



Matières premières innovantes pour l'autonomie des élevages de volailles français : le tourteau de colza

Synthèse des travaux du programme VOCALIM

Valérie Heuzé, Gilles Tran, Justine Danel, Emilie Recoules,
Alain Quinsac, Sylvie Dauguet, Patricia le Cadre, Isabelle
Bouvarel

23/07/2020



Avec la contribution financière
du compte d'affectation spéciale
«développement agricole et rural»



Table des matières

Etat de l'art.....	3
Appellations	3
Espèce	4
Description	4
Distribution	4
Procédés de transformation.....	5
Tourteau de colza extrait au solvant.....	5
Tourteaux gras	6
Traitements thermiques.....	6
Décorticage (dépelliculage)	6
Traitements enzymatiques.....	7
Ajout de co-produits de traitement	7
Procédés d'amélioration	8
Tourteau de colza partiellement dépelliculé non cuit VOCALIM	9
Tourteau de colza bluté VOCALIM	10
Tourteau de colza bluté commercial.....	11
Contraintes d'utilisation.....	12
Acide érucique.....	12
Glucosinolates.....	13
Tannins.....	14
Acide phytique.....	14
Sinapine et choline	14
Caractéristiques nutritionnelles	15
Tourteau de colza extrait au solvant.....	15
Tourteau de colza gras.....	15
Tourteau de colza dépelliculé	16
Comparaison des tourteaux traités dans VOCALIM avec les tourteaux traditionnels	16
Facteurs antinutritionnels.....	21
Recommandations pour l'alimentation des volailles	22
Poulets de chair.....	22
Poules pondeuses.....	23
Dindes	23
Canards.....	23
Tourteau de colza bluté : niveau d'incorporation, ingestion, gain de poids et indice de consommation	25
Tourteau de colza bluté : digestibilité des protéines	26
Evaluation de la durabilité	27
Critères de durabilité.....	27
Données environnementales.....	27

Scénarios d'utilisation des tourteaux de colza.....	34
Préambule	34
Potentiels d'utilisation	34
Impact durabilité.....	37
Ce qu'il faut retenir... ..	39
Bibliographie.....	41

Etat de l'art

Le programme VOCALIM propose d'améliorer l'autonomie protéique de la filière avicole française en cherchant à produire en France des matières premières riches en protéines capables de se substituer au tourteau de soja d'importation dans l'alimentation des volailles.

Le tourteau de colza est une matière première qui présente deux avantages majeurs : il est produit en grandes quantités en France et possède un profil en acides aminés optimal pour l'alimentation des volailles, supérieur au tourteau de soja (Recoules et al., 2016). Cependant, il ne deviendra une alternative intéressante au tourteau de soja importé qu'en augmentant sa teneur en protéines et en diminuant sa teneur en fibres. Cette fiche présente une synthèse des connaissances disponibles quant à l'utilisation des tourteaux de colza en alimentation des volailles et met en exergue les caractéristiques des nouveaux tourteaux de colza produits et/ou utilisés par le programme VOCALIM ainsi que les résultats obtenus lors des expérimentations sur les volailles.

Les tourteaux de colza alternatifs proposés par le programme VOCALIM sont présentés en encart dans ce document.

Appellations

Les noms donnés au tourteau de colza sont fonction de sa technologie d'obtention.

Tableau 1. Appellations des tourteaux de colza

Technologie	Noms
Pression seule	Tourteau expeller, tourteau pression, tourteau gras
Pression à basse température	Tourteau de colza/canola pressé à froid
Double pression à basse température	Tourteau de colza/canola double pression
Pression et extraction au solvant	Tourteau de colza/canola déshuilé
Sans décortilage des graines	Tourteau de colza/canola non dépelliculé, tourteau graine entière
Décortilage	Tourteau dépelliculé, tourteau dépelliculé
Fractionnement de post-extraction	Tourteau de colza/canola bluté

Espèce

- *Brassica* spp. [Brassicaceae]

Description

Le tourteau de colza, aussi appelé tourteau de canola en Amérique du Nord, en Australie et dans d'autres pays, est le co-produit de l'extraction d'huile à partir de la graine de colza (*Brassica napus* L., *Brassica rapa* L. et *Brassica juncea* L., et leurs croisements). C'est une matière première riche en protéines qui est largement utilisée pour nourrir toutes sortes d'animaux d'élevage. La production mondiale de tourteau de colza est la deuxième plus importante après celle de tourteau de soja (USDA, 2016). L'huile de colza avait autrefois mauvaise réputation en raison de la présence d'acide érucique susceptible de poser des problèmes de santé et de donner un goût amer. L'utilisation de tourteau de colza comme aliment pour animaux a aussi été limitée par la présence de glucosinolates, facteurs antinutritionnels préjudiciables aux performances des animaux. Dans les années 1960-1970, des variétés à faible taux d'acide érucique (« 0 ») et à faible teneur en glucosinolates (appelées « 00 », double zéro, ou encore canola) ont été développées, permettant à l'huile de colza de devenir une huile alimentaire majeure, et aux tourteaux de colza et à la graine de colza d'acquérir une importance croissante pour le bétail. Les premières variétés 00 ont été introduites commercialement au Canada au milieu des années 1970. Dans certains pays comme la France, des variétés 00 sont devenues disponibles à la fin des années 1980 (Doré et al., 2006). Les variétés faiblement éruciques et à faible teneur en glucosinolates sont maintenant les principaux types cultivés dans le monde entier pour l'huile de table, les biocarburants, l'huile industrielle et les lubrifiants. Il existe également des variétés hautement éruciques cultivées à des fins industrielles spécifiques (FAO, 2014 ; Snowdon, 2006). Alors que le tourteau de colza extrait au solvant reste le principal type de tourteau de colza commercialisé, les tourteaux de colza riches en huile obtenus par pression mécanique (« expeller ») ont gagné en popularité depuis le début du siècle, avec le développement de l'agriculture biologique et la production d'huile à la ferme.

Remarque : le nom « canola » était à l'origine une marque commerciale octroyée par le Conseil Canadien du Canola et se référait à des variétés peu éruciques et à faible teneur en glucosinolates développées au Canada (Casséus, 2009). Il est maintenant utilisé comme un terme générique pour les variétés 00 en Amérique du Nord, en Australie et dans d'autres pays. Dans ce document, le terme « colza » est utilisé pour décrire les variétés 00 et les variétés de canola, sauf indication contraire, car les variétés 00 sont devenues la norme dans l'alimentation des animaux. Pour la même raison, le nom « canola » n'est utilisé dans cette fiche que lorsque la source d'information fait référence à un tourteau de colza commercialisé ou décrit sous le nom de « tourteau de canola ». Les canola canadiens et australiens sont pratiquement tous des OGM.

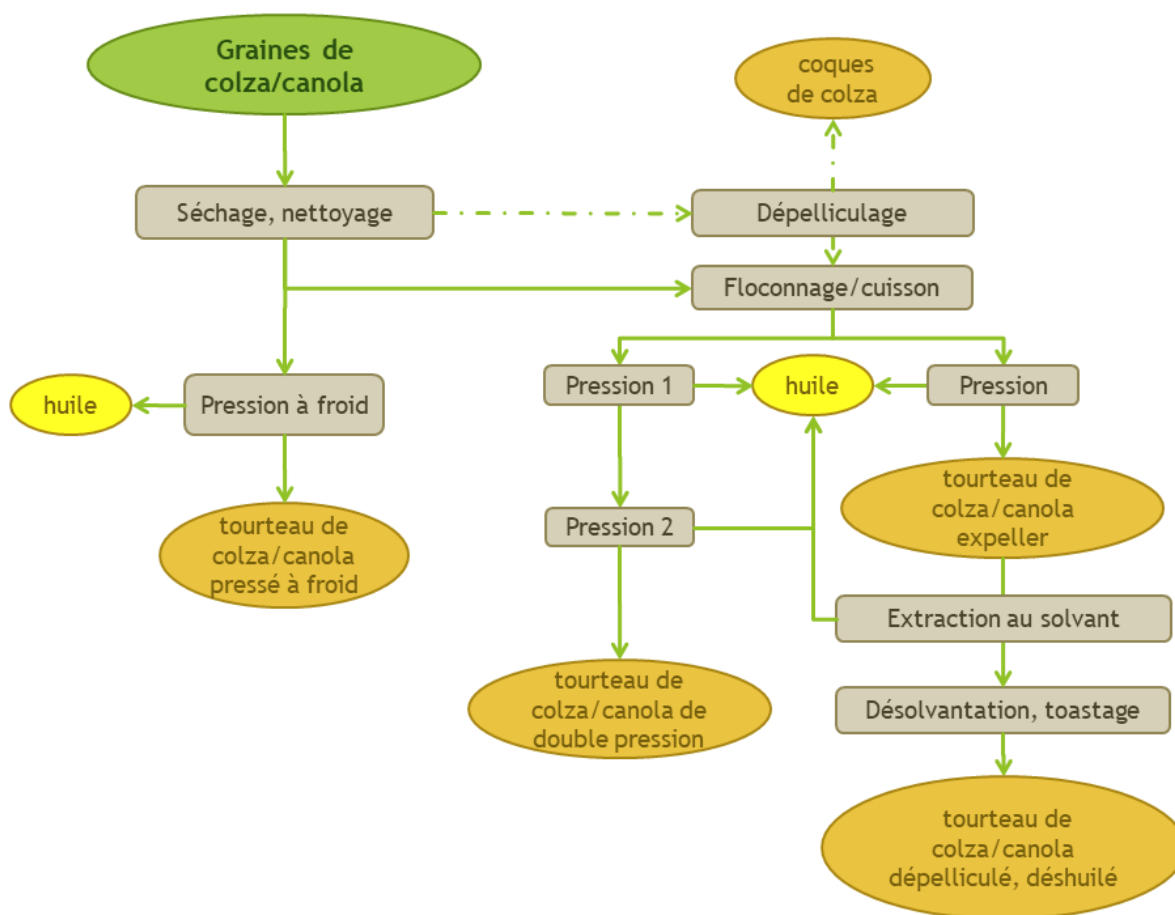
Distribution

La production mondiale de tourteau de colza était de 38,8 millions de tonnes en 2018-2019, et a presque doublé depuis 2003 (USDA, 2019). En 2019, le principal producteur de tourteau de colza était l'Union Européenne (13,3 millions de tonnes), suivie de la Chine (9,6 millions de tonnes), du Canada (5,2 millions de tonnes) et de l'Inde (4 millions de tonnes). Les principaux utilisateurs

de tourteau de colza étaient l'UE, la Chine, et l'Inde (USDA, 2019). L'UE étant largement déficitaire, 15 à 25 % de la trituration de colza est satisfaite par des importations de graines sur les 8 dernières saisons. Les principaux fournisseurs sont l'Ukraine, l'Australie et le Canada (Oil World, 2019). La France est dans une situation identique, et recourt dans les mêmes proportions que l'UE (15-25 %) aux importations de façon plus ou moins importante selon l'état de la récolte hexagonale.

Procédés de transformation

Figure 1. Procédés d'obtention des tourteaux de colza



Tourteau de colza extrait au solvant

Les graines de colza contiennent 40 à 45% d'huile. Lorsque l'huile est complètement extraite par trituration des graines puis extraction au solvant, l'opération produit 55 à 60% de tourteau de colza (figure ci-dessus). Les principales étapes de fabrication du tourteau sont le nettoyage des graines, le pré-conditionnement des graines, l'aplatissage et le floconnage, la cuisson des graines et le pressage pour éliminer mécaniquement une partie de l'huile, l'extraction à l'hexane (solvant) puis la désolvantation et le toastage (Newkirk, 2009). La température est l'un des principaux facteurs

affectant la qualité du tourteau de colza (voir caractéristiques nutritionnelles). Un tourteau de colza extrait au solvant ne doit pas contenir plus de 2-3% d'huile.

Tourteaux gras

Tourteau expeller

Ce tourteau résulte de l'extraction mécanique de l'huile à partir de graines préalablement conditionnées par un traitement thermique. On l'appelle aussi tourteau de colza gras, tourteau de canola gras ou tourteau de canola double pression quand les graines sont pressées deux fois pour améliorer le rendement en huile (Newkirk, 2009).

Tourteau de colza pressé à froid

Compte tenu de l'intérêt croissant des consommateurs pour l'huile de colza pressée à froid, un autre procédé consistant à presser les graines à basse température (60 °C) donne des tourteaux de colza pressés à froid (Leming et al., 2005).

Les tourteaux de colza gras peuvent contenir des quantités très variables d'huile résiduelle, généralement supérieures à 5% et pouvant aller jusqu'à 20% ou plus. Ils sont notamment utilisés en agriculture biologique où l'utilisation de solvants (comme l'hexane) est interdite. Leur production bio reste cependant anecdotique en volumes puisque seulement 12 000 t de graines de colza bio ont été produites en France en 2017 (selon Terres Univia).

Traitements thermiques

Le chauffage diminue la toxicité des glucosinolates en désactivant la myrosinase, enzyme qui transforme les glucosinolates en aglycones toxiques, et entraîne leur dégradation de 30 à 70% (Daun et al., 1997). Les températures élevées affectent cependant la qualité des protéines pour les monogastriques en réduisant notamment la digestibilité des acides aminés (Newkirk, 2009 ; Newkirk et al., 2003). Le traitement thermique à la vapeur réduit la digestibilité des protéines chez les volailles (Cetiom, 2001). Une surchauffe peut survenir lors de la désolvantation, c'est pourquoi les températures lors de cette opération ne doivent pas dépasser 100°C (Cetiom, 2001). Le tourteau de colza pressé à froid peut contenir des quantités plus élevées de glucosinolates que les tourteaux extraits au solvant car il n'a pas reçu la chaleur nécessaire à la désactivation de la myrosinase.

Décorticage (dépelliculage)

Le tourteau de colza est relativement riche en fibres et l'élimination des coques (pellicules) donne un tourteau contenant plus de protéines et moins de fibres, améliorant ainsi sa digestibilité et sa valeur nutritionnelle, en particulier pour les monogastriques (Skiba et al., 1999). La production de tourteau de colza à haute teneur en protéines et à faible teneur en fibres a fait l'objet de nombreuses études depuis la fin des années 1970 donnant lieu à de multiples procédés technologiques. Certains consistent à retirer les coques avant l'extraction de l'huile (craquage et séparation par densité en broyant directement les graines sur une surface dure ou entre deux rouleaux en rotation). D'autres procédés séparent les coques après extraction (séparation par densité, fractionnement en milieu

liquide (hydrocyclone) (Rekas et al., 2017). Le décortiquage du colza avant l'extraction de l'huile permet de maintenir la température de la presse à vis en dessous de 40 °C, tandis que l'extraction de l'huile à partir de graines de colza décortiquées permet de récupérer une quantité d'huile plus importante. L'huile produite à partir de graines dépelliculées présente de meilleures caractéristiques sensorielles (goût et saveur plus doux, couleur jaunâtre éclatante et teneur réduite en cires) (Rekas et al., 2017). Cependant, le décortiquage présente d'importants inconvénients tels qu'une moindre rentabilité (coût supplémentaire du procédé, perte d'huile dans la fraction contenant les coques, intérêt limité du marché pour le tourteau dépelliculé ou pour les coques). Pour ces raisons, le décortiquage du colza n'est pas très répandu dans les grandes huileries. Par exemple, un procédé de décortiquage a été mis en œuvre industriellement en France dans les années 1980, mais abandonné après quelques années pour des raisons techniques et économiques (Carré et al., 2016).

Depuis les années 2000, la recherche de sources de protéines végétales autres que le soja a suscité un regain d'intérêt pour le décortiquage du colza et de nouvelles technologies sont à l'étude (Carré et al., 2016 ; Martinez-Soberanes et al., 2017 ; Rekas et al., 2017)). Les procédés développés dans le projet européen Feed-a-Gene et dans VOCALIM consistent à appliquer un fractionnement sur le tourteau et non sur les graines. À l'aide d'un blutoir (plansichter), le tourteau est divisé en une fraction riche en protéines et une fraction pauvre en protéines (Bach Knudsen, 2018).

Traitements enzymatiques

Plusieurs tentatives ont été faites pour améliorer la disponibilité des nutriments en réduisant l'effet d'encapsulation de la paroi cellulaire grâce à l'utilisation d'enzymes. Les tests avec les phytases ont été positifs chez les volailles, l'utilisation de phytase microbienne améliorant significativement l'utilisation du phosphore chez les poulets de chair et les poules pondeuses. Jusqu'à présent, les résultats n'ont pas été concluants pour les enzymes dégradant les polysaccharides, peut-être en raison du fait que les enzymes testées avaient été développées pour les céréales plutôt que pour les produits à base de colza (Kozłowski et al., 2014).

Ajout de co-produits de traitement

Des co-produits du traitement du colza sont parfois ajoutés au tourteau, notamment au Canada. L'ajout de gommes, constituées majoritairement de phospholipides, et de « soapstocks » (acides gras saponifiés), qui sont des composés riches en huile, augmente la teneur en énergie du tourteau et réduit la quantité de poussières. Les criblures et les corps étrangers diminuent la qualité des tourteaux (Newkirk, 2009).

Tourteau de colza partiellement dépelliculé non cuit VOCALIM

Les graines de colza crues (130 kg) ont été dépelliculées par passage dans un impacteur. Les coques et amandes produites ont ensuite été séparées sur lit fluidisé. Dans ces conditions de réalisation, environ 70% des coques ont été éliminées. Les amandes ont ensuite subi un double aplatissage et les flocons produits ont été extraits par sept lavages successifs dans l'hexane à 50 °C dans un filtre agité type Nutsche / Guedu d'une capacité de 100 kg. Après filtration, l'hexane résiduel du gâteau de filtration a été éliminé par chauffage modéré (< 60 °C) à pression réduite (110 mbar) et une quantité de 56 kg de tourteau de colza partiellement dépelliculé a été produite, soit un rendement de 43% en tourteau.

Tourteau de colza bluté VOCALIM

Le programme VOCALIM a visé à obtenir un tourteau de colza enrichi en protéines grâce au fractionnement par tamisages successifs (blutage) d'un tourteau de colza déshuilé.

Tourteau initial

Il s'agit d'un tourteau déshuilé, en farine, acheté dans le commerce (protéines 37,6% MS). Seul un tourteau déshuilé peut être utilisé car une trop grande richesse en huile peut entraîner le colmatage du tamis.

Analyse granulométrique

Le tourteau de colza a été tamisé au moyen d'un blutoir de type plansichter et a donné 6 fractions de granulométrie, de couleur et de composition différentes (voir figure ci-dessous).



Figure 2. Fractions obtenues par tamisage du tourteau de colza : de gauche à droite : 1) $> 1000 \mu\text{m}$, 2) entre 500 et $1000 \mu\text{m}$, 3) entre 250 et $500 \mu\text{m}$, 4) entre 150 et $250 \mu\text{m}$, 5) entre 100 et $150 \mu\text{m}$, 6) $< 100 \mu\text{m}$

Les fractions de granulométrie décroissante et de teneur en protéines croissante sont de plus en plus claires.

Blutage binaire

Le tourteau de colza a été tamisé au moyen d'un blutoir de type plansichter, fonctionnant sur le principe d'un mouvement rotatif horizontal (photo). Le blutage est de type binaire, avec un seul tamis utilisé pour séparer deux fractions par granulométrie : une fraction faite de particules de très petites tailles (fraction protéique), et une fraction de particules plus grosses (fraction fibreuse). Les tailles de maillage ont été définies par essais de calibrage pour obtenir une séparation optimale : pour le tourteau de colza, une maille de $250 \mu\text{m}$ apporte la meilleure ségrégation de la fraction protéique.



Figure 3. Plansichter avec tamis de $1000 \mu\text{m}$, $500 \mu\text{m}$, $250 \mu\text{m}$, $150 \mu\text{m}$ et $100 \mu\text{m}$ (ENSMIC)

Résultats

Le tourteau bluté final correspond à la fraction de granulométrie $<250\text{ }\mu\text{m}$, dont la teneur en protéines est la plus élevée :

- 44,7% MS

Le blutage permet de concentrer significativement les protéines dans la fraction riche en protéines : + 7 points avec un rendement de seulement 13%. La fraction pauvre en protéines est peu dégradée : sa teneur en protéines n'est diminuée que d'1 point (36,6 contre 37,6%). Le rendement est de 87%.

Tourteau de colza bluté commercial

Un tourteau de colza bluté commercial (Cargill, France, site de Montoir) a été évalué dans le cadre du programme VOCALIM. Le procédé d'obtention de ce tourteau est décrit dans un brevet (WO 2016/196617 Al, Mostafa, 2016). Il consiste en un enchainement complexe de broyages, de tamisages et de saggages. Le produit final est le mélange de différentes fractions résultantes.

Produit initial

Le produit initial est un tourteau de colza dont la teneur initiale en protéines est supérieure à 30%. Il s'agit en pratique d'un tourteau de colza déshuilé et toasté à 34,1% de protéines sur brut.

Séparation

Les fractions du tourteau de colza sont séparées selon la taille des particules (tamisage) en deux étapes. Durant la première phase, le tourteau passe sur un tamiseur Mogensen à 4 tamis. Les tamisages sont réalisés au moyen de tamis de tailles différentes et inclinés selon des angles croissants à mesure que la taille des mailles diminue. Durant la deuxième phase (tamisage fin) le tamiseur est constitué de 3 tamis. Ces opérations de tamisage permettent d'enrichir ou d'appauvrir successivement les fractions en protéines, jusqu'à obtenir des particules de très petites tailles ($<315\text{ }\mu\text{m}$ ou $<250\text{ }\mu\text{m}$) riches en protéines.

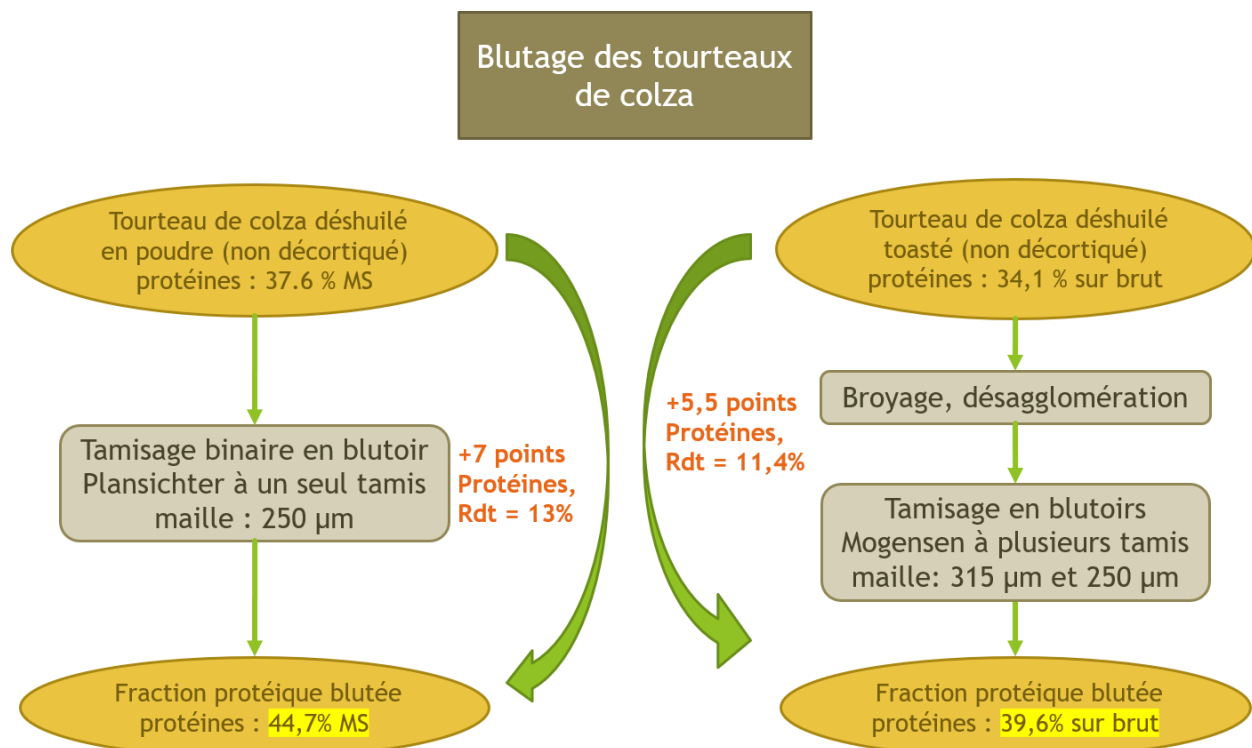
Assemblage

Le brevet permet en principe d'obtenir un tourteau comprenant 39,6% de protéines sur brut qui résulte d'un mélange des deux fractions les plus fines ($<315\text{ }\mu\text{m}$ ou $<250\text{ }\mu\text{m}$).

Résultats

Ce process permet de passer de 34,1% de protéines à 39,6% soit un gain de 5,5% de protéines. Le coproduit de ce blutage est un produit à 33,4% de protéines. Le rendement du blutage est de 11,4 %.

Figure 4. Schéma de blutage des tourteaux blutés VOCALIM



Contraintes d'utilisation

Les graines de colza oléagineuses avaient auparavant une teneur élevée en acide érucique et en glucosinolates préoccupants pour la santé humaine et animale, mais ces problèmes ont été éliminés ou largement réduits par sélection génétique traditionnelle depuis les années 1970 (Przybylski et al., 2005 ; Pinochet et al., 2012 ; Snowdon, 2006).

Acide érucique

L'acide érucique (acide cis 13-docosénoïque, 22: 1n-9) est un composant essentiel de l'huile de colza (jusqu'à 50% dans les cultivars anciens). L'acide érucique a un goût amer et des effets néfastes sur le cœur et les performances animales qui avaient été démontrés dans des études sur des rats, des canetons, des volailles et des porcs. Cette préoccupation a conduit au développement de cultivars à faible teneur en acide érucique ("0") dans les années 1970 et, en 2005, la plupart des huiles de colza produites dans le monde contenaient moins de 2 % d'acide érucique (Snowdon, 2006 ; Przybylski et al., 2005). La teneur en acide érucique des aliments est maintenant réglementée : au Canada, l'huile de canola doit contenir moins de 2% d'acide érucique (CCC, 2014) ; dans l'UE, la teneur en matière grasse des denrées alimentaires doit contenir moins de 5% d'acide érucique (moins de 1% dans les préparations pour nourrissons) (EFSA, 2016).

Cependant, le consensus scientifique sur l'acide érucique s'est assoupli depuis les années 1970. Une revue bibliographique récente (EFSA, 2016) a montré que, même si un apport élevé en acide érucique aboutit à une lipidose du muscle cardiaque chez les porcs et les rats, cette lipidose régresse après le retour à un régime pauvre en graisse et sans acide érucique. Pour les porcs, une DSENO (dose sans effet nocif observé) de 700 mg/kg de poids corporel par jour a été déterminée. Pour les vaches laitières, une réduction de l'ingestion et du rendement laitier a été signalée avec une ingestion de 0,4g d'acide érucique / kg de poids corporel par jour provenant de tourteau de colza. Chez les poissons, les lapins et les chevaux, aucune conclusion n'a pu être tirée en raison du faible nombre d'études disponibles. Les effets les plus graves ont été observés chez les volailles : les régimes riches en acide érucique entraînent un retard de croissance, une lipidose cardiaque et d'autres effets indésirables sur la santé et la production. Une LOAEL (dose minimale avec effet indésirable observé) de 0,02 g/kg de poids corporel par jour a été définie, et un risque pour la santé existe chez les volailles lorsque des taux d'inclusion maximaux sont appliqués. Il est important de noter que, chez toutes les espèces d'animaux d'élevage, il est difficile de distinguer les effets néfastes de l'acide érucique de ceux d'autres facteurs alimentaires, tels que les glucosinolates. Néanmoins, l'acide érucique reste un sujet de préoccupation, car l'acide érucique alimentaire est transféré dans des produits d'origine animale et on a pu démontrer que l'augmentation de l'acide érucique dans les produits animaux était liée à l'augmentation de l'acide érucique dans les aliments des animaux. En 2020, la question des effets de l'acide érucique dans les aliments du bétail n'est pas complètement résolue.

Depuis la fin des années 1990, des cultivars de colza à haute teneur en acide érucique (HEAR) sont cultivés à des fins de niche industrielle pour produire de l'érucamide (un additif utilisé dans la fabrication de polyéthylène et de polypropylène et un tensioactif) et de l'acide béhénique (Snowdon, 2006 ; Tonin, 2018). Ces types de tourteaux, plus riches en protéines que les tourteaux de colza standard, sont disponibles sur le marché français depuis quelques années et sont essentiellement destinés aux ruminants.

Glucosinolates

Les glucosinolates sont une famille de glucosides riches en soufre caractéristiques des Brassicacées. Leurs produits d'hydrolyse (isothiocyanates et d'autres composés soufrés) donnent un goût piquant et amer à l'huile qui est souvent apprécié par les humains (moutarde), mais tend à réduire la palatabilité pour le bétail des produits issus des crucifères, affectant leur ingestion (Przybylski et al., 2005). Les glucosinolates interfèrent également avec le métabolisme de l'iode. Chez les monogastriques, ils provoquent des troubles physiologiques au niveau du foie, des reins et de la thyroïde et, par conséquent, réduisent la croissance et les performances. La mortalité peut augmenter, en particulier chez les poules pondeuses, en raison du syndrome du foie hémorragique (Fenwick, 1982).

Depuis les années 1970, la sélection des colzas vise à l'élimination des glucosinolates. Les cultivars modernes de colza ont de très faibles niveaux de glucosinolates. Au Canada, l'huile de canola doit contenir moins de 30 μ moles de glucosinolates par gramme de tourteau déshuilé séché à l'air (CCC, 2014). La teneur en glucosinolates de graines de colza a diminué de façon constante, et est maintenant souvent inférieure à 10 μ mol/g vs. 120 μ mol/g pour les anciens cultivars non "00"

(Peyronnet et al., 2014 ; Khajali et al., 2012). Les relevés effectués depuis 2010 font état de moyennes de 3,9 $\mu\text{mol/g}$ (tourteau de canola canadien) et de 10 $\mu\text{mol/g}$ (tourteau de colza français) (Mejicanos et al., 2016). L'utilisation du tourteau de colza chez les volailles pourrait être augmentée sans affecter l'ingestion ni les fonctions physiologiques, mais les fibres resteraient alors le principal facteur limitant (Cetiom, 2001).

Tannins

Les tannins sont des composés phénoliques qui se lient à divers composés, y compris les protéines, rendant celles-ci moins disponibles pour l'animal (Bell, 1993). Dans les graines de colza, la plupart des tannins sont contenus dans l'enveloppe de la graine (Lipsa et al., 2012). Chez les porcs, il a été constaté que les graines à coque foncée étaient presque indigestibles alors que les graines jaunes dépelliculées étaient bien digérées. Ceci a été attribué à une teneur plus faible en tannins et en lignine dans les graines les plus claires (Bell et al., 1982). Les variétés plus claires de colza sont réputées contenir moins de tannins et sont donc des variétés « 000 » (Auger et al., 2010). Certains programmes de sélection visent à réduire l'épaisseur du tégument et donc le niveau de tannins (Lipsa et al., 2012). Le tourteau de colza dépelliculé et les tourteaux de colza issus de variétés de couleur claire peuvent donc avoir une teneur plus faible en tannins.

Acide phytique

Le phosphore du tourteau de colza se présente principalement sous la forme d'acide phytique, avec un rapport P phytique : P total compris entre 67 et 95% (Selle et al., 2003, Spragg et al., 2007). L'acide phytique se lie à des cations tels que le Zn, Ca et Fe, réduisant ainsi leur biodisponibilité (Mejicanos et al., 2016).

Sinapine et choline

Le tourteau de colza contient environ 1% de sinapine, une amine alcaloïde présente dans toutes les graines de Brassicacées. La sinapine est un ester de choline transformé en triméthylamine par les micro-organismes dans le tube digestif des oiseaux. La triméthylamine est ensuite transformée par une enzyme en une forme inodore excrétée dans l'urine. Les poules produisant des œufs à coquille brune ne possèdent pas cette enzyme et, dans ces races, la triméthylamine s'accumule dans l'œuf, leur donnant un goût de poisson (Newkirk, 2009, Bell, 1993). La quantité de graines de colza devrait donc être limitée à cette catégorie de pondeuses (Pickard, 2005). Toutes les sources de choline (chlorure de choline et sinapine du tourteau de canola) peuvent être transformées en triméthylamine, mais l'altération du goût des œufs due au tourteau de colza semble plus important que celle due au chlorure de choline (Wang et al., 2013, Ward et al., 2009). La sinapine réduit également la palatabilité et a un effet dépresseur sur l'ingestion (Mejicanos et al., 2016).

Caractéristiques nutritionnelles

Tourteau de colza extrait au solvant

Le tourteau de colza est utilisé en alimentation des animaux d'élevage en raison de sa forte teneur en protéines (35-44% MS), et peut être utilisé comme substitut partiel du tourteau de soja importé. La protéine de colza est plus pauvre en lysine que celle du soja (5,5% vs. 6,3% de la protéine brute) mais plus riche en acides aminés soufrés (somme de méthionine + cystine = 4,3% vs. 3% de la protéine brute pour le soja). Les graines de colza sont petites et contiennent environ 18-21% de coques, tandis que le tourteau contient environ 30% de coques (Mejicanos et al., 2016 ; Carré et al., 2016). Ainsi, le tourteau de colza a une teneur en fibres relativement élevée, avec une teneur en cellulose brute entre 10 et 18% MS, soit plus que tous les types de tourteaux de soja, mais moins que le tourteau de tournesol. La teneur en lignine du tourteau de colza est également élevée (environ 10% MS), alors que la teneur en lignine du tourteau de soja est généralement inférieure à 1%. La faible teneur en lysine et la teneur élevée en fibres du tourteau de colza tendent à le rendre moins intéressant en monogastriques qu'en ruminants (Bell, 1993 ; Royer et al., 2011 ; Newkirk, 2009). En porcs et en volailles, son usage comme seule source de protéines entraîne souvent une baisse de performance des animaux (Fan et al., 1996).

Le tourteau de colza extrait au solvant contient peu d'huile résiduelle (environ 3% de la MS). Le tourteau de canola extrait au solvant peut avoir une teneur en huile plus élevée en raison de la réintroduction de gommes et de "soapstocks" pendant sa fabrication (Newkirk, 2009). L'huile de colza est riche en acides gras polyinsaturés (60% d'acide oléique C18:1, 21% d'acide linoléique C18:2 et 10% d'acide linoléique C18:3), une caractéristique intéressante pour l'alimentation humaine et animale (Blair, 2011). En Australie, une comparaison du profil des acides gras des tourteaux expeller et des tourteaux extraits au solvant a montré des différences significatives entre eux : les tourteaux extraits au solvant avaient tendance à avoir une proportion plus faible d'acide oléique que les tourteaux expeller (54% vs. 59%) et une proportion plus élevée d'acide linoléique (25% vs. 22%) (Spragg et al., 2007). Le tableau ci-dessous montre les différences entre le tourteau de canola canadien et le tourteau de colza 00 français en 2011-2013 et 2014, respectivement.

Tableau 2. Valeurs nutritionnelles du tourteau de canola canadien et du tourteau de colza français

Valeurs sur une base de 12 % d'humidité	Canada (CCC, 2015)	France (Peyronnet et al., 2014)
Protéines brutes %	36,7	33,4
Cellulose brute %	11,2	14,0
Matières grasses brutes %	3,3	2,8
Glucosinolates µmol/g	4,2	6,9

Tourteau de colza gras

Le tourteau de colza gras contient des quantités d'huile extrêmement variables, généralement comprises entre 7 et 15%, mais allant parfois jusqu'à 20% (base MS), ce qui lui confère une valeur

énergétique supérieure à celle du tourteau extrait au solvant. Le tourteau de colza pressé à froid a généralement une teneur en huile plus élevée que le tourteau de colza expeller (Skiba et al., 1999 ; Grageola et al., 2013). La disponibilité de la lysine du tourteau de colza pressé à froid est supérieure à celle du tourteau expeller, car elle est moins abîmée par la chaleur (Grageola et al., 2013). La teneur en glucosinolates tend à être plus élevée dans les tourteaux pressés à froid et expeller car la myrosinase n'y est pas ou peu désactivée par rapport à ce qui est observé dans les tourteaux extraits au solvant (Skiba et al., 1999). La teneur en glucosinolates du tourteau pressé à froid reste néanmoins inférieure à la concentration maximale tolérée pour une croissance optimale du porc (Grageola et al., 2013).

Tourteau de colza dépelliculé

En diminuant la teneur en fibres, le décorticage améliore la digestibilité des acides aminés et les valeurs énergétiques (Zuprizal et al., 1991 ; Zuprizal et al., 1993 ; Clark et al., 2001). Dans le cas de tourteaux dépelliculés par blutage, la similitude des performances et de la santé de poulets nourris avec des tourteaux dépelliculés ou non a montré qu'il n'y avait pas de concentration apparente de facteurs antinutritionnels due au décorticage (Clark et al., 2001).

Comparaison des tourteaux traités dans VOCALIM avec les tourteaux traditionnels

Les tableaux et graphiques suivants présentent la composition chimique et la valeur nutritionnelle pour les volailles des tourteaux traités dans VOCALIM en comparaison avec celle des tourteaux de colza traditionnels.

Composition chimique

Le blutage et le décorticage permettent d'obtenir des taux de protéines très significativement supérieurs à ceux des tourteaux produits par le process standard. Le tourteau bluté par VOCALIM est le tourteau ayant à la fois la plus haute teneur en protéines (44,7 % MS) et la plus faible teneur en fibres (cellulose brute 7,9 % MS). Les tourteaux blutés et les tourteaux dépelliculés sont aussi ceux ayant les plus fortes teneurs en acides aminés.

Tableau 3. Composition chimique des tourteaux de colza standard, dépelliculés, blutés, Canola et expeller (% MS)

Type	Standard (1)	Dépelliculé VOCALIM (2)	Bluté VOCALIM (2)	Bluté commercial (2)	Canola (1)	Canola commercial (2)	Expeller (1)	Expeller commercial (2)
Protéines brutes	38,1	44,1	44,7	43,2	41,0	42,0	33,7	31,2
Cellulose brute	14,3	8,8	7,9	10,9	12,7	13,7	12,7	12,9
Matières grasses	2,4	4,0	5,2	2,9	3,6	2,8	12,8	15,7
Cendres	7,6	7,6	7,2	8,1	7,8	7,6	6,7	6,5
Fibres totales		29,9		28,2				
Fibres solubles		1,4		2,9				
Fibres insolubles		28,5		25,3				
NDF	31,6	18,4	17,9	25,5	27,8	28,8	29,3	26,5
ADF	20,7	11,1	10,4	15,0	18,2	19,3	19,5	19,6
ADL	9,7	3,6	2,9	6,8	8,2	9,6	9,0	10,0
Parois végétales insolubles dans l'eau	35,9	28,5	25,8	29,8	33,0	36,4	34,1	33,7
Lysine	2,04	2,79	2,41	2,45	2,16	2,35	1,84	2,01
Thréonine	1,64	1,86	1,95	1,87	1,74	1,81	1,47	1,38
Méthionine	0,77	0,90	0,92	0,89	0,82	0,82	0,68	0,65
Cystine	0,91	1,18	1,01	1,00	0,98	0,96	0,81	0,77
Tryptophane	0,47	0,61	0,61	0,56	0,50	0,56	0,42	0,41

(1) Tables INRA-CIRAD-AFZ, Janvier 2020

(2) Données mesurées dans le cadre du projet VOCALIM

(3) NDF : Neutral Detergent Fibre ; ADF : Acid Detergent Fibre ; ADL : Acid Detergent Lignin

Figure 5. Composition en acides aminés des tourteaux de colza (% MS)

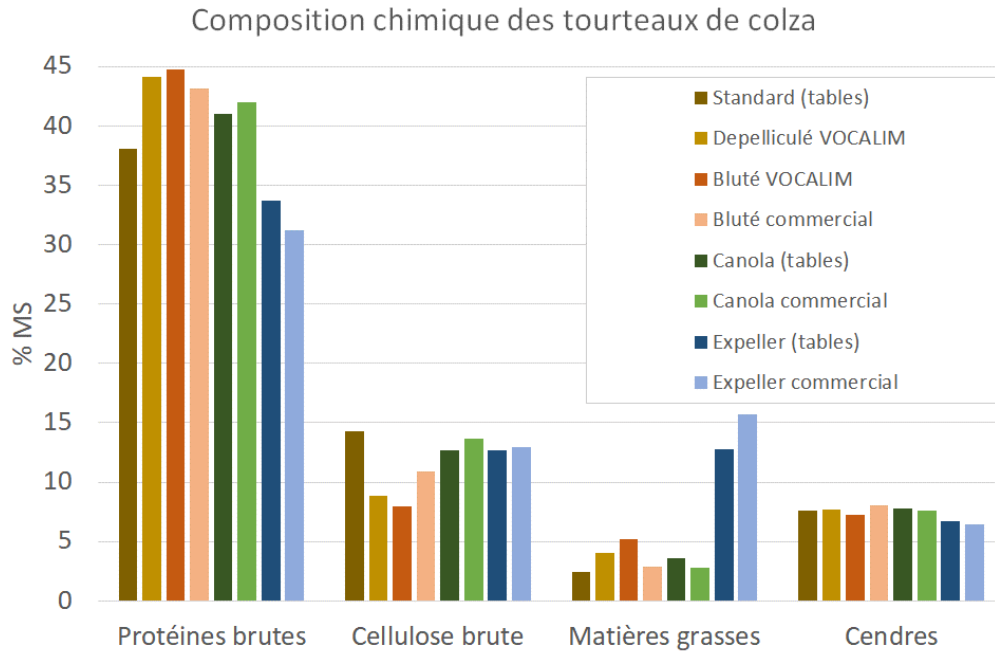
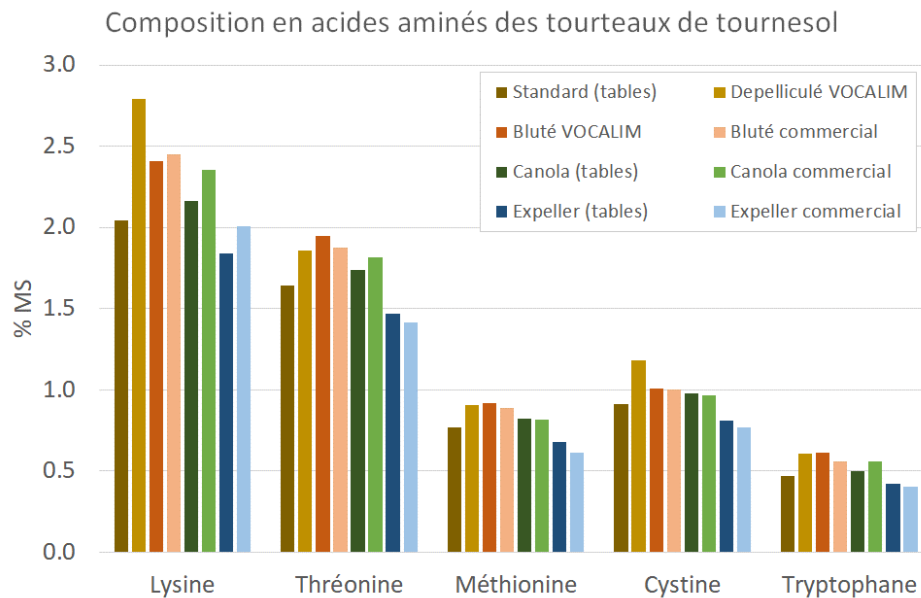


Figure 6. Composition en acides aminés des tourteaux de colza (% MS)



Valeur énergétique pour les volailles

Le tableau suivant récapitule les valeurs énergétiques (EMAn, énergie métabolisable apparente corrigée pour un bilan azoté nul) mesurées ou estimées par équation. Ces valeurs sont difficiles à interpréter car très variables. On constate cependant, quelle que soit la méthode d'évaluation, que les valeurs du tourteau bluté VOCALIM sont supérieures d'environ 150-230 kcal/kg MS à celles du tourteau bluté commercial.

Tableau 4. Valeur énergétique (EMAn poulets *in vivo*) des tourteaux de colza (kcal/kg MS)

Type	Valeurs mesurées ⁽²⁾	Equation INRA ⁽³⁾	Equation WPSA ⁽⁴⁺⁵⁾
Standard ⁽¹⁾		1627	1843
Dépelliculé VOCALIM	2215	1732	2100
Bluté VOCALIM	2092	1807	2177
Bluté commercial	1862	1660	2001
Canola ⁽¹⁾		1704	1968
Canola commercial	1565	1653	1944
Expeller ⁽¹⁾		2292	2221
Expeller commercial	2457	2475	2292

(1) Tables INRA-CIRAD-AFZ, Janvier 2020

(2) Données VOCALIM, mesures *in vivo* sur poulets

(3) Equation INRA : EMAn Poulet (kcal/kg MS) = $14741474 + 63.9 \text{ MGR (\% MS)}$, (Lessire et al., 2009)

(4) Equation WPSA : EMAn coq WPSA (kcal/kg MS) = $32.76 \cdot \text{MAT} + 64.94 \cdot \text{MGr} + 13.24 \cdot (100 - \text{MAT} - \text{MM} - \text{CB} - \text{MGr}) (\ \% \text{MS})$ (WPSA 1989)

(5) Equation de passage EMAn coq vers EMAn poulet : $\text{EMCoq} - \text{MGr} \cdot 9330 / 100 \cdot 11 / 100 - 34$ (kcal/kg MS ou % sur MS), (Lessire communication personnelle 2002)

Valeur des acides aminés pour les volailles

Le tableau suivant récapitule les digestibilités iléales apparentes et les teneurs en acides aminés digestibles. Le tourteau dépelliculé est le seul à se démarquer nettement avec des digestibilités et des teneurs en acides aminés digestibles supérieures à celles des autres tourteaux, y compris les tourteaux blutés.

Tableau 5. Digestibilité iléale apparente des acides aminés pour les poulets des tourteaux de colza (%)

Type	Standard ⁽¹⁾	Depelliculé VOCALIM ⁽²⁾	Bluté VOCALIM ⁽²⁾	Bluté commercial ⁽²⁾	Canola commercial ⁽²⁾	Expeller commercial ⁽²⁾
Lysine	78	89	73	76	73	83
Thréonine	75	80	65	68	66	71
Méthionine	85	92	81	87	84	89
Cystine	75	86	66	70	70	79
Tryptophane		81	67	70	72	76

(1) Données AFZ, Janvier 2020

(2) Données mesurées dans le projet VOCALIM

Figure 7. Digestibilité iléale apparente des acides aminés pour les poulets des tourteaux de colza (%)

20

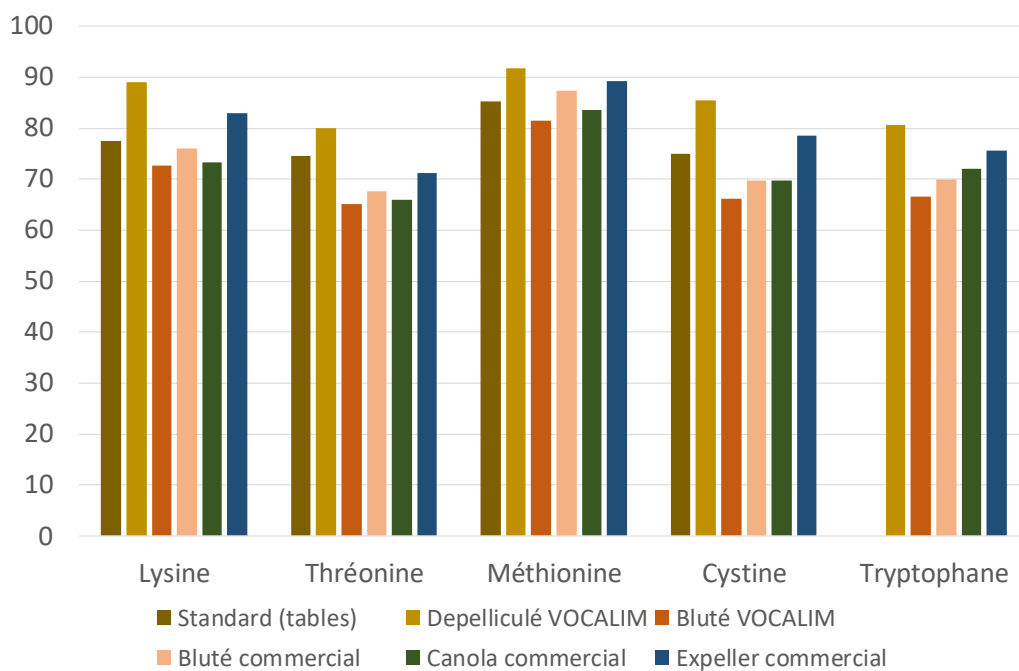


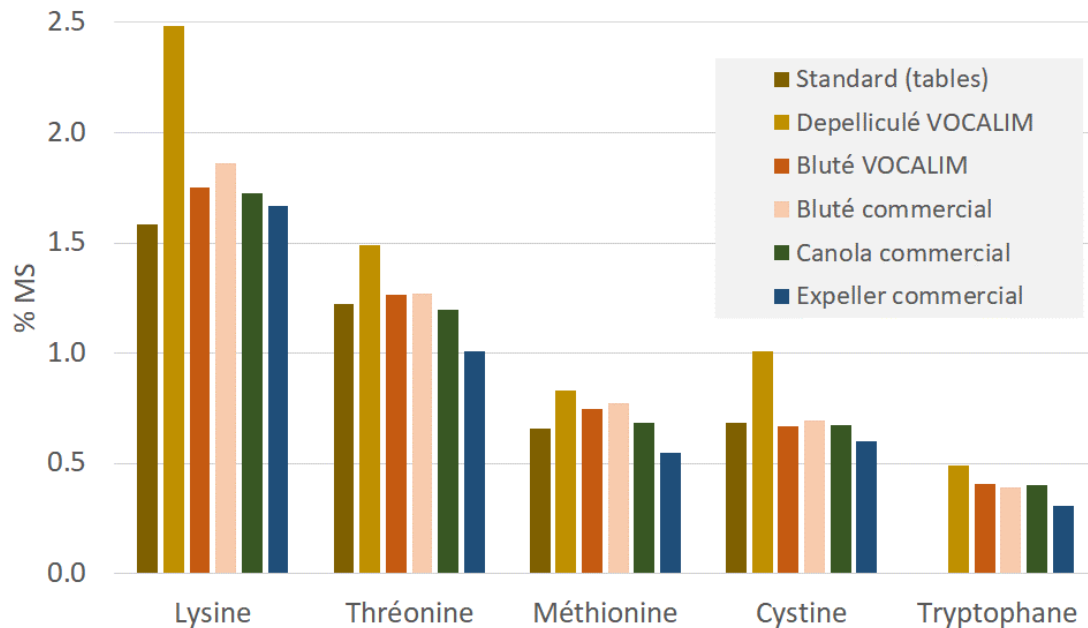
Tableau 6. Teneurs en acides aminés digestibles pour les poulets des tourteaux de colza traditionnels et blutés (% MS)

Type	Standard (1)	Depelliculé VOCALIM (2)	Bluté VOCALIM (2)	Bluté commercial (2)	Canola commercial (2)	Expeller commercial (2)
Lysine	1.58	2.49	1.75	1.86	1.73	1.67
Thréonine	1.22	1.49	1.27	1.27	1.20	1.01
Méthionine	0.66	0.83	0.75	0.77	0.68	0.55
Cystine	0.68	1.01	0.67	0.70	0.67	0.60
Tryptophane		0.49	0.41	0.39	0.40	0.31

(1) Données AFZ, Janvier 2020

(2) Données mesurées dans le projet VOCALIM – *in vivo* sur poulets

Figure 8. Teneurs en acides aminés digestibles pour les poulets des tourteaux de colza (% MS)



Facteurs antinutritionnels

Glucosinolates

L'incorporation de tourteau de colza issu de variétés modernes "00" et de canola dans les aliments volaille ne devrait pas dépasser 20% chez les poulets de chair et 15% en pondeuses, afin que la teneur totale en glucosinolates reste inférieure à 2-4 $\mu\text{mol/g}$, niveau au-dessus duquel plusieurs auteurs ont repéré des baisses de performance (Tripathi et al., 2007).

Sinapine

Un tourteau de colza offert à des poules pondeuses sensibles à la sinapine a provoqué une odeur de poisson dans les œufs lorsque le taux d'incorporation du tourteau dans l'aliment a dépassé 12%, ce qui est supérieur aux niveaux recommandés pour les pondeuses (Hy-Line International, 2010). Aucune odeur n'a été détectée dans la carcasse.

Recommandations pour l'alimentation des volailles

Les besoins des volailles en protéines sont élevés : en poulet de chair standard ils varient de 190g/kg à 200 g/kg d'aliment, soit 40 à 50 g de plus que ceux d'un porc charcutier (Dezat, 2018).

Le tourteau de colza peut être utilisé pour remplacer une partie du tourteau de soja dans l'alimentation des volailles mais sa qualité nutritionnelle pour la volaille est généralement inférieure à celle du tourteau de soja, en raison de sa plus faible teneur en protéines et en acides aminés, de sa faible digestibilité (en particulier lorsque le tourteau a été surchauffé et a subi une réaction de Maillard) et de sa teneur en fibres, négativement corrélée à son énergie métabolisable (elle-même de 10 à 15% inférieure à celle du tourteau de soja) (Newkirk et al., 2003, Anderson-Hafermann et al., 1993). Les produits résultant de la réaction de Maillard lors du traitement sont responsables de ces faibles valeurs. Les tannins pourraient également réduire la digestibilité des acides aminés (Khajali et al., 2012). Le tourteau de colza est supérieur au tourteau de soja pour les acides aminés soufrés et ces deux tourteaux peuvent se compléter (Newkirk et al., 2003, Anderson-Hafermann et al., 1993). L'utilisation d'enzymes alimentaires dans les aliments pour volailles contenant du tourteau de colza pourrait améliorer la digestion, mais les résultats ne sont pas totalement concluants (CCC, 2015).

Poulets de chair

En général, les niveaux recommandés pour l'incorporation du tourteau de colza ne dépassent pas 20%. Cependant, en Australie, un tourteau de colza issu de variétés très pauvres en glucosinolates a pu être incorporé dans des aliments de démarrage pour poussins à des niveaux allant de 20 à 30%, et jusqu'à 30% pour des poulets en finition. Aux taux d'incorporation recommandés, le tourteau de colza a réduit le pourcentage de graisse abdominale des oiseaux et la viscosité intestinale, sans affecter le poids du foie et du pancréas (Perez-Maldonado, 2003).

En volailles, l'utilisation de tourteau de colza dépelliculé (décorticage des graines avant broyage ou par fractionnement du tourteau) a donné des résultats variables. Dans une étude menée au Pakistan où les poulets de chair recevaient des régimes contenant du tourteau de colza non traité, chauffé à sec ou décortiqué (25 % des protéines du régime), ni le chauffage à sec ni le décorticage n'ont entraîné d'augmentation significative des performances, bien que le décorticage ait donné une meilleure FCR (Zeb et al., 2002). En Chine, des poulets nourris avec du tourteau de colza dépelliculé (20 et 21,5 % respectivement en phase de croissance et de finition) ont eu un taux de croissance plus élevé, une meilleure efficacité alimentaire et une consommation alimentaire plus faible que ceux nourris avec du tourteau de colza non dépelliculé (22,5 et 23,5% respectivement en phase de croissance et de finition) (Fang et al., 2009). Au Canada, du tourteau de colza dépelliculé par fractionnement inclus à 10 à 30% dans les régimes de poulets de chair n'a pas eu d'effet sur le gain et la consommation d'aliments, mais a amélioré la FCR (Clark et al., 2001).

Poules pondeuses

Les niveaux d'incorporation de tourteau de colza recommandés chez les poules pondeuses étaient autrefois limités à une fourchette allant de 4 à 10% de l'aliment (Perez-Maldonado, 2003). Des résultats récents indiquent cependant que des niveaux d'incorporation plus élevés sont possibles sans affecter la santé des animaux ou leurs performances (CCC, 2015). Au Canada, le tourteau de canola extrait au solvant et le tourteau expeller ont été bien tolérés par les poules pondeuses même à de hauts niveaux d'incorporation (20%) (Oryschak et al., 2013). En Roumanie, des pondeuses de lignée commerciales ont reçu jusqu'à 15% de tourteau de canola sans problème (Ciurescu, 2009). Des aliments contenant 24% de tourteau de colza ont été offerts à des poules pondeuses de lignées commerciales produisant des œufs à coquille brune (Hy-Line) nées après 2009, sans altération de la qualité des œufs (absence d'odeur de poisson) (Hy-Line International, 2010). Ces résultats suggèrent que les poules pondeuses d'œufs bruns pourraient être nourries aux mêmes taux de tourteau de colza que les poules pondeuses d'œufs à coquille blanche, c'est-à-dire à 8 à 10% d'incorporation de tourteau dans l'aliment (Hy-Line International, 2010, Perez-Maldonado, 2003).

Dindes

Le tourteau de colza de variétés anciennes incorporé à 45% en remplacement du tourteau de soja et de la farine de poissons dans un aliment pour dindes a donné les mêmes résultats en termes de poids des animaux à 42 jours que le tourteau de soja. L'efficacité alimentaire a cependant été réduite proportionnellement au taux d'incorporation du tourteau de colza (Salmon, 1982). Dans un récent essai, l'incorporation de 5 ou 10% de tourteau de colza dans l'aliment des dindons en engraissement n'a pas eu d'impact négatif sur la prise de poids. La quantité d'acides gras ω -3 dans la viande a augmenté avec l'augmentation du tourteau de colza dans l'aliment, et on a remarqué une tendance favorable à la diminution du ratio ω -6: ω -3. Les régimes contenant du tourteau de colza étaient moins chers que les régimes à base de tourteau de soja. Il a donc été recommandé d'incorporer jusqu'à 10% de tourteau de colza dans l'aliment pour engraissement des dindons hybrides (Bedekovic et al., 2014). On n'a observé aucune mauvaise odeur dans la viande des dindes nourries avec du tourteau de canola (Larmond et al., 1983).

Canards

Des canetons mulards (âgés de 2 semaines) nourris avec des aliments contenant des taux croissants de tourteau de colza "00" (0%, 7%, 14% et 21%) ont eu des gains de poids décroissants. Alimenter les canetons avec du tourteau de colza, quel qu'en soit le niveau, a entraîné une diminution du gain de poids corporel et, à 28 jours, les canetons nourris avec 21% de tourteau de colza avaient un poids corporel significativement inférieur à celui de ceux nourris avec un aliment contenant seulement 7% de tourteau de colza. Les canetons nourris avec du tourteau de colza (14 et 21%) et abattus à 28 jours avaient des cuisses de plus petite taille et plus de graisse abdominale. Au même âge, l'état d'emplumement était plus médiocre chez les canards nourris avec les aliments contenant les plus hauts pourcentages (14 et 21%) de tourteau

de colza (Bernadet et al., 2010). Sur 12 semaines, tous les canards avaient un poids final similaire quel que soit le niveau de tourteau de colza dans les aliments. Le tourteau de colza n'a eu aucun effet négatif sur l'ingestion ni sur la qualité de la carcasse (Bernadet et al., 2010). Ces résultats sont légèrement différents de résultats observés précédemment par la même équipe sur un nombre de canards plus restreint. Il avait alors été observé que des canards en engraissement recevant un aliment à 21% de tourteau de colza avaient un taux de graisse abdominale plus important et une glande thyroïde plus lourde, suggérant des altérations du métabolisme des canards nourris avec une grande quantité de tourteau de colza (Palmipôle, 2008).

Tourteau de colza bluté : niveau d'incorporation, ingestion, gain de poids et indice de consommation

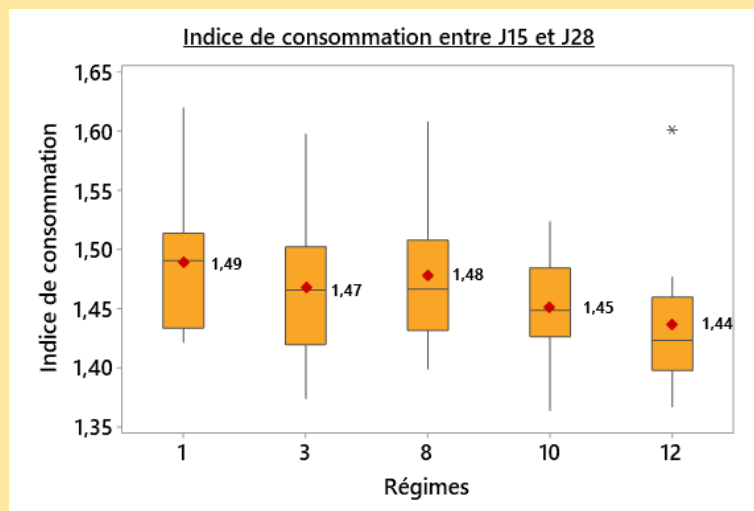
Le tourteau de colza bluté a été incorporé dans des aliments pour poulets de chair en période de croissance. Les aliments étaient composés de blé, maïs, tourteau de soja et huile de soja. Le tourteau a été incorporé seul ou en association avec du tourteau de tournesol bluté et du lupin afin de réduire la part de tourteau de soja importé. La part de MAT apportée par ces matières premières locales était de 25%, 48% ou 70% selon les régimes alimentaires.

Le remplacement du tourteau de soja d'importation par des matières premières riches en protéines locales n'a pas entraîné de mortalité ou de morbidité chez les animaux.

Le poids vif à 28 jours était en moyenne de 1370 ± 130 g (min : 1106 g – max : 1689 g). Aucune différence significative n'a été observée entre les régimes.

L'indice de consommation sur la période J15-J28 est présenté sur la figure ci-dessous. Aucune différence significative n'a été observée entre régimes.

Figure 9. Indice de consommation pour les poulets de 15 à 28 jours



1 Régime témoin (Tourteau de Soja ; TS)

3 TS + Tourteau colza bluté -> MAT locale = 25 % MAT totale

8 TS + Tourteau colza bluté + Tourteau tournesol bluté -> MAT locale = 48 % MAT totale

10 TS + Tourteau colza bluté + Tourteau tournesol bluté + Lupin -> MAT locale = 48 % MAT totale

12 Tourteau colza bluté + Tourteau tournesol bluté + Lupin -> MAT locale = 70 % MAT totale

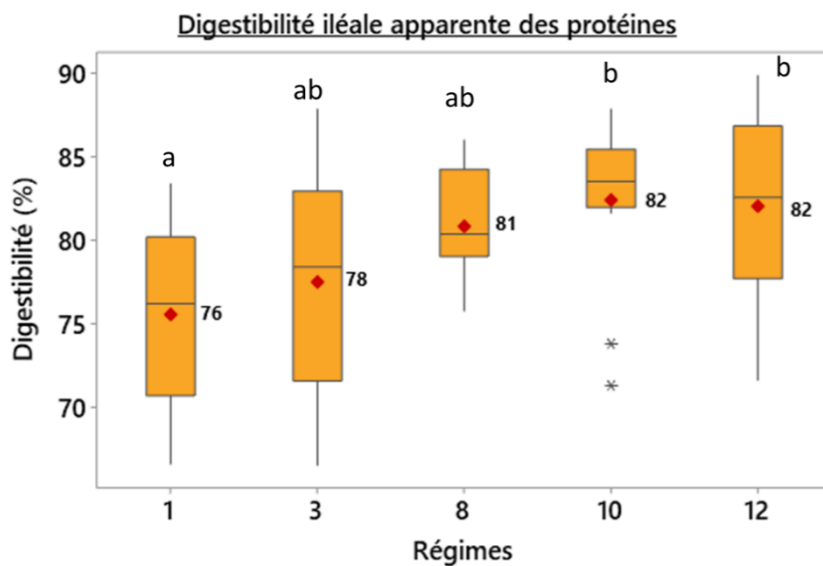
L'indice de consommation le plus faible (1,44) est observé pour le régime 12 et l'indice le plus élevé (1,49) est observé pour le régime Témoin. Cela peut s'expliquer par un gain moyen quotidien légèrement plus faible pour le régime Témoin et une consommation quotidienne moyenne légèrement supérieure. Cependant, les différences ne sont pas significatives.

Ces résultats indiquent que la substitution partielle ou totale du tourteau de soja par des matières premières riches en protéines locales en période de croissance n'a pas d'effet négatif sur l'indice de consommation des poulets de chair.

Tourteau de colza bluté : digestibilité des protéines

La digestibilité iléale apparente des protéines a été mesurée à J28 par marqueur indigestible (dioxyde de titane). Les mesures ont été faites au niveau de l'iléon distal.

Figure 10. Digestibilité iléale apparente des protéines



1 Régime témoin (Tourteau de Soja ; TS)

3 TS + Tourteau colza bluté -> MAT locale = 25 % MAT totale

8 TS + Tourteau colza bluté + Tourteau tournesol bluté -> MAT locale = 48 % MAT totale

10 TS + Tourteau colza bluté + Tourteau tournesol bluté + Lupin -> MAT locale = 48 % MAT totale

12 Tourteau colza bluté + Tourteau tournesol bluté + Lupin -> MAT locale = 70 % MAT totale

Les résultats indiquent que les régimes contenant les matières premières riches en protéines locales ont une digestibilité iléale apparente des protéines comparable ou supérieure au régime témoin. La digestibilité iléale des protéines observée dans le régime le plus extrême, sans tourteau de soja (12) est tout à fait correcte (82 %).

Tout comme pour les performances zootechniques, ces résultats indiquent que si l'on formule sur la base des acides aminés digestibles, la substitution partielle ou totale du tourteau de soja par des matières premières riches en protéines locales en période de croissance n'a pas d'effet négatif sur la digestibilité iléale apparente des protéines.

Evaluation de la durabilité

Critères de durabilité

Tableau 7. Critères de durabilité

Critères	Indicateurs	Tourteau de soja	Tourteau de colza français
Social	Part des protéines consommables par l'homme*	6 %	0%
	Part de l'énergie consommable par l'homme*	38%	0%
Economique	Production : locale, européenne, mondiale	Mondiale	France
Environnemental	ACV		Voir graphiques ci-après
	Production sur terres déforestées	Possible	Non

La part de protéines et d'énergie consommable par l'homme mesure le degré de compétition de l'aliment pour animaux d'élevage vis-à-vis de son utilisation en alimentation humaine. Quand la part de protéines/énergie consommables par l'homme est élevée, le degré de compétition est élevé. Pour le tourteau de colza aucune part des protéines, ou de l'énergie ne peut être utilisée par l'homme, la compétition est donc nulle. Ceci est un critère positif de durabilité.

Données environnementales

Les données environnementales sont issues de calculs d'impacts environnementaux par la méthode d'Analyse de Cycle de Vie (ACV). La méthodologie suivie pour la constitution des Inventaires de Cycle de Vie (ICV) est celle d'ECOALIM. Il s'agit d'un projet français (2013-2016) dont l'objectif était d'étudier les possibles améliorations des bilans environnementaux des élevages en optimisant l'alimentation des animaux. Les bilans environnementaux des matières premières (MP), des aliments du bétail et des produits animaux ont été renseignés par ACV (impacts Changement Climatique, Consommation d'énergie, Consommation de phosphore, Occupation de surfaces, Eutrophisation et Acidification). Le projet a produit 150 références environnementales de matières premières utilisées ou utilisables en alimentation animale, mises à disposition dans les bases de données référentes (Agribalyse, tables d'alimentation du bétail). Ces données prennent en compte différents itinéraires de production pour les principales MP, et les différents lieux d'approvisionnement des fabricants d'aliments.

L'ACV du tourteau de colza a donc été calculé dans le cadre de ce projet ECOALIM, se basant sur l'ACV de la graine colza moyenne France calculée dans la base de données Agribalyse (version 1.3).

Les ACV du tourteau de colza bluté et du tourteau de colza dépelliculé ont été calculés dans le cadre du projet VOCALIM, à partir des données disponibles dans les bases de données Agribalyse et ECOALIM (graine de colza, procédés de trituration, procédé de décorticage). Un inventaire de données spécifique a été réalisé pour le blutage pendant le projet VOCALIM (consommation d'énergie, rendement massique du procédé pour les 2 fractions obtenues, l'une enrichie en protéines et l'autre appauvrie).

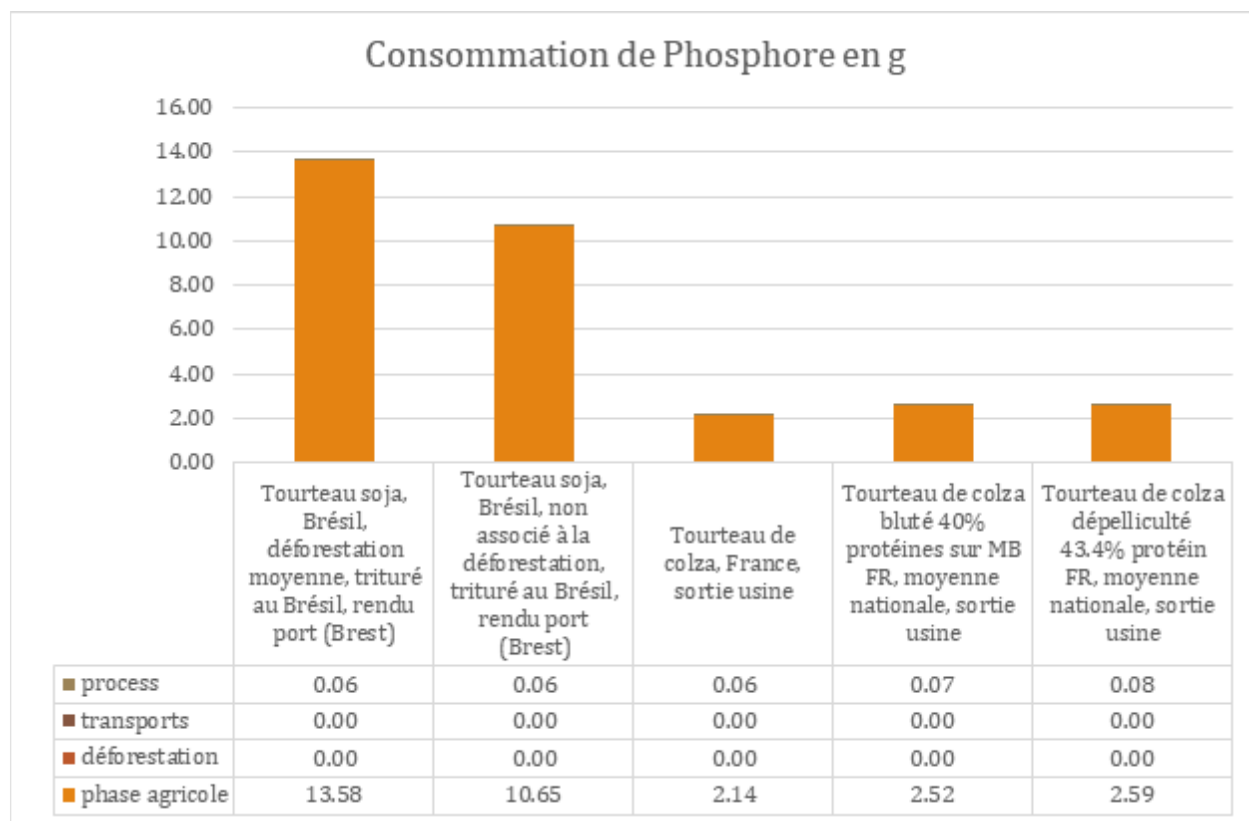
Les impacts environnementaux du tourteau de colza standard France et des deux types de tourteaux de colza innovants (tourteau de colza bluté, tourteau de colza dépelliculé) ont été comparés à ceux issus de la base de données ECOALIM (V1 du 30/09/2015) du tourteau de soja d'importation du Brésil (triturer au Brésil et rendu au port de Brest), avec 2 types d'origine :

- Soja brésilien avec une « déforestation moyenne » : prend en compte les zones sans déforestation et les zones avec déforestation
- Soja brésilien non associé à la déforestation

Dans les graphiques ci-dessous, les impacts environnementaux sont ramenés au kg de matière première.

A noter que les matières premières comparées ont des caractéristiques différentes (des teneurs en protéines de 34,7 à 39,5 % sur MB pour le tourteau de colza selon le process, et près de 46% sur le tourteau de soja) et ne rendent donc pas toutes les mêmes services (niveau d'incorporation dans les formules, apport en différents nutriments).

Figure 11 : Débouché pour le tourteau de colza bluté en phase 1



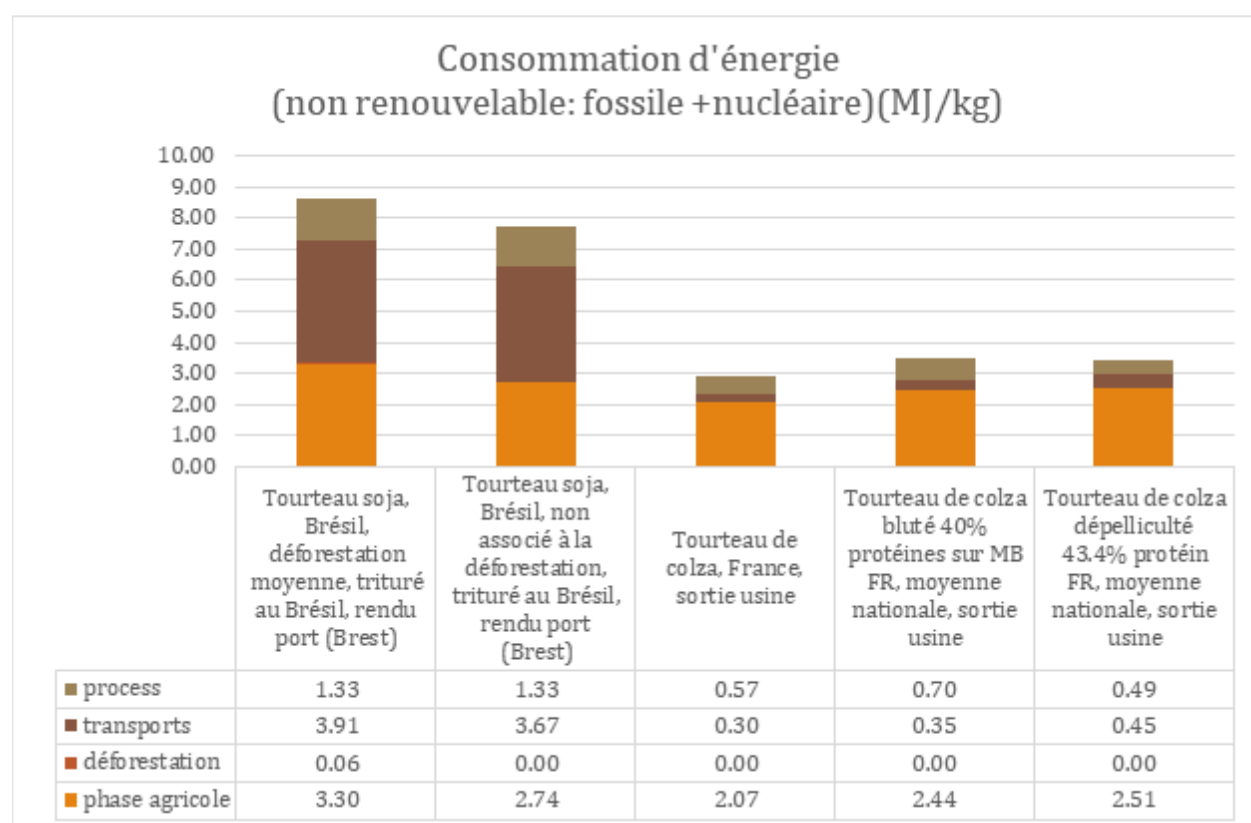
Les trois différents tourteaux de colza présentent une consommation de phosphore réduite par rapport au tourteau de soja du Brésil. Cet impact provient de la phase agricole et s'explique par les données d'intrants en engrais phosphatés considérés sur les cultures (95% par la consommation d'engrais phosphaté sur la culture, et 5% par la consommation d'engrais phosphaté pour la production de semences) et les rendements des cultures de colza et soja dans les différents contextes (rendement de culture du colza 32 q/ha alors que le soja au Brésil est considéré en moyenne à près de 10 q/ha).

De plus, un autre facteur joue de façon importante sur la différence entre les tourteaux de colza et de soja : il s'agit de la règle d'allocation des impacts entre coproduits. En effet, lors de l'étape de trituration, on obtient deux produits : le tourteau et l'huile brute. Une règle d'allocation économique a été appliquée pour répartir les impacts des étapes du cycle de vie en amont de la trituration. Ainsi, tous les impacts liés à la phase agricole sont répartis entre le tourteau et l'huile selon une allocation qui prend en compte le prix et la quantité de chaque coproduit à partir d'une tonne de graines. Dans le cas du colza, 78% des impacts sont alloués à l'huile brute et seulement 22% au tourteau. Dans le cas du soja, 39% des impacts sont alloués à l'huile brute et 61% au tourteau. En effet, le soja est une graine contenant moins de 20% d'huile et donc la masse de tourteau produite à partir d'une tonne de graines est plus élevée qu'en colza ; et par ailleurs, le ratio de prix entre l'huile et le tourteau de soja est réduit par rapport à celui du colza (2.6 et 4.7 respectivement pour le contexte de prix 2008-2012 considéré dans les données utilisées). Cette

différence dans les facteurs d'allocation des impacts aux tourteaux entre colza et soja joue de la même façon sur tous les impacts présentés par la suite.

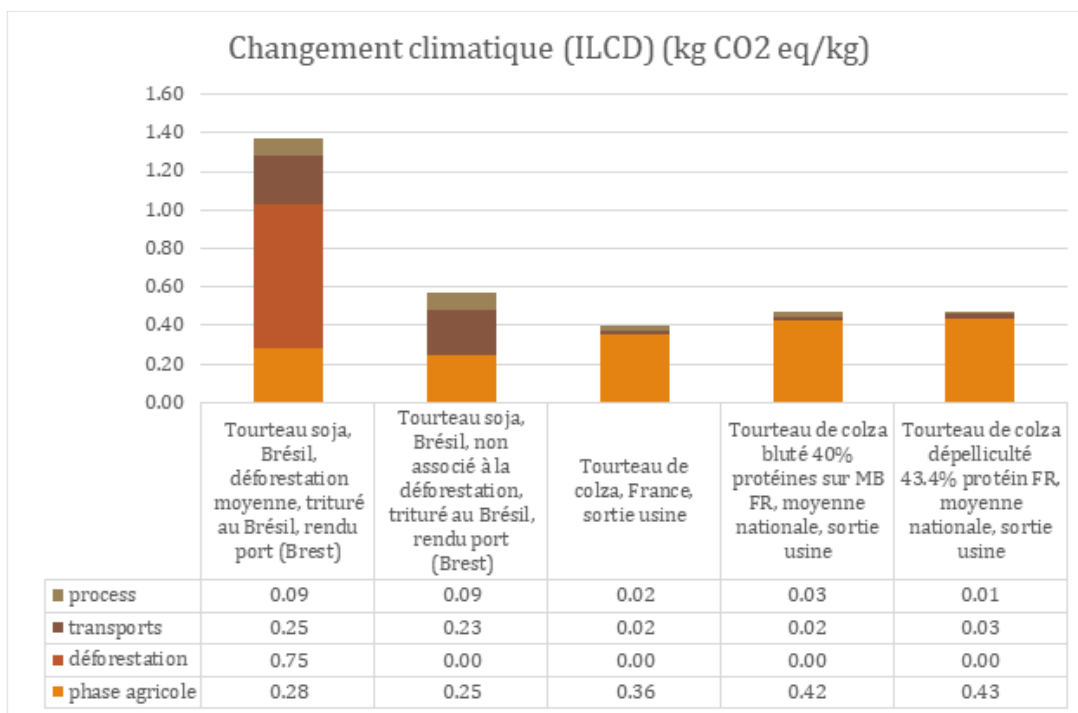
De la même façon, les allocations économiques d'impact au produit final entre les différents tourteaux de colza expliquent les différences entre tourteau de colza standard, tourteau de colza bluté et tourteau de colza dépelliculé, la valeur économique de ces différents tourteaux étant par hypothèse reliée à leur teneur en protéines (après attribution d'une part d'impact selon règle économique à la fraction de tourteau appauvrie en protéines dans le cas du bluté, et aux pellicules de colza dans le cas du dépelliculé).

Figure 12 : Débouché pour le tourteau de colza bluté en phase 1



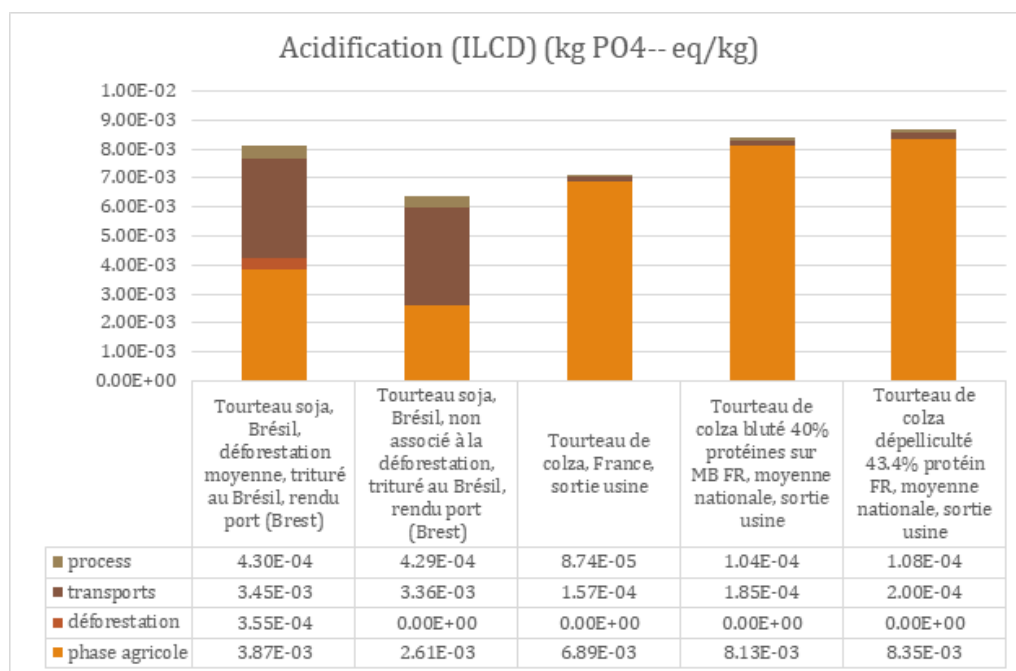
La consommation d'énergie non renouvelable des trois tourteaux de colza est plus faible que celle des tourteaux de soja brésilien. La différence s'explique principalement par l'impact généré par les transports pour le soja. La consommation d'énergie sur le colza provient principalement de la phase agricole pour 70% (48% de la fabrication des engrais et 20% des opérations mécaniques sur la culture), puis du process de transformation à 18% et enfin à 10% des transports (entre champ et OS, entre OS et usine). Par contre, pour le soja, les transports ont un impact beaucoup plus important : seulement 35-38% de l'impact provenant de l'amont agricole pour le soja (fabrication d'engrais, opérations mécaniques) et 45-47% de l'impact consommation d'énergie provient du transport.

Figure 13 : Débouché pour le tourteau de colza bluté en phase 1



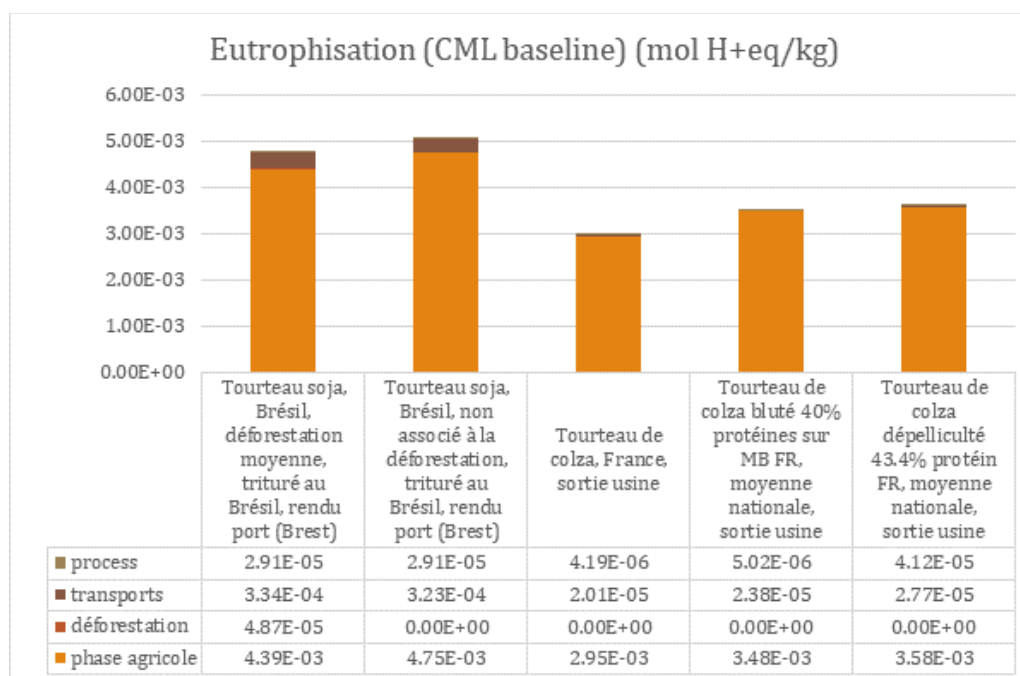
L'impact changement climatique est plus faible pour les trois tourteaux de colza par rapport aux tourteaux de soja brésilien. Cet écart est réduit dans le cas du tourteau de soja non associé à la déforestation. L'impact de l'amont agricole sur le changement climatique est plus élevé pour le colza par rapport au soja car à cette phase ce sont les émissions de N2O au champ liées à la fertilisation azotée et la fabrication d'engrais azoté qui expliquent essentiellement cet impact (alors que le soja ne reçoit pas de fertilisation azotée). Les différences au final sont expliquées par l'impact du transport pour le soja venant du Brésil, et par la déforestation pour le soja moyen Brésil

Figure 14 : Débouché pour le tourteau de colza bluté en phase 1



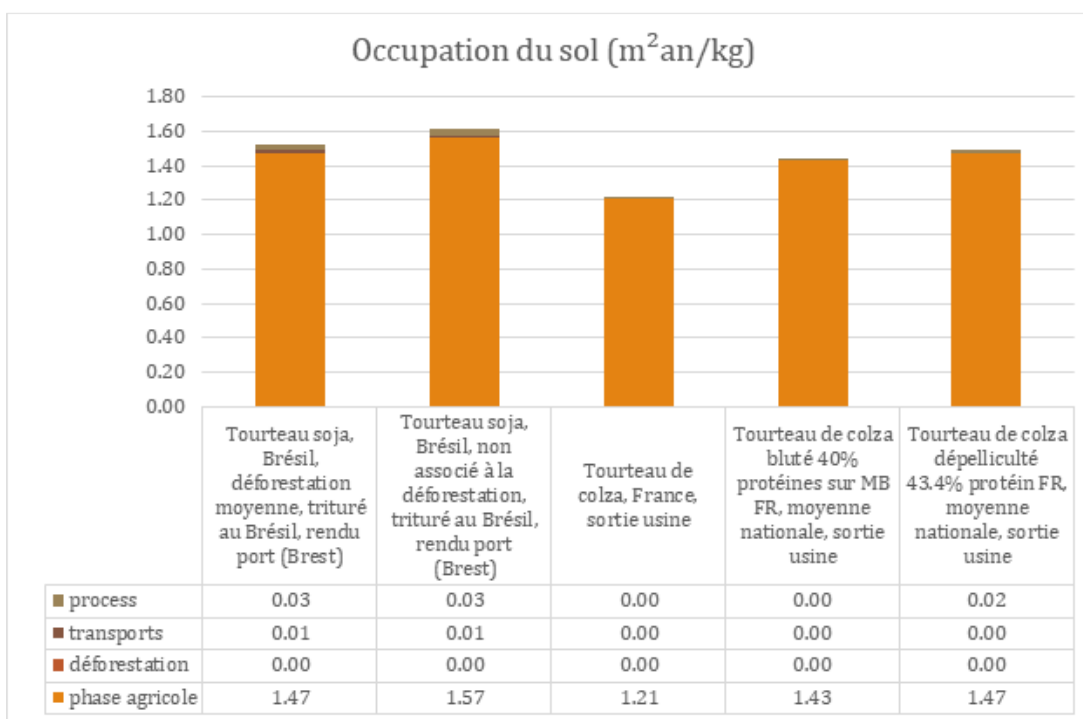
L'impact acidification est du même ordre pour les trois tourteaux de colza par rapport et les tourteaux de soja brésilien. Les transports qui ont une part importante dans cet impact pour le tourteau de soja brésilien, alors que pour les tourteaux de colza cet impact provient principalement de la phase agricole, et plus particulièrement des émissions au champ de NH₃ liées à la fertilisation azotée.

Figure 15 : Débouché pour le tourteau de colza bluté en phase 1



L'impact Eutrophisation est plus faible pour les trois tourteaux de colza par rapport aux tourteaux de soja brésilien. Cet impact est expliqué par la phase agricole, principalement par les émissions de nitrates et de phosphore dans les eaux de surface et souterraines. Les modèles d'émission considérés donnent des émissions par hectare nettement plus importantes pour le colza en France, par rapport au soja brésilien, notamment du fait d'une durée d'occupation des sols plus importante pour le colza. Cependant, du fait de rendement de la culture à l'hectare plus élevé pour le colza, et par le jeu de l'allocation économique de l'impact de la phase agricole aux coproduits tourteau-huile (voir commentaires sur l'impact Consommation de Phosphore), cet impact, ramené au kg de produit final, est donc plus faible pour les tourteaux de colza.

Figure 16 : Débouché pour le tourteau de colza bluté en phase 1



L'impact Occupation des sols est du même ordre pour les trois tourteaux de colza par rapport et les tourteaux de soja brésilien, et provient de la phase agricole. Pourtant les surfaces cultivées au Brésil font 2 cultures par an, et donc l'occupation du sol par le soja exprimé en m².an est réduite par rapport au colza ramenée à l'hectare de culture. Ici, le rendement des cultures intervient puisque l'impact est ramené au kg de produit, et que le colza produit 32 q/ha alors que le soja au Brésil est considéré en moyenne à près de 10 q/ha.

Préambule

Trois scénarios ont été étudiés avec l'outil Prospective Aliment (P.A)¹ du CEREOPA : scénario 2017 (état des lieux) vs scénarios à l'horizon 2023 (tourteaux testés séparément puis ensemble). Les hypothèses retenues prennent en compte une demande en produits finis et en aliments évolutive (poulet de chair mais aussi autres espèces animales). Ainsi par exemple, les productions de poulet de chair sous cahier des charges non OGM (hors bio) progressent de 21 à 38% entre les deux périodes et la part de l'aliment non OGM (hors bio) pour répondre à cette demande progresse de 28% à 48%. Notons que les aliments poulets label dans le modèle P.A, qui étaient à 56% non OGM en 2017, passent à 100% non OGM en 2023.

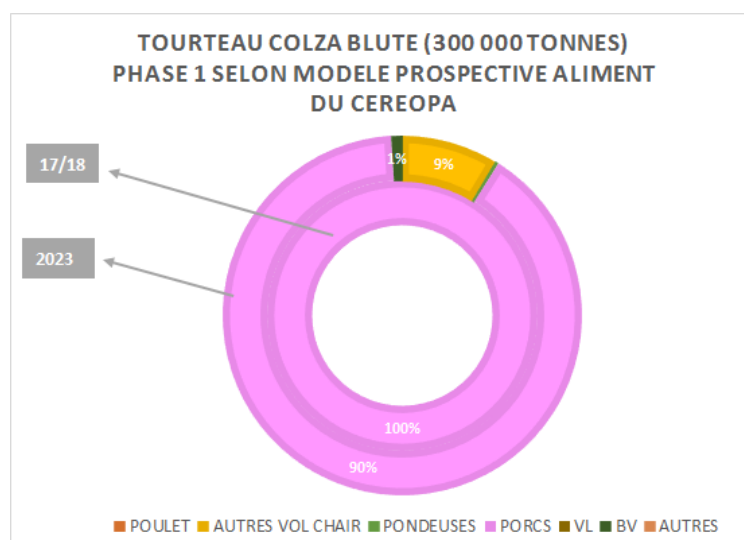
Le contexte de prix des MP est celui de la campagne 17/18 (benchmark) et correspond à la moyenne des prix 2007-2017 pour le scénario 2023 afin de s'extraire de la volatilité et prendre en compte les cotations un peu plus élevées. Des ajustements ont cependant été réalisés pour tenir compte d'une demande en non OGM en hausse (ratio tourteaux et prime non OGM à 90 €/t).

Potentiels d'utilisation

Débouchés

Deux tourteaux de colza ont été testés dans le modèle : le tourteau de colza bluté et le tourteau de colza dépelliculé. Ils ont été proposés dans un premier temps (Phase 1) séparément dans le modèle.

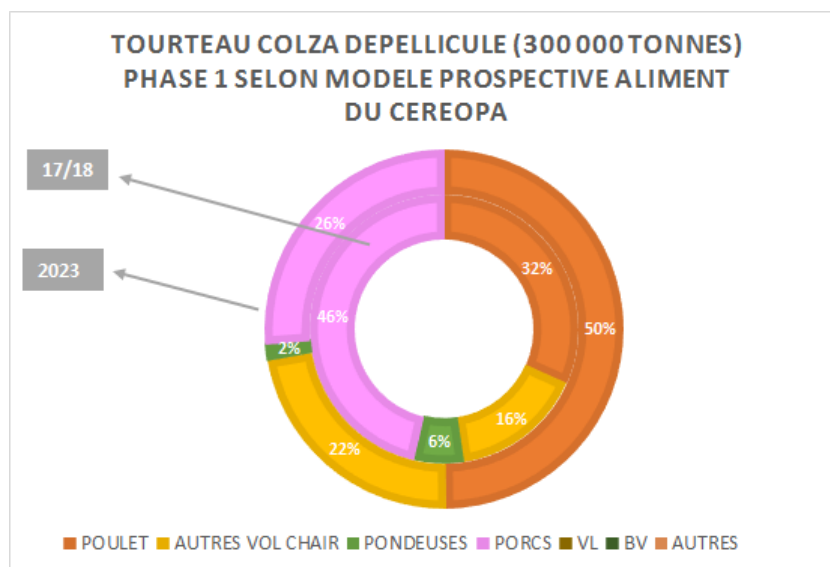
Figure 17. Débouché pour le tourteau de colza bluté en phase 1



¹ Le modèle P.A prend en compte l'ensemble des aliments du commerce destinés aux animaux de rente, permettant de suivre la compétition inter-filières pour la captation des matières premières.

On observe une nette différence dans les débouchés des deux tourteaux aussi bien en 2017 qu'en 2023. **Le tourteau de colza bluté** est ainsi entièrement destiné aux aliments porcins en 2017 et en grande partie sur des aliments « OGM ». En 2023, 10% des volumes de la matière première intègrent des aliments volailles (hors poulet de chair). La part destinée aux aliments « sans OGM » progresse de 20% à 43%.

Figure 18. Débouché pour le tourteau de colza bluté en phase 1

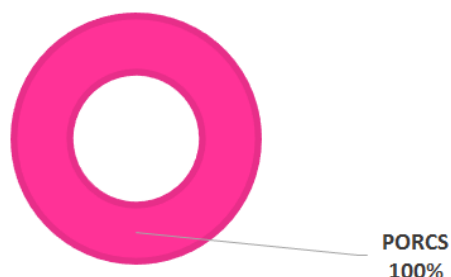


Le tourteau de colza dépelliculé semble plus prometteur pour la filière poulet de chair, son intérêt s'y renforçant en 2023 (avec 32% puis 50% des débouchés). La consommation (toutes filières) est largement portée par des aliments sous cahiers des charges sans OGM (67% en 2017 puis 91% en 2023).

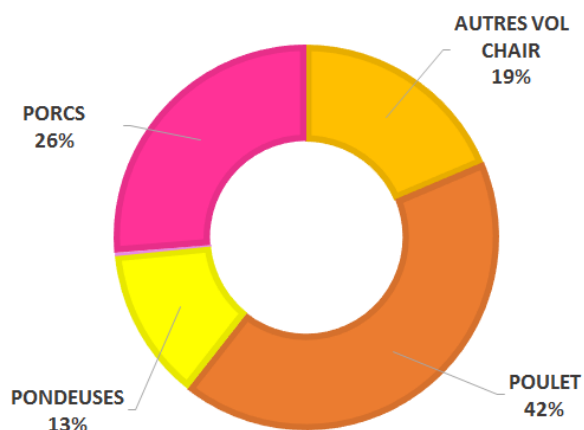
Dans une deuxième phase (Phase 2), un test a été réalisé pour la période 2023, sur un panier de 3 tourteaux (les deux tourteaux de colza cités ci-dessus et un tourteau de tournesol HP+ qui sont donc mis en concurrence). Cette étape a confirmé la destination du colza bluté en porcins et l'intérêt du tourteau de colza dépelliculé en volailles (74%) et notamment en poulet de chair (47%).

Figure 19. Débouchés pour les tourteaux de colza bluté et dépelliculé en phase 2 (Panier MP 2023)

**TOURTEAU COLZA BLUTE (100 000 TONNES)
PHASE 2 (PANIER MP 2023)
SELON MODELE PROSPECTIVE ALIMENT CEREOPA**



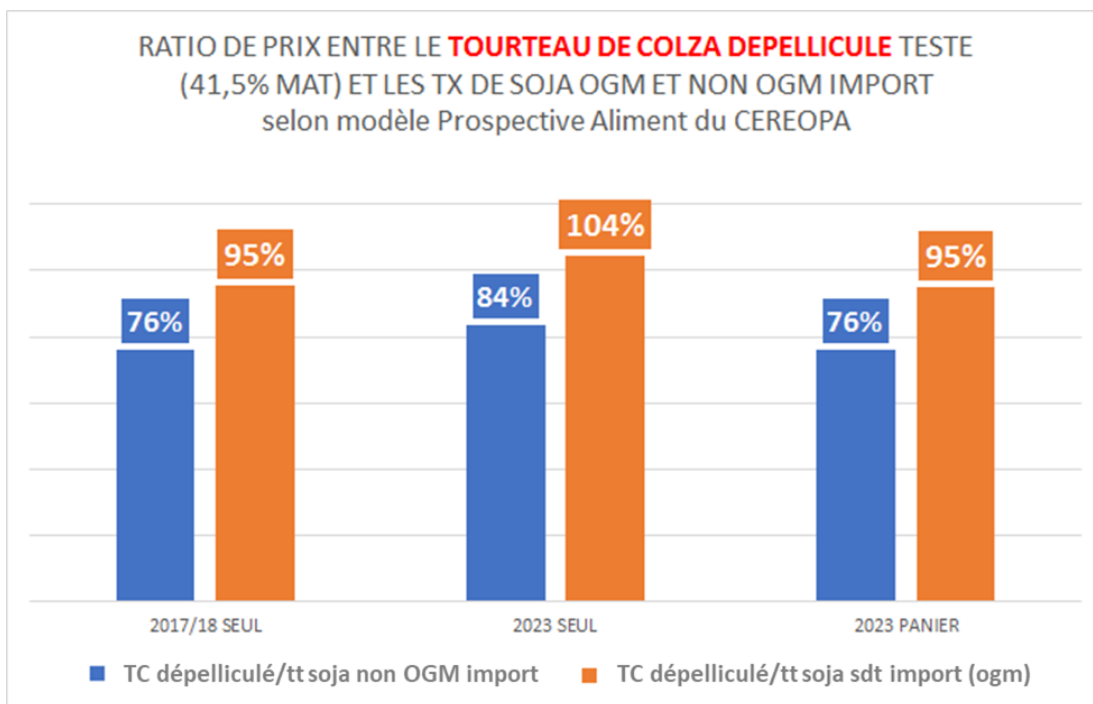
**TOURTEAU COLZA DEPELLICULE (450 000 TONNES)
PHASE 2 (PANIER MP 2023)
SELON MODELE PROSPECTIVE ALIMENT CEREOPA**



Prix d'intérêt

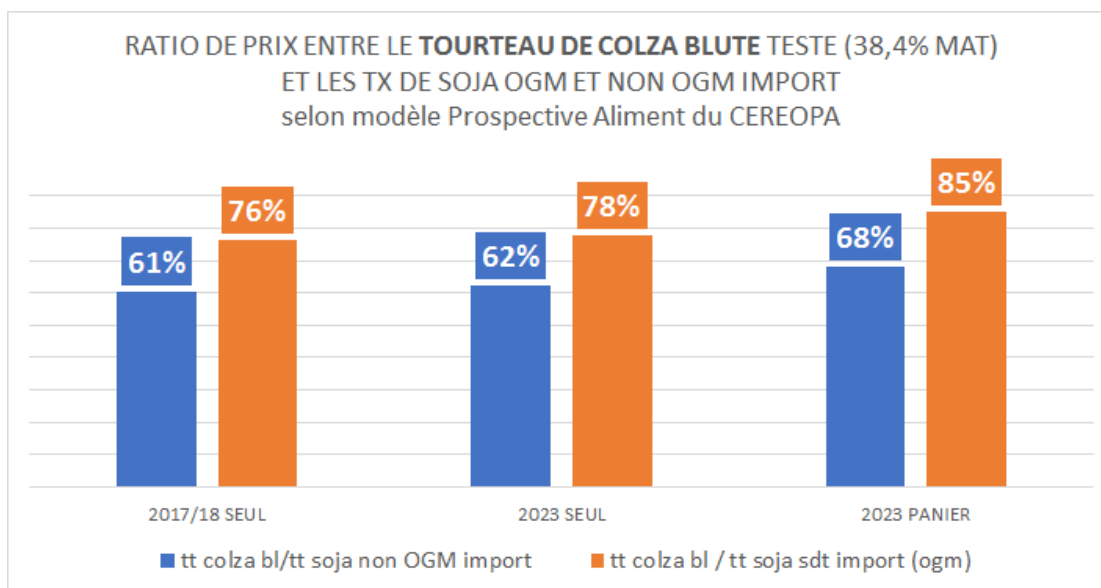
Les prix d'intérêt des deux tourteaux concernent la totalité du modèle (toutes filières animales). Ils sont exprimés en pourcentage des prix de marché des tourteaux de soja d'importation (standard et non OGM) consommés dans le modèle. Le graphique reprend le ratio pour chaque scénario testé.

Figure 20. Débouché pour le tourteau de colza bluté en phase 1



Les deux tourteaux de colza testés se positionnent mieux qu'un tourteau de colza standard dont le prix s'affiche à 46% de celui d'un tourteau de soja non OGM import. Quel que soit le scénario, le tourteau de colza dépelliculé se valorise mieux que le tourteau de colza bluté dans le modèle, en accord avec une valeur EM Volaille supérieure.

Figure 21. Débouché pour le tourteau de colza bluté en phase 1



Les écarts de valorisation entre les deux phases (seul et panier) s'expliquent en partie par les concurrences entre matières premières mais avec un biais fort relatif à des volumes testés différents entre les deux phases (en hausse pour le colza dépelliculé et en baisse pour les deux autres tourteaux)

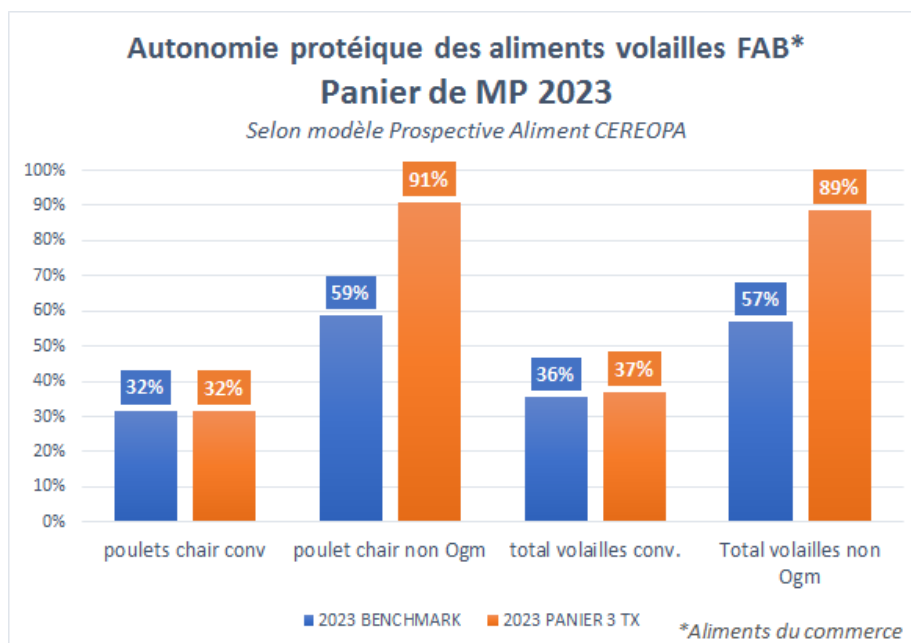
L'écart de prix entre les benchmarks et les tourteaux plus concentrés en protéines testés, devra permettre de couvrir le coût du process et l'éventuelle dégradation du prix de marché de la fraction « appauvrie » pour valider la mise à disposition commerciale.

Impact durabilité

Economie : dans le contexte testé dans la deuxième phase (panier, prix MP, ventilation non OGM, etc.) et sous réserve que les prix des tourteaux testés soient compatibles avec les coûts de process permettant une mise au marché à ce niveau, le coût MP des aliments FAB (toutes filières) pourrait diminuer d'environ 1%. La filière volailles serait particulièrement avantagée avec un recul de 2,1% et celle du poulet de chair encore plus (-2.8%). La filière porcine serait aussi bénéficiaire contrairement aux filières ruminants qui observeraient une légère hausse du coût MP

Autonomie protéique : le tourteau de colza dépelliculé représente un levier intéressant pour l'autonomie protéique de la filière poulet (gain de 9 points lorsque proposé seul dans le scénario 2023). Il se positionne en effet au détriment du soja non OGM import et du tournesol HP (import et métré). Rappelons que ce tourteau « amélioré » vient en remplacement de tourteaux moins concentrés déjà existants dans l'hexagone (pas d'augmentation des capacités de trituration dans les hypothèses).

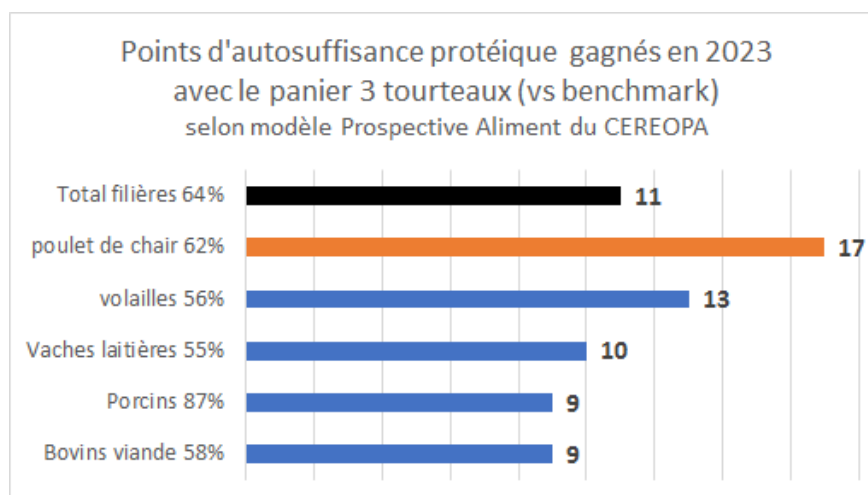
Figure 22. Débouché pour le tourteau de colza bluté en phase 1



Dans la phase 2 (panier 2023), les 3 tourteaux mis à disposition participent uniquement à améliorer l'autonomie protéique des aliments non OGM (dont une partie est sous contraintes 100% origine France). Les aliments poulets de chair non OGM sont proches de l'autosuffisance à 91% contre 59% sans le panier testé. Les autres aliments volailles non OGM (dindes, canard, pondeuses) profitent aussi de ces MP enrichies, permettant à l'ensemble du segment volailles non OGM d'atteindre 89% d'autonomie contre 37% pour la part de la filière volailles en aliments conventionnels.

Finalement, la filière poulet de chair (OGM et non OGM) passe de 45% à 62% d'autonomie protéique. Notons que ce panier de MP participe à améliorer l'autonomie protéique de toutes les filières animales. La volaille gagne 13 points, en tête devant les VL, les porcins et les BV.

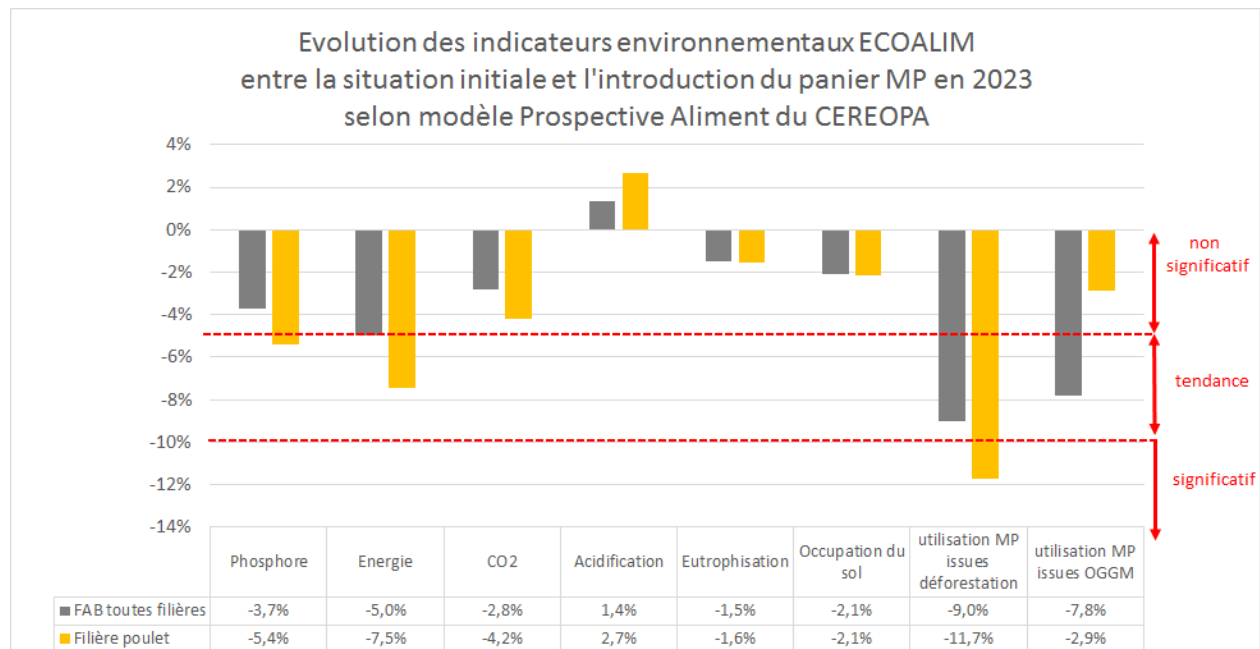
Figure 23. Débouché pour le tourteau de colza bluté en phase 1



Il est intéressant de souligner qu'au-delà de l'autonomie protéique, la souveraineté alimentaire, c'est à dire l'approvisionnement en matières premières d'origine 100% française passe de 73% à 81% avec le panier dans la filière poulet. Sur le total aliment FAB, l'amélioration est moins forte car le panier profite d'abord à la filière volailles.

Environnement : le suivi de 8 indicateurs environnementaux a été réalisé sur le scénario de la phase 2 (panier de MP). Comme le montre le graphique ci-dessous, on ne note pas de détérioration de ces indices, mais pas d'impact réellement positif non plus.

Figure 24. Débouché pour le tourteau de colza bluté en phase 1



NB : les valeurs ACV pour les tourteaux testés sont issues d'un travail de Terres Inovia dans le cadre de Vocalim. Les indicateurs incluent l'impact transport hexagonal (base km moyen parcouru dans le modèle). La part de déforestation du tourteau de soja d'importation est basée sur le sourcing des flux 2017.

Ce qu'il faut retenir...

- Le tourteau de colza bluté trouve la quasi-totalité de son débouché en filière porc aussi bien dans le scénario monoproduct que dans le panier 2023.
- Il trouvera majoritairement sa place dans les aliments pour volailles sans OGM (et majoritairement en poulet).
- Il peut se valoriser à un niveau de prix supérieur à 70% du prix du tourteau de soja non OGM d'importation.
- Proposé en formulation en complément de deux tourteaux de colza riches en protéines, il participera à améliorer à l'horizon 2023, l'autonomie protéique de toutes les filières

d'alimentation du bétail français de +11 points en moyenne (et jusqu'à +17 points en poulet de chair).

- La production et l'utilisation du tourteau de colza bluté français n'aura pas d'impact environnemental significatif (ni positif, ni négatif).

- Adedokun, S. A.; Adeola, O.; Parsons, C. M.; Lilburn, M. S.; Applegate, T. J., 2008. Standardized ileal amino acid digestibility of plant feedstuffs in broiler chickens and turkey poulters using a nitrogen-free or casein diet. *Poult. Sci.*, 87 (12): 2535-2548
- Adedokun, S. A. ; Adeola, O. ; Parsons, C. M. ; Lilburn, M. S. ; Applegate, T. J., 2008. Standardized ileal amino acid digestibility of plant feedstuffs in broiler chickens and turkey poulters using a nitrogen-free or casein diet. *Poult. Sci.*, 87 (12): 2535-2548
- Aherne, F. X.; Kenelly, J. J., 1985. Oilseed meals for livestock feeding. In: Cole, D.J.A.; Haresign, W. (Eds), *Recent Dev. in Pig Nutrition*. Butterworths, Whitstable, UK, pp. 278-309
- Ahmed, A.; Zulkifli, I.; Farjam, A. S.; Abdullah, N.; Liang J. B., 2014. Extrusion enhances metabolizable energy and ileal amino acids digestibility of canola meal for broiler chickens. *Italian J. Anim. Sci.*, 13 (1): 44-47
- Akande, K. E. ; Doma, U. D. ; Agu, H. O. ; Adamu, H. M., 2010. Major antinutrients found in plant protein sources: their effect on nutrition. *Pakistan J. Nutr.*, 9 (8): 827-832
- Anderson-Hafermann, J. C. ; Zhang, Y. ; Parsons, C.M., 1993. Effects of processing on the nutritional quality of canola meal. *Poult. Sci.*, 72 (2): 326-333
- Ashes, J. R. ; Peck, N. J., 1978. A simple device for dehulling seeds and grain. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 3 (2):109-116
- Auger, B.; Marnet, N.; Gautier, V.; Maia-Grondard, V.; Leprince, F.; Renard, M.; Guyot, S.; Nesi, N.; Routaboul, J-M., 2010. A detailed survey of seed coat flavonoids in developing seeds of *Brassica napus* L. *J. Agric. Food Chem.*, 58 (10): 6246-6256
- Baidoo, S. K.; Aherne, F. X., 1985. Canola meal for livestock and poultry. *Agric. Forest. Bull. Univ. Alberta, Edmonton Alberta*, 8 (3): 21
- Baidoo, S. K.; Aherne, F. X., 1986. Canola meal for livestock and poultry. *Poult. Abst.*, 12 (9): 2038
- Bandegan, A. ; Kiarie, E. ; Payne, R. L. ; Crow, G. H. ; Guenter, W. ; Nyachoti, C. M., 2010. Standardized ileal amino acid digestibility in dry-extruded expelled soybean meal, extruded canola seed-pea, feather meal, and poultry by-product meal for broiler chickens. *Poult. Sci.*, 89 (12): 2626-2633
- Barbour, G. W. ; Sim, J. S., 1991. True metabolizable energy and true amino acid availability in canola and flax products for poultry. *Poult. Sci.*, 70 (10): 2154-2160
- Bedeković, D.; Pintar, J.; Janječić, Z.; Mužić, S.; Kos, I., 2014. Using rapeseed cake to improve fatty acid composition of turkey meat. *J. Agr. Sci. Tech.*, 16 (6): 1279-1287
- Bell, J. M. ; Downey, R. K. ; Wetter, L. R., 1967. Oil and meal from Canadian rapeseed. Canada Department of Agriculture. Publication No. 1183
- Bell, J. M. ; Keith, M. O., 1991. A survey of variation in the chemical composition of commercial canola meal produced in Western Canadian crushing plant. *Can. J. Anim. Sci.*, 71 (2): 469-480
- Bell, J. M., 1990. Mustard meal. In: Thacker, P. A.; Kirkwood, R. N. (Eds) *Nontraditional feed sources for use in swine production*. Butterworths, Stoneham, Massachusetts, pp. 265-274
- Bell, J. M., 1993. Factors affecting the nutritional value of canola meal: A review. *Can. J. Anim. Sci.*, 73(4): 689-697
- Blair, R., 2008. *Nutrition and feeding of organic poultry*. Cabi Series, CABI, Wallingford, UK
- Campbell, L. D.; Eggum, B. O.; Jacobsen, I., 1981. Biological value, amino acid availability and true metabolizable energy of low-glucosinolate rapeseed meal (canola) determined with rats and/or roosters. *Nutr. Rep. Int.*, 24 (4): 791-798
- Campbell, L. D., 1988. Canola meal as a substitute for cottonseed meal in the diet of broiler chickens. *Nutr. Rep. Int.*, 37 (2): 371-377
- Carré, P. ; Citeau, M. ; Robin, G. ; Estorges, M., 2016. Hull content and chemical composition of whole seeds, hulls and germs in cultivars of rapeseed (*Brassica napus*). *OCL*, 23 (3): A302
- Carré, P., 2009. Review and evaluation major and most promising processing technologies for oil seed pretreatment and extraction. *Sustoil. D2.1: Report about dehulling, the first step of oilseeds biorefining. Sustoil: Developing advanced Biorefinery schemes for integration into existing oil production/transesterification plants. WP 2: Optimisation of primary processing (e.g. oil extraction and refinery)*. Creol

- Casséus, L., 2009. Canola: a Canadian success story. Statistics Canada
- CCC, 2014. Canola encyclopedia. Canola Council of Canada, Winnipeg, Manitoba, Canada
- CCC, 2015. Canola meal feeding guide. Feed Industry Guide, 5th edition, Canola Council of Canada
- Cetiom, 2001. Le tourteau de colza : une source de protéines équilibrée en alimentation animale. Fiche Technique, Ed. CETIOM, Thiverval-Grignon, France
- CETIOM, 2014. Récolte du colza. CETIOM, Centre Technique Interprofessionnel des Oléagineux et du Chanvre
- Chopra, S. L., 1970. Personal communication. Punjab Agricultural Univ., Ludhiana (India). Dept. of Chemistry and Biochemistry
- Ciurescu, G., 2009. Efficiency of soybean meal replacement by rapeseed meal and/or canola seeds in commercial layer diets. *Archiva Zootechnica*, 12 (1): 27-33
- Clark, W. D. ; Classen, H. L. ; Newkirk, R. W., 2001. Assessment of tail-end dehulled canola meal for use in broiler diets. *Can. J. Anim. Sci.*, 81 (3): 379-386
- Daun, J. K.; D. Adolphe, D., 1997. A revision to the canola definition. *GCIRC Bull.* July, 1997: 134-141
- de Blas, C.; Mateos, G. G.; Garcia-Rebollar, P., 2010. Tablas FEDNA de composicion y valor nutritivo de alimentos para la fabricacion de piensos compuestos (3ª ediciion). Fundacion para el Desarrollo de la Nutricion Animal, Madrid, 502 p
- Dezat, E. 2018. Farines d'insectes, protéagineux, tourteaux de colza, quelles pistes pour améliorer l'autonomie protéique des volailles ? *Terra*, N°662. Chambre d'agriculture de Bretagne.
- Doranalli, K. ; Helmbrecht, A. ; Payne, R. L., 2013. Effect of heat treatment of rapeseed meal on performance and carcass characteristics of broiler chickens. *Aust. Poult. Sci. Symp.* 2013, 163-166
- Doré, C. ; Varoquaux, F., 2006. Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées. Editions Quae, 840 p.
- Duke, J. A., 1983. Handbook of Energy Crops. NewCROPS web site, Purdue University
- Eeckhout, W. ; De Paepe, M., 1994. Total phosphorus, phytate phosphorus and phytase activity in plant feedstuffs. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 47 (1-2): 19-29
- EFSA , 2009. Scientific Opinion on applications (EFSA-GMO-RX-GT73[8.1.a] and EFSAGMO- RX-GT73[8.1.b/20.1.b]) for renewal of the authorisation for continued marketing of existing (1) food and food ingredients produced from oilseed rape GT73; and of (2) feed materials, feed additives and food additives produced from oilseed rape GT73, all under Regulation (EC) No 1829/2003 from Monsanto. *EFSA Journal*, 7(12):1417
- Emmert, J. L.; Baker, D. H., 1997. A chick bioassay approach for determining the bioavailable choline concentration in normal and overheated soybean meal, canola meal and peanut meal. *J. Nutr.*, 127 (5): 745-752
- ERS-USDA, 2012. Soybeans and oil crops: canola. USDA Briefing Rooms
- European Commission, 2003. Regulation (EC) No 1829/2003 of the European Parliament and of the Council of 22 September 2003 on genetically modified food and feed. *Official J. European Union*, L 268/1, 18.10.2003, 1-23
- European Community, 1976. Council Directive 76/621/EEC of 20 July 1976 relating to the fixing of the maximum level of erucic acid in oils and fats intended as such for human consumption and in foodstuffs containing added oils or fats. *Official Journal of the European Communities* L202 : 35
- Fan, M. Z.; Sauer, W. C.; Gabert, V. M. , 1996. Variability of apparent ileal amino acid digestibility in canola meal for growing-finishing pigs. *Can. J. Anim. Sci.*, 76 (4): 563-569
- Fang, Z. F. ; Liu, Z. L. ; Dai, J. J. ; Qian, H. Y. ; Qi, Z. L. ; Ma, L. B. ; Peng, J., 2009. Effects of enzyme addition on the nutritive value of broiler diets containing hulled or dehulled Chinese double-low rapeseed meals. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, 93 (4): 467-476
- FAO, 2014. FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy
- FAO, 2016. FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy
- Fenwick, G. R., 1982. The assessment of a new protein source - Rapeseed. *Proc. Nutr. Soc.*, 41 (3): 277-288
- Foltyn, M. ; Lichovníková, M. ; Rada, V. ; Musilová, A., 2015. Apparent ileal digestibility of protein and amino acids in protein feedstuffs and trypsin activity in the small intestine in broiler chickens. *Czech J. Anim. Sci.*, 60 (8): 375-382

- Franzoi, E. E.; Siewerdt, F. Rutz, F., 1998. Desempenho de frangos de corte alimentados com diferentes níveis de farelo de canola. *Ciência Rural*, 28 (4): 683-689
- Friedman, M., 1996. Nutritional value of protein from different food sources. *J. Agric. Food Chem.*, 44 (1): 6-29
- Gheisari, A.; Gayor, P., 2014. Different dietary levels of rapeseed meal effects on egg quality characteristics in indigenous breeding hens. *J. Farm Anim. Nutr. Physiol.*, 9/1 (1): 1 -8
- GMO Compass, 2010. Rapeseed. GMO Food Database
- Goh, Y. K. ; Shires, A. ; Robblee, A. R. ; Clandinin, D. R., 1982. The effects of hydrous and anhydrous ammonia treatments on the nutritive value of low glucosinolate-type rapeseed meal (canola meal) for chicks. *Can. J. Anim. Sci.*, 62 (3): 915-918
- Grageola, F.; Landero, J. L.; Beltranena, E.; Cervantes, M.; Araiza, A.; Zijlstra, R. T., 2013. Energy and amino acid digestibility of expeller pressed canola meal and cold pressed canola cake in ileal cannulated finishing pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 186 (1-3):
- Green, S. ; Kiener, T., 1989. Digestibilities of nitrogen and amino acids in soya-bean, sunflower, meat and rapeseed meals measured with pigs and poultry. *Anim. Prod.*, 48 (48): 157-179
- Halle, I. ; Schöne, F., 2013. Influence of rapeseed cake, linseed cake and hemp seed cake on laying performance of hens and fatty acid composition of egg yolk. *J. Cons. Protect. Food Safety (J. Verbr. Lebensm.)*, 8 (3): 185-193
- Hickling, D., 2008. Maximized utilization of canola co-products in the livestock industry. *Proc. 29th Western Nutrition Conference*, Sept. 23 – 24, 2008 Edmonton, 3-12
- Huang, K. H. ; Li, X. ; Ravindran, V. ; Bryden, W. L., 2006. Comparison of apparent ileal amino acid digestibility of feed ingredients measured with broilers, layers, and roosters. *Poult. Sci.*, 85 (4): 625–634
- Huang, K. H. ; Ravindran, V. ; Li, X. ; Ravindran, G. ; Bryden, W. L., 2007. Apparent ileal digestibility of amino acids in feed ingredients determined with broilers and layers. *J. Sci. Food Agric.*, 87 (1): 47-53
- Hy-Line International, 2010. Feeding rapeseed meal or canola meal to Hy-Line brown hens. <http://www.hylina.com/redbook/Nutrition/Canola.pdf>
- Kasprzak, M. M.; Houdijk, J. G. M.; Olukosi, O. A.; Appleyard, H.; Kightley, S. P. J.; Carre, P.; Wiseman, J., 2017. The influence of oil extraction process of different rapeseed varieties on the ileal digestibility of crude protein and amino acids in broiler chickens. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 227: 68-74
- Khajali, F.; Slominski, B. A., 2012. Factors that affect the nutritive value of canola meal for poultry. *Poult. Sci.*, 91 (10): 2564-2575
- Kong, C. ; Adeola, O., 2016. Determination of ileal digestible and apparent metabolizable energy contents of expeller-extracted and solvent-extracted canola meals for broiler chickens by the regression method. *SpringerPlus*, 5: 693
- Kozłowski, K.; Jeroch, H., 2014. Enhancing the nutritional value of poultry feedstuffs using the example of rapeseed products - A review. *Ann. Anim. Sci.*, 14 (2): 245-256
- Kozłowski, K. ; Helmbrecht, A. ; Lemme, A. ; Jankowski, J. ; Jeroch, H., 2011. Standardized ileal digestibility of amino acids from high-protein feedstuffs for growing turkeys – a preliminary study. *Arch. Geflügelk.*, 75 (3): 185–190
- Larmond, E.; Salmon, R. E.; Klein, K. K., 1983. Effect of canola meal on the sensory quality of turkey meat. *Poult. Sci.*, 62 (2): 397-400
- Leeson, S.; Atteh, J. O.; Summers, J. D., 1987. The replacement value of canola meal for soybean meal in poultry diets. *Can. J. Anim. Sci.*, 67(1): 151-158
- Lei, T. ; Guo, Y. ; Wang, Y. ; Ning, D. ; Luo, X., 2014. Effects of pectinase in meal type diets on ileal amino acid digestibility and metabolizable energy of broilers. *Chinese J. Anim. Nutr.*, 26 (2): 453-465
- Leming, R.; Lember, A., 2005. Chemical composition of expeller-extracted and cold-pressed rapeseed cake. *Agraarteadus*, 16 (2): 96-103
- Lewis, A. J. ; Southern, L. L., 2001. *Swine nutrition*. 2nd edition - CRC Press
- Lipsa, F. D.; Snowdon, R.; Friedt, W. , 2012. Quantitative genetic analysis of condensed tannins in oilseed rape meal. *Euphytica*, 184 (2): 195-205
- Mejicanos, G. ; Sanjayan, N. ; Kim, I. H. ; Nyachoti, C. M., 2016. Recent advances in canola meal utilization in swine nutrition. *J. Anim. Sci. Technol.*, 58: 7

- Mesini, A., 1997. Rapeseed meal: Goodbye to antinutritional factors. *Riv. di Coniglicoltura*, 34 (1): 39
- Mustafa, A. F.; McKinnon, J. J.; Christensen, D. A., 1997. In situ amino acid disappearance from regular, low and high fiber canola meal. *Can. J. Anim. Sci.*, 77 (3): 533-535
- Naseem, M. Z. ; Khan, S.H. ; Yousaf, M., 2006. Effect of feeding various levels of canola meal on the performance of broiler chicks. *J. Anim. Pl. Sci.*, 16 (3-4): 78-82
- Newkirk, R. W. ; Classen, H. L., 2002. The effects of toasting canola meal on body weight, feed conversion efficiency and mortality in broiler chickens. *Poult. Sci.*, 81 (6): 815-825
- Newkirk, R. W. ; Classen, H. L.; Scott, T. A. ; Edney, M. J. , 2003. The digestibility and content of amino acids in toasted and non-toasted canola meals. *Can. J. Anim. Sci.*, 83 (1): 131-139
- Newkirk, R., 2009. Canola meal: feed industry guide. In: Newkirk, R. (Ed.), 4th Ed., Canadian Int. Grains Inst., Canola Council, Winnipeg, Manitoba, Canada
- NRC, 2011. Nutrient requirements of fish and shrimp. National Academies Press, Washington D. C., USA
- Oil World, 2015. Oil World Annual 2015. ISTA Mielke GmbH, Hamburg
- Oil World, 2019. No. 50, Vol. 62 13 December 2019. ISTA Mielke GmbH, Hamburg
- Ørskov, E. R. ; Nakashima, Y. ; Abreu, J. M. F. ; Kibon, A. ; Tuah, A. K., 1992. Data on DM degradability of feedstuffs. Studies at and in association with the Rowett Research Organization, Bucksburn, Aberdeen, UK. Personal Communication
- Oryschak, M. ; Beltranena, E., 2013. Solvent-extracted vs. expeller-pressed *B. napus* and *B. juncea* fed to layers: Effects on feed intake, egg production and physical egg quality. *Poult. Sci.*, 92 (Suppl. 1): 80
- Perez-Maldonado, R. A., 2003. Canola meal and cottonseed meal in broiler and layer diets. *Aust. Egg Corp. Lim.*, Publication N°03/10, AECL Project No DAQ-264]
- Peyronnet, C.; Dauguet, S., 2014. Qualité des tourteaux: Colza année 2014. Terres Univia, Terres Inovia
- Ramesh, K. R. ; Devegowda, G. ; Khosravania, H., 2006. Effects of enzyme addition to broiler diets containing varying levels of double-zero rapeseed meal. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, 19 (9): 1354-1360
- Ravindran, V. ; Adeola, O. ; Rodehutsord, M. ; Kluth, H. ; Klis, J. D. van der ; Eerden, E. van ; Helmbrecht, A., 2017. Determination of ileal digestibility of amino acids in raw materials for broiler chickens – Results of collaborative studies and assay recommendations. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 225: 62-72
- Salmon, R. E.; Gardiner, E. E.; Klein, K. K.; Larmond, E., 1981. Effect of canola (low glucosinolate rapeseed) meal, protein and nutrient density on performance, carcass grade, and meat yield, and of canola meal on sensory quality of broilers. *Poult. Sci.*, 60 (11): 2519-2528
- Salmon, R. E., 1982. Canola meal and fish meal in turkey starter diets. *Poult. Sci.*, 61 (10): 2126-2128
- Salmon, R. E., 1984. True metabolizable energy and total and available amino acids of Candle, Altex, and Regent canola meals. *Poult. Sci.*, 63 (1): 135-138
- Sauvante, D.; Perez, J. M.; Tran, G., 2004. Tables INRA-AFZ de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage: 2ème édition. ISBN 2738011586, 306 p. INRA Editions Versailles
- Selle, P. H. ; Walker, A. R. ; Bryden, W. L., 2007. Total and phytate-phosphorus contents and phytase activity of Australian-sourced feed ingredients for pigs and poultry. *Aust. J. Exp. Agric.*, 43 (5): 475-479
- Sibbald, I. R., 1977. The true metabolizable energy values for poultry of rapeseed and of the meal and oil derived therefrom. *Poult. Sci.*, 56 (5): 1652-1656
- Skiba, F. ; Castaing, J. ; Evrard, J. ; Melcion, J. P. ; Hazouard, I. ; Gatel, F., 1999. Valeur alimentaire de graines et tourteaux de colza en fonction de traitements technologiques chez le porcelet en post-sevrage. *Journées Rech. Porc.*, 31: 215-221
- Snowdon, R.; Lühs, W.; Friedt, W., 2006. Oilseed Rape : Chapter 2. In: Chittaranjan Kole (Ed.), *Genome Mapping and Molecular Breeding in Plants, Volume 2. Oilseeds*. Springer
- Spragg, J. ; Mailer, R., 2007. Canola meal value chain quality improvement. Project Code: 1B-103-0506, AOF & Pork CRC
- Summers, J. D.; Hunt, E. C.; Leeson, S., 1985. Canola meal for laying hens. *Can. J. Anim. Sci.*, 65 (4): 905-911
- Summers, J. D.; Spratt, D.; Leeson, S., 1988. Utilization of calcium in canola meal supplemented laying diets. *Can. J. Anim. Sci.*, 68 (4): 1315-1317
- Summers, J. D.; Bedford, M., 1994. Canola-meal and diet acid-base-balance for broilers. *Can. J. Anim. Sci.*, 74 (2): 335-339

- Summers, J. D., 1995. Canola meal and acid-base balance. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 53 (2): 109-115
- Szczurek, W., 2009. Standardized ileal digestibility of amino acids from several cereal grains and protein-rich feedstuffs in broiler chickens at the age of 30 days. *J. Anim. Feed Sci.*, 18 (4): 662-676
- Szczurek, W., 2010. Standardized ileal digestibility of amino acids in some cereals, rapeseed products and maize DDGS for broiler chickens at the age of 14 days. *J. Anim. Feed Sci.*, 19 (1): 72-80
- Szczurek, W., 2010. Practical validation of efficacy of the standardized ileal digestible amino acid values in diet formulation for broiler chickens. *J. Anim. Feed Sci.*, 19 (4): 590-598
- Thomas, V. M. ; Katz, R. J. ; Auld, D. A. ; Petersen, C. F. ; Sauter, E. A. ; Steele, E. E., 1983. Nutritional value of expeller extracted rape and safflower oilseed meals for poultry. *Poult. Sci.*, 62: 882-886
- Toghyani, M. ; Rodgers, N. ; Iji, P. A. ; Swick, R. A., 2015. Standardized ileal amino acid digestibility of expeller-extracted canola meal subjected to different processing conditions for starter and grower broiler chickens. *Poult. Sci.*, 94 (5): 992-1002
- Tripathi, M. K.; Mishra, A. S., 2007. Glucosinolates in animal nutrition: A review. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 132 (1-2): 1-27
- Undi, M. ; Moshtaghi-Nia, S. A. ; Wittenberg, K. M. ; Ingalls, J. R., 1996. A comparative study on amino acid availability of moist heated canola meal for poultry vs. ruminants. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 63 (1-4): 179-186
- USDA, 2016. Production, Supply and Distribution Online. Foreign Agricultural Service
- Vargas, M.; Urbá, R.; Enero, R.; Báez, H.; Pardo, P.; Visconti, C., 1965. Composición de alimentos chilenos de uso en ganadería y avicultura. Santiago. Ministerio de Agricultura. Instituto de Investigación Veterinaria.
- Voris, L. E. R.; Marcy, L. F.; Thacker, E. J.; Waino, W. W., 1940. Digestible nutrients of feeding stuffs for the domestic rabbit. *J. Agric. Res.*, 61 (9): 673-683
- Wang, J.; Wu, S. G.; Zhang, H. J.; Yue, H. Y.; Xu, L.; Ji, F.; Xu, L.; Qi, G. H., 2013. Trimethylamine deposition in the egg yolk from laying hens with different FMO3 genotypes. *Poult. Sci.*, 92 (3): 746-752
- Ward, A. K.; Classen, H. L.; Buchanan, F. C., 2009. Fishy-egg tainting is recessively inherited when brown-shelled layers are fed canola meal. *Poult. Sci.*, 88 (4): 714-721
- Wickramasuriya, S. S.; Young-Joo Yi; Jae Cheol Kim; Jaehong Yoo; Nam Kyu Kang; Jung Min Heo, 2015. A review of canola meal as an alternative feed ingredient for ducks. *J. Anim. Sci. Technol.*, 57: 29
- Wickramasuriya, S. S. ; Young-Joo Yi ; Jaehong Yoo ; Nam Kyu Kang ; Jung Min Heo, 2015. A review of canola meal as an alternative feed ingredient for ducks. *J. Anim. Sci. Technol.*, 57: 29
- Woyengo, T. A. ; Kiarie, E. ; Nyachoti, C. M., 2010. Metabolizable energy and standardized ileal digestible amino acid contents of expeller-extracted canola meal fed to broiler chicks. *Poult. Sci.*, 89 (6): 1182-1189
- Zeb, A. ; Sattar, A. ; Shah, A. B. ; Bibi, N. ; Thinggaard, G. ; Meulen, U. ter, 2002. Effects of dehulling and dry heating on the nutritional value of rapeseed meal for broiler chicks. *Arch. Geflügelk.*, 66 (4): 164-168
- Zuprizal ; Larbier, M. ; Chagneau, A. M. ; Lessire, M., 1991. Effect of protein intake on true digestibility of amino acids in rapeseed meals for adult roosters force fed with moistened feed. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 34 (3-4): 255-260
- Zuprizal ; Larbier, M. ; Lessire, M., 1991. Bioavailability of lysine in rapeseed and soyabean meals determined by digestibility trial in cockerels and chick growth assay. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 35 (3-4): 237-246
- Zuprizal ; Larbier, M. ; Chagneau, A. M. ; Geraert, P. A., 1993. Influence of ambient temperature on true digestibility of protein and amino acids of rapeseed and soyabean meals in broilers. *Poult. Sci.*, 72 (2): 289-295