

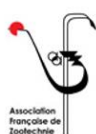


Matières premières innovantes pour l'autonomie protéique des élevages de volailles français : le tourteau de soja

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.....	2
Appellations	2
Dénominations commerciales	2
Description	3
Distribution	3
Impact environnemental.....	3
Procédés d'obtention des tourteaux de soja.....	4
Trois principaux procédés d'extraction.....	4
Traitements de pré-extraction	4
Procédés d'extraction.....	5
Procédés d'amélioration	6
Tourteau de soja décortiqué, aplati cuit et pressé type Extrusel évalué dans VOCALIM (dénommé « tourteau de soja Extrusel » dans la suite du document).....	8
Caractéristiques nutritionnelles	8
Considérations générales.....	8
Valeurs nutritionnelles pour les volailles	10
Comparaison des différents types de tourteaux de soja.....	10
Recommandations pour l'alimentation des volailles	15
Décorticage	15
Traitements thermiques.....	16
Tourteau de soja expeller type Extrusel : niveau d'incorporation, ingestion, gain de poids et indice de consommation	17
Evaluation de la durabilité	18
Critères de durabilité.....	18
Données environnementales.....	18
Potentiels d'utilisation	24
Préambule	24
Potentiels d'utilisation	24
Bibliographie.....	26

Tourteaux de soja (*Glycine max.*)

2

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 soja partiellement déshuilé (expeller) est une matière première potentiellement intéressante en France : bien que produit en relativement faible quantité, sa teneur en protéines de bonne qualité et sa richesse en énergie (puisque'il contient encore une fraction non négligeable d'huile) en font une matière première de choix pour l'alimentation des volailles. Il pourrait constituer une source supplémentaire de protéines produites sur le territoire.

Cette fiche présente une synthèse des connaissances disponibles quant à l'utilisation du tourteau de soja expeller en alimentation des volailles et met en exergue les caractéristiques ainsi que les résultats obtenus lors des expérimentations VOCALIM.

Appellations

Les noms donnés aux tourteaux de soja sont fonction des procédés d'extraction de l'huile utilisés lors de la trituration des graines.

Tableau 1. Appellations des tourteaux de soja

Technologie d'extraction	Noms
Extraction au solvant	Tourteau de soja dégraissé, extrait au solvant, tourteau de soja conventionnel
Extraction par pression	Tourteau de soja gras, tourteau de soja expeller
Extraction par extrusion pression	Tourteau de soja gras type Extrusel, tourteau de soja expeller type Extrusel

Dénominations commerciales

Pour la vente, les tourteaux de soja sont généralement classés selon un indice combinant leur teneur en protéines et en matières grasses (ProFat). Pour les tourteaux de soja conventionnels, on peut trouver les catégories suivantes :

ProFat	Protéine en %	Matière Grasse en %
44	42	2
46	44	2
48	46	2
49	47	2
50	48	2

Description

Le tourteau de soja est la principale source de protéines pour l'alimentation des animaux d'élevage. Il représente les deux tiers de la production mondiale totale de protéines destinées à l'alimentation animale, incluant tous les tourteaux d'oléagineux et la farine de poisson (Oil World, 2015). Sa valeur nutritive est inégalée, dépassant toutes les autres sources de protéines végétales et il est l'aliment de référence pour déterminer la valeur des autres sources de protéines (Cromwell, 1999). Intégré depuis le milieu des années 1930 dans l'alimentation du bétail et de la volaille aux États-Unis (Lewis et al., 2001), sa production a décollé au milieu des années 1970, et s'est encore accélérée au début des années 90, à la suite d'une demande accrue des pays en développement. Le développement de l'aquaculture et les interdictions d'utilisation de certains produits animaux (farines de viande) ont également généré la demande pour cette source de protéine de grande qualité (Steinfeld et al., 2006).

Le tourteau de soja est le co-produit de trituration de la graine de soja après extraction de l'huile. Plusieurs procédés existent, ils donnent des produits de qualités différentes. Sur le marché, les tourteaux de soja sont généralement classés en fonction de leur teneur en protéines. Il existe deux catégories principales de tourteau de soja, le tourteau de soja « riche en protéines » contenant 47 à 49% de protéines et 3% de fibres brutes, obtenu à partir de graines décortiquées, et le tourteau de soja « classique » contenant 43 à 44% de protéines qui contient les coques. Dans les tourteaux de soja extraits par solvant, la teneur en huile est généralement inférieure à 2%, alors qu'elle dépasse 3% dans les tourteaux extraits mécaniquement (expeller) (Cromwell, 2012).

Distribution

Le tourteau de soja se trouve partout dans le monde. En 2018, la production de tourteau de soja a atteint 300 millions de tonnes et représentait 62,5% des tourteaux d'oléagineux (FAO, 2016). Les principaux producteurs ont été la Chine (76 millions de tonnes), les États-Unis (44 millions de tonnes), l'Argentine (33 millions de tonnes), le Brésil (33 millions de tonnes) et l'UE-28 (12,5 millions de tonnes) (Soybean meal info center, 2018). Les principaux exportateurs étaient l'Argentine et le Brésil (Oil World, 2015). L'Union Européenne (UE 28) était le plus gros importateur de tourteau de soja (27 millions de tonnes), suivie par les pays d'Asie du Sud-Est comme l'Indonésie, la Malaisie, la Thaïlande et les Philippines (Oil World 2015). Dans l'UE-28, le tourteau de soja représentait 61% des protéines utilisées pour nourrir le bétail, 16% des aliments composés pour animaux et une quantité de 24 millions de tonnes (Booth, 2015).

En France, en 2018, la surface agricole emblavée en soja était de 153 853 ha se situant dans deux grands bassins de production : le Sud-Ouest et l'Est. Les rendements pour l'ensemble du territoire français étaient de 25.9qtx/ha (Agreste, 2020). La production de tourteau issu de soja cultivé en France est estimée à environ 70 000 t sur la saison 18/19 (Patricia Le Cadre, communication personnelle.), et une estimation pour l'année 2019 serait de l'ordre de 150-200 000 t en 2019 (Terres Univia).

Impact environnemental

La haute teneur en phytates du tourteau de soja requiert une supplémentation en phosphore inorganique chez les animaux monogastriques. Le phosphore alimentaire excédant les besoins des animaux est excrété dans l'environnement et devient un polluant environnemental (Dilger et al., 2006).

La digestibilité élevée des acides aminés du tourteau de soja dans les régimes des monogastriques et la teneur élevée en lysine permettent de formuler des régimes contenant moins de protéines totales qu'avec d'autres sources de protéines et moins d'azote en excès dans les aliments, réduisant ainsi l'excrétion d'azote dans la biosphère. (Pettigrew *et al.*, 2008).

Les tourteaux de soja sont généralement produits au moyen d'hexane, un solvant qui est extrêmement inflammable et non-biorenouvelable. L'hexane présente des risques pour la santé et est considéré comme un polluant atmosphérique dangereux par les réglementations (O'Quinn *et al.*, 1997).

Procédés d'obtention des tourteaux de soja

Trois principaux procédés d'extraction

Il y a 3 façons de triturer le soja pour en tirer de l'huile et du tourteau.

- L'extraction par solvant est la plus utilisée. Aux Etats-Unis, la quasi - totalité du soja (99 %) est extraite au solvant. Cette méthode extrait efficacement l'huile des graines et ne laisse que 1,5% d'huile résiduelle dans le tourteau de soja.
- La deuxième méthode consiste à extraire mécaniquement les flocons de soja à l'aide d'une presse à vis pour extraire l'huile, sans aucun solvant. Cette méthode produit moins d'huile et un tourteau de soja plus riche en graisses.
- La troisième méthode combine l'extrusion et extraction des flocons de soja et n'utilise aucun solvant pour extraire l'huile (Johnson *et al.*, 2004).

Avant trituration, le soja subit différents traitements visant à améliorer l'extraction de l'huile (Dunford, 2012).

Traitements de pré-extraction

Décorticage/dépelliculage

Le décorticage sépare l'amande riche en huile des coques qui en contiennent beaucoup moins. Le décorticage supprime également les facteurs antinutritionnels.

Broyage et floconnage

Les opérations de broyage et de floconnage favorisent l'extraction au solvant en modifiant la perméabilité du tourteau (Dunford, 2012).

Cuisson

La cuisson des graines a des effets positifs sur : le conditionnement des graines par l'humidité, la réduction de la viscosité de l'huile, la plasticité accrue des graines, la rupture des parois cellulaires, la coagulation des protéines par dénaturation, la stérilisation et la désactivation des enzymes thermosensibles et la destruction des composants thermolabiles toxiques (Dunford, 2012 ; Laisney, 1992).

Procédés d'extraction

Extraction au solvant

Lors de l'extraction au solvant, les graines de soja sont cassées, décortiquées (facultatif), chauffées, floconnées et passées (ou non) à travers un détendeur (expandeur) facilitant l'extraction de l'huile par solvant (généralement l'hexane, mais une extraction à l'éthanol ou des mélanges d'hexane et d'éthanol sont également possibles) (Dunford, 2012). L'utilisation de l'expandeur réduit la quantité de solvant nécessaire. Après l'extraction de l'huile, le tourteau est séché pour éliminer le solvant, toasté et moulu. Les graines de soja peuvent avoir été décortiquées avant l'extraction, et les coques peuvent être rajoutées en fin de process. Si les coques ne sont pas rajoutées, le tourteau de soja dégraissé contient 48% de protéines brutes et pas plus de 1,5% d'huile. Ce tourteau est appelé tourteau de soja HiPro ou tourteau de soja riche en protéines. Le toastage du tourteau de soja après désolvantation augmente la digestibilité de tourteau de soja car il élimine l'uréease et les inhibiteurs de la trypsine (Johnson *et al.*, 2004).

Extraction mécanique

Pression par vis

Dans le procédé mécanique (le plus ancien), les graines de soja sont cassées, séchées, chauffées (passée à la vapeur) et introduites dans une presse mécanique (presse à vis) ; les flocons qui en sortent sont séchés puis broyés. La chaleur générée par le frottement de la presse à vis détruit les facteurs antinutritionnels présents dans la graine de soja. Ces tourteaux spéciaux partiellement déshuilés dits « expeller » ont des niveaux plus élevés d'huile résiduelle (énergie), des teneurs en protéines plus faibles. Pour les ruminants, ils présentent un double intérêt car ils offrent une fraction protéique non dégradable dans le rumen plus importante et ils sont plus appréciés que les autres tourteaux d'oléagineux (Johnson *et al.*, 2004). Pour les monogastriques, ils sont plus énergétiques.

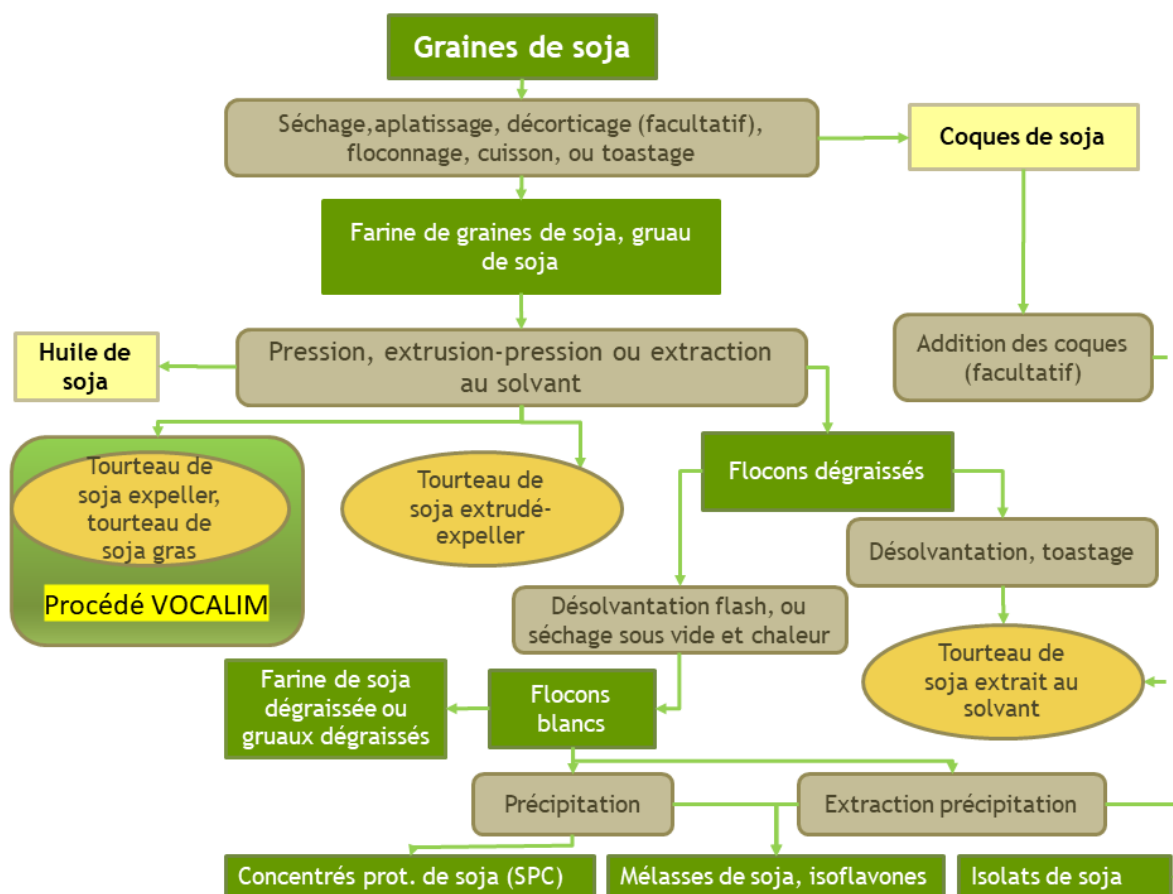
Les tourteaux peuvent ensuite être transformés en farine de soja et en isolats qui ont des applications spécifiques en alimentation humaine et animale.

Extrusion/pression

Le procédé d'extrusion/pression est une variante de l'extraction mécanique. Les flocons de soja sont introduits dans une extrudeuse à sec sans avoir été préalablement traités à la vapeur. Après avoir été extrudés à sec, ils passent dans une presse à vis pour extraction de l'huile. Ce processus peut être effectué à petite échelle dans des installations agricoles et est très apprécié pour le soja étiqueté sans OGM, pour l'agriculture biologique, etc. (Johnson *et al.*, 2004).

Il existe de nombreuses variantes de ces procédés, notamment des traitements qui améliorent la valeur protéique du tourteau pour les protéines by-pass du rumen, notamment des combinaisons de traitements thermiques, mécaniques et chimiques (Johnson *et al.*, 2004).

Figure 1. Procédés d'obtention des tourteaux de soja dont le procédé d'extrusion/pression du tourteau de soja expeller VOCALIM



Procédés d'amélioration

Élimination des facteurs antinutritionnels et amélioration de la solubilité des protéines

Les procédés d'extraction conventionnelle (extraction au solvant puis désolvantation) de l'huile, ont l'avantage de détruire les facteurs antinutritionnels présents dans la graine de soja non traitée (Johnson et al., 2018).

Il n'en est pas de même pour les procédés d'extraction par pression qui n'ont pas recours à des hautes températures. C'est la raison pour laquelle le recours à une extrusion dans le procédé d'extrusion-pression est très intéressant car il permet d'obtenir les mêmes destructions de facteurs antinutritionnels que les procédés au solvant (Blair, 2008).

Il existe d'autres procédés permettant de réduire les facteurs antinutritionnels présents dans les tourteaux de soja partiellement déshuilés dits « expeller ». On peut les soumettre à des traitements thermiques/physiques préalables à la phase d'extraction de l'huile. Le tourteau de soja expeller de type Extrusel utilisé pour les expérimentations VOCALIM, est un tourteau décortiqué, aplati puis cuit et trituré par pression (presse à vis).

Des traitements de tourteau de soja au moyen d'enzymes ou par fermentation visant à diminuer la quantité de polysaccharides non amylacés (PNAs) ont été réalisés avec des succès variables pour l'amélioration de la valeur nutritive (énergie métabolisable et acides aminés digestibles)

chez les monogastriques (Navarro *et al.*, 2017 ; Sotak *et al.*, 2014 ; Cervantes-Pahm *et al.*, 2010 ; Graham *et al.*, 2002).

Autres traitements

La mouture fine du tourteau de soja (parfois également appelée micronisation) est un procédé qui a permis d'augmenter la digestibilité iléale des acides aminés chez les poulets de chair (Valencia *et al.*, 2009).

La supplémentation du tourteau de soja par de la méthionine a également permis d'améliorer la valeur nutritive des tourteaux de soja.

Il existe de nombreuses possibilités de combinaison des traitements permettant d'optimiser la qualité des tourteaux. Le choix final d'un procédé dépend de sa faisabilité industrielle et de sa rentabilité. Certains traitements ne sont rentables que s'ils sont appliqués à de très grandes quantités de graines et ils ne sont donc pas adaptés à certains produits de niches comme les tourteaux issus de graines non OGM ou Bio ou aux graines d'origine tracée comme les graines de soja français qui ne sont pas produits en quantité suffisante (Carré *et al.*, 2017 ; Quinsac *et al.*, 2015). La production de tourteaux expeller, partiellement déshuilés pourrait, de ce point de vue, être intéressante ; de nouvelles usines locales de petite à moyenne dimension pourraient fournir des sources protéiques pour l'alimentation animale et satisfaire la demande croissante de tourteau de soja européen sans OGM (Carré *et al.*, 2017).

Des procédés d'extrusion ou de cuisson, combinés au décorticage avant trituration, ont permis de produire des tourteaux de soja partiellement déshuilés avec une faible teneur en facteurs antinutritionnels pour le programme européen Feed-a-Gene (Carré *et al.*, 2017). En France, le procédé de trituration industriel Extrusel peut s'appliquer à deux types de graines (colza et soja) et ainsi assurer un fonctionnement suffisant des installations, avec un équivalent de 80 000 tonnes de graines de soja ou 120 000 tonnes de graines de colza triturées chaque année (Extrusel, 2018).

Tourteau de soja décortiqué, aplati cuit et pressé type Extrusel évalué dans VOCALIM (dénommé « tourteau de soja Extrusel » dans la suite du document)

Graines de soja

Les graines entières de soja sont nettoyées (débarrassées de corps étrangers de type poussières, éléments métalliques ou cailloux ou de graines étrangères).

Décorticage

Après le nettoyage, le décorticage des graines est réalisé. Les coques de soja sont séparées des amandes de soja.

Aplatissage

L'aplatissage est réalisé au moyen d'un aplatisseur.

Cuisson (facultative)

Les graines de soja sont chauffées 45 minutes à 100°C dans un cuiseur.

Pression

Les graines cuites sont ensuite introduites dans une presse pour l'extraction d'huile.

Résultats

Le produit final est un tourteau partiellement décortiqué (une partie des coques est réintroduits), partiellement déshuilé (dit expeller) qui a les caractéristiques suivantes : teneur en protéines de 43.3%, teneur en matières grasses de 13% et une teneur de fibres brutes de 4.3%

Caractéristiques nutritionnelles

Considérations générales

Le tourteau de soja est un aliment très apprécié, il est caractérisé par sa teneur élevée en protéines (de 43 à 53%) et sa faible teneur en fibres brutes (moins de 3% pour les tourteaux de soja décortiqués). Il présente un très bon équilibre en acides aminés et contient de grandes quantités de lysine, tryptophane, thréonine et isoleucine, qui font souvent défaut dans les céréales. Cependant, les concentrations en cystine et méthionine sont sous - optimales pour les monogastriques et une supplémentation en méthionine est nécessaire (McDonald *et al.*, 2002). La digestibilité des acides aminés est également très élevée (plus de 90% pour la lysine chez le porc et la volaille) (Sauvant *et al.*, 2004).

Le tourteau de soja contient des oligosaccharides tels que le raffinose et le stachyose qui ne peuvent pas être digérés par les monogastriques, en raison de l'absence d'une alpha-galactosidase endogène spécifique. Le raffinose et le stachyose peuvent provoquer des flatulences et de la diarrhée susceptibles d'accroître le taux de passage du digesta et de réduire la digestion et l'absorption des nutriments alimentaires. Chez les volailles, ces oligosaccharides diminuent l'énergie métabolisable vraie corrigée pour l'azote, la digestion des fibres, et le temps de transit (Parsons *et al.*, 2000 ; Coon *et al.*, 1990 ; Rackis 1975 et Reddy, 1984 cité par Zuo *et al.*, 1996). Des tourteaux de soja à bas niveau d'oligosaccharides sont maintenant disponibles.

Environ 60 à 70% du phosphore du tourteau de soja se trouve sous forme d'acide phytique, un composant nutritionnellement indisponible pour les monogastriques et qui réduit la disponibilité du P et d'autres minéraux (Wilcox *et al.*, 2000). Une supplémentation avec du phosphore inorganique est nécessaire, et l'addition de phytase peut atténuer le problème. Des sojas à faible teneur en phytates sont en cours de développement, mais leur productivité est encore faible (Waldroup *et al.*, 2008).

Le tourteau de soja est une piètre source de vitamines B et une supplémentation insuffisante en vitamines B dans les régimes à base de tourteau de soja peut causer des problèmes de reproduction et de performance chez les truies, les porcs âgés et les poules (McDonald *et al.*, 2002).

Contraintes potentielles

Variabilité

Le tourteau de soja est un produit très uniforme et l'une des sources de protéines les plus constantes pour l'alimentation des animaux (Smith, 1986). Cependant, la génétique, les conditions de croissance, les conditions de stockage et les procédés utilisés provoquent des variations dans sa composition et sa qualité nutritionnelle. Comme le tourteau de soja peut être incorporé en grandes quantités dans les rations des animaux d'élevage, de petits changements dans sa qualité peut se traduire par des changements importants dans les performances des animaux. Il est par conséquent nécessaire de suivre de très près sa qualité (van Eys *et al.*, 2004).

Facteurs Antinutritionnels

Les graines de soja contiennent des facteurs antinutritionnels. Le tourteau de soja subit habituellement plusieurs traitements thermiques qui détruisent les facteurs antinutritionnels thermolabiles (en particulier les inhibiteurs de la trypsine et les lectines), mais il est nécessaire de déterminer si le tourteau a été correctement traité. L'inclusion de tourteau de soja dans des aliments pour poulets de chair (21 jours) contenant de faibles niveaux de facteur antitrypsique (1,8 mg / g contre 4,8 mg / g) a entraîné une hausse des coefficients de digestibilité de la MS, de l'azote, de l'énergie et des acides aminés (AA) (Dourado *et al.*, 2011).

Les traitements sous et sur optimaux du tourteau de soja font baisser les gains moyens quotidiens des poulets de chair (Perilla *et al.*, 1997). Chez les porcs, les performances des animaux recevant du tourteau de soja seront dégradées s'il n'a pas été transformé de manière adéquate pour inactiver les facteurs antinutritionnels (Grala *et al.*, 1998). Un chauffage insuffisant (entraînant une destruction incomplète des facteurs antinutritionnels) est détecté par le test de l'uréase qui détermine l'activité résiduelle de l'uréase et est un indicateur indirect des inhibiteurs de la trypsine. Un surchauffage provoque des réactions de Maillard qui diminuent la concentration et la disponibilité des acides aminés sensibles à la chaleur, en particulier la lysine (van Eys *et al.*, 2004). Un surchauffage empêche également la dégradation des phytates dans le rumen et conduit à une plus faible disponibilité du phosphore alimentaire (Konishi *et al.*, 1999). Plusieurs méthodes évaluent la surchauffe, notamment la solubilité des protéines à la potasse, l'indice de dispersibilité des protéines (Protein Dispersibility Index (PDI)) et l'indice de solubilité de l'azote (Nitrogen Solubility Index (NSI)). Des tourteaux de soja correctement traités à la chaleur doivent avoir des valeurs de PDI allant de 15 à 30%, et des solubilités à la potasse de 70 à 85% et un indice uréase inférieur ou égal à 0,3 unité de pH. L'activité antitrypsique résiduelle peut également être directement mesurée par des méthodes de référence, mais la procédure est moins adaptée pour les contrôles de qualité de routine (van Eys *et al.*, 2004).

Goitrogènes et oestrogènes

Le tourteau de soja peut contenir des substances goitrogéniques. Le tourteau de soja est goitrogène pour les monogastriques et il a également été démontré qu'il peut être responsable de veaux goitreux nés de vaches recevant du tourteau de soja en tant que source principale de protéines supplémentaires (Hemken *et al.*, 1971). Le tourteau de soja contient 1 g / kg de génistéine, qui possède des propriétés œstrogéniques (McDonald *et al.*, 2002).

Polysaccharides non amylacés (NSP)

L'ajout de 40 g / kg de NSP à un aliment pour poulets de chair du commerce a réduit les gains de poids, l'efficacité alimentaire et l'énergie métabolisable apparente (AME) de 28,6, 27,0 et 21,2%, respectivement (Choct *et al.*, 1995). Les effets antinutritionnels des NSP chez les volailles et les porcs pourraient être dus à leurs propriétés physicochimiques. En particulier, les NSP visqueux solubles réduisent la digestibilité des protéines, de l'amidon et des graisses (Smits *et al.*, 1996). La teneur en NSP du tourteau de soja est d'environ 61 et 103 g kg⁻¹ (base MS) pour les NSP solubles et insolubles, respectivement (Bach Knudsen, 1997). Les NSP augmentent l'activité microbienne (fermentations) et peuvent provoquer des troubles intestinaux. Les oiseaux ne peuvent pas dégrader le galactoside α -1: 6 et l'ajout d'enzymes pourrait atténuer ce problème (Leeson *et al.*, 2005 ; Zanella *et al.*, 1999). L'addition d'enzymes (xylanase, protéase et amylase) dans l'alimentation des volailles et des porcs est un bon moyen pour limiter les problèmes liés aux NSP (Dourado *et al.*, 2011).

Phytates et disponibilité des minéraux

Bien que la teneur en phosphore du tourteau de soja soit relativement élevée, une grande partie se trouve sous forme de phytates, un complexe peu digestible pour les animaux monogastriques. La majeure partie du phosphore est donc excrétée dans les fèces ce qui suscite des inquiétudes croissantes quant à ses effets sur l'eutrophisation des eaux de surface (Waldroup *et al.*, 2008). Les phytates lient aussi le zinc dont la disponibilité est donc faible dans le tourteau de soja (Blair, 2008). Les porcs nourris avec de la farine de soja devraient recevoir 50 mg/kg de zinc, alors que la recommandation est de 18 mg/kg pour les porcs nourris à la caséine (protéine animale) en tant que source de protéines dans l'alimentation (NRC, 1998, cité par Blair, 2007).

Tourteau de soja OGM

Les potentiels problèmes de santé liés au soja génétiquement modifié et d'autres aliments génétiquement modifiés ont fait l'objet de débats considérables. Bien que la plupart des études n'aient pas montré d'effets secondaires néfastes sur l'utilisation du soja génétiquement modifié (EFSA GMO Panel, 2008), ces variétés restent controversées et sont soumises à une autorisation légale dans certains pays. Dans l'UE, par exemple, seules 15 variétés de soja peuvent être utilisées comme aliments du bétail (GMO Register, 2016).

Valeurs nutritionnelles pour les volailles

Comparaison des différents types de tourteaux de soja

Les tableaux et graphiques suivants présentent la composition chimique et la valeur nutritionnelle pour les volailles des tourteaux de soja déshuilé (type 50) et expeller (moyenne et type Extrusel testé par VOCALIM).

Comme on peut s'y attendre, les tourteaux expeller sont moins riches en protéines que le tourteau déshuilé (moins de 47% vs. 55.2% MS). Leur teneur en matières grasses est généralement

supérieure à 8% tandis que le tourteau déshuilé est à moins de 2%. Par rapport au tourteau expeller moyen, le tourteau de soja Extrusel a une meilleure qualité globale : il est beaucoup plus gras (et donc plus riche en énergie), un peu plus riche en protéines, et sa teneur en fibre est plus faible (et comparable à celle du tourteau déshuilé de type 50). Les teneurs en acides aminés des deux tourteaux expeller sont comparables entre elles, et inférieures à celles du soja 50 compte tenu de leur moins grande richesse en protéines. Il faut noter cependant que les tourteaux expeller sont de composition très variable, du fait de la grande variété de leurs origines et de leurs process.

Composition chimique

Tableau 2. Composition chimique des tourteaux de soja (% MS)

Type	Tourteau de soja 50 ⁽¹⁾	Tourteau de soja expeller ⁽¹⁾	Tourteau de soja type Extrusel ⁽²⁾ VOCALIM
Protéines brutes	55,2	47,0	48,4
Cellulose brute	4,4	6,4	4,3
Matières grasses	1,7	9,5	13,0
Cendres	7,3	6,6	6,3
Fibres totales			33,3
Fibres solubles			2,2
Fibres insolubles			31,0
NDF			12,3
ADF			5,3
ADL			0,4
Parois insolubles à l'eau	17,4	20,4	15,2
Lysine	3,43	2,92	2,78
Thréonine	2,09	1,83	1,88
Méthionine	0,79	0,67	0,65
Cystine	0,87	0,72	0,65
Tryptophane	0,77	0,63	0,63

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

(2) Données VOCALIM

(3) Légendes NDF, ADF, ADL

Figure 2. Composition chimique des tourteaux de soja (% MS)

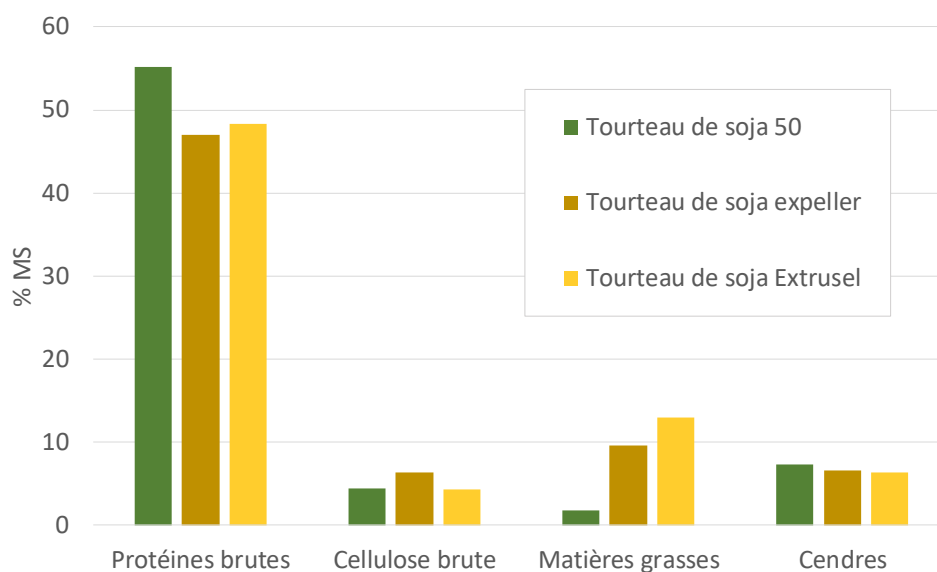
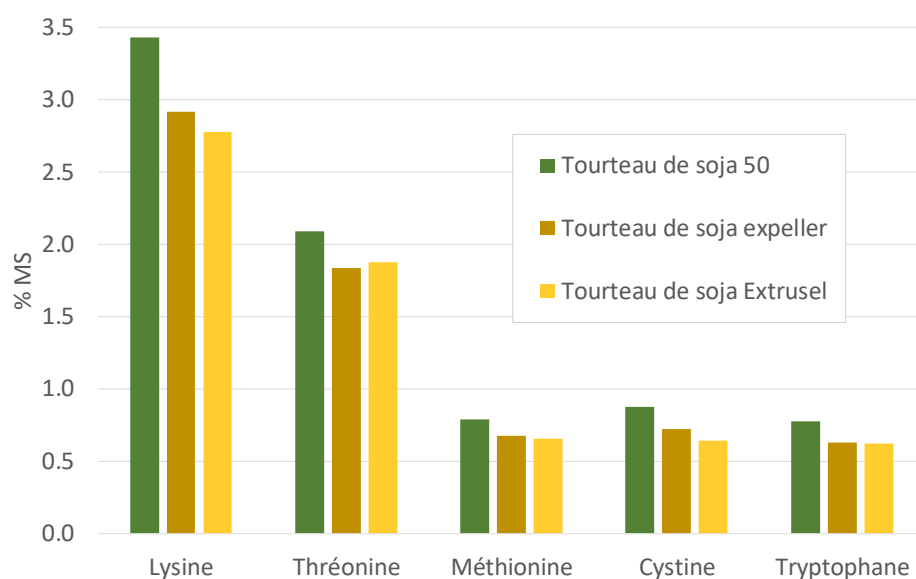


Figure 3. Composition en acides aminés des tourteaux de soja (% MS)



Valeur énergétique pour les volailles

Le tableau suivant récapitule les valeurs énergétiques (EMAn, énergie métabolisable apparente corrigée pour l'azote) mesurées ou estimées par équation.

Les teneurs en EMAn des tourteaux expeller sont plus élevées que celle du tourteau de soja 50 du fait de la teneur en matières grasses plus élevée. La différence entre le tourteau Extrusel et le tourteau expeller moyen s'explique par sa composition plus favorable (plus de matières grasses, moins de fibres). La valeur mesurée par VOCALIM donne une valeur identique à celle obtenue par l'équation WPSA (associée à l'équation de passage INRA EMAn Coq -> EMAn Poulet).

Tableau 3. Valeur énergétique (EMAn poulet) des tourteaux de soja

Type	Tourteau de soja 50	Tourteau de soja expeller	Tourteau de soja type Extrusel VOCALIM
EMAn poulet mesurée			3001 ⁽²⁾
EMAn poulet équation INRA	2673 ^(1,3,6)	2921 ^(1,3,6)	3247 ^(3,6)
EMAn poulet équation WPSA	2489 ^(1,4,6)	2762 ^(1,5,6)	2983 ^(5,6)

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

(2) Données VOCALIM.

(3) Equation INRA : EMAn Coq (kcal/kg MS) = $38.19 \cdot \text{MAT} + 75.56 \cdot \text{MGr} + 26.1 \cdot (100 - \text{MAT} - \text{MG} - \text{MM} - \text{Parois}) + 0.364 \cdot (\text{EB}^{\wedge} 1.1) - 34.9 \cdot \text{Parois} - 11.63 \cdot \text{MAT} + 0.831 \cdot (4217 + 78.8 \cdot \text{MGr} - 58.3 \cdot \text{MM} - 39.7 \cdot \text{Parois})$ / 3 (% sur MS ou kcal/kg MS), (Lessire communication personnelle 2002)(4) Equation WPSA tourteau déshuilé : EMAn coq WPSA (kcal/kg MS) = $37.49 \cdot \text{MAT} + 46.37 \cdot \text{MGr} + 14.9 \cdot (100 - \text{MAT} - \text{MM} - \text{CB} - \text{MGr})$ (% sur MS) (% sur MS) (WPSA 1989)(5) Equation WPSA tourteau expeller : EMAn coq WPSA (kcal/kg MS) = $37.49 \cdot \text{MAT} + 70.51 \cdot \text{MGr} + 14.9 \cdot (100 - \text{MAT} - \text{MM} - \text{CB} - \text{MGr})$ (% sur MS) (WPSA 1989)(6) Equation de passage EMAn coq vers EMAn poulet : EMAn Coq - $0.06 \cdot 4000 \cdot 12 / 100 - \text{MGr} \cdot 9330 / 100 \cdot 11 / 100$ (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 (DIA) et les teneurs en acides aminés digestibles. Les valeurs de DIA mesurées par VOCALIM sur le tourteau Extrusel sont un peu inférieures à celles présentées dans les tables de digestibilité d'acides aminés du CVB pour le tourteau de soja expeller moyen. Cependant, cette différence est compensée en termes d'acides aminés digestibles par la teneur en protéines (et en acides aminés totaux) un peu supérieure du tourteau Extrusel VOCALIM. Le tourteau de soja 50 a une meilleure digestibilité des acides aminés que les deux tourteaux expeller, et, du fait de ses grandes teneurs en acides aminés totaux, a des teneurs plus élevées en acides aminés digestibles.

Tableau 4. Digestibilité iléale apparente des acides aminés des tourteaux de soja (%)

Type	Tourteau de soja 50 ⁽¹⁾	Tourteau de soja expeller ⁽¹⁾	Tourteau de soja type Extrusel VOCALIM ⁽²⁾
Lysine	88	86	83
Thréonine	85	83	79
Méthionine	88	84	87
Cystine	82	79	66
Tryptophane	89	85	80

(1) CVB (2017)

(2) Données VOCALIM

Figure 4. Digestibilité iléale apparente des acides aminés des tourteaux de soja

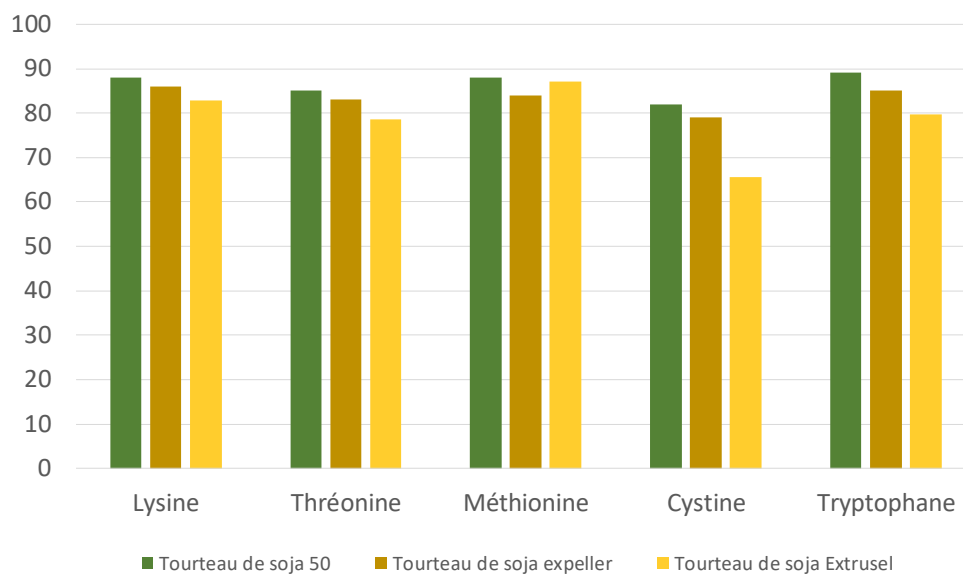


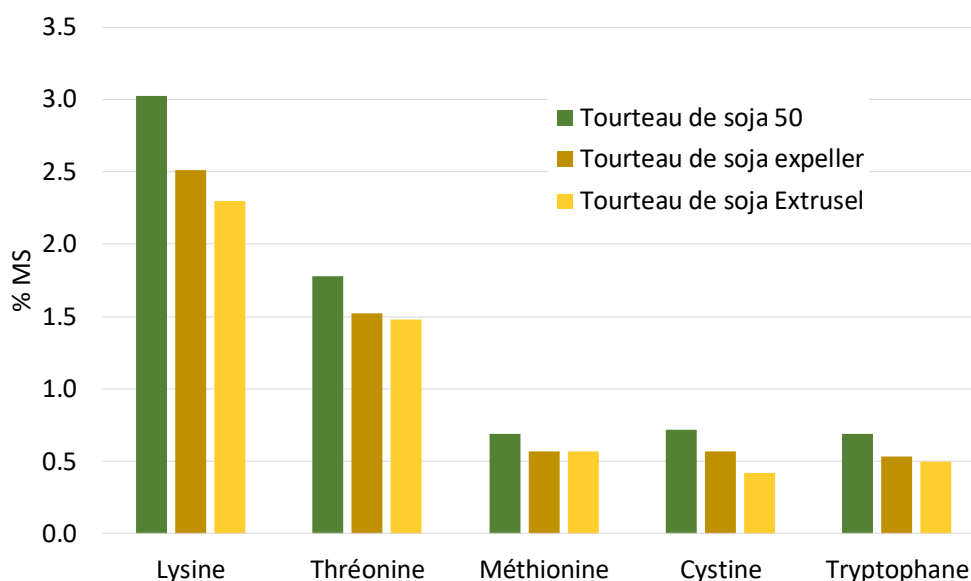
Tableau 5. Acides aminés digestibles des tourteaux de soja (%)

Type	Tourteau de soja 50 ⁽¹⁾	Tourteau de soja expeller ⁽¹⁾	Tourteau de soja type Extrusel VOCALIM ⁽²⁾
Lysine	3,02	2,51	2,30
Thréonine	1,78	1,52	1,47
Méthionine	0,69	0,57	0,57
Cystine	0,72	0,57	0,43
Tryptophane	0,69	0,54	0,50

(1) Estimation INRA-CIRAD-AFZ Octobre 2019

(2) Valeurs VOCALIM

Figure 5. Acides aminés digestibles des tourteaux de soja (% MS)



Recommandations pour l'alimentation des volailles

Le tourteau de soja déshuilé conventionnel est la source de protéines de prédilection pour tous les types de volailles, en raison de la quantité et de la qualité de ses protéines et acides aminés. Un aliment à base de maïs et de tourteau de soja fournit un bon équilibre de tous les acides aminés essentiels à l'exception de la méthionine, mais ce problème peut être résolu par l'inclusion de méthionine de synthèse (Waldroup *et al.*, 2008). Les niveaux d'incorporation du tourteau de soja varient de 25% pour les poussins à 30-40% pour les poulets de chair, les reproducteurs et les pondeuses (Willis, 2003 ; McDonald *et al.*, 2002 ; Ewing, 1997).

Des traitements de pré-extraction ont été testés et se sont parfois avérés efficaces pour améliorer la valeur nutritive du tourteau de soja.

Décortilage

Il a été démontré lors de la fabrication de tourteau de soja conventionnel, qu'un décortilage préalable à la trituration des graines de soja a eu des effets positifs sur la production des poules pondeuses. Elles ont donné des œufs nettement plus gros avec une coquille plus solide lorsqu'elles étaient nourries au tourteau de soja décortiqué (Park *et al.*, 2002). Les poulets de chair nourris au tourteau de soja décortiqué ont également présenté une augmentation linéaire leur gain de poids corporel grâce à l'incorporation de cette matière première dans leur aliment et leur taux de conversion alimentaire a été amélioré (Park *et al.*, 2002).

Des travaux très récents n'ont pourtant pas démontré que le décortilage des graines de soja préalable aux opérations de type Extrusion-Pression ou Floconnage-Cuisson-Pression avait un effet sur les poulets de chair au démarrage (1 à 14 jours) ou sur des poulets de chair en croissance (14 à 28 jours) en ce qui concerne l'ingestion, le gain quotidien moyen (GMQ) et le taux de conversion alimentaire (IC) (Royer *et al.*, 2020). Seul le rendement en carcasse des poulets a été amélioré par le décortilage, ce qui pourrait s'expliquer par une croissance adaptative du gésier et du proventricule (Royer *et al.*, 2020).

Traitements thermiques

Il est très important de chauffer les graines de soja avant l'extraction de l'huile ou de chauffer le tourteau de soja, car la chaleur peut détruire les facteurs antinutritionnels labiles à la chaleur qui sont contenus dans les graines de soja. La chaleur a également certains effets sur la solubilité des protéines du tourteau de soja, ce qui est important pour sa valeur nutritive.

Il a été démontré que l'autoclavage de graines de soja ou de tourteau de soja conventionnel (extrait à l'hexane) augmentait la croissance des poulets de chair nourris avec cette matière première de 140 à 150% (Dozier *et al.*, 2011).

La cuisson, l'autoclavage et la cuisson au micro-ondes ont été considérés comme les procédés de chauffage qui pourraient jouer un rôle important dans l'élimination des facteurs antinutritionnels (Habiba, 2002). Divers procédés thermiques (extrusion, cuisson, toastage et rôtissage) se sont montrés efficaces pour réduire l'activité des inhibiteurs de trypsine (TIA) et de l'acide phytique (PA) dans les graines de soja (Ari *et al.*, 2012).

Pour les poulets de chair, l'apport de tourteau de soja traité thermiquement a permis d'obtenir un poids corporel final plus élevé et un gain de poids quotidien plus élevé. Ces poulets ont également eu un taux de conversion alimentaire amélioré par rapport aux poulets du lot qui ont été nourris un tourteau de soja cru. Toutefois, aucune différence n'a été constatée entre les différentes procédures de chauffage (autoclavage, torréfaction et micro-ondes) sur les performances de croissance des animaux pendant les périodes de démarrage, de croissance et de finition (Tousi-Mojarrad *et al.*, 2014).

Si la cuisson peut avoir des effets positifs, une surcuisson peut quant à elle diminuer la valeur nutritive du tourteau de soja et il a été recommandé de ne pas surchauffer le tourteau de soja.

Les méthodes de cuisson ainsi que le couplage temps de cuisson - température de cuisson doivent être optimisées car une cuisson insuffisante entraîne une mauvaise destruction des FANs tandis qu'une surcuisson diminue la disponibilité de certains acides aminés. Il a été suggéré que la digestibilité et la disponibilité des acides aminés essentiels sont augmentées lorsque l'autoclavage a lieu à 121°C pendant plus de 20 min, entraînant de meilleures performances de croissance des poulets de chair grâce à une destruction plus poussée des facteurs antinutritionnels par le traitement thermique. A l'inverse, une cuisson excessive (tourteau de soja autoclavé à 121°C pendant 40 min) diminue la digestibilité et la disponibilité de la lysine et de la cystine (Parsons *et al.*, 1992) et a donc entraîné une diminution des performances de croissance des poulets de chair (Tousi-Mojarrad *et al.*, 2014 ; Anderson-Hafermann *et al.*, 1992). Une autre étude a suggéré que la surcuisson se produisait après seulement 10 minutes d'autoclavage : affectant alors la valeur nutritive du tourteau de soja (Araba *et al.*, 1990).

Aux États-Unis, environ 66% des protéines des aliments pour poulets de chair proviennent du tourteau de soja conventionnel et ce tourteau de soja reste le tourteau de référence pour l'alimentation des volailles dans la majorité du monde (Dozier *et al.*, 2011).

Traitements par extrusion -pression

L'émergence de la production de volaille biologique interdisant les tourteaux de soja extraits au solvant a conduit à rechercher des procédés alternatifs de production de tourteau de soja. Le procédé d'extrusion-pression a été développé. Il conduit à un tourteau de soja dit expeller plus

riche en énergie (car moins dégraissé) que le tourteau de soja conventionnel. On le trouve sous la dénomination de « tourteau de soja expeller » ou « tourteau de soja partiellement déshuilé » car sa teneur en matière grasse est supérieure à 5% MS (Feedtables.com).

L'extrusion des tourteaux peut se faire à différentes températures, mais aux températures les plus basses (121 et 135 °C), le tourteau n'était pas assez « cuit » et il a gardé une activité uréase trop élevée. La digestibilité des acides aminés de ce tourteau mesurée sur des coqs a été faible. Il a donc été suggéré que l'extrusion se fasse à des températures supérieures à 135 °C. A 160 °C ce tourteau n'a pas montré de signe de surcuisson qui aurait pu diminuer la digestibilité des acides aminés (Karr-Lilienthal *et al.*, 2006).

Bien que la digestibilité réelle des acides aminés des « tourteaux de soja expeller » soit inférieure à celle du tourteau de soja conventionnel extrait au solvant, il a été constaté que des poulets de chair nourris avec du tourteau de soja expeller ne présentaient aucune différence de performance de croissance sur une période de 49 jours. Seul un moindre rendement en filet (24,95% contre 26,30%) a été constaté (Powell *et al.*, 2011).

Plus récemment, une étude a montré que la digestibilité iléale de la protéine et la digestibilité iléale des acides aminés d'un tourteau de soja expeller pouvait être supérieures à celles du tourteau de soja extrait au solvant. Les gains de poids quotidiens et l'ingestion ont augmenté et le taux de conversion alimentaire a été amélioré grâce à l'utilisation de tourteau de soja extrudé, qui a donc été considéré comme un ingrédient intéressant pour l'alimentation des volailles (Jahanian *et al.*, 2016).

Tourteau de soja expeller type Extrusel : niveau d'incorporation, ingestion, gain de poids et indice de consommation

Contrairement aux autres matières premières étudiées dans le programme VOCALIM, le tourteau de soja expeller type Extrusel n'a pas fait l'objet d'expérimentation pour connaître les effets de son incorporation dans un aliment volaille.

Critères de durabilité

Critères	Indicateurs	Tourteau de soja	Tourteau de soja expeller français
Social	Part des protéines consommables par l'homme	60%	60%
	Part de l'énergie consommable par l'homme	38%	38%
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. Dans le tourteau de soja une part importante des protéines et non négligeable de l'énergie pourrait être utilisée par l'homme ce qui en fait une matière première faiblement durable d'un point de vue sociétal.

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.

Les ACV des tourteaux de soja expellers (2 versions travaillées : avec et sans décortilage) ont donc été calculés dans le cadre de ce projet ECOALIM, se basant sur l'ACV de la graine de soja moyenne France calculée dans la base de données ECOALIM et d'un travail spécifique dans ECOALIM sur le process de décortilage, cuisson et pression applicable au soja dans les conditions françaises.

Les impacts environnementaux des deux tourteaux de soja expellers français (avec et sans décortilage) ont été comparés à ceux issus de la base de données ECOALIM (V1 du 30/09/2015)

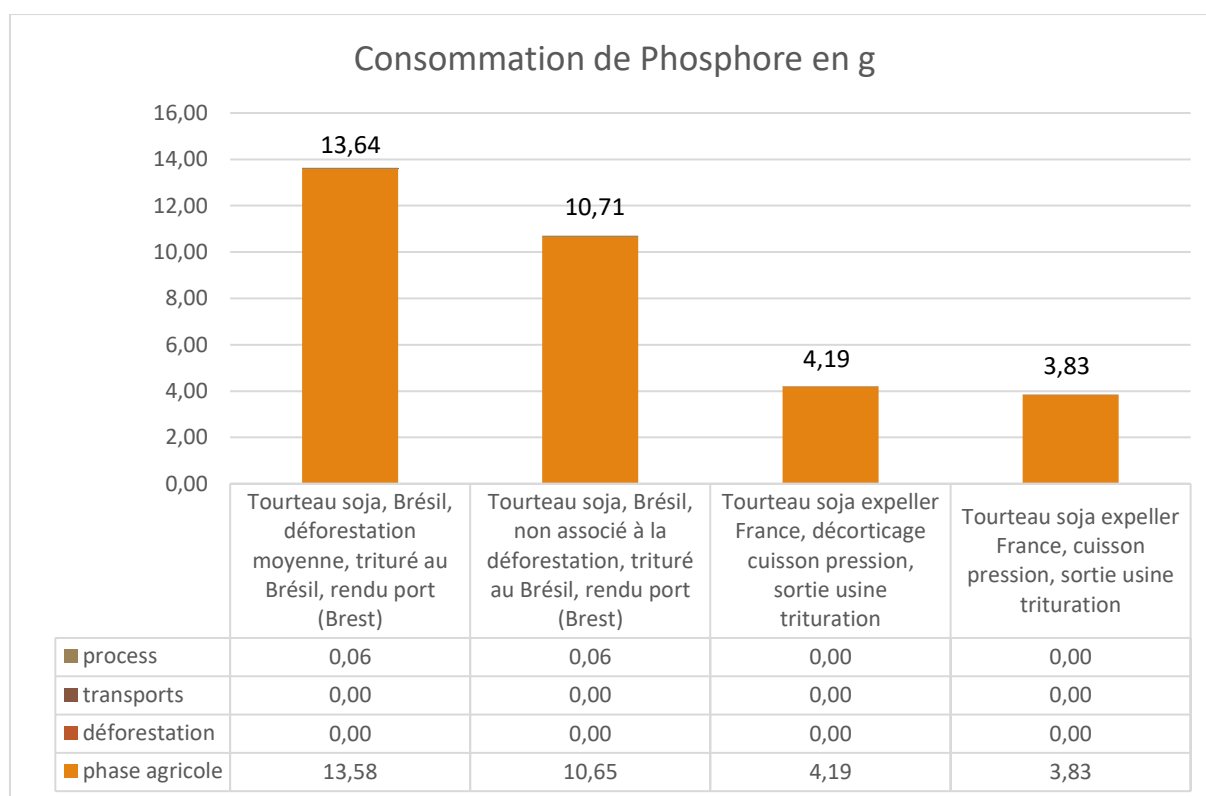
du tourteau de tournesol décortiqué importé de la Mer Noire (provenance Ukraine) et du tourteau de soja d'importation du Brésil (trituré au Brésil et rendu au port de Brest), avec 2 types d'origine :

- Soja brésilien avec une « déforestation moyenne » : prend en compte les zones sans déforestation et les zones avec déforestation (provenance à 52% du Centre-Ouest zone avec déforestation, et 48% du Sud Brésil non associé à la déforestation).
- Soja brésilien non associé à la déforestation (issu du Sud Brésil)

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

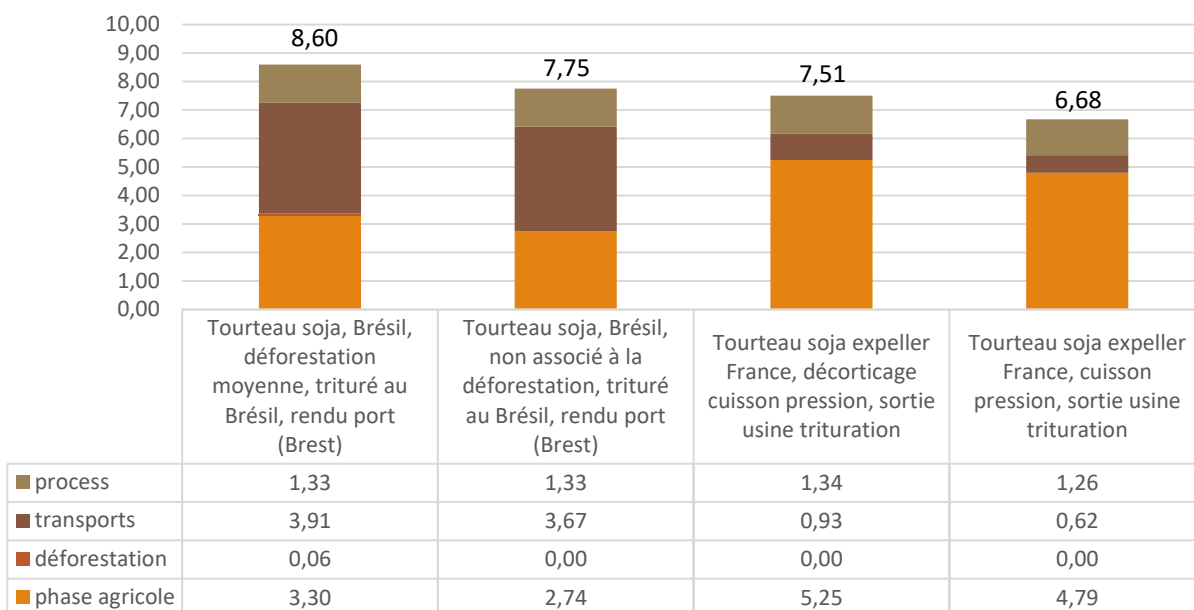
A noter que les matières premières comparées ont des caractéristiques différentes et qu'elles ne rendent donc pas toutes les mêmes services (niveau d'incorporation dans les formules, apport en différents nutriments) :

- teneur en protéines de 48.3% sur matière sèche (MS), teneur en matière grasse de 13% pour le tourteau de soja expeller décortiqué type Extrusel,
- teneur en protéines de 47% sur (MS), teneur en matière grasse de 9.5% pour le tourteau de soja expeller (non décortiqué)
- près de 53-55% de protéines sur MS sur le tourteau de soja brésilien et près de 2% d'huile.



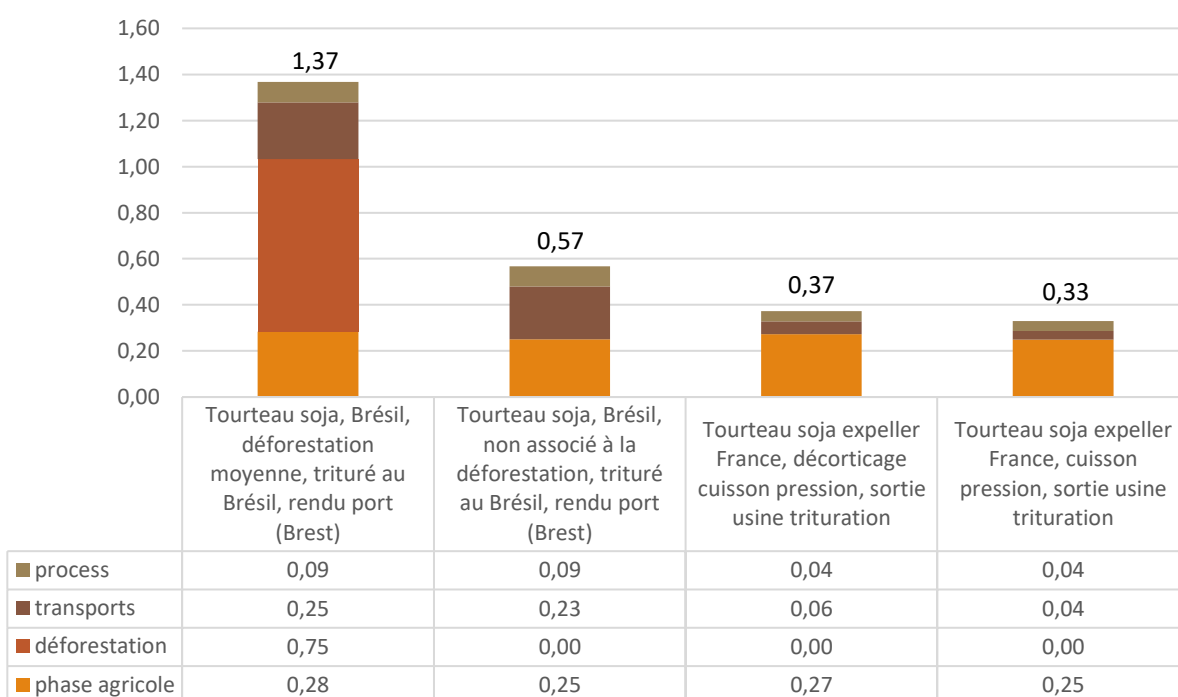
Les deux tourteaux de soja français présentent une consommation de phosphore réduite par rapport au tourteau de soja du Brésil. Cet impact provient de la phase agricole et s'explique par les données d'intrants en engrais phosphatés considérés sur les cultures (proches pour les 2 origines) et les rendements des cultures de soja dans les différents contextes (31 q/ha pour soja français et 10 q/ha pour le soja brésilien).

Consommation d'énergie (non renouvelable: fossile +nucléaire)(MJ/kg)

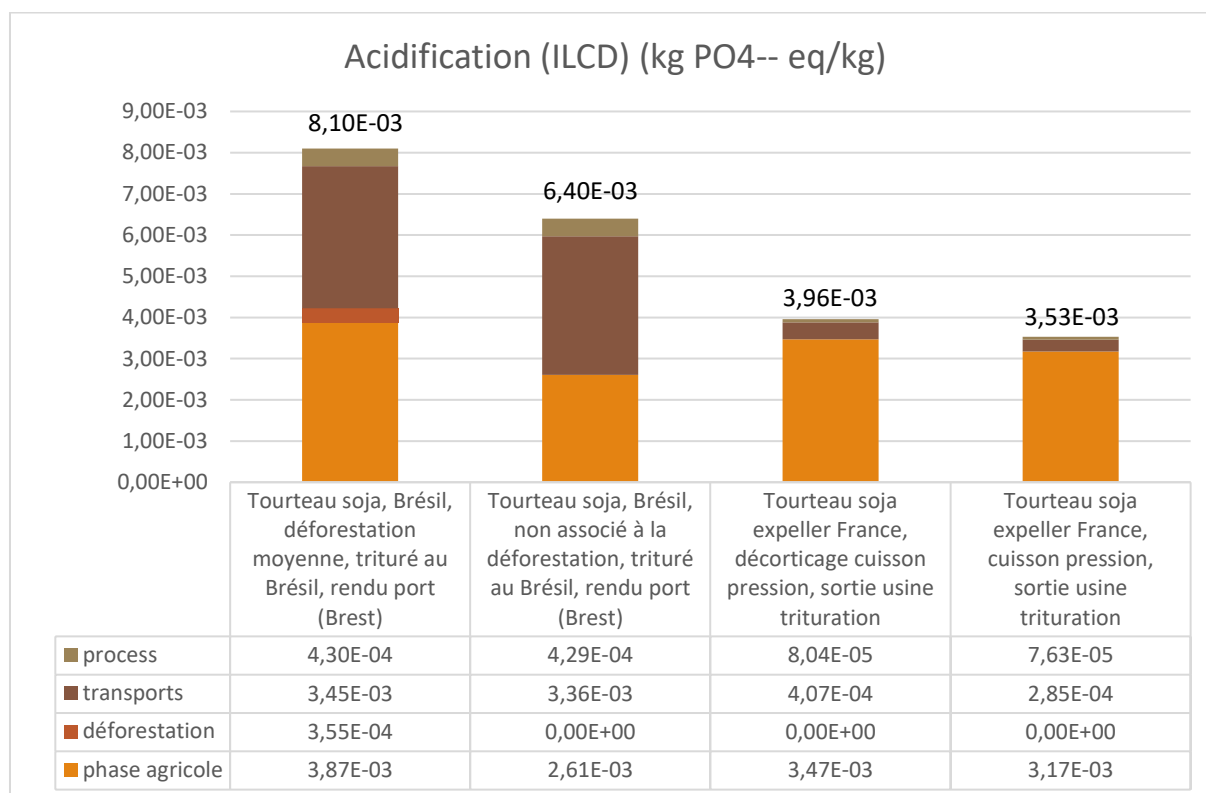


La consommation d'énergie non renouvelable des deux tourteaux de soja français est du même niveau que celle des tourteaux de soja brésilien. La consommation d'énergie sur le soja français provient principalement de la phase agricole pour près de 70%, en premier lieu pour l'électricité employée pour l'irrigation de la culture. Par contre, pour le soja brésilien, 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.

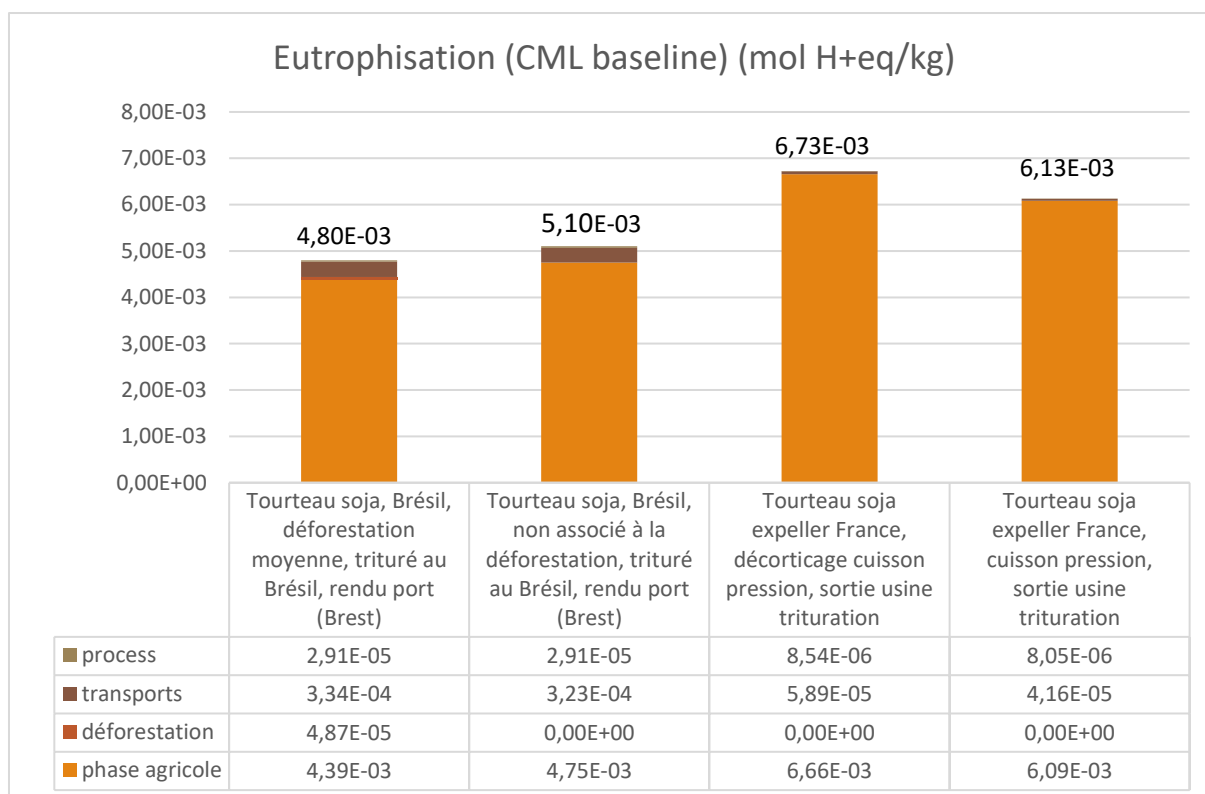
Changement climatique (ILCD) (kg CO2 eq/kg)



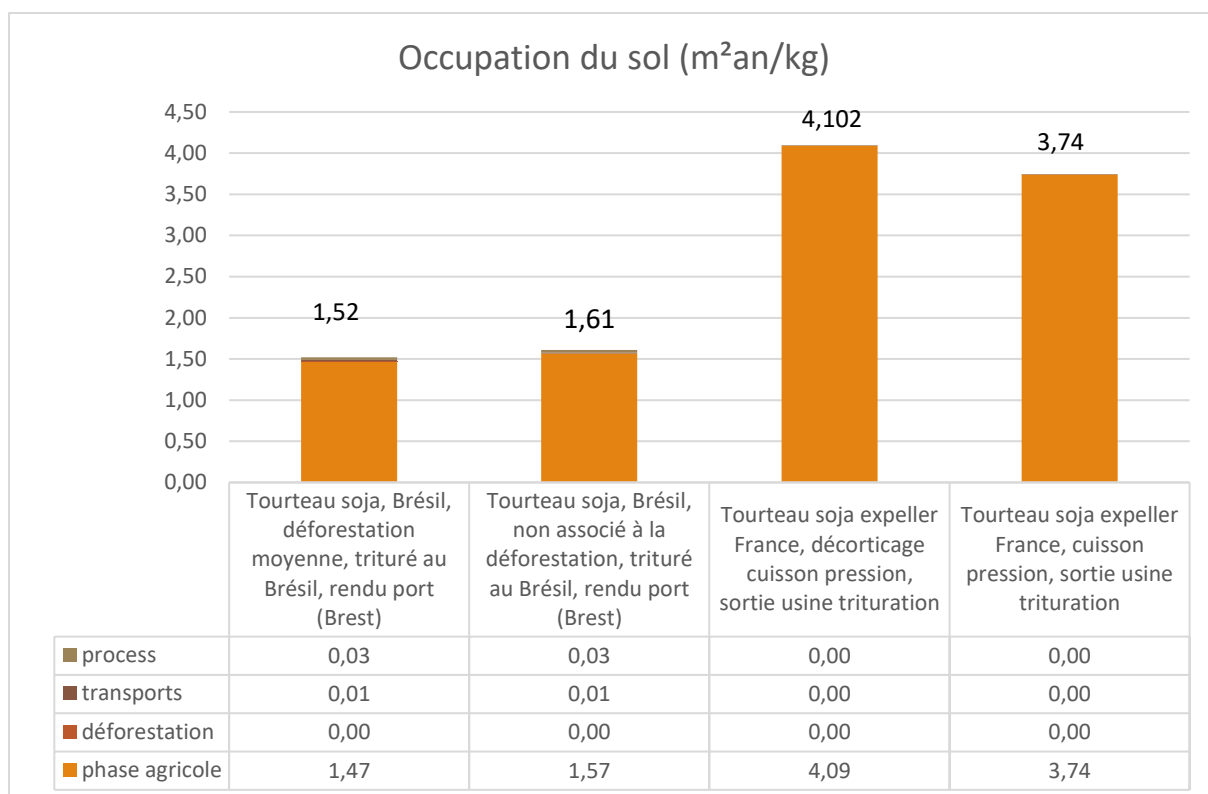
L'impact Changement Climatique est plus faible pour les deux tourteaux de soja français par rapport aux tourteaux de soja brésilien. Cet écart est réduit dans le cas du tourteau de soja non associé à la déforestation. L'impact de l'amont agricole sur le changement climatique est du même ordre entre les tourteaux de soja français et brésilien. Lors de cette phase agricole, ce sont les émissions de N_2O au champ qui expliquent essentiellement cet impact (lié à la minéralisation des résidus de culture et fertilisation organique sur la rotation), ainsi que les opérations mécaniques. 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.



L'impact Acidification est plus faible pour les tourteaux de soja français par rapport aux tourteaux de soja brésilien. Ce sont les transports qui ont une part importante dans cet impact pour les tourteaux de soja brésilien, alors que pour les tourteaux de soja français cet impact provient principalement de la phase agricole, et plus particulièrement des émissions au champ de NH_3 liées à la fertilisation organique sur la rotation (pas sur la culture qui ne reçoit quasi pas de fertilisation azotée) et également des opérations mécaniques.



L'impact Eutrophisation est du même ordre pour les tourteaux de soja français par rapport aux tourteaux de soja brésilien, quoique pour le tourteau expeller avec décortiquage l'impact Eutrophisation soit un peu plus élevé (lié à l'allocation économique d'impact qui attribue une faible valeur à la part de coques extraites). 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 de nitrates par hectare plus importantes pour le soja en France, par rapport au soja brésilien, notamment du fait d'une durée d'occupation des sols plus importante. Cependant, du fait de rendement de la culture à l'hectare plus élevé pour le soja français, cet impact, ramené au kg de produit final, est donc ramené à des niveaux proches du tourteau de soja brésilien.



L'impact Occupation des sols est plus élevé pour les tourteaux de soja français par rapport aux tourteaux de soja brésilien. Il provient de la phase agricole (occupation des sols pas les cultures). Ceci est lié au fait que 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 soja français.

Potentiels d'utilisation

Préambule

En ce qui concerne le tourteau de soja, deux scénarios ont été étudiés avec l'outil Prospective Aliment (P.A)¹ du CEREOPA dans le cadre du programme VOCALIM : scénario 2017 (état des lieux) vs scénario à l'horizon 2023. 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

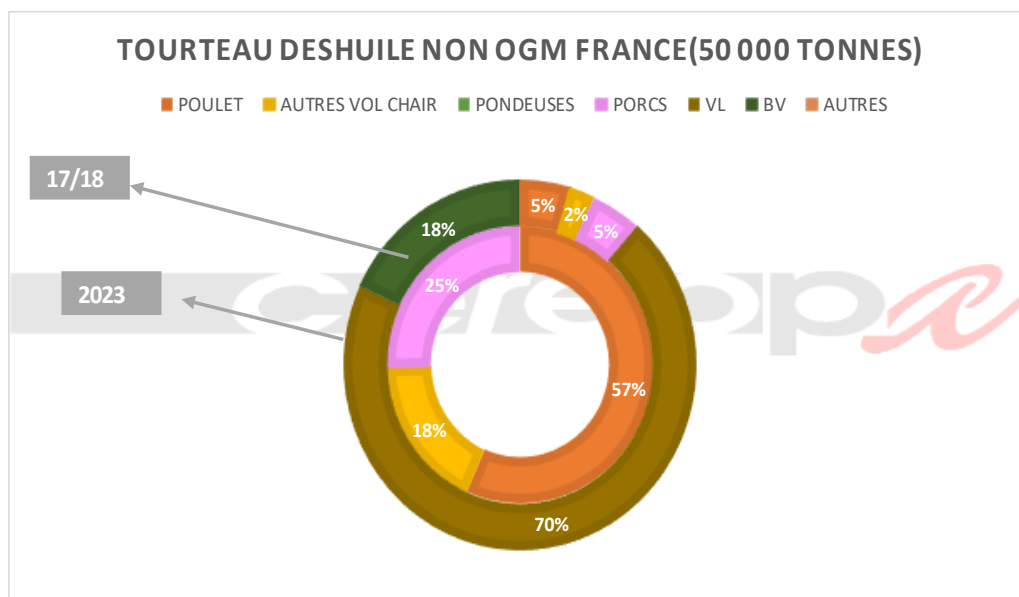
Débouchés

Il existe de nombreuses études réalisées sur le tourteau de soja expeller (type Extrusel) ayant montré son intérêt dans l'alimentation des volailles. Celles-ci ont participé au développement d'outils régionaux dans le Sud-Ouest et le Sud-Est de la France notamment. Dans l'objectif d'un déploiement de la production de graines de soja dans l'hexagone, il a semblé plus intéressant de tester dans le modèle P.A, un tourteau de soja français déshuilé. Il pourrait être issu de la seule usine de trituration de soja de ce type en France (usine Bunge à Brest) et viendrait compléter et diversifier l'offre en tourteaux de soja. L'hypothèse retenue est que le tourteau de soja testé ne diffère pas en termes de composition nutritionnelle de celui obtenu dans cette usine à partir de graines d'importation. La seule différence résidera dans son caractère non OGM et 100% français. Les volumes de tourteaux de soja déshuilés disponibles proposés dans le modèle ont été limités à 50 000 t, par prise en compte des perspectives de développement de la demande (alimentation humaine, Bio, filières expellers). Ce faible volume explique en grande partie les résultats obtenus.

Le tourteau de soja déshuilé français entre uniquement dans les aliments non OGM en 2017/18 et non OGM et 100% origine France en 2023. En 2017, le poulet est majoritaire avec 57% des débouchés, la dinde complétant (18%) l'utilisation en volailles. Les aliments porcs représentent 25% des volumes utilisés. Avec l'évolution de la demande en non OGM et en 100% français, les débouchés évoluent nettement en 2023 et le poulet voit sa part réduite à 5%. Les concentrés azotés VL et BV non OGM 100% origine France captent l'essentiel (88%). En aliments poulets de chair Label, dans ce scénario 2023, la MP testée est remplacée par du soja non OGM d'importation dans les aliments ne réclamant pas d'origine spécifiquement française.

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.

Le tourteau de soja déshuilé français voit son utilisation, concentrée en Bretagne en 2017, se diversifier en 2023 (Pays de Loire, etc.).



Prix d'intérêt

Le prix d'intérêt du tourteau de soja déshuilé français concerne la totalité du modèle (toutes filières animales). Que ce soit sur le scénario de départ (2017/18) ou prospectif (2023), la valorisation ne dépasse pas celle du tourteau de soja non OGM d'importation. Son caractère français ne suffit donc pas à lui trouver une plus-value dans le contexte étudié.

Impact durabilité

Autonomie protéique : dans cette étude, le tourteau de soja déshuilé français, à cause du faible volume disponible, ne représente pas un levier intéressant pour l'autonomie protéique des FAB en 2017 et 2023. Par contre, la filière poulet voit son score s'améliorer (+ 2 points dans les deux scénarios) au détriment d'autres filières animales.

Impact environnemental : le tourteau de soja déshuilé français n'ayant pas été retenu dans la phase 2 de l'étude, cet aspect n'a pas été investigué.

- 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
- Agreste, 2020. Agreste données en lignes. Chiffres et analyses. Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation.
- Anderson-Hafermann, J. C.; Zhang, Y.; Parsons, C. M., 1992. Effect of heating on nutritional quality of conventional and kunitz trypsin inhibitor-free soybeans. *Poult. Sci.* 71 (10) :1700-1709
- Araba, M.; Dale, N. M., 1990. Evaluation of KOH solubility as an indicator of overprocessing soybean meal. *Poult. Sci.*, 69 (1): 76-83
- Ari, M. M.; Ayanwale, B. A.; Adama, T. Z.; Olatunji, E. A., 2012. Evaluation of the chemical composition and antinutritional factors (ANFs) levels of different thermally processed soybeans. *Asian J. Agric Res.*, 6 : 91-98
- ASAIM, 2006. Swine Nutrition and Management. Technical Report Series, American Soybean Association International Marketing South East Asia, Singapore
- Bach Knudsen, K. E., 1997. Carbohydrate and lignin contents of plant materials used in animal feeding. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 67 (4): 319-338
- Baldwin, A. R., 1986. World Conference on emerging technologies in the fats and oils industry. American Oil Chemists' society
- 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
- Blair, R., 2008. Nutrition and feeding of organic poultry. Cabi Series, CABI, Wallingford, UK
- Booth, A., 2015. FEFAC's approach towards responsible soy. Chair FEFAC Sust. Committee, 25 March 2015
- Carré, P., Royer, E., Wikselaar, P.; Quinsac, A., Bikker, P., Nutritional evaluation of dehulling and thermal treatments for production of expeller soybean meal, EAAP 2017 68th annual meeting, Tallinn, Estonia
- Cervantes-Pahm, S. K.; Stein, H. H., 2010. Ileal digestibility of amino acids in conventional, fermented, and enzyme-treated soybean meal and in soy protein isolate, fish meal, and casein fed to weanling pigs. *J. Anim. Sci.*, 88 (8): 2674-2683
- Choct, M.; Hughes, R. J.; Wang, J.; Bedford, M. R.; Morgan, A. J.; Annison, G., 1995. Feed enzymes eliminate the anti-nutritive effect of non-starch polysaccharides and modify the fermentation in broilers. *Proc. 7th Austr. Poult. Sci. Symp.*, p. 121-125
- Cilliers, S. C.; Sales, J.; Hayes, J. P.; Chwalibog, A.; Du Preez, J. J., 1999. Comparison of metabolisable energy values of different foodstuffs determined in ostriches and poultry. *Br. Poult. Sci.*, 40 (4): 491—494
- Clark, J. H. ; Ipharraguerre, I. R., 2001. Livestock Performance: Feeding Biotech Crops. *J. Dairy Sci.*, 84 (suppl.): E9-18
- Coca-Sinova, A. ; Valencia, D. G. ; Jiménez-Moreno, E. ; Lázaro, R. ; Mateos, G. G., 2008. Apparent ileal digestibility of energy, nitrogen, and amino acids of soybean meals of different origin in broilers. *Poult. Sci.*, 87 (12): 2613–2623
- Coon, C. N. ; Leske, K. L. ; Akavanichan, O. ; Cheng, T. K., 1990. Effect of oligosaccharide-free soybean meal on true metabolizable energy and fiber digestion in adult roosters. *Poult. Sci.*, 69 (5):787-93
- Cromwell, G. L., 1999. Soybean Meal - The "Gold Standard". *The Farmer's Pride, KPPA News*, 11 (20)
- Cromwell, G. L., 2012. Soybean meal - An exceptional protein source. *Soybean Meal InfoCenter*, Ankeny, IA
- Devendra, C. ; Göhl, B. I., 1970. The chemical composition of Caribbean feedingstuffs. *Trop. Agric. (Trinidad)*, 47 (4): 335
- Dilger, R. N. ; Adeola, O., 2006. Estimation of true phosphorus digestibility and endogenous phosphorus loss in growing pigs fed conventional and low-phytate soybean meals. *J. Anim. Sci.*, 84: 627-634
- Dourado, L. R. B.; Pascoal, L. A. F.; Sakomura, N. K.; Costa, F. G. P.; Biagiotti, P., 2011. Soybeans (Glycine max) and soybean products in poultry and swine nutrition. In: Krezhova, D. (Ed.), "Recent trends for enhancing the diversity and quality of soybean products", InTech, October 10, 2011
- Dozier, W. A.; Hess, J. B., 2011. Soybean meal quality and analytical techniques: chapter 6. In: Hany El-Shemy (Ed.), *Soybean and Nutrition*, IntechOpen

- Dunford, N. T., 2012. Food and industrial bioproducts and bioprocessing: advancements in oil and oilseed processing. Dpt Biosyst. Agric. Eng., Oklahoma State Univ., John Wiley & Sons, Inc.
- EFSA GMO Panel, 2008. Safety and nutritional assessment of GM plants and derived food and feed: the role of animal feeding trials. Food Chem. Toxicol., 46 (Suppl 1): S2-70
- Elkin, R. G., 2002. Nutritional components of feedstuffs: a qualitative chemical appraisal of protein. In: Poultry Feedstuffs Supply, Composition and Nutritive Value. Editors: McNab, J. and Boorman, N. Poultry science symposium series ; volume 26
- Ewing, 1997. The Feeds Directory Vol 1. Commodity Products. Context Publications, Leicestershire, England.
- FAO, 2016. FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy
- FOP, 2014. FOP Fédération Française des Producteurs d'Oléagineux et de Protéagineux. Conjoncture - Marchés - 27 mai 2014. La filière soja en France.
- GMO Register, 2016. EU Register of authorized GMOs. European Commission
- Graham, K. K.; Kerley, M. S.; Firman, J. D., Allee, G. L., 2002. The effect of enzyme treatment of soybean meal on oligosaccharide disappearance and chick growth performance. Poult Sci., 81 (7): 1014-1019
- Grala, W. ; Verstegen, M. W. ; Jansman, A. J. ; Huisman, J. ; van Leeusen, P., 1998. Ileal apparent protein and amino digestibilities and endogenous nitrogen losses in pigs fed soybean and rapeseed products. J. Anim. Sci., 76 (2): 557-568
- Green, S. ; Bertrand, S. L. ; Duron, M. J. C. ; Maillard, R., 1987. Digestibilities of amino acids in soyabean, sunflower and groundnut meals, determined with intact and caecectomised cockerels. Br. Poult. Sci., 28 (4): 643-652
- 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
- Habiba, R. A., 2002. Changes in anti-nutrients, protein solubility, digestibility, and HCl-extractability of ash and phosphorus in vegetable peas as affected by cooking methods. Food Chemistry, 77 (2): 187-192
- Hammond, E. G. ; Johnson, L. A. ; Su Caiping ; Wang Tong ; White, P. J., 2005. Soybean oil. In: Bailey's Industrial Oil and Fat Products, Sixth Edition, John Wiley & Sons, Inc
- Jahanian, R. Rasouli, E., 2016. Effect of extrusion processing of soybean meal on ileal amino acid digestibility and growth performance of broiler chicks. Poult. Sci., 95 (12): 2871-2878
- Johnson, L.; Smith, K., 2018. Fact sheet: Soybean processing. The Soybean Meal Information Center
- Johri, T. S. ; Agrawal, R. ; Sadagopan, V. R., 1988. Available lysine and methionine contents of some proteinous feedstuffs. Indian J. Anim. Nutr., 5 (3): 228-229
- Karr-Lilienthal, L. K.; Bauer, L. L.; Utterback, P. L.; Zinn, K. E.; Frazier, R. L.; Parsons, C. M.; Fahey, G., C., 2006. Chemical composition and nutritional quality of soybean meals prepared by extrudes/expeller processing for use in poultry diets. J. Agric. Food Chem.,
- Kong, C. ; Adeola, O., 2013. Additivity of amino acid digestibility in corn and soybean meal for broiler chickens and White Pekin ducks. Poult. Sci., 92 (9): 2381-2388
- Leeson, S. ; Summers, J.D., 2005. Commercial poultry nutrition. Third Edition, Nottingham University Press
- McDonald, P.; Edwards, R. A.; Greenhalgh, J. F. D., 2002. Animal Nutrition. 6th Edition. Longman, London and New York. 543 p.
- McNab, J. M., 2002. Poultry Feedstuffs: Supply, Composition and Nutritive Value. CABI Publishing
- Morse, W. J. ; Cartter, J. L., 1952. Soybeans for feed, food and industrial products. USDA, Farmer's Bulletin N°2038
- Newkirk, R., 2010. Soybean: Feed Industry Guide. 1st edition, Canadian International Grains Institute
- Oil World, 2015. Oil World Annual 2015. ISTA Mielke GmbH, Hamburg
- Owen, M. K. D., 2009. Herbicide-tolerant genetically modified crops: resistance management. In: Environmental impact of genetically modified crops, Eds N. Ferry and A.M.R. Gatehouse, CABI, 432 p
- Park, Y. H.; Kim, H. K.; Kim, H. S.; Lee, H. S. ; Shin, I. S.; Whang, K. Y., 2002. Effects of three different soybean meal sources on layer and broiler performance. Asian-Aust. J. Anim. Sci., 15 (2): 254-265
- Parsons, C. M. ; Potter, L. M. ; Brown, R. D., 1981. True metabolizable energy and amino acid digestibility of dehulled soybean meal. Poult. Sci., 60 (12): 2687-2696
- Parsons, C. M. ; Hashimoto, K. ; Wedekind, K. J. ; Baker, D. H., 1991. Soybean protein solubility in potassium hydroxide: an in vitro test of in vivo protein quality. J. Anim. Sci., 69 (7): 2918-2924

- Parsons, C. M. ; Zhang, Y. ; Araba, M., 2000. Nutritional evaluation of soybean meals varying in oligosaccharide content. *Poult. Sci.*, 79:1127–1131
- Perilla, N. S. ; Cruz, M. P. ; de Belalcázar, F. ; Diaz, G. J., 1997. Effect of temperature of wet extrusion on the nutritional value of full-fat soyabeans for broiler chickens. *Br. Poult. Sci.*, 38 (4): 412-416
- Pettigrew, J. E. ; Soltwedel, K. T.,; Miguel, J. C. ; Palacios, M. F., 2008. Fact sheet - Soybean Use - Swine. Soybean Meal Information Center
- Powell, S.; Naranjo, V. D.; Lauzon, D.; Bidner, T. D.; Southern, L. L.; Parsons, C. M. , 2011. Evaluation of an expeller-extruded soybean meal for broilers. *J. Appl. Pout. Res.*, 20 (3): 353–360
- Puigserver, A. ; Andrieu, J. P. ; Bories, G. ; Paragon, B. M. ; Warnet, J. M. ; Valentin, S., 2004. Risk assessment of the utilisation of formaldehyde in animal feeding. *AFSSA*, Janvier 2004, 25 p.
- Quinsac, A.; Labalette, F.; Carré, P.; Parachini, E.; Jouffret, P., 2015. Local soybean supply chain . *OCL*, 22 (5): D506, 1-10
- Rackis, J. J.; Wolf, W. J.; Baker, E. C. , 1986. Protease inhibitors in plant foods: content and inactivation. In: *Nutritional and toxicological significance of enzyme inhibitors in foods*, Mendel Friedman Plenum Publishing Corporation
- Reddy, V. R. ; Eshwariah, 1989. Effect of graded replacement of fish meal with vegetable proteins in broiler starter rations. *Indian J. Anim. Nutr.*, 6 (2): 166-168
- Rhee, K. C., 2008. Effects of processing on nutrient content of soybean meal. Food Protein Research and Development Center, Texas A&M University
- Royer, E.; Carré, P.; Halas, V.; Sakkas, P.; Bikker, P.; Quinsac, A.; Kyriazakis, I.; Bach Knudsen, K. E., 2020. Processing of partly defatted meals from European soybeans and nutritional value for broilers and piglets. Feed-a-Gene final meeting. Feed-a-Gene project funded from the H2020 Programme of the European Union under grant agreement no 633531.
- Sauviant, 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
- Sauveur, B., 1989. Phytic phosphorus and phytases in poultry nutrition. *Inra Prod. Anim.*, 2 (5): 343-351
- Smith, K., 1986. Advances in feeding soybean products. In: *World Conference on emerging technologies in the fats and oils industry*. Ed: Baldwin A.R., American Oil Chemists' society
- Smits, C. H. M.; Annison, G., 1996. Non-starch plant polysaccharides in broiler nutrition - towards a physiologically valid approach to their determination. *World's Poult. Sci. J.*, 52: 203-221
- Sotak, Stein, H. H., 2014. Nutritional value of soybean products. In: *Midwest Swine Nutr. Conf. Proc.*, Indianapolis, Indiana—September 4, 2014, p. 19
- Soybean meal info center, 2018. News- July 2018. <https://www.soymeal.org/soy-meal-articles/world-soybean-meal-production-august-2018>
- Stefanello, C. ; Vieira, S. L. ; Rios, H. V. ; Simões, C. T. ; Sorbara, J. O. B., 2016. Energy and nutrient utilisation of broilers fed soybean meal from two different Brazilian production areas with an exogenous protease. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 221 (B): 267-273
- Steinfeld, H. ; Gerber, P. ; Wassenaar, T. ; Castel, V. ; Rosales, M. ; de Haan, C., 2006. *Livestock's long shadow*, FAO, Rome 2006
- Swick, R. A., 1997. Update on the use of soybean meal for growing pigs. *American Soybean Association - Technical Bulletin SW12*
- Tousi-Mojarrad, M.; Seidavi, A.; Dadashbeiki, M.; Roca-Fernandez, A. I., 2014. Short communication. Effect of soybean meal heat procedures on growth performance of broiler chickens. *Spanish J. Agric. Res.*, 12 (1): 180-185
- Valencia, D. G.; Serrano, M. P.; Lázaró, R.; Jiménez-Moreno, E.; Mateos, G. G., 2009. Influence of micronization (fine grinding) of soya bean meal and full-fat soya bean on the ileal digestibility of amino acids for broilers. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 150 (3/4): 238-248
- van Eys, J. E.; Offner, A.; Back, A., 2004. Manual of quality analyses for soybean products in the feed industry. American soybean association
- van Kempen T. A. T. G. ; van Heugten, E. ; Moeser, A. J. ; Muley, N. S. ; Sewalt, V. J., 2006. Selecting soybean meal characteristics preferred for swine nutrition.. *J. Anim. Sci.*, 84 (6):1387-1395
- Waldroup, P. W. ; Smith, K., 2008. Fact Sheet - Soybean Use - Poultry. Soybean Meal Information Center
- Walker, C. A., 1975. Personal communication. Central Research Station, Mazabuka, N. Rhodesia
- Wilcox, J. R. ; Premachandra, G. S. ; Young, K. A. ; Raboy, V., 2000. Isolation of high seed inorganic P, low-phytate soybean mutants. *Crop Science*, 40: 1601-1605

- Willis, S., 2003. The use of soybean meal and full-fat soybean meal by the animal feed industry. 12th Australian Soybean Conference
- Wiryawan, K. G. ; Dingle, J. G. ; Kumar, A. ; Gaughan, J. B. ; Young, B. A., 1995. True metabolisable energy content of grain legumes: effects of enzyme supplementation. In: Rowe, J.B., Nolan, J.V. (Eds.), Recent Advances in Animal Nutrition in Australia. University of New England, Armidale. p. 196
- Zanella, I.; Sakomura, N. K.; Silverside, F. G., 1999. Effect of enzyme supplementation of broiler diets based on corn and soybeans. Poult. Sci., 78 (4): 561-568
- Zuo, Y. ; Fahey, G. C. ; Merchen, N. R. ; Bajjalieh, N. L., 1996. Digestion responses to low oligosaccharide soybean meal by ileally-cannulated dogs. J. Anim. Sci., 74 (10): 2441-2449