



HAL
open science

Les coproduits de l'industrie agro-alimentaire : des ressources alimentaires de qualité à ne pas négliger

Patrick Chapoutot, Benoît Rouille, Daniel Sauvart, Bénédicte Renaud

► To cite this version:

Patrick Chapoutot, Benoît Rouille, Daniel Sauvart, Bénédicte Renaud. Les coproduits de l'industrie agro-alimentaire : des ressources alimentaires de qualité à ne pas négliger. INRA Productions Animales, 2018, 31 (3), pp.201-220. 10.20870/productions-animales.2018.31.3.2353 . hal-02623504

HAL Id: hal-02623504

<https://hal.inrae.fr/hal-02623504>

Submitted on 26 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Les coproduits de l'industrie agro-alimentaire : des ressources alimentaires de qualité à ne pas négliger

Patrick CHAPOUTOT¹, Benoît ROUILLÉ², Daniel SAUVANT¹, Bénédicte RENAUD³

¹ UMR Modélisation Systémique Appliquée aux Ruminants, INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 75005, Paris, France

² Institut de l'Élevage, 35652, Le Rheu, France

³ Réséda, 75007, Paris, France

Courriel : patrick.chapoutot@agroparistech.fr

■ En France, les coproduits de l'agriculture et de l'agro-industrie représentent des gisements importants de ressources pour l'alimentation animale. Cependant, les process technologiques qui les génèrent peuvent induire une variabilité importante de composition chimique et de valeur alimentaire qu'il convient de déterminer précisément par l'intermédiaire de modèles de prédiction qui tiennent parfois compte de la famille botanique. Leur valorisation optimale dans les régimes des animaux passe par la détermination objective de leur intérêt économique selon les différents systèmes de production et la mise en œuvre de précautions normales de conservation et d'emploi.

Introduction

Même si l'industrie agro-alimentaire a pour objectif de fabriquer des denrées alimentaires destinées à l'Homme, elle a toujours généré simultanément des matières premières non consommables directement par l'Homme mais potentiellement intéressantes pour l'alimentation des animaux. Ainsi, dès 1892, un ouvrage de 552 pages, « Résidus Industriels dans l'Alimentation du Bétail », leur était consacré (Cornevin, 1892). Ultérieurement, les coproduits ont toujours occupé une place importante dans toutes les tables d'aliments publiées à travers le monde. Ainsi, depuis plusieurs décennies, l'utilisation des coproduits dans l'alimentation animale s'est progressivement accrue pour des raisons économiques et environnementales tout en veillant à satisfaire les contraintes réglementaires et sanitaires imposées en élevage.

Depuis les années 1970-80, les réglementations environnementales sont devenues de plus en plus exigeantes afin de réduire la charge polluante des agro-industries, se traduisant par une taxation croissante de la mise en décharge des matières organiques issues des procédés technologiques et non valorisées.

Parallèlement, la meilleure valorisation de ces « résidus » par des voies alternatives à la mise en décharge a été explorée, dont celle de l'alimentation animale, et a conduit à réfléchir à leur valeur alimentaire et, par voie de conséquence, à leur intérêt économique potentiel. En effet, la commercialisation de ces produits d'intérêt pour les productions animales pouvait générer des revenus aux structures industrielles leur permettant alors de financer, au moins partiellement, la mise en œuvre de voies d'amélioration de leur qualité. Le cercle vertueux s'installait : les « déchets » sont devenus des

« sous-produits » et progressivement ces ressources ont atteint le statut de « coproduits » (encadré 1). Ainsi, dans toutes les filières agro-industrielles, la valorisation des coproduits selon leur prix d'opportunité est intégrée dans le modèle économique associés à la création d'une unité agro-industrielle.

Par ailleurs, les réglementations sanitaires ont pris un rôle croissant d'orientation des possibilités de valorisation des coproduits dans différentes filières animales. Les coproduits d'origine animale ont été les plus concernés par cette évolution. Ainsi au début du XIX^e siècle, une partie des carcasses de chevaux morts à Paris était utilisée pour nourrir des porcs élevés dans le cadre de l'École Vétérinaire d'Alfort (Pr. Denis, com. pers.). Plus tard dans ce siècle, des ouvrages faisaient l'apologie des « farines animales » pour nourrir des animaux ruminants (Cornevin, 1892), compte-tenu de leur intérêt nutritionnel élevé. Malheureusement, en raison

Encadré 1. Définitions réglementaires

Le terme coproduit n'est pas défini par la réglementation en tant que tel. Parfois, les coproduits sont assimilés à des déchets. Or, deux textes précisent les conditions dans lesquelles un coproduit peut être exclu de la notion de déchet : L'article L. 541-4-2 Article introduit par l'ordonnance française n° 2010-1579 du 17 décembre 2010 qui retranscrit la directive 2008/98/CE du 19 novembre 2008 ainsi que la communication interprétative de la Commission 21 février 2007 sur la notion de sous-produits.

Ainsi, l'Ordonnance 2010-1579 du 17 décembre 2010 précise qu'un coproduit est une substance ou produit résultant d'un processus de production qui n'est ni un produit, ni un résidu, ni un déchet, dont la valorisation économique est totale et qui dispose d'un marché adossé à une cotation. Des agents économiques spécialisés, différents des producteurs, interviennent fréquemment pour assurer sa distribution.

Un déchet est défini par l'Article L541-1 du code de l'environnement comme étant « *Tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon.* »

La directive 2006/12/CE précise qu'un déchet est une substance ou objet que le producteur cherche à éliminer, à l'intention d'éliminer ou en a l'obligation (mise en décharge, incinération, retour au sol. . .).

Un sous-produit est une « *Substance ou objet résultant d'un processus de production et qui n'est pas le produit final que ce processus vise à produire, mais dont l'utilisation ultérieure et directe est certaine. La valorisation est partielle, spécifique ou locale. Quand elle existe, la valorisation économique reste de faible valeur ajoutée, soumise aux aléas économiques, et ne permet souvent l'intervention que d'un unique opérateur intermédiaire* » (Ordonnance 2010-1579 du 17 décembre 2010). La Directive 2008/98/CE précise les conditions à remplir pour que cette substance soit considérée comme un sous-produit.

Les sous-produits animaux sont définis par le Règlement n° 1069/2009 comme « *Les cadavres entiers ou parties d'animaux, les produits d'origine animale ou d'autres produits obtenus à partir d'animaux, qui ne sont pas destinés à la consommation humaine, y compris les ovocytes, les embryons et le sperme.* ». Cette définition couvre un grand nombre de produits dont les coproduits de l'industrie laitière ou écart de production comme les biscuits contenant des produits animaux (œufs, beurre. . .) font partie.

Un écart de production peut s'appliquer à un sous-produit de la fabrication d'une denrée alimentaire ou à une ancienne denrée alimentaire.

Enfin, il convient de rappeler qu'à partir du moment où un coproduit est destiné à l'alimentation animale, il devient *une matière première pour l'alimentation animale* et doit en respecter la réglementation.

de l'application inadéquate des traitements technologiques recommandés pour ces coproduits, la crise de la vache folle des années 1990 a conduit la réglementation européenne à interdire strictement l'usage des « farines animales » pour nourrir les animaux d'élevage, notamment en les valorisant au sein de la même espèce.

À l'échelle des filières animales, la recherche d'autonomie alimentaire est un thème majeur pour les élevages de demain, en lien avec les attentes sociétales. L'autonomie peut se décliner au niveau massique, énergétique et protéique, et peut être appréciée à différents périmètres géographiques : l'atelier, l'élevage, le canton, la région jusqu'à une échelle nationale (CNIEL et IDELE, 2015). Les coproduits agroindustriels sont des ressources alimentaires privilégiées en cas de sécheresse ou de récoltes fourragères insuffisantes dans les exploitations agricoles. Par ailleurs, les coproduits riches en protéines produits par les industries agroalimentaires françaises et consommés par les élevages français sont en première ligne

pour favoriser l'autonomie protéique nationale, comme le montre l'étude Valoriscope 2015 du CEREOPA (Le Cadre *et al.*, 2015) sur la fourniture en protéines du marché français de l'alimentation animale. Ainsi, de toute évidence, les coproduits représentent un facteur de compétitivité vis-à-vis des importations françaises de protéines, notamment de soja.

De plus, les démarches actuelles qui tendent à prendre en compte les impacts environnementaux des productions animales montrent que les coproduits ont un faible impact environnemental comparativement aux autres aliments, du moins lorsque les calculs sont basés sur une allocation économique des impacts du processus de fabrication comme c'est le cas dans la base de données ECOALIM (Wilfart *et al.*, 2016). Ainsi, la prise en compte de ces nouveaux critères environnementaux lors de processus de formulation multi-objectifs conduit à favoriser l'incorporation des coproduits dans les éco-aliments (voir l'article de Wilfart *et al.*, 2018, dans ce même numéro).

Par ailleurs, l'introduction des coproduits agroindustriels, qui ne sont pas directement valorisables par l'Homme, dans les rations des animaux permet d'améliorer l'efficacité nette des systèmes de production, sur le plan protéique et énergétique. En effet, le calcul de ce nouveau critère ne prend en compte que la part des aliments consommés par les animaux qui auraient pu être utilisée en alimentation humaine. Ainsi, la valorisation des coproduits en alimentation animale est un facteur de réduction de la compétition entre alimentation animale et humaine (voir l'article de Laisse *et al.*, 2018, dans ce même numéro).

Cependant, au-delà de l'intérêt zootechnique, économique, environnemental et sociétal des coproduits favorisant leur utilisation en alimentation animale, les délais pour conquérir facilement ces marchés peuvent varier fortement d'un coproduit à l'autre et sont parfois indépendants de leur disponibilité actuelle (Halmemies-Beauchet-Filleau *et al.*, 2018).

La meilleure valorisation des coproduits en alimentation animale nécessite de mettre en place des actions de recherches scientifiques et techniques de façon à améliorer la connaissance de ces nouvelles ressources. C'est notamment dans cet esprit que des études spécifiques aux coproduits ont été mises en place en France dès la fin des années 1970 dans le cadre du « RNED Bovins » animé par l'Institut de l'Élevage. Puis, en 1982, le Comité National des Coproduits (CNC) s'organisait autour d'un groupe d'experts, représentants de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche agronomique, des différentes industries agroalimentaires, des structures de Développement (Instituts, Chambres Agriculture) et des prescripteurs du terrain (ingénieurs, vétérinaires, conseillers). Les travaux réalisés dans ce cadre se ont conduit à la rédaction de fiches et documents de synthèse pour de nombreux coproduits (<http://idele.fr/reseaux-et-partenariats/comite-national-des-coproduits.html>), ainsi que divers guides de valorisation des coproduits en élevage (Besancenot *et al.*, 2000).

De nombreuses revues relatives aux coproduits existent dans la littérature scientifique, décrivant leurs caractéristiques chimiques, leurs valeurs nutritionnelles, leur intérêt zootechnique et les modalités d'utilisation, par exemple pour les coproduits des biofuels (Makkar *et al.*, 2012), les coproduits de fruits et légumes (Wadhwa et Bakshi 2013 ; Wadhwa *et al.*, 2015 ; Bakshi *et al.*, 2016), les coproduits humides (Orosz *et al.*, 2015), etc. De plus, de nombreuses monographies par coproduit sont disponibles en ligne sur le site Feedipedia, véritable encyclopédie qui décrit les différentes ressources mondiales disponibles pour l'alimentation animale (www.feedipedia.org).

Cet article n'a donc pas l'ambition de présenter, sous forme de catalogue, une liste exhaustive de l'ensemble des coproduits disponibles à travers le monde et décrire leur intérêt zootechnique pour les différentes productions animales. À l'inverse, seront décrites ici – de façon transversale aux différentes filières agro-industrielles – les principales thématiques qu'il convient

d'aborder dans une démarche de réflexion conduisant à une meilleure connaissance des coproduits en vue de leur valorisation optimale en alimentation animale. Ce raisonnement s'appuiera sur des exemples pris principalement dans le contexte français. Ainsi, seront abordés successivement : la définition des coproduits, la quantification de leurs principaux gisements et leur disponibilité, la connaissance des process qui les génère, leur caractérisation précise en termes de composition chimique et de valorisation nutritionnelle, les risques éventuels qu'ils peuvent engendrer, ainsi que l'évaluation de leur intérêt économique.

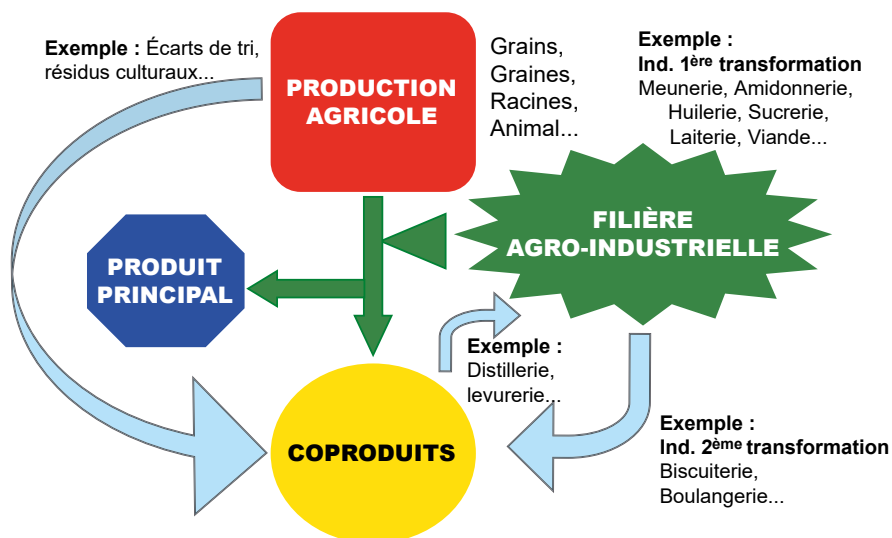
1. Qu'appelle-t-on coproduits des industries agroalimentaires ?

Les industries agroalimentaires produisent des coproduits de la première transformation et des coproduits de la seconde transformation. Les coproduits de la première transformation sont générés directement lors de la transformation d'une matière première agricole dans une filière agro-industrielle (figure 1). L'objectif de cette transformation est d'extraire certains constituants, les plus « nobles », en général des composés de réserve (sucre, huile, amidon), pour les valoriser majoritairement en alimentation humaine mais aussi de plus en plus pour d'autres usages (énergétiques,

fermentaires). La filière impliquée peut être, par exemple, la sucrerie (pulpe de betterave), la meunerie (son de blé) ou l'huilerie, *via* la trituration de graines oléoprotéagineuses (tourteaux de colza, de tournesol ou de soja). Par ailleurs, certains coproduits, certes pour de faibles volumes, peuvent être éventuellement réorientés vers l'Homme, par ex au nom d'une alimentation plus riche en fibres végétales (ex. les sons) ou en protéines végétales (par exemple les protéines de soja).

Les coproduits peuvent être obtenus à plusieurs étapes du process de transformation : par exemple, sons, remoulages et farines basse en meunerie ; pulpe (ou bagasse) puis mélasse en sucrerie de betterave (ou de canne) ; coques puis tourteaux pour la trituration des graines avec décorticage. Dans certaines filières, les coproduits peuvent également correspondre à un mélange de plusieurs coproduits (corn gluten feed en amidonnerie de maïs : mélange de drêches blanches, d'eau de trempe et éventuellement de brisures et/ou de tourteau de germe). Les coproduits de la seconde transformation sont issus de l'industrie de seconde transformation, industrie pouvant valoriser elle-même des coproduits de la première transformation. Par exemple, la mélasse de betterave peut servir de substrat de fermentation lors de la fabrication d'alcool, de levures ou d'acide aminés, générant au cours de ce deuxième process d'autres types de coproduits : les vinasses.

Figure 1. Modalités d'obtention des coproduits agro-industriels.



Néanmoins, au-delà de cette simple définition, il est parfois délicat de distinguer le « produit » du « coproduit ». En effet, le coproduit peut parfois correspondre au produit généré en plus grande quantité ou avec la plus forte valeur économique. C'est le cas notamment pour la trituration du soja dans laquelle le ratio tourteau/huile est de 4 ou de 1,5 environ selon qu'on raisonne respectivement en allocation massique ou économique.

2. Gisements et disponibilités des coproduits agroalimentaires en France

■ 2.1 Volumes disponibles et voies de valorisation principales des coproduits

Dans l'enquête Réséda de 2017 (Réséda, 2017), le volume de coproduits issus des principales industries agroalimentaires en France a été estimé à 12,1 millions de tonnes (Mt) de Matière Sèche (MS). Ce volume a augmenté de 2 Mt par rapport à l'enquête de 2008 (Réséda, 2008). Les politiques publiques relatives aux biocarburants sont la principale raison de cette progression tant dans le secteur de la distillerie que pour les oléagineux. À ces chiffres s'ajoutent des volumes de coproduits générés en faibles quantités par des petites structures valorisant le plus souvent en direct dans des élevages à proximité. Pour ces raisons, les tonnages correspondant à cette valorisation « direct élevage » échappent aux études de recensement des gisements disponibles à l'échelle nationale mais peuvent être appréciées plus précisément dans des enquêtes à l'échelle régionale (CNC 2016, CNC 2018).

À l'échelle nationale, trois secteurs génèrent à eux seuls plus de la moitié des coproduits (oléagineux : 29 % ; sucrerie : 14 % ; l'amidonnerie-féculerie : 13 %). Cinq autres secteurs génèrent chacun environ 8 % du tonnage : distillerie, meunerie, industrie de la viande et de la transformation des produits de la pêche et de l'aquaculture, industrie laitière et vin. Le tonnage restant (3 %) est généré par la semoulerie de maïs, de blé dur, la brasserie et la malterie.

Les coproduits peuvent être orientés dans différentes voies de valorisation. L'alimentation animale valorise de l'ordre de 9,3 Mt de MS, soit 76 % du tonnage des coproduits. L'essentiel passe par l'industrie de l'alimentation animale, avec 10,3 Mt brutes (Réséda, 2017) soit 8 à 9 Mt de MS environ. Les coproduits représentent, toutes espèces confondues, 40 à 45 % du tonnage d'aliments composés produits (Agreste, 2015). Quant à elle, la valorisation directe en élevage représente globalement 2,1 Mt brutes, pour des coproduits dont le taux de MS varie fortement. Par ailleurs, 15 % des coproduits sont utilisés comme matières premières dans d'autres industries (alimentation humaine, biocarburants, cosmétique). Enfin, 6 % du tonnage est destiné à des valorisations agronomiques (épandage, fertilisation, compostage) et seulement 3 % à des valorisations énergétiques (méthanisation, combustion).

■ 2.2. Recensement des principaux gisements par filière agroindustrielle

Le **tableau 1** présente les tonnages des coproduits générés et leur évolution entre 2007 et 2016 pour les principales filières.

a. Trituration

En 2016, la production française de tourteaux déshuilés par pressage puis extraction par un solvant des graines d'oléagineux, se répartit entre colza, tournesol et soja à hauteur respectivement d'environ 2,7 Mt, 0,7 Mt et 0,6 Mt brutes (Réséda, 2017). Les trois-quarts de cette production seraient utilisés par les fabricants d'aliments et un quart consommé directement en élevage (Peyronnet *et al.*, 2014). À ces chiffres s'ajoutent les volumes de tourteaux importés : environ 0,4 Mt en colza, 0,9 Mt en tournesol et 2,8 Mt en soja sur la campagne 2016/17 (Terres Univia, communication personnelle, d'après le kiosque.finances.gouv.fr, 2017).

b. Sucrerie

Sur la campagne 2017-2018, la production de betteraves sucrières en France métropolitaine s'élève à 46 Mt, à 16 % de teneur en sucre, soit l'équivalent de 6,1 Mt brutes de sucre de betteraves

produites par l'industrie sucrière (CEDUS Le Sucre, 2018). La production de pulpes de betteraves sur la campagne 2016-2017 s'est élevée à 2,8 Mt brutes (1,47 Mt MS), toutes destinées à l'alimentation animale, dont l'essentiel (67 % de la MS) est produit sous forme déshydratée (Confédération Générale des Planteurs de Betteraves, 2016). La filière de la distillerie a également produit 270 000 tonnes brutes de pulpes de betteraves en 2016, totalement valorisées en alimentation animale.

c. Amidonnerie

Suite à une série d'étapes simples de séparation physique (broyage, tamisage, centrifugation), la filière de l'amidonnerie du blé et du maïs sépare les divers constituants du grain d'origine : l'amidon, la protéine, les enveloppes celluloseuses, les fractions solubles et, dans le cas du maïs, le germe dont sera extraite l'huile. Les coproduits (1,58 Mt) sont valorisés en majorité en alimentation animale, pour les animaux de rente ou de compagnie. Leurs valorisations participent pleinement à l'équilibre économique de cette filière.

d. Meunerie

En 2015, la meunerie française a mis en œuvre 5,34 Mt de blé et a produit 4,17 Mt de farine (Association de la Meunerie Française 2016), correspondant à 1,2 Mt brutes d'issues de meunerie (sons, remoulages, farines basses), soit 20 à 22 % du tonnage de blé mis en œuvre. Hormis 8 000 tonnes brutes de sons valorisés en alimentation humaine, les issues sont majoritairement valorisées par les fabricants d'aliments pour animaux.

e. Industrie laitière

En 2016, l'industrie laitière a collecté environ 24,7 Mt de lait, dont 24 Mt de lait de vache (CNIEL, 2016). Les différents secteurs d'activités (fromages, laits conditionnés, crèmes, yaourts et desserts) génèrent des coproduits de nature différente : lactosérum, issu de l'industrie fromagère et de la fabrication des caséines, ou babeurre, issu de la fabrication du beurre, majoritairement transformés en poudre. Les poudres de lactosérum, de babeurre et de lait écrémé sont utilisées majoritairement comme matières premières pour la fabrication de biscuits ou de

Tableau 1. Volumes et identification des coproduits valorisés dans l'alimentation des animaux de rente et de compagnie par filière (Réséda/ADEME, 2008 ; Réséda, 2017).

| Filière | Coproduits | Volume de coproduits valorisés en alimentation animale (en milliers de t de MS) | |
|---|--|---|--------------|
| | | 2007 | 2016 |
| Huilerie | Tourteaux de colza, tournesol, soja | 1 844 | 3 474 |
| Amidonnerie/ féculerie | – Sons de blé, Wheat gluten feed, Solubles de blé, Corn gluten feed, Solubles de Maïs – Pulpes de féculerie, Solubles | 1 100 | 1 582 |
| Sucrierie | Pulpes de betterave déshydratées, surpressées et humides | 1 349 | 1 097 |
| Meunerie | Sons, Remoulages, Farines basses de blé | 1 109 | 1 030 |
| Distillerie | Vinasses de betteraves, Drêches de céréales, Pulpes de raisins | 5,4 | 770 |
| Industrie de la viande et de la transformation des produits de la pêche et de l'aquaculture | Coproduits de catégorie 3 (Protéines Animales Transformées, Corps gras) | 366 | 563 |
| Industrie laitière | Lactosérum poudre, liquide ou concentré, Babeurre poudre, liquide ou concentré, Lait écrémé poudre | 341 | 359 |
| Semoulerie de maïs | Farine fourragère, Tourteaux de germe | | 136 |
| Semoulerie de blé dur | Sons, Remoulages, Gruaux | 146 | 129 |
| Brasserie | Drêches, Levures | 50 | 88 |
| Malterie | Orgettes, Radicelles, Granules de malterie | 67 | 56 |
| Total | | 6 378 | 9 284 |

lait infantile par exemple, mais sont également valorisées par les fabricants d'aliments du bétail (330 000 tonnes brutes en 2017). Le lactosérum et le babeurre sous forme liquide peuvent être utilisés directement en élevage (611 000 tonnes brutes valorisées en 2017, notamment en alimentation porcine).

■ 2.3 Disponibilité temporelle et spatiale des coproduits

a. Saisonnalité

La disponibilité des coproduits peut varier au cours de l'année. Par exemple,

certains coproduits comme les tourteaux peuvent être disponibles tout au long de l'année. En effet, même si la production de graine est saisonnée, leur stockage permet une utilisation étalée en trituration, dont l'activité ne présente que peu de fluctuations temporelles, conduisant à une disponibilité quasi constante des tourteaux au cours de l'année.

En revanche, dans d'autres filières, l'activité industrielle est concentrée au moment de la production de la matière brute et les coproduits ne sont générés qu'à ces périodes (automne-hiver pour la betterave en sucrierie, fin de

printemps-été pour les légumes de conserverie). Dans ce cas, lorsque les coproduits peuvent être séchés et stockés (pulpe de betterave déshydratée, par exemple), leur utilisation peut être différée dans le temps. À l'inverse, lorsque les coproduits sont présentés sous forme humides ou semi-humides (coproduits de tomates, haricots verts, petits pois ; pulpes de betterave humides ou surpressées), leur disponibilité est alors très saisonnée.

b. Disponibilité spatiale

La disponibilité des coproduits dans l'espace dépend de la répartition géographique des entreprises qui les

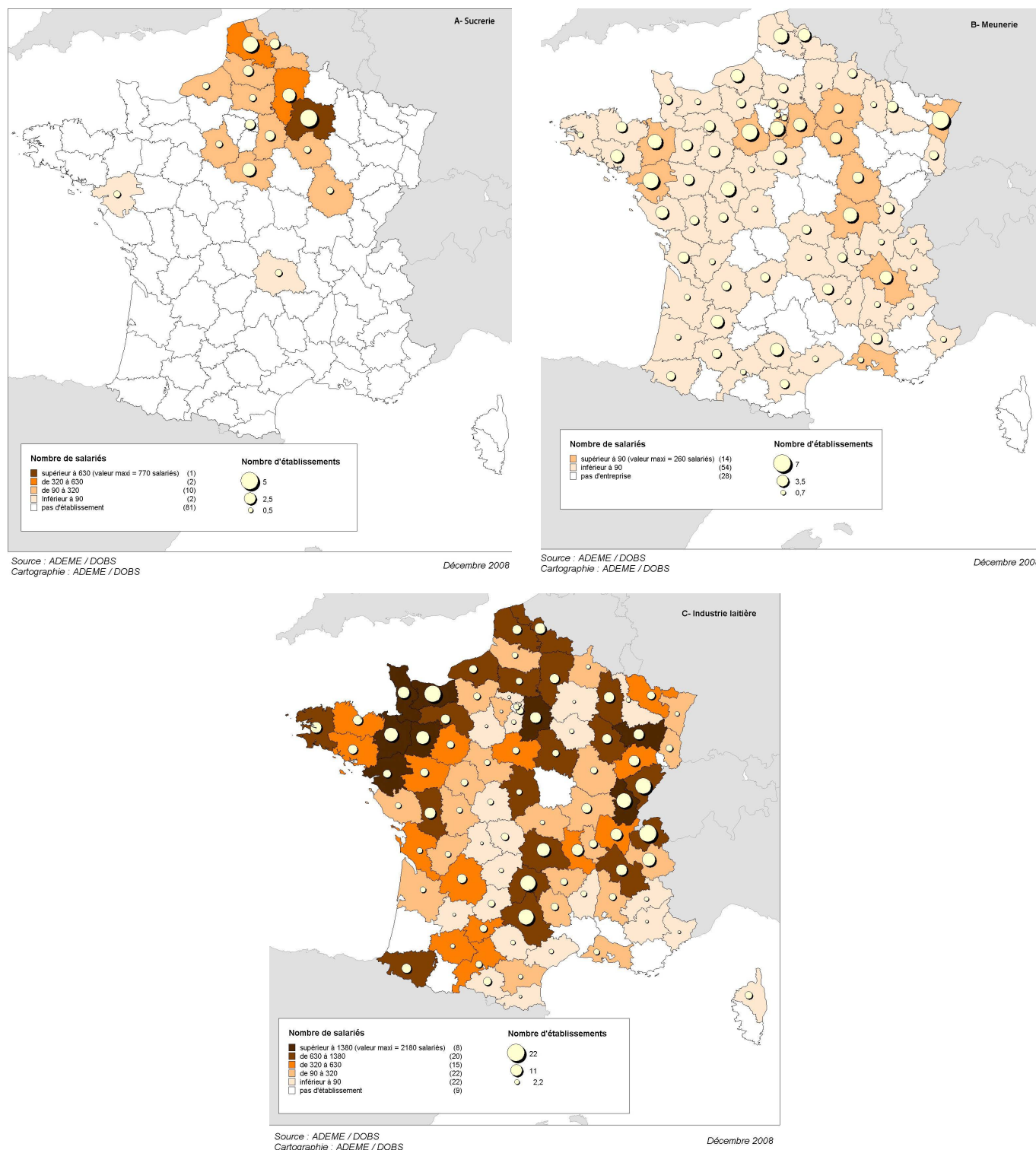
gèrent. Il existe une grande disparité de situation selon les filières considérées : une très forte concentration des entreprises des filières sucrerie, amidonnerie et des industries cidricoles, etc., et une dispersion importante sur le territoire pour la meunerie, la conserverie, la laiterie, la boulangerie-pâtisserie, etc.

Les cartes issues du rapport Réséda 2008 (figure 2) illustrent ces situations contrastées par exemple pour la sucrerie, la meunerie et l'industrie laitière.

La valorisation des coproduits en alimentation animale issus de ces filières dépendra alors, d'une part, de

la plus ou moins bonne superposition entre les zones de production des coproduits et les zones d'activité d'élevage et, d'autre part, de leur forme de présentation (humide ou sèche) qui conditionnera leur valorisation locale (coproduits humides disponibles dans des zones d'élevages) ou leur possibilité

Figure 2. Répartition géographique et importance (nombre de salariés) des entreprises par département pour la sucrerie (A), la meunerie (B) et l'industrie laitière (C) (Réséda/ADEME, 2008).



de transport sur des longues distances (coproduits secs générés hors zones d'élevage).

c. Variabilité des prix

Les cours des coproduits sont variables en fonction de leur disponibilité et de leur intérêt nutritionnel. Le prix de certains coproduits, comme les tourteaux, sont basés sur le marché mondial (https://ec.europa.eu/agriculture/market-observatory_fr) et peuvent varier fortement, parfois de manière imprévue, pour diverses raisons (disponibilités en surfaces, prévisions de récolte, intempéries, facteurs géopolitiques...). Le tourteau de soja fait, en général, office d'étalon pour les coproduits azotés, tandis que pour les coproduits énergétiques les céréales, et notamment le blé, servent de référence. Cependant, il est beaucoup plus difficile d'avoir des repères de prix pour les coproduits humides, disponibles plus localement, et/ou certains coproduits plus saisonniers, comme les coproduits de fruits et légumes, du vin, etc.

3. Une bonne connaissance des procédés qui permet de mieux connaître la nature des coproduits

■ 3.1 Des process qui varient d'une filière à l'autre, conditionnant gisements et nature des coproduits

L'extraction des composés valorisés en alimentation humaine peut se faire par divers types de procédés technologiques qui génèrent des coproduits de nature différente. La séparation peut se faire en milieu sec (meunerie, semoulerie) ou en milieu humide (sucrierie, amidonnerie, féculerie) et peut mettre en œuvre différents types de procédés : trempage (amidonnerie, malterie), diffusion (sucrierie), séparation par différence de densité en milieu humide (amidonnerie, ovoproduits) ou tamisage en milieu sec (blutage en meunerie, maïserie), filtration ou floculation (féculerie de pomme de terre), pression (huilerie, vinification), extraction chimique (huilerie), centrifugation (sucrierie-distillerie). De plus, cette séparation des coproduits peut se faire à différents

niveaux du process, soit en phase initiale, soit au cours des différentes étapes, soit en phase finale. Une description détaillée et des illustrations des process mis en œuvre sont présentées pour toutes les filières agroalimentaires étudiées dans l'enquête Réséda (2008) et dans les fiches relatives à ces coproduits sur le site Feedipedia (www.feedipedia.org).

La connaissance de ces process permet d'estimer les ratios d'obtention des coproduits à chaque étape. Il est alors possible de calculer le tonnage de coproduits générés en fonction des flux de matières premières mises en œuvre dans le process. Par exemple, une tonne de blé génère en meunerie 140 kg de sons, 70 kg de remoulage et 9 kg de farines basses environ, tandis qu'en éthanolerie elle produit environ 330 kg de drêches de blé, 330 kg de CO₂ et 380 kg d'éthanol.

De plus, les modalités d'obtention des coproduits dans le process permettent d'expliquer largement la nature et la composition des coproduits selon les fractions retenues. Ainsi, le process de l'amidonnerie permet de récupérer les fractions solubles (glucidiques et azotées) dans les eaux de trempage du maïs, les enveloppes du grain de maïs dans les drêches blanches riches en parois, et la fraction protéique insoluble dans le corn gluten meal après séparation finale de l'amidon en milieu liquide. Par ailleurs, la réintroduction des eaux de trempage aux drêches de maïs conduit à un corn gluten feed à plus forte teneur en azote soluble comparé à la drêche de maïs. De même, en sucrierie et distillerie de betterave, la pulpe séparée après diffusion du saccharose concentre les constituants pariétaux, les fractions protéiques peu solubles ainsi que des minéraux exogènes non évacués lors du lavage initial des betteraves, alors que certaines fractions minérales, notamment le potassium, s'accumulent ultérieurement dans la mélasse puis dans les vinasses de mélasse.

■ 3.2 Des process qui évoluent dans le temps et dans l'espace

Selon les process, la qualité des coproduits est variable dans l'espace et dans le temps. En effet, en raison des

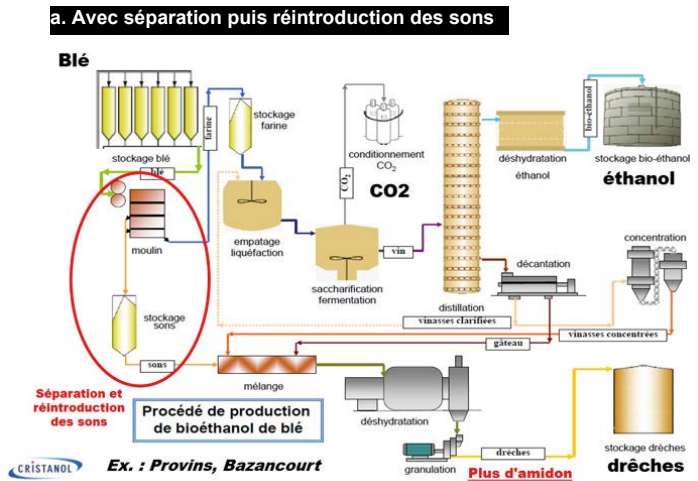
différences de technologie appliquée d'une usine à l'autre les coproduits peuvent présenter une variabilité de qualité dans l'espace.

Ainsi, par exemple, différents types de process sont mis en œuvre dans les usines d'éthanolerie de blé en France (figure 3), ce qui se traduit par des drêches de composition différentes (Sauvant *et al.*, 2013a ; Sauvant *et al.*, 2013b ; Heuzé *et al.*, 2017b). En effet, la séparation du son en début de process puis sa réintroduction en phase finale conduit à une drêche de blé assez riche en amidon avec une teneur en Matières Azotées Totales (MAT) légèrement plus faible que dans le cas d'un process sur mouture complète, qui génère des drêches de blé plus appauvries en amidon mais à l'inverse plus concentrées en matières azotées totales. Par contre, la séparation du gluten de blé faite avant saccharification réduit la teneur en MAT et concentre la fraction amidon des drêches (wheat feed) issues de ce type de process (INRA-CIRAD-AFZ Feed tables, 2018 ; www.feedtables.com).

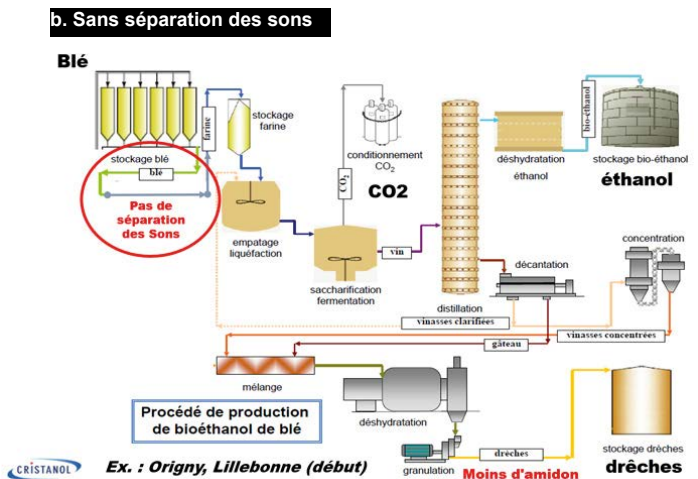
De même, l'enquête menée il y a quelques années dans le cadre du Comité National des Coproduits a montré que la teneur en protéines et la dégradabilité enzymatique de la fraction azotée (DE1) des tourteaux de colza pouvaient varier d'une usine à l'autre, induisant des différences de valeurs nutritives azotées importantes (Chapoutot *et al.*, 2011, Chapoutot *et al.*, 2013). En effet, l'usine de Baley Court produisait des tourteaux de colza moins riches en MAT et ayant des valeurs (DE1) plus élevées, contrairement à l'usine du Mériot qui générait des tourteaux plus concentrés en MAT mais présentant une DE1 plus faible, alors que les tourteaux issus de l'usine de Rouen étaient plus riches en constituants pariétaux.

Par ailleurs, les process peuvent évoluer dans le temps pour une même filière et au sein même d'une usine et conduire à une variabilité dans le temps de la qualité des coproduits. En effet, des changements de process peuvent conduire à l'apparition de nouveaux types de coproduits. En distillerie de maïs, une extraction plus poussée a fait apparaître dans les années 2005-2010

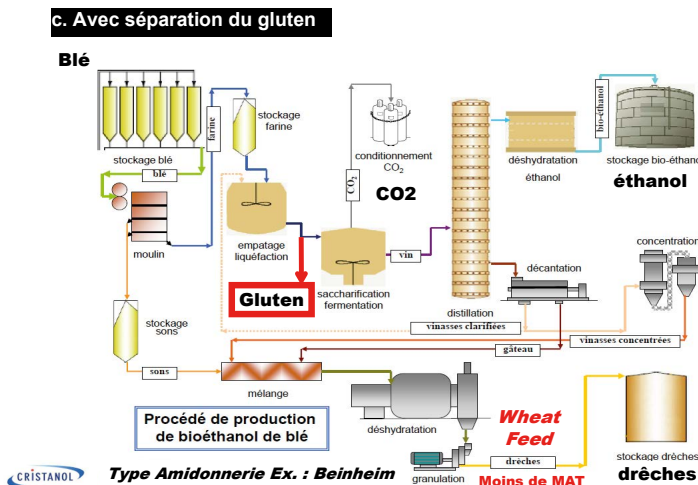
Figure 3. Diversité des process de distillerie de blé selon les usines en France : a. avec séparation puis réintroduction des sons ; b. sans séparation des sons ; c. avec séparation du gluten (adapté de Cristanol).



Teneurs en amidon = $11,7 \pm 2,6$ % MS et en MAT = $33,0 + 1,4$ % MS (moy \pm ET ; n = 658 ; www.feedtables.com, 2018)



Teneurs en amidon = $4,2 \pm 1,7$ % MS et en MAT = $36,1 + 1,9$ % MS (moy \pm ET ; n = 36 ; www.feedtables.com, 2018)



Teneurs en amidon = $27,7 \pm 4,0$ % MS et en MAT = $18,5 + 1,5$ % MS (moy \pm ET ; n = 14 ; www.feedtables.com, 2018)

certaines DDGS beaucoup plus riches en protéines (HiPro DDGS), tandis que la réincorporation des solubles de distillerie a entraîné des teneurs plus élevées en matières grasses des corn distillers (Sauvant *et al.*, 2013a ; Sauvant *et al.*, 2013b ; Heuzé *et al.*, 2015c). Dans le domaine de la trituration des graines de tournesol, des traitements de décorticage poussé ont été mis en œuvre depuis quelques années dans certaines usines, en France (SAIPOL à Bassens) ou dans des pays périphériques de la Mer Noire. Cela conduit à la mise sur le marché de tourteaux de tournesol HiPro plus riches en protéines (environ 40 % MAT sur le produit sec) et moins pourvus de constituants pariétaux, mesurés par la Cellulose Brute (CB) par exemple (environ 20 % CB sur le produit sec) que les tourteaux classiquement décortiqués (LoPro ou pailleux).

Ainsi, l'utilisation optimale des coproduits en alimentation animale repose sur chacun des maillons de la chaîne de valorisation et passe par :

i) la standardisation des process au niveau des fournisseurs, associé à une procédure de caractérisation précise et à un « typage » fin des coproduits générés, qui permet ainsi de réduire au maximum les plages de variation intra-classe de qualité et garantit par là-même une certaine fiabilité des coproduits pour les utilisateurs ;

ii) la mise en place régulière d'enquêtes « qualité », par les Instituts Techniques ou les structures de développement, permettant de connaître précisément la composition chimique des coproduits disponibles chaque année, par exemple pour les tourteaux de colza (Terres Univia et Terres Inovia, 2016a) ou de tournesol (Terres Univia et Terres Inovia, 2016b), mais aussi de suivre l'évolution inter- et intra-usine pour apprécier la régularité des fournisseurs ;

iii) la mise à jour régulière, à un niveau national ou international, des bases de données de composition et des Tables de valeurs nutritionnelles des aliments, comme le fait actuellement l'Association Française de Zootechnie en relation avec de nombreux partenaires professionnels (www.feedtables.com 2018). Ces tables permettent non seulement de connaître les valeurs moyennes des principaux critères mais également la

variabilité de composition chimique observées intra-coproduit.

4. Une composition chimique et des valeurs nutritives à caractériser précisément pour une valorisation idéale

L'utilisation des productions agricoles par l'industrie agroalimentaire amène dans la majorité des situations à séparer les fractions de réserve (amidon, lipides) utilisées en alimentation humaine ou dans d'autres voies, et conduit à enrichir les coproduits dans les autres fractions de la matière organique (protéines et parois) et parfois en minéraux (figure 4). La bonne valorisation des coproduits en alimentation animale nécessite donc une caractérisation précise de leur composition chimique globale, mais aussi une meilleure connaissance de la qualité de ces parois et de ces protéines permettant ainsi de définir les meilleures voies de valorisation animale.

■ 4.1 Une composition chimique des coproduits à connaître précisément

La connaissance de la composition chimique des coproduits passe par la réalisation *a minima* d'une analyse four-

ragère classique : teneurs en MS, cendres brutes (MM), protéines brutes ou MAT, Cellulose Brute (CB) et extrait éthéré (MG). Ces dosages peuvent être réalisés en laboratoires de routine par les méthodes chimiques classiques selon les normes en vigueur. Cependant, l'obtention des résultats peut nécessiter plusieurs jours. L'utilisation de mesures rapides par spectrométrie infra-rouge (SPIR) développées maintenant dans de nombreux laboratoires, ou même éventuellement disponibles sur le terrain grâce à des appareils portatifs capables de mesurer directement la composition chimique d'échantillons humides, permet d'accélérer le processus de caractérisation des coproduits. Cependant, ces méthodes nécessitent la constitution de bases de données de calibration suffisamment représentatives des échantillons dosés. Ainsi, dans le cas de coproduits « atypiques » mal représentés dans les bases de données utilisées, la précision des résultats peut être parfois insuffisante. Les avantages et inconvénients de la méthode SPIR et des outils associés est décrit dans l'article de Bastianelli *et al.*, (2018) dans ce même numéro.

Néanmoins, les simples critères de l'analyse proximale ne sont pas toujours suffisants pour avoir une connaissance correcte de l'efficacité d'utilisation digestive et métabolique des coproduits par les différentes espèces animales.

■ 4.2 Des parois végétales plus ou moins valorisables selon les familles botaniques

L'accumulation parfois importante de constituants pariétaux dans certains coproduits réduit généralement leur utilisation digestive, surtout chez les monogastriques. Cependant, certains coproduits riches en parois végétales peu lignifiées peuvent être correctement valorisés à des taux modérés (20% environ) chez la truie en gestation, comme la pulpe de betterave (Parisini *et al.*, 1991 ; Maupertuis *et al.*, 2017), les coques de soja avec un effet rassasiant (Sapkota *et al.*, 2016) ou les pulpes de citrus (O'Sullivan *et al.*, 2003). La pulpe de betterave peut aussi être utilisée chez le porc en croissance (Vilariño *et al.*, 2017), ou même chez le porcelet à plus faible taux d'incorporation en raison d'un effet favorable des pectines sur la santé du microbiote intestinal (Gaudré *et al.*, 2010).

Les ruminants apparaissent *a priori* une cible privilégiée pour utiliser ce type de coproduits riches en parois végétales. Cependant, la dégradation de ces parois dans le rumen montre des dynamiques digestives très différentes selon les familles botaniques. La fraction pariétale non dégradable dans le rumen peut représenter moins de 20% seulement de la paroi d'origine pour les coproduits issus de maïs, de protéagineux ou dérivés du palmier, à près de 75-80% pour les coproduits de céréales et d'oléagineux (Chapoutot 1998 ; Chapoutot *et al.*, 2010 ; figure 5). La présence de lignine explique en partie ces différences de dégradabilité des parois, mais l'incidence de ces fractions polyphénoliques varie selon la famille de coproduits en raison de leur composition fine et de leur niveau d'incrustation des polymères cellulosiques et hémicellulosiques. Ainsi, alors que le ratio entre les teneurs en parois indégradables et en lignine est d'environ 1,2 pour divers coproduits de racines et pour les tourteaux de coprah, palmiste et coton, il est compris entre 2 et 3 pour les tourteaux de lin, arachide, colza et tournesol, et varie de 4 à plus de 8 pour les céréales et leur coproduits (Chapoutot *et al.*, 2010). De ce fait, une prévision fiable de la valeur énergétique

Figure 4. Teneurs moyennes en protéines et parois végétales de quelques coproduits (d'après INRA, 2018).

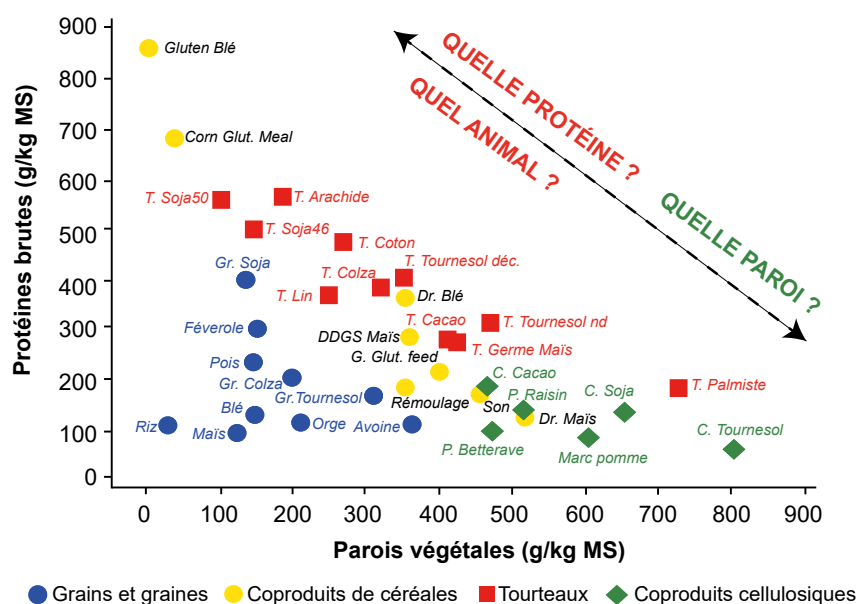
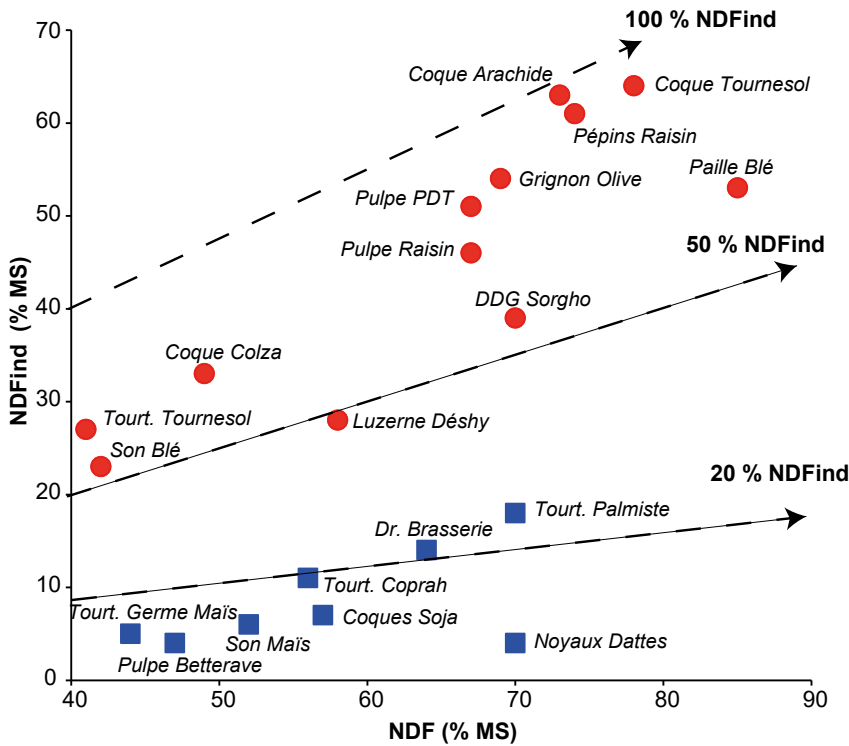


Figure 5. Variabilité de la proportion de parois non dégradables selon la famille botanique des coproduits (d'après Chapoutot et al., 2010).



NDF = Teneur en parois végétales ; NDFind = Teneur en NDF non dégradable

des coproduits chez les ruminants à partir des analyses nécessite de segmenter les modèles de prédiction de la digestibilité ou de la valeur énergétique selon les types de coproduits ou leurs familles botaniques (voir plus loin).

du blé et de ses coproduits présentent un taux de dégradation (kd) élevé et relativement homogène (15-20%.h⁻¹) et

■ 4.3 Une qualité des protéines dépendante de la famille botanique et des traitements technologiques

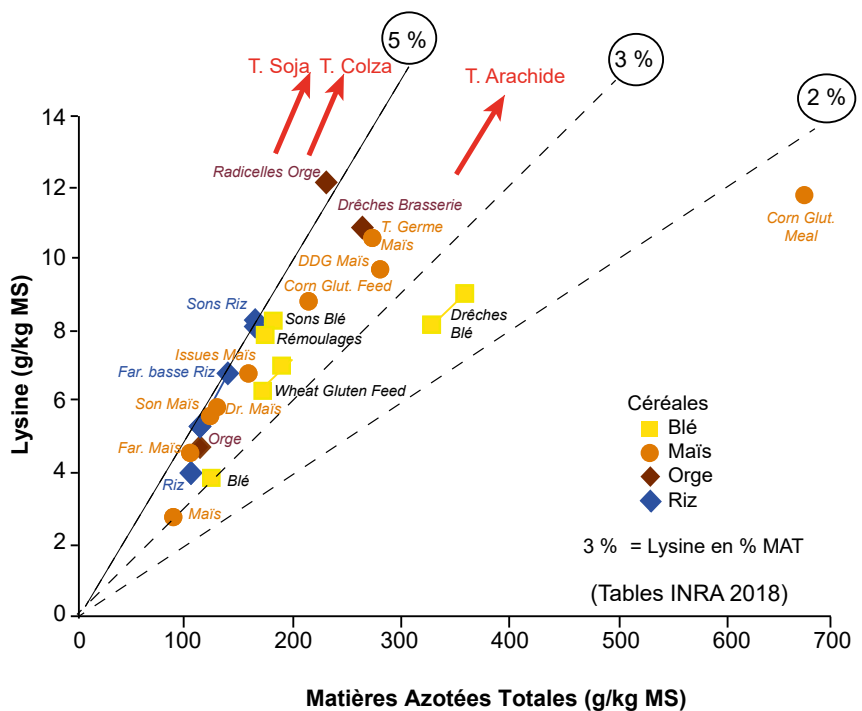
Indépendamment de la teneur en protéines des coproduits, la qualité de ces protéines joue un rôle déterminant dans la valeur azotée de ces ressources, que ce soit en termes de dégradabilité dans le rumen ou d'équilibre dans les différents acides aminés essentiels. Ces critères de qualité dépendent de la famille botanique et des traitements technologiques appliqués.

Il est possible de faire certaines analogies selon la famille botanique en comparant les dynamiques de dégradation de l'azote dans le rumen entre matières premières d'origine et coproduits. Ainsi, les cinétiques de dégradation de l'azote

une fraction indégradable peu importante (5-10 %). À l'inverse, l'ensemble des coproduits du maïs, montrent des cinétiques de dégradation de l'azote beaucoup plus lentes (kd = 3-9 %/h) et dont l'amplitude de dégradation finale varie plus selon le procédé technologique d'obtention (85-95 %) (www.feedtables.com, 2018), ce qui conduit à des valeurs de dégradabilité théorique de l'azote plus faibles et plus variables pour les coproduits du maïs (30-70 %) que pour les coproduits du blé (70-75 %) (INRA, 2018).

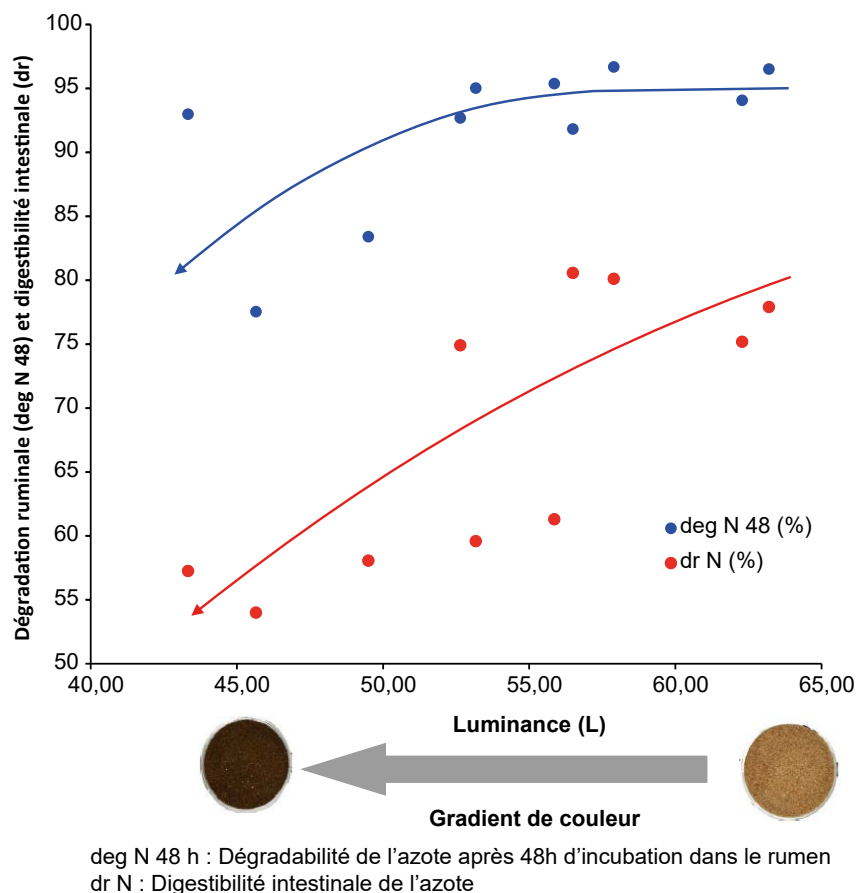
Par ailleurs, les teneurs en acides aminés indispensables des coproduits dépendent fortement de la nature des fractions protéiques isolées dans les différents coproduits issus d'une même matière première selon la filière agroalimentaire considérée. La figure 6 illustre ces aspects concernant la teneur en lysine des coproduits des céréales. Ainsi, le corn gluten meal est caractérisé par une faible teneur en lysine de ses protéines comparé aux autres coproduits du maïs (1,8 vs 3,0 - 3,9 g lysine/16gN, www.feedtables.com, 2017). Cependant, cette carence en lysine du gluten meal est compensée par une digestibilité iléale élevée chez

Figure 6. Variabilité de la teneur en lysine et en protéines des coproduits de céréales (d'après INRA, 2018).



Céréales
 ■ Blé
 ■ Maïs
 ■ Orge
 ■ Riz
 3 % = Lysine en % MAT
 (Tables INRA 2018)

Figure 7. Relation entre la couleur des drèches de blé liée à leurs traitements thermiques et le niveau de dégradation dans le rumen et de digestibilité dans l'intestin de l'azote (d'après Cabon *et al.*, 2009).



le porc, comparativement à d'autres coproduits (Knabe *et al.*, 1989).

Cependant, ces critères de qualité des protéines peuvent être également fortement influencés par les traitements technologiques, notamment les traitements thermiques appliqués à certaines étapes des process qui génèrent les coproduits.

La température de séchage de certains coproduits, ou leurs traitements thermiques en cours de process, pénalise leur valeur azotée chez les monogastriques, du fait d'une réduction de la digestibilité iléale de la lysine, acide aminé particulièrement sensible aux réactions de Maillard. Ces phénomènes ont été décrits pour les graines oléoprotéagineuses (Perrot, 1995 ; Perilla *et al.*, 1997 ; Al Marzooqi *et al.*, 2009). Ils expliquent également les faibles valeurs de digestibilité iléale des protéines et des acides aminés mesurées, par exemple, dans le cas de drèches de

blé en porcs et en volailles par Cozannet *et al.*, (2010a, 2010b) et en porc pour des coproduits de boulangerie (Casas *et al.*, 2018) ou certains produits issus de soja (Navarro *et al.*, 2017). Dans le cas des protéagineux, et le tourteau de soja notamment, l'application d'un traitement de cuisson permet de réduire la teneur en facteurs antitrypsiques de ces aliments (Johnson *et al.*, 2004) et ainsi améliorer leur valeur azotée chez les monogastriques. Cependant, une température excessive peut conduire à un effet contraire en réduisant la teneur et la disponibilité des acides aminés thermosensibles (van Eys *et al.*, 2004).

Ces traitements technologiques peuvent également avoir une incidence sur la valeur azotée des coproduits chez les ruminants. Ainsi par exemple, l'élévation des températures appliquées dans les différentes étapes de la trituration (cuisson et pressage des graines, extraction de l'huile par solvant, désolvantation du tourteau) observée depuis près

de 15 ans en France (Quinsac, comm. pers.) a induit une baisse de la dégradabilité de l'azote du tourteau de colza d'environ 25 à 30 points (Chapoutot *et al.*, 2013 ; Chapoutot *et al.*, 2015a). Cependant, l'excès de température de séchage appliqué aux drèches de blé peut aboutir, non seulement à une réduction de la dégradabilité ruminale de l'azote, mais aussi à une baisse de la digestibilité intestinale des protéines (Cabon *et al.*, 2009) (figure 7). Cette incidence de la température de traitement a également été décrite pour les drèches de brasserie (Pereira *et al.*, 1998 ; Enishi *et al.*, 2005) ou les coproduits de distillerie (Mustafa *et al.*, 2000). Il peut en résulter une coloration brune plus ou moins foncée caractéristique des coproduits « matraqués » thermiquement. Ce critère de colorimétrie est actuellement utilisé sur le terrain pour caractériser rapidement la qualité des drèches de blé.

■ 4.4 Une valeur minérale à ne pas négliger

Certains coproduits peuvent être riches en matières minérales, ce qui peut globalement pénaliser leur valeur énergétique, mais peuvent être également concentrés en certains éléments minéraux particuliers. Cette situation peut être liée à une accumulation de ces éléments dans le coproduit à partir de la matière première initiale. Ainsi, par exemple, le potassium de la betterave ne se concentre pas dans les pulpes ($4,7 \pm 1,4$ g/kg MS) mais se retrouve en proportion élevée et très variable dans les mélasses de betterave ($51,0 \pm 12,0$ g/kg MS) et les vinasses de mélasses ($57,4 \pm 28,8$ g/kg MS) (www.feedtables.com 2018).

Par ailleurs, certaines étapes du process peuvent nécessiter l'utilisation d'adjuvants technologiques, par exemple le sulfate de calcium pour le surpressage des pulpes de betteraves, le carbonate de calcium pour la déshydratation des pulpes d'agrumes ou le sulfate d'ammonium pour la déminéralisation/dépotassification des vinasses de mélasses. Ces ajouts conduisent à un enrichissement du coproduit en certains éléments minéraux (calcium dans les pulpes de betteraves et d'agrumes, sulfates dans

les vinasses dépotassifiées). Il conviendra alors de vérifier les seuils de tolérance des animaux vis-à-vis de ces éléments (problème du soufre lorsque sa teneur dépasse 3,5 – 4,0 g/kg MS des rations pour ruminants, toxicité du cuivre pour les ovins dans le cas des coproduits du raisin accumulant les produits de traitement de la vigne) et les risques potentiels d'interactions entre minéraux majeurs et/ou oligo-éléments : blocage de l'utilisation du cuivre et du zinc par le soufre dans le cas des pupes de betteraves (CNC, 2012a) ou des coproduits du bioéthanol (Heuzé *et al.*, 2017b).

Enfin, la teneur élevée en cendres d'un coproduit peut provenir d'une accumulation de matières minérales d'origine exogène, par exemple une contamination par la terre en raison d'un lavage insuffisamment efficace des betteraves en sucrerie, ou lors du séchage au sol de certains coproduits. Dans ces cas, il peut être utile de connaître la teneur en insoluble chlorhydrique du coproduit.

Au-delà de leur teneur en phosphore total, la part de la fraction piégée sous forme de phosphore phytique varie fortement d'un coproduit à l'autre (10 % pour les coproduits de la betterave, 40-50 % pour la pulpe d'agrumes ou le tourteau de coprah, 80-90 % pour les coproduits du riz et du tournesol ; www.feedtables.com 2017). De plus, comme l'activité phytasique endogène présente des différences importantes entre matières premières, avec de fortes valeurs notamment pour les coproduits de seigle, de triticale et de blé (Pointillart, 1994), les coproduits montrent une forte variabilité de teneurs en phosphore digestible, ou disponible, chez les animaux monogastriques. Ainsi par exemple, la digestibilité vraie du phosphore chez les porcs est plus élevée dans les coproduits du bioéthanol que dans le tourteau de colza (Vilariño *et al.*, 2015). Par ailleurs, cette digestibilité peut varier dans le temps et d'un lot à l'autre comme l'ont montré Vilariño *et al.*, (2016) sur le tourteau de colza. Néanmoins, chez les monogastriques, cette digestibilité du phosphore peut être améliorée par l'ajout de phytases exogènes d'origine microbienne (Jondreville et Dourmad, 2005) ou par des traitements de conservation (inertion, ensilage) (Danel *et al.*, 2017).

Dans le cas des ruminants, la fraction de phosphore absorbable des aliments concentrés représente en moyenne les 2/3 du P total. Elle varie entre 60 et 85 % pour la majorité des aliments, mais peut atteindre 90 % pour la betterave et ses coproduits (www.feedtables.com 2018). Cependant, une forte protection des protéines de certains coproduits peut entraîner une baisse de la disponibilité du phosphore dans le rumen comme cela a été montré pour le tourteau de colza tanné au formol (Bravo *et al.*, 2000), sans pour autant que l'utilisation digestive globale du phosphore ne soit affectée (Meschy et Goddoy, 2005).

■ 4.5 Des modèles de prévision adaptés pour estimer au mieux la valeur nutritionnelle des coproduits

La prévision de la valeur nutritionnelle des coproduits s'appuie sur la connaissance de leur composition chimique précise et par l'estimation des principaux critères d'efficacité de leur utilisation digestive selon les espèces animales. Un guide complet permettant de suivre la démarche de prévision de la valeur des coproduits a été publié par l'Institut de l'Élevage (Chapoutot *et al.*, 2009).

Par exemple, dans le cas de l'énergie, les modèles de prédiction de la teneur en énergie brute des aliments à partir de leur composition chimique proposés dans les Tables INRA AFZ 2002 et 2004 (Tran *et al.*, 2002) puis repris dans les Tables 2018 (Baumont *et al.*, 2018) s'appuient sur une relation générale appliquée pour l'ensemble des matières premières concentrés et coproduits mais qui associe une correction par famille d'aliments. Cependant, des modèles encore plus spécifiques peuvent être disponibles, comme celui proposé par Noblet pour les drèches de brasserie (Tran *et al.*, 2002).

La prévision de la digestibilité de la matière organique des concentrés et coproduits chez les ruminants à partir de leur teneur en constituants pariétaux nécessite de prendre en compte l'origine botanique des grains et graines, et leurs coproduits, en raison de la nature différente de leurs tissus végétaux (Sauvant *et al.*, 1981, 2013b). Ainsi,

les coefficients associés aux teneurs en constituants pariétaux dans les modèles de prédiction des Tables INRA 2018 (Baumont *et al.*, 2018) montrent bien que leur impact négatif sur la dMO est plus faible pour le maïs que pour le blé ou d'autres céréales à pailles, et pour le soja que pour le colza ou le tournesol, par exemple. Tous ces modèles sont intégrés dans l'outil Prevalim (Baumont *et al.*, 1999) et dans le nouveau système INRA 2018 (Baumont *et al.*, 2018). De la même façon, chez les monogastriques, des modèles de prédiction spécifiques permettent de prendre en compte par grande famille botanique l'impact de la composition chimique sur la digestibilité de l'énergie et de prédire la valeur énergétique des aliments pour porcs (Noblet *et al.*, 2003). L'ensemble de ces équations de prédiction est regroupé dans l'application EvaPig (<http://www.evapig.com/x-home-en>) qui permet d'adapter les valeurs nutritionnelles pour le porc (énergie, acides aminés, phosphore...) en fonction des caractéristiques analytiques d'un échantillon d'une matière première particulière. D'autres modèles de prédiction spécifiques à un coproduit particulier ont été proposés dans la littérature, par exemple pour les drèches de blé en porc (Cozannet *et al.*, 2009) et en volailles (Cozannet *et al.*, 2010a).

Dans le cas de la valeur azotée des aliments chez les ruminants, par exemple, la dégradabilité des protéines dans le rumen peut être estimée à partir de la mesure de la dégradabilité enzymatique de l'azote (DE1) (Aufrère *et al.*, 1989 ; Aufrère *et al.*, 1991). Les modèles de prédiction proposés par ces auteurs sont construits à partir d'une relation générale incluant des valeurs de correction différentes selon les familles d'aliments.

La méthode SPIR peut également être utilisée pour la prédiction de la valeur alimentaire des coproduits (prévision de la digestibilité *in vivo* ou *in vitro* des nutriments, de la dégradabilité dans le rumen...) ou pour mesurer l'incidence des traitements technologiques, thermiques notamment, sur la digestibilité des protéines et des AA de certains coproduits, comme le tourteau de soja ou les drèches de distillerie (Bastianelli *et al.*, 2018).

■ 4.6 Des coproduits de qualité, nécessitant quelques précautions d'utilisation pour des performances animales optimales

La bonne utilisation d'un coproduit en alimentation animale nécessite de réaliser des analyses chimiques permettant d'avoir une connaissance fine de sa composition et de sa valeur nutritionnelle. Au-delà de cette caractérisation, leur valorisation en alimentation animale découle d'une certaine prudence dans leur incorporation dans les régimes, en raison de leur composition parfois particulière (teneur en humidité élevée, carence en azote dégradable, manque de fibrosité, accumulation de certains minéraux, présence de facteurs antinutritionnels ou de substances indésirables). Dans tous les cas, des transitions alimentaires devront être aménagées lors de la modification de la composition des rations. Des recommandations d'utilisation et les conséquences sur les performances des différentes espèces sont disponibles pour les différents coproduits sur le site Feedipedia (www.feedipedia.org).

Par ailleurs, les modalités de stockage, de conditionnement, de distribution doivent être adaptées aux caractéristiques des coproduits, à la fréquence de livraison et à la capacité d'utilisation dans les rations des animaux.

5. L'utilisation des coproduits induit-elle des risques sanitaires en élevage ?

Les risques sanitaires en élevage ne sont pas spécifiques aux coproduits et doivent être pris en compte pour tous les aliments utilisés dans l'alimentation des animaux d'élevage. Ces risques doivent être précisément évalués pour les deux cibles que sont les animaux utilisateurs premiers et l'Homme consommateur de produits animaux.

Trois types de risques doivent être pris en compte : le risque biologique, le risque chimique et le risque physique.

Quelle que soit son origine, un risque sanitaire est jugé par le niveau d'occurrence et la gravité d'une contamination avérée sur cinq postes importants : la matière première, le process, le transport, le stockage à la ferme et la distribution. Pour limiter l'impact de ces risques, des actions de prévention et de maîtrise des contaminations sont possibles.

Le champ des contaminants réglementés pour l'alimentation animale est assez large (Renaud 2015). On peut citer les éléments traces métalliques (plomb, mercure), certains produits phytopharmaceutiques, deux mycotoxines (aflatoxine B1, ergot). La directive 2002/32/CE, reprise par l'arrêté du 12 janvier 2001 modifié, précise les teneurs maximales en substances indésirables auxquelles sont soumises les matières premières pour aliments des animaux ainsi que les aliments. Il n'existe pas de règlement spécifique pour la microbiologie en alimentation animale mais un ensemble d'arrêtés français avec des obligations de moyens en application du règlement (CE) n° 2160/2003. Un document de référence de l'analyse de risques des aliments pour animaux a été produit par l'EFSA (EFSA, 2008).

■ 5.1 Les contaminants biologiques relatifs aux coproduits

Les principaux contaminants biologiques identifiés sont les bactéries et les mycotoxines. Différentes fiches pratiques sur ces éventuels risques ont été publiées par le Comité National des Coproduits en 2011 et 2012 (CNC 2012b). Le [tableau 2](#) regroupe les niveaux de risque de contamination des principaux coproduits.

a. Les bactéries

Les principales bactéries identifiées sont de types *Campylobacter*, *Entérobactérie*, *Salmonelle*, *Staphylocoque* et *Clostridium*. La contamination bactérienne est principalement d'origine fécale, soit par les animaux de l'élevage, soit par des nuisibles (oiseaux, rongeurs). Elle peut entraîner une baisse des performances de production chez les ruminants laitiers, ou une détérioration de l'indice de consommation et du gain de poids vif chez les porcs (Burns *et al.*, 2015).

Pour les différentes filières mentionnées dans le [tableau 2](#), les coproduits humides, notamment de l'industrie des fruits et légumes ou de l'industrie laitière, sont les plus sensibles. Dans le cas des coproduits de fruits et légumes, l'enjeu se situe dans le nettoyage et la qualité de la transformation au niveau industriel. Pour les coproduits liquides issus de la filière laitière, le transport et la conservation à la ferme sont les points à maîtriser permettant de limiter le risque. À l'inverse, les coproduits séchés ou granulés présentent en général un faible taux de contamination microbienne, comme la pulpe de betterave déshydratée (Kowalska *et al.*, 2013).

b. Les mycotoxines

Les mycotoxines peuvent être présentes dans certains coproduits de céréales. Même si leur concentration dans les grains d'origine est faible, le process de séparation des réserves du grain peut conduire à une accumulation parfois importante de ces substances dans les coproduits. C'est le cas notamment des coproduits du maïs, corn distillers (Heuzé *et al.*, 2015c), corn gluten meal (Rodrigues *et al.*, 2012) ou sons de maïs dans les pays tropicaux (Heuzé *et al.*, 2016), ainsi que les coproduits du bioéthanol, issus du blé (Heuzé *et al.*, 2017b) ou du riz (Heuzé *et al.*, 2015b).

La contamination des grains peut se faire au champ, à la récolte ou au stockage. On distingue, d'une part, les mycotoxines de champ : déoxynivalénol (DON), fumonisines (FUM), et zéaralénone (ZEA), et, d'autre part, les mycotoxines de stockage : aflatoxine (AFLA) et ochratoxine A (OCH-A) ([tableau 2](#)). La présence de mycotoxines dans un coproduit peut entraîner des effets négatifs et marqués sur l'ingestion et la digestion conduisant à des baisses importantes des performances chez les monogastriques en raison de leur forte sensibilité à ce risque et de la part importante de céréales et leurs coproduits dans les formules alimentaires de ces animaux. Les ruminants sont moins sensibles à la présence de mycotoxines en raison de leur détoxification partielle ou totale dans le rumen (Driehuis 2015).

Pour les coproduits de céréales, c'est donc sur la production de la matière

Tableau 2. Niveau de risque de contamination biologique et chimique des coproduits selon les filières agroindustrielles (d'après Comité National des Coproduits, 2012).

| Filières | Bactéries | | | | |
|---|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------|-----------------|
| | Campylobacter | Entérobactérie | Salmonelle | Staphylocoque | Spore butyrique |
| Coproduits de la filière du sucre | Faible à modéré | Élevé à très élevé | Élevé à très élevé | Faible à modéré | Faible |
| Coproduits des céréales, oléagineux et protéagineux | Faible à modéré | Élevé à très élevé | Élevé à très élevé | Faible à modéré | Faible |
| Coproduits des fruits et légumes | Modéré | Très élevé | Très élevé | Faible à modéré | Faible |
| Coproduits de la filière laitière | Modéré | Élevé à très élevé | Élevé à très élevé | Faible à modéré | Faible |
| Coproduits de la pomme de terre | Faible à modéré | Élevé à très élevé | Élevé à très élevé | Faible à modéré | Faible |
| Filières | Mycotoxines | | | | |
| | DON | FUM | ZEA | AFLA | OCH-A |
| Coproduits de la filière du sucre | Modéré | Faible | Faible | Faible | Faible |
| Coproduits des céréales, oléagineux et protéagineux | Élevé à très élevé | Faible | Modéré à élevé | Faible | Faible |
| Coproduits des fruits et légumes | Faible | Faible | Faible | Faible | Faible |
| Coproduits de la pomme de terre | Modéré | Faible | Faible | Faible | Faible |

première que devront se concentrer les moyens de maîtrise pour les mycotoxines de champ. Dans le cas des autres coproduits, le transport du coproduit et le stockage doivent également être pris en considération mais ne représentent pas un risque réel de contamination si les règles de nettoyage des camions ou bennes et de confection des silos sont bien respectées. Par exemple, une étude sur des pulpes de betteraves surpressées collectées en France en 2011 a montré le faible niveau de contamination en mycotoxines de ces coproduits (Boudra *et al.*, 2014). De même, les coproduits des fruits et légumes ne présentent pas de risques importants en France (tableau 2), alors qu'une contamination en mycotoxines de ces coproduits peut être constatée dans les pays tropicaux (Wadhwa *et al.*,

2015, Bakshi *et al.*, 2016) et est souvent recensée dans l'encyclopédie en ligne Feedipedia (www.feedipedia.org).

■ 5.2 Les contaminants chimiques et physiques

Les risques liés aux *contaminants chimiques*, comme les métaux lourds, les polychlorobiphényles (PCB) et dioxines, ou encore le fluor, ne sont pas spécifiques aux coproduits et doivent être pris en compte pour tous les aliments utilisés dans l'alimentation des animaux d'élevage. Les cas de contaminations relèvent en général de contaminations accidentelles. La présence de pesticides et d'insecticides dans certains coproduits peut être parfois mentionnée, notamment dans les coproduits de fruits et légumes (Heuzé *et al.*, 2015a, Heuzé *et al.*, 2017a, Heuzé

et al., 2018) due à l'utilisation de ces produits chimiques en culture et à leur concentration dans les fractions de la plante qui se retrouvent dans les coproduits. La maîtrise de ces risques chimiques est essentielle pour éviter une contamination des produits animaux, qui pourraient présenter au final un risque pour la santé humaine.

Les principaux *contaminants physiques* des aliments pour animaux sont des corps étrangers, dont la présence reste accidentelle et relève souvent du mauvais entretien des matériels agricoles ou agro-industriels de stockage ou de transport. Ce type de contamination est rare et doit être pris en compte pour tous les aliments utilisés dans l'alimentation des animaux d'élevage et les coproduits ne sont pas spécifiquement plus à risque.

■ 5.3 Prévention et maîtrise des éventuels risques sanitaires en élevage liés aux coproduits

Face à ces différents risques, des mesures de prévention et de maîtrise peuvent être mises en place au niveau de l'élevage comme tout au long de la chaîne de valorisation des coproduits (CNC, 2012b).

Par ailleurs, plusieurs filières, comme la meunerie ou semoulerie de blé dur, disposent de guides de bonnes pratiques d'hygiène qui incluent les coproduits dans leur périmètre et réalisent des analyses de risque relatives aux coproduits (ANMF, 2001 modifié en 2015, CFSI-SIFPAF, 2012). L'utilisation efficace et sans risque sanitaire des coproduits en alimentation animale résulte donc d'une bonne maîtrise de l'ensemble de la chaîne de valorisation, depuis la culture et la récolte de la matière première, jusqu'à leur distribution en élevage.

6. Des coproduits dont il convient d'évaluer l'intérêt économique

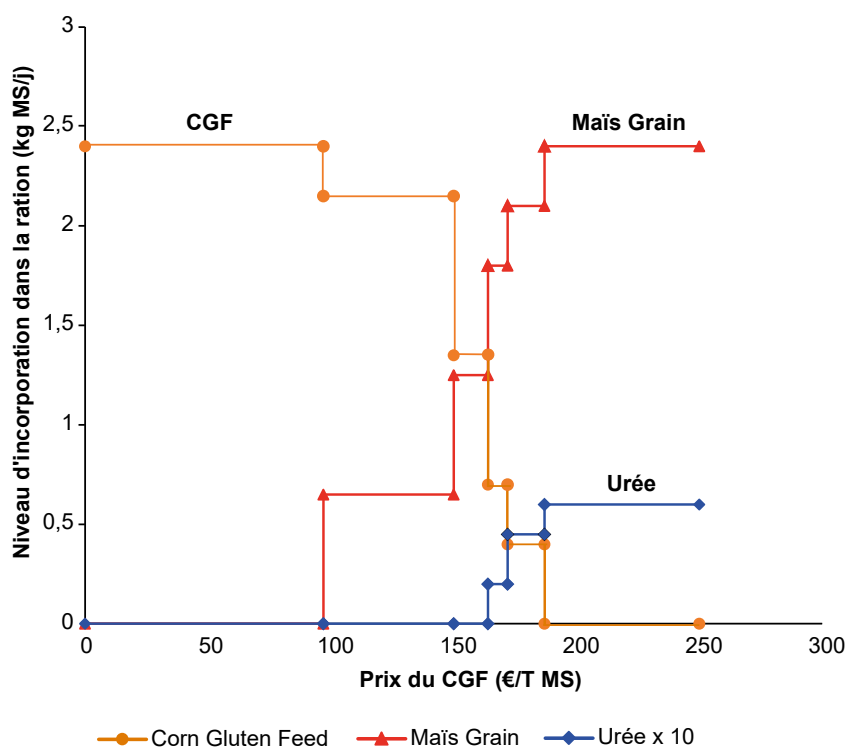
Lorsqu'un coproduit est disponible et que sa valeur alimentaire et les recommandations d'utilisation sont confirmées, il convient de vérifier la pertinence économique de son introduction dans un système alimentaire donné. La formulation des régimes à moindre coût permet d'évaluer l'intérêt économique d'un coproduit dans un contexte donné en fonction de sa valeur alimentaire, notamment à travers la notion de prix d'intérêt d'un coproduit. Ces principes sont couramment utilisés au moyen de la programmation linéaire dans le domaine de l'alimentation des monogastriques. Cependant l'optimisation économique des rations pour ruminants est moins souvent mise en œuvre du fait que leurs rations combinent des fourrages et des concentrés, dont l'association induit des phénomènes de substitution et d'interactions digestives. Or, ces phénomènes modifient les valeurs

individuelles des aliments lorsqu'ils sont incorporés au sein des régimes, et les réponses induites sont rarement linéaires, ce qui rend plus délicate leur intégration dans des outils de programmation linéaire. L'application informatisée Optim'Al, réalisée par l'Association Française de Zootechnie, permet néanmoins de concevoir des rations pour vaches laitières et bovins viande par optimisation économique, en mettant en œuvre l'ensemble des concepts des systèmes INRA (Chapoutot *et al.*, 2014 ; Chapoutot *et al.*, 2015b ; <http://idele.fr/services/outils/optimal.html>). Grâce à cet outil, l'intérêt économique des coproduits dans un système alimentaire peut être testé simplement. Ainsi, la **figure 8** montre, dans une conjoncture de 2015, le prix d'intérêt du corn gluten feed dans une ration pour taurillons et les variations de son niveau d'incorporation selon son prix de marché. Lorsque le prix du corn gluten feed diminue, son rapport qualité/prix augmente et son introduction

dans la ration s'accroît en substitution progressive d'un mélange de maïs grain et d'urée. Ces concepts et l'application Optim'Al sont utilisés actuellement comme outil d'aide à la décision par certaines structures de développement pour proposer et assurer un conseil technico-économique en élevage (par exemple : « L'observatoire des prix d'intérêt des coproduits » du Service Agribox/GDA de la Chambre d'Agriculture de l'Eure).

Au-delà de ce prix d'intérêt *sensu stricto*, il convient de tenir compte des coûts supplémentaires associés aux différentes étapes de la valorisation des coproduits en élevage (investissements de stockage, procédés de conservation, matériel de distribution, pertes). C'est donc à un prix de valorisation « rendu auge » qu'il conviendra de comparer les prix de marché des coproduits permettant de décider ou non de l'opportunité de leur incorporation dans les systèmes alimentaires.

Figure 8. Niveau de valorisation du Corn Gluten Feed (CGF) en substitution du maïs grain et de l'urée dans une ration pour taurillons selon son prix de marché (Chapoutot, non publié).



Système INRA 2007
Taurillon Salers - GMQ = 1 kg/j
Régime Ensilage de Maïs + Foin PN + Céréales + Tourteau de Soja et Colza

De plus, l'incorporation des coproduits dans les rations peut induire d'éventuelles modifications des performances animales, en termes de quantité et de qualité des produits élaborés. La prise en compte de lois de réponses des animaux aux régimes, telles que l'INRA les a proposées récemment (INRA, 2018) devrait permettre d'être plus précis dans l'évaluation de l'opportunité d'emploi de tel ou tel coproduit. De plus, dans ce contexte, il conviendrait d'intégrer une démarche plus large d'optimisation sur la base d'une maximisation de la marge de transformation de l'animal ou de l'atelier, ou de la maximisation du revenu de l'éleveur (Chapoutot *et al.*, 2018).

Enfin, la formulation multi-objectif, utilisée dans la démarche ECOALIM, permet d'intégrer les impacts environnementaux des matières premières et de concevoir ainsi des « éco-aliments » en favorisant l'incorporation de coproduits (Wilfart *et al.*, 2018).

Conclusion

Les coproduits agroalimentaires représentent des gisements importants disponibles au niveau national ou à une échelle plus locale, dont la valorisation en alimentation animale reste le mode d'utilisation préférentielle, à côté d'autres voies (méthanisation, agronomiques, autres industries). En effet, les coproduits représentent un atout majeur dans les systèmes alimentaires principalement pour ruminants, mais aussi en porcs, qu'ils soient présentés sous forme sèches ou humides, et dans une moindre mesure pour les volailles dans le cas des coproduits secs.

L'optimisation de l'utilisation des coproduits en alimentation animale nécessite de bien connaître leur nature botanique et leur composition chimique, ainsi que les différents procédés technologiques qui les ont générés, dont les variations peuvent induire des écarts importants d'efficacité d'utilisation des différents constituants. De plus, l'introduction des coproduits dans

les rations doit prendre en compte les recommandations alimentaires classiques permettant de ne pas entraîner d'éventuels déséquilibres nutritionnels ou des risques de contamination et de maintenir les performances animales. Néanmoins, l'intérêt économique réel des coproduits doit être pris en compte à travers *i)* la détermination précise et objective de leur prix d'intérêt dans un contexte donné grâce aux outils d'aide à la décision et *ii)* la prise en compte des charges supplémentaires et des éventuelles baisses de performances induites par leur utilisation dans les rations.

La valorisation des coproduits en alimentation animale permet de répondre partiellement aux différents enjeux des filières de productions animales, au niveau zootechnique, économique, sanitaire, environnemental et sociétal, en contribuant à la durabilité des systèmes de production, à l'autonomie alimentaire à l'échelle locale ou nationale, à la réduction des impacts environnementaux et en limitant la compétition entre l'alimentation animale et humaine.

Références

- Agreste, 2015, Enquête sur les matières premières utilisées pour la fabrication des aliments composés pour animaux de ferme de 1979 à 2015.
- Al-Marzooqi W., Wiseman J., 2009. Effect of extrusion under controlled temperature and moisture conditions on ileal apparent amino acid and starch digestibility in peas determined with young broilers. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 153, 113-130.
- ANMF, 2001, modifié en 2015, Guide de bonnes pratiques d'hygiène « meunerie ».
- Association de la Meunerie Française, 2016, Fiches statistiques – 2015.
- Aufrère J., Graviou D., Demarquilly C., Vérité R., Michalet-Doreau B., Chapoutot P., 1989. Aliments concentrés pour ruminants : prévision de la valeur azotée PDI à partir d'une méthode enzymatique standardisée. *INRA Prod. Anim.*, 2, 249-254.
- Aufrère J., Graviou D., Demarquilly C., Vérité R., Michalet-Doreau B., Chapoutot P. 1991. Predicting in situ degradability of feed proteins in the rumen by two laboratory methods (solubility and enzymatic degradation). *Anim. Feed Sci. Technol.*, 33, 97-116.
- Bakshi M.P.S., Wadhwa M., Makkar H.P.S., 2016. Waste to worth: vegetable wastes as animal feed. *CAB Reviews* 2016 11, 1-26.
- Bastianelli D., Bonnal L., Barre P., Nabeneza S., Salgado P., Andueza D., 2018. La spectrométrie dans le proche infrarouge pour la caractérisation des ressources alimentaires. In : Ressources alimentaires pour les animaux d'élevage. Baumont R. (Ed). Dossier, *INRA Prod. Anim.*, 31, 237-254.
- Baumont R., Champciaux P., Agabriel J., Andrieu J., Aufrère J., Michalet-Doreau B., Demarquilly C., 1999. Une démarche intégrée pour prévoir la valeur des aliments pour les ruminants : PrévAlim pour INRAtion. *INRA Prod. Anim.*, 12, 183-194.
- Baumont R., Sauvont D., Maxin G., Chapoutot P., Tran G., Boudon A., Lemosquet S., Nozière P., 2018. Calculation of feed values in INRA system: feed tables and prediction equations. In: *INRA Feed. Syst. Rum.*, Wageningen Academic Publishers, The Netherlands, 640pp.
- Besancenot J.M., Le Stang J.P., Morel d'Arleux F., Wiart J., Baudoin N., Chauvel J., Delaveau A., Dumonthier P., 2000. Les coproduits d'origine végétale des industries agroalimentaires. Ademe Editions. 76pp.
- Boudra H., Rouillé B., Lyan B., Morgavi D.P., 2014. Presence of mycotoxins in sugar beet pulp silage collected in France. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 205, 131-135.
- Bravo D., Meschy F., Bogaert C., Sauvont D., 2000. Ruminant phosphorus availability from several feedstuffs measured by the nylon bag technique, *Reprod. Nutr. Dev.* 40, 149-162.
- Burns A.M., Lawlor P.G., Gardiner G.E., McCabe E.M., Walsh D., Mohammed M., Grant J., Duffy G., 2015. Salmonella occurrence and Enterobacteriaceae counts in pig feed ingredients and compound feed from feed mills in Ireland. *Prev. Vet. Med.* 121, 231-9. doi:10.1016/j.prevetmed.2015.07.002.
- Cabon G., Meslier E., Primot Y., Gady C., Chapoutot P., Skiba F., 2009. Diversité des valeurs énergétique et azotée des drèches de blé issues des usines européennes de bioéthanol : estimation à partir des mesures de dégradation en sachets incubés dans le rumen. *Renc. Rech. Rum.*, 16, 60. (Texte disponible : http://www.journees3r.fr/IMG/pdf/2009_01_19_Cabon.pdf).
- Casas G.A., Jaworski N.W., Htoo J.K., Stein H.H., 2018. Ileal digestibility of amino acids in selected feed ingredients fed to young growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 96, 2361-2370.
- CEDUS Le Sucre, 2018. Mémo statistique – Sucre et autres débouchés.
- CFSI-SIFPAF, 2012, Guide de bonnes pratiques d'hygiène et d'application des principes HACCP dans l'industrie de la semoulerie de blé dur.
- Chapoutot P., 1998. Étude de la dégradation in situ des constituants pariétaux des aliments pour ruminants. Thèse Docteur en Sciences Agronomiques, Institut National Agronomique Paris-Grignon, Paris, France.

- Chapoutot P., Leclerc M.C., Brunschwig P., Boulan P., 2009. Guide pour la prévision de la valeur nutritive des coproduits pour les ruminants. Institut de l'Élevage Éditions. Collection Méthodes et outils N&B. 50pp.
- Chapoutot P., Dorléans M., Sauvant D., 2010. Études des cinétiques de dégradation dans le rumen des constituants pariétaux des aliments concentrés et coproduits agroindustriels. *INRA Prod. Anim.*, 23, 285-304.
- Chapoutot P., Gillet P., Rouillé B., 2011. Variabilité de composition et de valeur azotée du tourteau de colza pour les ruminants. *Renc. Rech. Rum.*, 18, 127, Paris, France. (Abstract disponible : http://www.journees3r.fr/IMG/pdf/Texte9_alim_Chapoutot.pdf)
- Chapoutot P., Rouillé B., Gillet P., Peyronnet C., Quinsac A., Aufrère J., 2013. Étude de la valeur azotée du tourteau de colza déshuilé industriel. *Renc. Rech. Rum.*, 20, 90-94, Paris, France. (Texte disponible : http://www.journees3r.fr/IMG/pdf/Texte_2_Alimentation_P_Chapoutot.pdf).
- Chapoutot P., Tran G., Gillet P., Rouillé B., Bastien D., 2014. Optim'Al, un outil d'optimisation économique des rations de ruminants pour une meilleure valorisation des coproduits. *Renc. Rech. Rum.*, 21, 168, Paris, France. (Abstract disponible : http://www.journees3r.fr/IMG/pdf/Texte_27_affiche_Alimentation_P-Chapoutot.pdf).
- Chapoutot P., Rouillé B., Gillet P., Peyronnet C., Tormo E., Quinsac A., Aufrère J., 2015a. Nitrogen degradability of industrial solvent-extracted rapeseed meal for ruminants. In: Book of Abstracts 66th Ann. Meet. *Europ. Fed. Anim. Sci.*, (EAAP), August 31–September 4, 2015, Warsaw, Poland, p.270 (poster disponible : http://www.eaap.org/Annual_Meeting/2015_warsaw/S23p_09.pdf)
- Chapoutot P., Tran G., Gillet P., Bastien D., Rouillé B., 2015b. Optim'Al, an economic optimization tool for ruminant ration calculation for better use of byproducts. In: "Book of Abstracts of the 66th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science" (EAAP), August 31–September 4, 2015, Warsaw, Poland, p.269 (poster disponible : http://www.eaap.org/Annual_Meeting/2015_warsaw/S23p_08.pdf).
- Chapoutot P., Sauvant D., Le Cadre P., Guilbaud T., 2018. Intégration des contraintes de qualité des produits animaux dans la formulation des régimes. In : *Alimentation des animaux et qualité de leurs produits*. Berthelot V. (Coord), Lavoisier, Tec et doc, Collection Agriculture d'Aujourd'hui, Paris, France, 29-60.
- CNIEL, 2016, L'économie laitière en chiffres.
- CNIEL, IDELE, 2015. Observatoire de l'alimentation des vaches laitières – Références. Édition 2015-2018. 41 pages.
- CNC, 2012a. Pulpe de betterave surpressée. Comité National des Coproduits, ADEME, Idele, Fiche N° 9 – Coproduits de la betterave, <http://idele.fr/rss/publication/idelesolr/recommends/pulpes-de-betterave-surpressée.html>
- CNC, 2012b. Fiches sanitaires. Comité National des Coproduits, ADEME, IDELE, <http://idele.fr/reseaux-et-partenariats/comite-national-des-coproduits/publication/idelesolr/recommends/fiches-sanitaires-coproduits.html>
- CNC 2016. Valorisation des coproduits d'industries agro-alimentaires rhônalpines. Institut de l'Élevage. 14 pages
- CNC 2018. Valorisation des coproduits d'industries agro-alimentaires d'Occitanie. Institut de l'Élevage. 14 pages
- Confédération Générale des Planteurs de Betteraves, 2016. La betterave en 2017 – Une nouvelle ère.
- Cornevin C., 1892. Des résidus industriels dans l'alimentation du bétail. Ed Firmin-Didot, Paris, France.
- Cozannet P., Primot Y., Gady C., Métayer J.P., Callu P., Lessire M., Le Tutour L., Geraert P.A., Skiba F., Noblet J., 2009. Valeur nutritionnelle des drèches de blé européennes chez le porc en croissance. *Journ. Rech. Porcine*, 41, 117-130.
- Cozannet P., Lessire M., Métayer J.P., Gady C., Primot Y., Geraert P.A., Le Tutour L., Skiba F., Noblet J., 2010a. Valeur nutritive des drèches de blé et de maïs pour les volailles. *INRA Prod. Anim.* 23, 405-414.
- Cozannet P., Primot Y., Gady C., Métayer J.P., Callu P., Lessire M., Skiba F., Noblet J., 2010b. Ileal digestibility of amino acids in wheat distillers dried grains with solubles for pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 158, 177-186.
- Danel J., Cazaux J.G., Vilariño M., 2017. Digestibilité du phosphore du maïs grain humide (inerté ou ensilé) chez le porc et évaluation de la cinétique de dégradation de la forme phytique lors de la conservation. *Journ. Rech. Porcine*, 49, 113-114.
- Driehuis F., 2015. Mycotoxins in high moisture grain silages and ensiled grain by-products. In: *Proc. XVII Int. Silage Conf.*, 1–3 July 2015, Piracicaba, Brazil. 186-199.
- Enishi O., Kuroiwa R., Saeki M., Kawashima T., 2005. Evaluation of protein characteristics of underutilized by-products as feedstuff for ruminant. *Japanese J. Grassl. Sci.*, 51, 281-288.
- EFSA (European Food Safety Authority). 2008. "Microbiological risk assessment in feedingstuffs for food-producing animals – Scientific Opinion of the Panel on Biological Hazards." *EFSA Journal* 6 (7): 720-n/a. doi:10.2903/j.efsa.2008.720.
- Gaudré D., Montagne L., Le Floch N., Le Gall M., 2010. Effets de l'incorporation de fibres fermentescibles sur les performances et l'état de santé des porcelets en post-sevrage. *Journ. Rech. Porc.*, 42: 85-92.
- Halmemies-Beauchet-Filleau A., Rinne M., Lamminen M., Mapato C., Ampapon T., Wanapat M., Vanhatalo A., 2018. Review: Alternative and novel feeds for ruminants: nutritive value, product quality and environmental aspects. *Animal*. 15, 1-15. doi:10.1017/S1751731118002252.
- Heuzé V., Tran G., Hassoun P., Bastianelli D., Lebas F., 2015a. Tomato pomace, tomato skins and tomato seeds. *Feedipedia*, a programme by INRA, CIRAD, AFZ and FAO. <https://www.feedipedia.org/node/689> Last updated on October 13, 2015, 9:55
- Heuzé V., Tran G., Nozière P., Lessire M., Lebas F., 2015b. Rye grain and by-products. *Feedipedia*, a programme by INRA, CIRAD, AFZ and FAO. <https://www.feedipedia.org/node/225> Last updated on October 26, 2015, 15:37
- Heuzé V., Tran G., Sauvant D., Noblet J., Renaudeau D., Bastianelli D., Lessire M., Lebas F., 2015c. Corn distillers' grain. *Feedipedia*, a programme by INRA, CIRAD, AFZ and FAO. <https://www.feedipedia.org/node/71>, last update on May 11, 2015, 14:32
- Heuzé V., Tran G., Sauvant D., Lebas F., 2016. Maize bran and hominy feed. *Feedipedia*, a programme by INRA, CIRAD, AFZ and FAO. <https://www.feedipedia.org/node/712>, last updated on December 14, 2016, 11:37
- Heuzé V., Tran G., Hassoun P., Lebas F., 2017a. Citrus pulp, fresh. *Feedipedia*, a programme by INRA, CIRAD, AFZ and FAO. <https://www.feedipedia.org/node/679> Last updated on August 26, 2017, 1:35
- Heuzé V., Tran G., Sauvant D., Noblet J., Lessire M., Lebas F., 2017b. Wheat distillers grain. *Feedipedia*, a programme by INRA, CIRAD, AFZ and FAO. <https://www.feedipedia.org/node/4265>, last updated on January 13, 2017, 12:00
- Heuzé V., Tran G., Hassoun P., Lebas F., 2018. Apple pomace and culled apples. *Feedipedia*, a programme by INRA, CIRAD, AFZ and FAO. <https://www.feedipedia.org/node/20703> Last updated on July 10, 2018, 16:28
- INRA-CIRAD-AFZ Feed tables. Composition and nutritive values of feeds for cattle, sheep, goats, pigs, poultry, rabbits, horses and salmonids. www.feedtables.com, dernière consultation novembre 2018.
- INRA, 2018. INRA Feeding system for ruminants. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, the Netherlands, 640pp.
- Johnson L., Smith K., 2004. Fact sheet: Soybean processing. The Soybean Meal Information Center.
- Jondreville C., Dourmad J.Y., 2005. Le phosphore dans la nutrition des porcs. In : Numéro spécial, Le phosphore dans l'alimentation animale. Meschy F., Sauvant P., Pinot P. (Eds). *INRA Prod. Anim.*, 18, 183-192.
- Knabe D.A., LaRue D.C., Gregg E.J., Martinez G.M., Tanksley T.D., 1989. Apparent digestibility of nitrogen and amino acids in protein feedstuffs by growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 67, 441-458.
- Kowalska M., Małczak E., 2013. Impact of raw material and technology on the microbiological safety of sugar beet pulp as a feed. *Nauka Przyr. Technol.*, 7, 19.
- Laise S., Baumont R., Dusrt L., Gaudré D., Rouillé B., Benoit M., Veysset P., Remond D., Peyraud J-L., 2018. L'efficacité nette de conversion des aliments par les animaux d'élevage : un nouvel indicateur pour évaluer la compétition entre alimentation animale et humaine. In : *Ressources alimentaires*, Baumont R. (Ed). Dossier, *INRA Prod. Anim.*, 31, 269-288.

- Le Cadre P., Pressenda F., Guilbault T., 2015. Etude concernant la fourniture en protéines du marché français de l'alimentation animale. CEREOA. 36 pp.
- Makkar H.P.S., Cooper G, Weber J.A., Lywood W., Pinkney J., 2012. Biofuel co-products as livestock feed. Opportunities and challenges. Food Agricult. Organization, Rome, Italy. 533 pp.
- Maupertuis F., Coulmier D., Dubois A., Olivier D., 2017. Pulpe de betterave ou pulpe de raisin comme source de fibres dans la ration des truies gestantes alimentées avec un distributeur automatique de concentré. Journ. Rech. Porc., 49, 63-68.
- Meschy F., Godoy de Leon S., 2005. Effet du tannage par le formol sur l'utilisation du phosphore du tourteau de colza par des chèvres en lactation. Renc. Rech. Rum., 12, 122.
- Mustafa A.F., McKinnon J.J., Christensen D.A., 2000. Chemical characterization and in situ nutrient degradability of wet distillers' grains derived from barley-based ethanol production. Anim. Feed Sci. Technol., 83, 301-311.
- Navarro D.M. D.L., Liu Y., Bruun T.S., Stein H.H., 2017. Amino acid digestibility by weanling pigs of processed ingredients originating from soybeans, 00-rapeseeds, or a fermented mixture of plant ingredients. J. Anim. Sci., 95, 2658-2669.
- Noblet J., Bontems V., Tran G., 2003. Estimation de la valeur énergétique des aliments pour le porc. INRA Prod. Anim., 16, 197-210.
- Orosz S., Davies D.R., 2015. Short and long term storage of wet by-products fed by ruminants. In: Proc. XVII Int. Silage Conf., 1-3 July 2015, Piracicaba, Brazil. 200-242.
- O'Sullivan T.C., Lynch P.B., Morrissey P.A., O'Grady J.F., 2003. Evaluation of citrus pulp in diets for sows and growing pigs. Ir. J. Agric. Food Res., 42, 243-253.
- Parisini P., Sardi L., Mordenti A., Martelli G., Panciroli A., 1991. Dried beet pulp and pressed beet pulp silage in the feeding of heavy pigs. Growth and slaughter performances. Riv. di Suinicoltura, 32, 47-52.
- Pereira J.C., Carro M.D., Gonzalez J., Alvir M.R., Rodriguez C.A., 1998. Rumen degradability and intestinal digestibility of brewers' grains as affected by origin and heat treatment and of barley rootlets. Anim. Feed Sci. Technol., 74, 107-121.
- 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 soybeans for broiler chickens. Br. Poult. Sci., 38, 412-416.
- Perrot C., 1995. Les protéines de pois : de leur fonction dans la graine à leur utilisation en alimentation animale. INRA Prod. Anim., 8, 151-164.
- Peyronnet C., Lacampagne J.P., Le Cadre P., Pressenda F., 2014. Les sources de protéines dans l'alimentation du bétail en France : La place des oléoprotéagineux. OCL, 21, D402, doi:10.1051/ocl/2014012.
- Pointillart A., 1994. Phytates, phytases : leur importance dans l'alimentation des monogastriques. INRA Prod. Anim., 7, 29-39.
- Renaud B., 2015. Valoriser des coproduits issus de l'industrie alimentaire en alimentation animale : réglementation et leviers possibles. Innov. Agron., 48, 233-239.
- Réséda, 2017. Enquête sur les gisements et valorisations des coproduits des industries agroalimentaires. 120p.
- Réséda/ADEME, 2008. Enquête sur les gisements et la valorisation des coproduits issus de l'agro-industrie. 164p.
- Rodrigues I., Naehrer K., 2012. Prevalence of mycotoxins in feedstuffs and feed surveyed worldwide in 2009 and 2010. Phytopath. Médit., 51, 175-192.
- Sauvant D., 1981. Prévion de la valeur énergétique des aliments concentrés et composés pour les ruminants. In : Prévion de la valeur nutritive des aliments des ruminants. Demarquilly C. (Ed). INRA Publications, Route de St-Cyr, 78000 Versailles, France, 237-258.
- Sauvant D., Perez J.M., Tran G., 2004. Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage : 2^e Édition. INRA-AFZ. ISBN 2738011586, 306p. INRA Éditions Versailles.
- Sauvant D., Chapoutot, P., Heuzé, V., Tran G., 2013a. Variations in composition and nutritional value for ruminants of by-products from bio-based energy. In: Book of Abstracts of the 63rd Ann. Meet. Europ. Fed. Anim. Sci. (EAAP), August 27-31, 2013, Bratislava, Slovakia, p.190.
- Sauvant D., Heuzé V., Tran G., Chapoutot P., 2013b. Drêches de céréales issues de la production de bioéthanol : une revue. Renc. Rech. Rum., 20, 85-89. (Texte disponible : http://www.journees3r.fr/IMG/pdf/Texte_1_Alimentation_D_Sauvant.pdf).
- Sapkota A., Marchant-Forde J.N., Richert B.T., Lay D.C., 2016. Including dietary fiber and resistant starch to increase satiety and reduce aggression in gestating sows. J. Anim. Sci., 94, 2117-2127.
- Terres Univia, 2017. Importations françaises de tourteaux. Communication personnelle, d'après Iekiosque. finances.gouv.fr, consulté en novembre 2017.
- Terres Univia, Terres Inovia, 2016a. Qualité des tourteaux de colza, année 2016. http://www.terresinovia.fr/uploads/tx_cetiomilists/fiche_Terres_inovia_qual_tourteaux_colza2016_VF.pdf.
- Terres Univia, Terres Inovia, 2016b. Qualité des tourteaux de tournesol, année 2016. http://www.terresinovia.fr/uploads/tx_cetiomilists/fiche_qual_tourteaux_tournesol2016.pdf.
- Tran G., Sauvant D., 2002. Données chimiques et de valeur nutritive. In : Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage. Sauvant D., Perez J.M., Tran G. (Eds). INRA-AFZ. ISBN 2738011586, 306 p. INRA Éditions Versailles, France.
- van Eys J.E., 2004. Manual of quality analyses for soybean products in the feed industry. 2nd Édition. USSEC – US Soybean Export Council.
- Vilariño M., Callu P., Quinsac A., Peyronnet C., Gaudré D., 2015. Digestibilité vraie du phosphore de deux coproduits de bioéthanol issus de blé et d'un tourteau de colza : additivité chez le porc en croissance. Journ. Rech. Porcine, 47, 139-140.
- Vilariño M., Quinsac A., Gaudré D., Callu P., Magnin M., Planchenault D., Charlemagne E., Gerfault V., Peyronnet C., 2016. Digestibilité vraie du phosphore de tourteaux de colza métropolitains et effet de l'ajout de phytase chez le porc en croissance. Journ. Rech. Porcine, 48, 97-102.
- Vilariño M., Coulmier D., Danel J., 2017. Valeur énergétique chez le porc en croissance de deux lots de pulpe de betterave déshydratée différant par leur taux de fibres alimentaires insolubles. Journ. Rech. Porc., 49, 109-110.
- Wadhwa M., Bakshi M.P.S., 2013. Utilization of fruit and vegetable wastes as livestock feed and as substrates for generation of other value-added products. FAO Publication 2013/04. H.P. Makkar Technical Editor. 67pp.
- Wadhwa M., Bakshi M. P. S., Makkar H.P.S., 2015. Waste to worth: fruit wastes and by-products as animal feed. CAB Reviews 10, 1-26.
- Wilfart A., Espagnol S., Dauguet S., Tailleur A., Gac A., Garcia-Launay F., 2016. ECOALIM: A dataset of environmental impacts of feed ingredients used in French animal production. PLOS ONE, 11, e0167343.
- Wilfart A., Dusart L., Méda B., Gac A., Espagnol S., Morin L., Dronne Y., Garcia-Launay F., 2018. Réduire les impacts environnementaux des aliments pour les animaux d'élevage. In : Ressources alimentaires, Baumont R. (Ed). Dossier, INRA Prod. Anim., 31, 289-306.
- Yu P., Holmes J.H.G., Leury B.J., Egan A.R., 1998. Influence of dry roasting on rumen protein degradation characteristics of whole faba bean (*Vicia faba*) in dairy cows. Asian-Aust. J. Anim. Sci., 11, 35-42.

Résumé

Depuis des décennies, les filières agroalimentaires génèrent des coproduits de première ou de deuxième transformation qui représentent en France un gisement important (12 millions de tonnes de matière sèche), dont plus de la moitié est issue des filières de la trituration (29 %), de la sucrerie (14 %) et de l'amidonnerie-féculerie (13 %). Les trois-quarts de ces ressources sont valorisés en alimentation animale, pour 80 % environ *via* les aliments composés et 20 % directement en élevage. De ce fait, les coproduits, que les réglementations européenne et

française distinguent clairement de la catégorie « déchets », sont des matières premières de l'alimentation animale à part entière et doivent en respecter la réglementation. La disponibilité de ces coproduits peut fortement varier dans le temps avec une saisonnalité marquée pour certaines filières, ou dans l'espace selon la répartition des usines agroalimentaires sur le territoire et la superposition avec les zones d'élevage. Les procédés technologiques générateurs de ces coproduits peuvent différer d'une filière à l'autre. La nature et la composition chimique des coproduits dépendent du procédé mis œuvre qui peut évoluer dans le temps, mais également d'une usine à l'autre au sein d'une même agro-industrie. Leur bonne valorisation en alimentation animale est largement conditionnée par une connaissance précise de la qualité des différentes fractions organiques (parois végétales et protéines, notamment) ou minérales accumulées dans les coproduits, et de l'efficacité de leur utilisation qui peut varier fortement selon l'espèce animale destinataire (ruminants ou monogastriques) et selon les types de process appliqués. Un certain nombre de recommandations alimentaires et sanitaires doivent être appliquées pour garantir une utilisation optimale des coproduits par les animaux sans pénaliser leurs performances zootechniques. Ces coproduits présentent de ce fait une réelle valeur économique qu'il est possible de déterminer, même pour les ruminants, au moyen des outils de formulation à moindre coût par programmation linéaire couramment utilisés chez les monogastriques.

Abstract

Byproducts from the agro-food industries: quality feedstuffs not to be neglected

For decades, agro-food chains have been producing either first or second transformation byproducts, which represent in France a significant amount of resources (12 million tons of dry matter, Réséda 2007). These byproducts come mainly from the crushing sector (29 %), sugar refinery (14 %) and starch industry (13 %). Most of these resources (75 %) are used in animal feeding, including about 80 % via the compound feed industry and 20 % directly on the farms. Hence, agro-industrial by-products, which are clearly defined as non-waste products by French and European regulations, have become raw materials used in animal feed and must therefore comply with the regulations applicable to such products. The availability of these byproducts can vary considerably over time with a marked seasonality for certain sectors, as well as spatially according to the distribution of agro-food factories on the territory and the overlap with the animal production areas. The technological processes generating these byproducts can differ from one sector to another. Botanical and chemical composition of byproducts depend on the process implemented, which can evolve over time but also from one factory to another within the same agro-industry sector. Making the most of these byproducts in animal feeding is largely conditioned by the precise knowledge of the quality of the various organic (essentially cell walls and proteins) or mineral fractions accumulated in the byproducts, and of their utilization efficiency which can change strongly according to the animal species (ruminants vs monogastrics) and according to the types of processes applied. Some feeding recommendations and sanitary rules must be enforced to ensure an optimal utilization of byproducts by the animals without decreasing their performances. Therefore, these byproducts have a real economic value that can be determined, even for ruminants, using the low-cost linear programming formulation tools commonly used for monogastrics.

CHAPOUTOT P., ROUILLÉ B., SAUVANT D., RENAUD B., 2018. Les coproduits de l'industrie agro-alimentaire : des ressources alimentaires de qualité à ne pas négliger. In : Ressources alimentaires pour les animaux d'élevage, Baumont R. (Ed). Dossier, INRA Prod. Anim., 31, 201-220.
<https://doi.org/10.20870/productions-animales.2018.31.3.2353>

