des FAN, est la maîtrise de la température afin d'éviter les réactions de Maillard potentiellement responsables d'un endommagement des protéines, et donc d'une diminution de la digestibilité aussi bien des protéines que des AA.

2.1. Caractéristiques des lots évalués et dispositif expérimental VALOAVAL

Afin de connaître leur digestibilité, les tourteaux, produits pour le projet et présentés précédemment (tableau 1), ont été évalués dans deux essais menés à la station expérimentale d'ARVALIS (Villerville, France). Les aliments expérimentaux sont constitués de 69,9 % d'un aliment dit « complémentaire » (maïs, TS, blé, huile de soja), de 25 % du tourteau à tester et de 5,1 % d'un aliment minéral et vitaminé (avec des AA de synthèse). Du dioxyde de titane a été introduit à 0,5 % dans les aliments en tant que marqueur indigestible, ce qui permet de mesurer la digestibilité sans faire une mise à jeun. Les aliments ont été présentés en granulés et aucun additif anticoccidien ni enzymes n'ont été ajoutés.

Les tourteaux expeller produits expérimentalement avec les pilotes ont été évalués sur poulets mâles, de type croissance rapide (souche ROSS 308) d'une part (4 TC + 4 TT), puis de type croissance lente (souche JA 657) d'autre part (3TC + 3 TT). Les animaux ont reçu les aliments expérimentaux à partir de J14. Les bilans digestifs ont été réalisés de J22 à J25 sur les poulets à croissance rapide et de J43 à J46 sur les poulets à croissance lente. Les performances de croissance des animaux ont été suivies afin de s'assurer que les tourteaux n'avaient pas d'effet négatif sur leur ingestion et leur croissance. La méthodologie et les analyses sont similaires à ce qu'ont présenté Danel *et al.* (2019).

Pour chaque tourteau, ont été calculés les coefficients d'utilisation digestive apparente au niveau fécal (CUDaf) de l'énergie et de la protéine en individuel, de la MG sur un pool et les valeurs d'EMAn pour chaque tourteau.

2.2. Résultats des essais de digestibilité du projet VALOAVAL

Aucun problème de consommation d'aliments n'a été détecté. Les valeurs de digestibilité des tourteaux sont

présentées dans le tableau 2. Une comparaison est faite par type de tourteau puis par niveau de décortilage / dépelliculage ou par niveau de MG résiduelle. Les différences obtenues selon les souches sont également mises en avant selon les comparaisons faites.

2.2.1. Tourteaux de colza

Pour les poulets de souche à croissance rapide (ROSS 308), pour un même niveau de décortilage, la digestibilité des protéines est stable pour le TC partiellement décortiqué (D55) entre les deux MG mais augmente pour le TC décortiqué (D90) avec l'augmentation de la MG. Pour un même niveau de MG, la digestibilité des protéines est améliorée avec un décortilage plus poussé ($P < 0,01$).

Sur le plan énergétique, une MG résiduelle plus élevée (MG10) entraîne une augmentation de la digestibilité de l'énergie du TC pour un même niveau de décortilage. Pour un même niveau de MG, aucun effet d'un décortilage plus poussé n'a pu être mis en évidence ($P > 0,05$), malgré un écart d'EMAn de 117 (MG10) à 203 kcal/kg MS (MG5).

Pour les poulets de souche à croissance lente (JA 657), les observations sont équivalentes mis à part que la digestibilité des protéines ne varie pas pour les deux TC/D90 avec l'augmentation de la MG. Et pour un même niveau de MG, un décortilage plus poussé (D90) améliore la digestibilité de l'énergie des TC (MG10).

Comparés aux valeurs d'EMAn du TC déshuilé (MG = 2,6 % MS) des Tables INRAE-CIRAD-AFZ (2017), les TC MG5 évalués ici ont des valeurs 16 à 46 % plus élevées. Pour les TC avec une MG plus élevée (MG10), l'écart par rapport aux Tables (TC avec $5 < MG < 20$) se réduit et est de 4 à 9 %.

2.2.2. Tourteaux de tournesol

Pour les ROSS 308, sur le plan protéique, pour un même niveau de décortilage des TT, la digestibilité des protéines diminue avec l'augmentation de la MG résiduelle. Et pour un même niveau de MG résiduelle de 5 %, la digestibilité des protéines est améliorée avec un décortilage plus poussé, mais non significatif pour le niveau MG10. Sur le plan énergétique et pour un même niveau de décortilage, l'augmentation de la teneur en MG n'a pas d'impact (NS) sur la digestibilité de l'énergie du TT. Pour un même niveau de MG, un décortilage plus poussé améliore la digestibilité de l'énergie des TT (tableau 2).

Pour les JA 657, les observations sont similaires mais la digestibilité des protéines ne varie pas ($P > 0,05$) avec la MG, pour le TT (D90), alors que pour un même niveau de MG, elle est améliorée avec un décortilage plus poussé pour le TT (MG5). Et pour un même niveau de décortilage (D90), la MG a un impact plus important sur la digestibilité de l'énergie en l'améliorant.

Par rapport aux valeurs Tables INRAE-CIRAD-AFZ (2017), les tourteaux expérimentaux MG5 présentent des EMAn supérieures de 55 % aux tourteaux hexane non-décortiqués (pour TT/D55/MG5) ou décortiqués

(pour TT/D90/MG5) avec teneur en MG réduite, et le TT/D90/MG10, 6 % supérieures aux expeller décortiqués (lesquels ont une teneur en MG de 9,5 %).

2.2.3. Discussion

Chez le poulet standard, quel que soit le tourteau, le procédé le plus déterminant dans l'amélioration de la valeur protéique dans les conditions de cette étude, est le décortilage. Il augmente la teneur en protéines dans les graines mais aussi leur digestibilité. La MG résiduelle permet surtout d'augmenter la teneur en énergie digestible. Chez les poulets à croissance lente, la valorisation de la protéine est également améliorée surtout par le décortilage, pour les deux tourteaux, mais la MG résiduelle du TC semble mieux valorisée que celle du TT. Un compromis est sûrement à trouver entre le niveau de décortilage et la teneur en huile résiduelle pour valoriser au mieux ces deux tourteaux expeller.

Le décortilage poussé (D90) et la MG résiduelle la plus élevée (MG10), permettent de rapprocher la valeur énergétique du TC de celle du TS déshuilé (Tables INRAE-CIRAD-AFZ, 2017). Le TT dépasse même le TS déshuilé, et atteint des valeurs énergétiques similaires à celle des TS expeller à MG comparable (Danel *et al.*, 2022). Même si les valeurs protéiques ne sont pas équivalentes au TS, la formulation des aliments et l'utilisation d'AA de synthèse devraient permettre de trouver un équilibre adéquat.

Dans le projet CASDAR VOCALIM (Danel *et al.*, 2019), une évaluation de différentes MPRP avait déjà été menée. Les résultats les plus intéressants et applicables sur le terrain avaient été obtenus avec les TC et TT ayant subi comme procédé technologique, le blutage. Ainsi, le blutage, qui correspond à une série de tamisages successifs après broyage fin, ayant pour but de sélectionner une fraction de produit enrichi en protéines, améliorerait la digestibilité des protéines, mais également celle de l'énergie. Pour le TT, ce procédé avait permis d'obtenir une valeur énergétique similaire à un TT issu d'un décortilage poussé, tout en permettant d'augmenter la teneur en protéines. Pour le colza, le blutage améliorerait la valorisation par les volailles, sans atteindre le niveau atteint avec le TC dépelliculé. Néanmoins, les lots intéressants issus de ce procédé ne contenaient que les fractions les plus fines ($< 250 \mu\text{m}$) du tourteau de départ et donc les plus riches en protéines. Le rendement n'était que de l'ordre de 10 %, difficilement défendable au niveau industriel avec un coproduit plus difficilement valorisable.

Ces résultats confirment l'intérêt non seulement de procédés permettant d'augmenter la teneur en protéines des tourteaux mais également de ceux diminuant les teneurs en fibres. Les procédés permettant cela, tout en préservant la qualité des protéines, en limitant l'utilisation de la chaleur et de composés chimiques mènent la plupart du temps à des profils expeller. Il est important de maîtriser également ces teneurs en MG, même si un fléchage des lots pourrait être envisageable selon les volailles

consommatrices de ces MP, en réservant les tourteaux moins gras aux animaux ayant une croissance rapide. Pour le colza, des teneurs en glucosinolates élevées (7,3 à 9,8 $\mu\text{mol/g}$ d'aliment) ne semblent pas avoir eu d'impact défavorable sur la consommation et la croissance des oiseaux. Les données de la littérature (Tripathi *et al.*, 2007) sont compatibles avec l'hypothèse selon laquelle, chez le poulet de chair, l'inactivation de la myrosinase permet de réduire la nocivité des glucosinolates du fait d'une faible activité hydrolytique du microbiote.

3. INTERET DES TOURTEAUX EXPELLER POUR LES FILIERES DE TRITURATION ET AVICOLE

3.1. Evaluation économique et environnementale

Dans le cadre du projet VALOAVAL, un travail de modélisation économique pour une usine de trituration a été mené à bien en intégrant les coûts fixes et opérationnels d'une unité de 30 000 t de graines par an disposant d'une capacité de décorticage. A cela, il est associé une évaluation du prix de vente des tourteaux (V) basée sur un panier de matières premières dont la valeur nutritionnelle est connue ($V(\text{€/t}) \approx 0,05 \cdot \text{EMAn} + 0,55 \cdot \text{MAT} \cdot 1,06 - 2,54$, $R^2 = 0,94$, base de prix moyens sur 10 ans, calcul effectué pour le projet). Le procédé PEP ayant amélioré la digestibilité des protéines d'environ 10 % par rapport aux tourteaux de référence, un facteur 1,06 a été appliqué pour valoriser l'effet de ce gain de digestibilité. En raison de la richesse en protéines de ces tourteaux, de leur caractère local, tracé non-OGM et « sans-hexane », des primes de 25 et 35 €/t pour respectivement le TC/D90/MG5 et TT/D90/MG5 ont été ajoutées à cette évaluation (hypothèse formulée). Les valeurs d'EMAn sont établies sur la base d'une régression entre tourteaux expeller et hexane des Tables INRAE-CIRAD-AFZ (2017) : $\text{EMAn} \approx 10 \cdot \text{MG} + 5,8 \cdot \text{MAT} - 678$, $R^2 = 0,95$), permettant de simuler différents taux de décorticage et de MG résiduelle. Le modèle dont les principales données d'entrée et de sortie sont présentées dans le tableau 3 permet donc de faire varier le bilan matière et la valeur des tourteaux en fonction des taux de décorticage et d'huile résiduelle dans les tourteaux. En première approche, cette estimation a été réalisée en utilisant les valeurs médianes des prix de graines, d'huiles brutes et du panier de MP sur les années 2013 à 2023. La valorisation des coques de tournesol a été fixée à un niveau proche de celui de la paille de blé en raison de leur faible valeur nutritionnelle. Les pellicules de colza plus riches en huile et en protéines ont été valorisées à 121 €/t. Dans ces conditions, avec des graines à 372 et 355 €/t pour colza et tournesol, les tourteaux TC/D90/MG5 et TT/D90/MG5 sont valorisés à 356 et 398 €/t. Le coût de trituration est évalué à 60 €/t pour une unité de 30 kt/an, les marges brutes de trituration sont de 83 et 94 €/t (colza, tournesol).

Au point de vue environnemental, il est possible de comparer ce type de trituration « décentralisée » avec le modèle conventionnel utilisant l'extraction à l'hexane pour les consommations énergétiques et les distances parcourues par les graines, les huiles et les tourteaux, sachant que les grandes usines ont besoin de faire voyager les produits sur de plus longues distances. Pour évaluer ces distances, a été fait le postulat d'unités localisées dans des bassins de production où colza et tournesol seraient 2 fois plus fréquents qu'en moyenne et d'une surface agricole utilisée occupant 50 % de l'aire géographique. Pour les distances parcourues par les tourteaux, l'hypothèse est de 1,5 fois la distance parcourue par les graines. Pour l'huile, il a été considéré que les petites unités devaient faire voyager l'huile 3 fois plus loin que les grandes structures. Des consommations de 250 kWh thermiques et 44 kWh électriques par tonne triturée ont été prises en compte pour la trituration conventionnelle (Gupta *et al.*, 2022). Pour le modèle PEP, les consommations électriques ont été évaluées à 132 et 125 kWh/t de colza/tournesol. Le tableau 3 permet de comparer les émissions de CO_2 respectives de ces deux modèles. Le modèle hexane émet 2,85 fois plus de CO_2 par tonne triturée que soit la graine. Ramené à la valeur ajoutée, ce rapport passe à 3,16 pour le colza et 3,70 pour le tournesol.

3.2. Valeur d'utilisation : quel impact sur les formules et les performances zootechniques ?

L'effet de l'incorporation de cinq des huit tourteaux expeller (TC/D55/MG5 et TC/D90/MG5 ; TT/D55/MG10, TT/D90/MG5 et TT/D90/MG10) produits expérimentalement et évalués dans les essais de digestibilité, a été évalué dans un essai de performances sur poulets de chair (ROSS 308) de 1 à 35 jours. Les mesures ont été faites à la PEAT de l'INRAE (Nouzilly) à l'aide de mangeoires électroniques circulaires (Guettier *et al.*, 2020) sur six parquets de 50 poulets répartis aléatoirement afin d'avoir des poids moyens homogènes. Les tourteaux ont été incorporés à 10 % en période de croissance et 15 % en finition. Les aliments ont été formulés iso-énergie, protéines, minéraux et AA digestibles, à partir des valeurs déterminées dans les essais présentés précédemment. Les résultats ont été comparés à ceux obtenus avec un aliment témoin de type commercial (blé/maïs/TS).

L'incorporation des TT a permis une très bonne substitution du TS dans les régimes Croissance (de 37 à 49 %) et Finition (de 62 à 88 %). Cela a également modifié le ratio entre maïs et blé, en maximisant la teneur en blé dans les régimes croissance (30 %), et au contraire en diminuant fortement la teneur en blé dans les régimes finition (14-15 %). L'incorporation d'huile de soja a été également réduite dans les régimes Finition contenant les TT/D90. La durabilité des granulés des aliments Croissance est correcte ($\geq 80\%$), notamment pour les deux TT/D90 (proche de 90 %), à l'exception du témoin, dû à un problème de maîtrise du procédé. Pour un même tourteau, la durabilité des

granulés a diminué dans l'aliment Finition, sauf pour les TT/D90 où la durabilité reste très bonne et quasi constante. Cette baisse est essentiellement due à la diminution de la teneur en blé (corrélation de - 0,43 entre la teneur en blé et la durabilité de l'aliment Finition) et l'augmentation en huile (corrélation de - 0,87 entre la teneur en huile et la durabilité de l'aliment Finition) dans ces régimes.

L'incorporation des TC a également permis une bonne substitution du TS dans les régimes Croissance (de 27 à 33 %) et Finition (de 49 à 63 %) et modifie de manière plus importante le ratio maïs/blé avec des teneurs en blé qui avoisinent le minimum d'incorporation recommandé pour la bonne tenue de l'aliment granulé dans les régimes Croissance (15,0 et 15,9 %) voire en-dessous dans les régimes Finition (11,5 et 13,5 %). La teneur en huile de soja est quant à elle augmentée dans ces régimes, mais pas au-delà des niveaux recommandés pour une bonne tenue des granulés (4 % maximum).

Un fort décortiquage a permis de maintenir un taux de fibres similaire à un régime blé/maïs/TS. En revanche, les taux de MG ont varié entre les différents régimes et ont été majoritairement supérieurs dans ceux composés des tourteaux expérimentaux (expeller) par rapport au témoin, et notamment avec ceux ayant le plus faible niveau de déshuilage (MG10).

Les performances finales des animaux ont été calculées pour chacun des régimes évalués à partir des données de performances individuelles et journalières (Tableau 4). Pour la consommation totale d'aliment, aucun impact significatif de la formule n'a été observé, même si une tendance est mise en évidence. Le témoin est consommé entre 4 et 8 % de plus que les aliments avec TC et 2 à 4 % de plus que ceux avec TT. Cette absence d'effet est entre autres due à la variabilité importante de la consommation.

Au niveau du poids vif final (PVf) et du gain moyen quotidien (GMQ), les animaux ayant reçu le régime témoin ont un meilleur PVf et un meilleur GMQ ($P < 0,001$) que ceux ayant reçu les régimes à base des TC (+ 8 à 10 %) et de TT/D55/MG10 (+ 7 %). Les animaux avec le régime témoin ont également tendance à avoir des performances de croissance supérieures aux deux autres TT (TT/D90/MG5, + 6,5 % et TT/D90/MG10, + 3,5 %), mais aucune différence significative n'a été observée. Cette observation est cohérente avec celle sur les consommations.

Concernant l'indice de consommation, aucun impact significatif de la formule n'a été observé, en lien avec les différences similaires de consommation et de poids par traitement. Sur les performances globales de l'essai, les animaux ayant consommé les régimes contenant les TC ont moins bien valorisé l'aliment (plus faibles PVf et GMQ ; IC dégradé pour TC/D55/MG10).

CONCLUSION

Utiliser des procédés technologiques pour améliorer la valorisation des tourteaux de colza et de tournesol semble être une bonne direction à suivre afin de trouver des matières premières riches en protéines pour remplacer le TS, au moins en partie. Les résultats de ce projet démontrent la faisabilité de la production des tourteaux ciblés aussi bien à partir de graines de colza que de tournesol avec des taux de dépelliculage / décortiquage moyen à élevé (D55 / D90) et des taux en MG résiduelle de 5 et 10 %. Ces tourteaux ont des profils d'autant plus intéressants que les graines ont été dépelliculées / décortiquées. Avec des teneurs en fibres diminuées, et des teneurs en MAT plus élevées, ils deviennent plus digestibles pour les volailles. Les procédés utilisés, à basse température et sans solvant, préservent la qualité des protéines. Cependant, la présence de glucosinolates dans les TC les plus décortiqués est un point d'attention à avoir en tant que facteur antinutritionnel.

Les recherches doivent se poursuivre pour adapter les process à une production industrielle, réduire la teneur en FAN, et proposer une incorporation optimale en volailles de ces tourteaux prometteurs sans affecter les performances de croissance. Des simulations et scénarii restent également à réaliser pour évaluer le potentiel de valorisation de ces MP traitées technologiquement (volumes et outils disponibles) et leur impact sur l'autonomie protéique de la filière.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire ainsi que France Relance, les financeurs du projet CAP PROTEINES dont VALOAVAL est un sous-projet.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agreste, 2023. Statistiques Agricoles Annuelles
Carré P., 2021. OCL - Oilseeds and fats, Crops and Lipids, 28, 13.
Danel J., Dusart L., Recoules E., *et al.*, 2019. 13ème JRA JRPFG, 20-21 mars, Tours, France, 484-489.
De Visser C.L.M., Schreuder R., Stoddard F., 2014. OCL, 21(4) D407.
Danel J., Tormo E., Traineau M., *et al.*, 2022. 14ème JRA JRPFG, 9-10 mars, Tours, France, 746-750.
Guettier E, Urvoix S., Servant P., Mika A., Berger Q., *et al.*, 2020. Cahier des Techniques de l'INRA, 99, 12 p.
Gupta, R., McRoberts, R., Yu, Z., Smith, C., Sloan, W., & You, S. (2022). *Bioresource Technology*, 360, 127532.
INRAE-CIRAD-AFZ, 2017. Tables INRA-CIRAD-AFZ d'alimentation des animaux. <https://feedtables.com>.
Khajali F., Slominski B.A., 2012. Poultry Science, 91, 2564-2575.
Lassaletta L., Billen G., Grizzetti B., Garnier J., *et al.*, 2014. Biogeochemistry, 118, 225-241.

Pampouille E., Dusart L., Bonnouvrier A., Danel J. *et al.*, 2021. Innovations Agronomiques. (82), 425-440.
 Recoules E., Brevault N., Le Cadre P., Peyronnet C., *et al.*, 2016. INRA Prod. Anim. 29 (2), 129-140.
 Terres Inovia, 2023. Statistiques Oléagineux et plantes riches en protéines 2022.
 Tripathi M.K., Mishra A.S., 2007. Animal Feed Science and Technology, 132, 1-27.
 Wolff J. P., 1983. Journal of the American Oil Chemists' Society, 60(2), 220-223.

Tableau 1. Composition chimique mesurée des tourteaux expérimentaux évalués en essais de digestibilité

Profil	Tourteaux de colza				Tourteaux de tournesol			
Décortilage / Dépelliculage	D55	D55	D90	D90	D55	D55	D90	D90
MG résiduelle	MG5	MG10	MG5	MG10	MG5	MG10	MG5	MG10
MS, %	92,9	93,2	93,2	92,9	94,2	94,4	93,5	93,9
MAT, % MS	39,5	39,1	45,25	43,45	44,95	40,2	51,95	49,15
Lys, % MAT	6,3	6,4	6,5	6,3	4,3	5,2	3,4	3,8
Met + Cys, % MAT	4,5	5,0	4,5	4,6	4,0	4,8	3,2	3,5
Thr, % MAT	4,6	4,6	4,6	4,4	4,5	5,0	3,5	4,0
Trp, % MAT	1,3	1,4	1,4	1,4	1,5	1,8	1,2	1,3
Solubilité des protéines KOH, %	75,1	92,0	91,0	96,1	93,4	83,8	96,2	95,8
NDF, % MS	24,3	21,4	15,2	13,2	21,6	23,8	11,7	10,9
Parois, % MS	35,7	32,1	23,7	21,1	28,6	29,9	22,5	18,6
Sucres, % MS	10,8	10,8	12,5	12	9,1	7,8	10,75	10,1
MGh, % MS	6,9	10,45	7,75	11,7	7,2	11,5	6,65	11,95
EB, % MS	4904	5058	4943	5115	4915	5161	4894	5152
Glucosinolates, µmol/g MS	31,3	36,3	42,2	42,4				

MS : Matière Sèche ; MAT : Matières Azotées Totales ; Lys : Lysine ; Met+Cys : Méthionine + Cystéine ; Thr : Thréonine ; Trp : Tryptophane ; NDF : Fibres insolubles dans le détergent neutre ; Parois : Parois végétales insolubles dans l'eau ; MGh : Matière Grasse (analyse après hydrolyse) ; EB : Energie Brute.

Tableau 2. Valeurs de digestibilité de l'énergie et des protéines des tourteaux évalués, chez les poulets à croissance rapide (ROSS 308) ou à croissance lente (JA 657).

Souche	Type	Décortilage	MG résiduelle	Valeurs de digestibilité					
				CUDaf N, %	Stat. (1)	CUDaf EB, %	Stat. (1)	EMAn kcal/kgMS	Stat. (1)
ROSS	TC	D55	MG5	79,5	c	38,8	c	1901	c
			MG10	80,0	c	46,8	b	2382	ab
		D90	MG5	82,2	b	42,4	bc	2104	bc
			MG10	84,8	a	49,4	ab	2499	a
	TT	D55	MG5	88,3	B	46,2	B	2281	B
			MG10	86,0	BC	45,7	B	2359	AB
		D90	MG5	91,5	A	54,9	A	2687	A
			MG10	88,3	B	51,2	AB	2655	A
	ETR			0,86		1,64		83	
	JA	D55	MG10	83,6	b	51,5	a	2584	ab
		D90	MG5	84,6	a	49,7	b	2446	b
			MG10	85,5	a	52,0	a	2647	a
		D55	MG5	86,6	B	48,0	C	2367	C
JA	TT	D90	MG5	88,4	A	52,3	B	2576	B
			MG10	88,8	A	57,4	A	2950	A
	ETR			0,40		0,81		41	

(1) : Statistiques par souche ; ANOVA suivie en post-analyse de la méthode des contrastes (avec a, b, c, d ou A, B, C : groupes homogènes (seuil de 5 %)) ; TC : Tourteau de Colza ; TT : Tourteau de Tournesol ; ETR : Ecart-type résiduel.

Tableau 3. Valeur ajoutée et évaluation des émissions de CO₂ par graine et modèle de trituration

	Graine	Colza		Tournesol	
	Modèle de trituration	Hexane	PEP	Hexane	PEP
Caractéristiques et valeur ajoutée	Masse graines	1	1	1	1
	Tourteau (t/t de graines)	0,56	0,42	0,54	0,31
	Huile (t/t de grains)	0,44	0,41	0,45	0,43
	Coques (t/t de graines)		0,15		0,23
	Graines (€/t, médianes 10 ans)	372	372	355	355
	Huiles (€/t médianes)	713	713	721	721
	Tourteaux (€/t, médianes / évaluation)	244	356	195	398
	Coques (€/t, évaluations)		121		65
	Valeur ajoutée (€/t de graine)	76	83	73	95
	<i>Thermique (kWh)</i>	250		250	
Impacts	<i>Electrique (kWh)</i>	44	132	44	125
	CO ₂ process kg/t de graine	54	13	54	13
	Capacité (t de graines par an)	1 000 000	30 000	600 000	30 000
	Superficie de collecte (km ²)	66 789	2 004	109 503	5 475
	<i>Distance graines</i>	103	18	132	30
	<i>Distance tourteaux</i>	155	27	155	27
	<i>Distance huile</i>	100	300	100	300
	CO ₂ transport kg/t de graine	23	13	25	15
	Total émissions kg CO₂/t graine triturée	77	27	80	28
	Emissions pour 1 € de valeur ajoutée	1,0	0,3	1,1	0,3

PEP : Pression Extrusion Pression

Tableau 4. Performances globales des animaux dans l'essai au sol, selon les tourteaux incorporés dans leur aliment.

Profil	Tourteaux de colza		Tourteaux de tournesol			Témoin	Stat. (1)
Décorticage / Dépelliculage	D55	D90	D55	D90	D90		
MG résiduelle	MG5	MG5	MG10	MG5	MG10		
Poids vif J35, g	2000 ^b	1964 ^b	2018 ^b	2033 ^{ab}	2099 ^{ab}	2174 ^a	***
	295	262	203	227	268	229	
GMQ, g/j	55,9 ^b	54,9 ^b	56,4 ^b	56,8 ^{ab}	58,7 ^{ab}	60,9 ^a	***
	8,4	7,5	5,8	6,5	7,7	6,5	
Consommation totale, g	2769	2660	n.e. (2)	2766	2827	2883	NS
	319	339		370	383	395	
Indice de consommation	1,402	1,355	n.e. (2)	1,386	1,382	1,367	NS
	0,126	0,173		0,113	0,153	0,109	

(1) ANOVA : NS : $P > 0,05$; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$; a, b : des lettres différentes indiquent des moyennes différentes (test de Tukey, $P < 0,05$).

(2) n.e. : non évalué ; problème technique ne permettant pas d'avoir toutes les données sur la période totale d'essai.