



HAL
open science

Pertes alimentaires dans la filière oléagineuse

F. Fine, J.L Lucas, Jean-Michel Chardigny, Barbara Redlingshofer, Michel M. Renard

► **To cite this version:**

F. Fine, J.L Lucas, Jean-Michel Chardigny, Barbara Redlingshofer, Michel M. Renard. Pertes alimentaires dans la filière oléagineuse. Innovations Agronomiques, 2015, 48, pp.97-114. 10.15454/1.4622709266161074E12 . hal-02629820

HAL Id: hal-02629820

<https://hal.inrae.fr/hal-02629820>

Submitted on 27 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

Pertes alimentaires dans la filière oléagineuse

Fine F.¹, Lucas J.-L.¹, Chardigny J.-M.², Redlingshöfer B.³, Renard M.⁴

¹ CETIOM, 11 rue de Monceau, CS 60003, F-75378 Paris cedex 08

² INRA, Département Alimentation Humaine, F-63122 Saint Genes Champanelle

³ INRA, Direction Scientifique Alimentation, Mission d'anticipation Recherche/Société (MaR/S), 147 rue de l'Université, F-75338 Paris cedex 7

⁴ INRA, UMR 1349, IGEPP INRA, Agrocampus Ouest Rennes, Université Rennes1, BP35327, F-35653 Le Rheu Cedex

Correspondance : renard@rennes.inra.fr

Résumé

Une approche globale des pertes alimentaires en alimentation humaine a été initiée par l'INRA pour l'ensemble des filières végétales et animales, du champ jusqu'à la distribution. Dans cette étude, ont été considérés comme pertes alimentaires tous les produits qui sortent de la chaîne alimentaire humaine et ne sont pas recyclés en alimentation animale. Les principales filières oléagineuses françaises ont été étudiées (colza, tournesol et soja ainsi que le tofu). Les différentes étapes du processus de la chaîne oléagineuse ont été décrites de la récolte à la distribution, en intégrant le stockage, le transport, la trituration, le raffinage et le conditionnement, afin d'identifier les étapes clés impactant les pertes. Pour le tofu, l'étude a porté également de la récolte à la distribution, en incluant la production de lait de soja et de tofu. Les données ont été collectées principalement grâce à l'expertise de professionnels, en raison du manque de données publiées. Bien que les graines oléagineuses et les huiles végétales soient adaptées à une conservation relativement longue par rapport à d'autres produits, les pertes en huiles végétales du champ à la distribution restent très significatifs (environ 71,4 KT, équivalent à 10% de la consommation d'huile en France). Il a été établi que les principales étapes impactant les pertes sont la récolte et le raffinage. Les pertes totales en huile de colza, de tournesol et de soja ont été estimées respectivement à 9,8%, 7,0% et 6,0% de la production potentielle d'huile en France, équivalents à 50,6, 14,3 and 6,5 M€ ou à la consommation annuelle d'environ 3.030.000, 855.000 et 390.000 personnes. Pour le tofu, les pertes à la récolte sont les plus importantes. Les pertes totales en tofu sont équivalentes à 8,2% de la production potentielle de tofu. Des mesures visant à améliorer l'efficacité du système oléagineux français à chaque étape du processus sont discutées.

Mots-clés : Huile, Tofu, Récolte, Trituration, Raffinage, Perte

Abstract: Food losses in oleaginous production

INRA has initiated a comprehensive approach to food loss for all the plant and animal supply chains, from field to distribution. In this study, all food products that leave the human food chain and are not recycled into animal feed are considered as food loss. The main French oilseed sectors are studied (rapeseed, sunflower and soya, as well as tofu, linseed). In order to identify the key determinants of food loss, all the various steps in the process of the oleaginous production chain are described, from harvesting through to distribution, including storage, transport, crushing, refining and packaging. For tofu, the study also examines the chain from harvest through to distribution, including as soy milk and tofu paste. Published data are lacking; they were therefore primarily collected directly from professionals in the sectors concerned. Although oilseeds and vegetable oils are apt to have a relatively long shelf life compared to other products, losses of vegetable oil from field to distribution are substantial (approximately 71.4 KT, equivalent to 10% of the amount consumed in France). We establish that the principal steps giving rise to losses are harvesting and refining. Total losses in French rapeseed oil,

sunflower and soybean were estimated at 9.8%, 7.0% and 6.0% of their respective total potential production, worth approximately 50.6, 14.3 and € 6.5 million and equivalent to the annual consumption of approximately 3,030,000, 855,000 and 390,000 people. In the case of tofu, harvest is the most important area of loss. Total losses of tofu are equivalent to 8.2% of potential production. We discuss potential measures to improve the efficiency of the individual steps of French oilseed production.

Keywords: Oil, Tofu, Harvest, Crushing, Refining, Loss

1. Principales caractéristiques de la filière oléagineuse

Les process du colza, du tournesol et du soja sont décrits dans les Figures 1, 2 et 3.

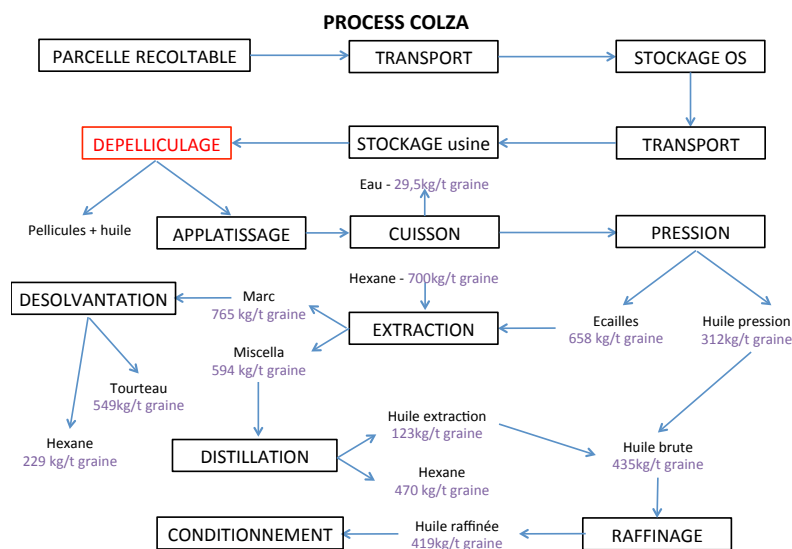


Figure 1 : Description du process du colza pour une tonne de graines

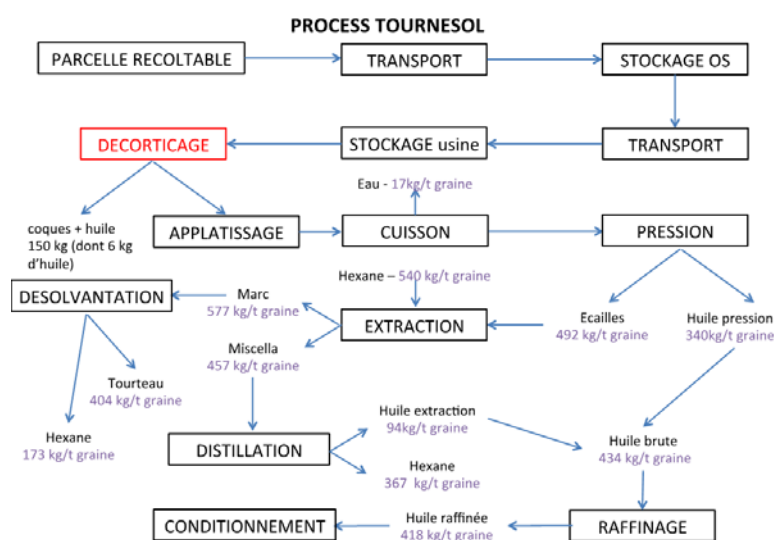


Figure 2 : Description du process du tournesol pour une tonne de graines

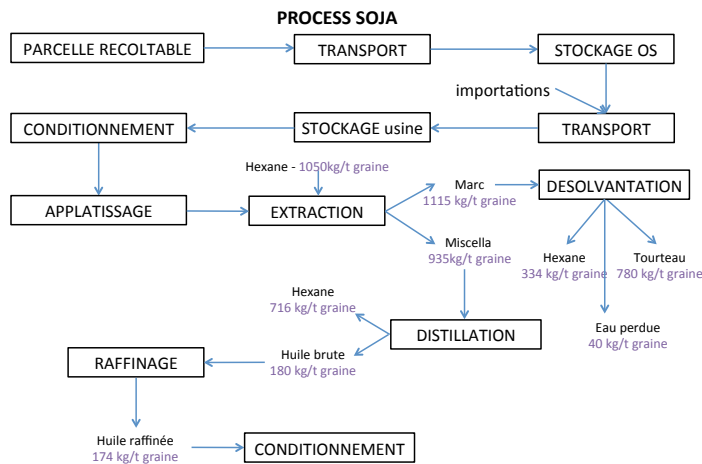


Figure 3 : Description du process du soja pour une tonne de graines

1.1 Huiles

1.1.1 La récolte des graines oléagineuses

- **La récolte de colza**

Pour des raisons de stockage, il est recommandé que le colza soit récolté à un taux d'humidité de 9%. La récolte est compliquée par le fait que le colza est une culture indéterminée et donc, à la récolte, il y a une quantité variable de graines immatures. Il est très fréquent de voir des tiges et des gousses partiellement vertes. Afin d'éviter cela, l'andainage est une alternative possible. Néanmoins, une moisson directe aura un meilleur rendement et est plus économique.

Une vitesse de récolte plus lente que pour le blé sera nécessaire. La vitesse de la récolte dépend de la qualité de la maturation du colza et de l'équipement machine utilisé.

Les sources de perte de colza lors de l'utilisation d'une moissonneuse-batteuse proviennent de la coupe, du battage et du nettoyage.

Les pertes de graines, à l'avant de la moissonneuse-batteuse, augmentent quand la récolte est retardée ; elle dépend de l'humidité de la graine, de la sensibilité de la culture à s'égrener et de la maturité des siliques.

Il y a quelques années, il était recommandé de récolter le colza à un taux d'humidité de 12 à 14% afin d'éviter les pertes de graines à l'avant de la moissonneuse-batteuse. Maintenant, avec les nouvelles variétés, la déhiscence des siliques et l'éjection des graines est un problème moins important. De nombreuses nouvelles variétés présentent une tolérance à l'égrenage et les différences aux champs sont significatives. Il est maintenant possible de récolter avec des graines à 9% d'humidité. A ce taux, le battage et le nettoyage dans la moissonneuse-batteuse est plus efficace (moins de pertes).

En fait, pour éviter efficacement les pertes à l'avant de la moissonneuse-batteuse, il est préférable de travailler avec une moissonneuse-batteuse équipée d'une extension de coupe spécifique à la récolte de colza.

Par ailleurs, la principale raison de la perte de graines dans le battage et le nettoyage est due à la date trop précoce de la récolte du colza. Même si les grains sont pratiquement à 9%, lorsque l'humidité des pailles et des tiges est trop importante, les pertes à la récolte ont lieu durant la séparation, le nettoyage et le triage. Les meilleurs résultats sont obtenus lorsque l'humidité des pailles, à l'arrière de la moissonneuse-batteuse, est inférieure à 20%.

Les détecteurs électroniques de pertes ne mesureront pas avec précision les pertes à l'arrière de la moissonneuse-batteuse. Ils signalent seulement les augmentations ou les diminutions des pertes ; ils ne montrent pas combien de quintaux par hectare sont perdus. Pour obtenir le niveau des pertes, il est nécessaire de mesurer les véritables pertes sur le terrain avec un grand plateau en métal. Avec leur faible diamètre et leur couleur brun foncé/noire, obtenir un chiffre même approximatif des graines laissées au sol est très difficile.

- **La récolte de tournesol**

Les tournesols peuvent être récoltés lorsque l'humidité de la graine est à peu près à 9%. Les tournesols peuvent facilement se briser si les têtes sont très sèches. Attendre trop longtemps pour récolter peut entraîner des pertes importantes sur le terrain.

Une adaptation sur la machine est nécessaire pour réduire les pertes et récolter efficacement.

Des plateaux, montés sur la coupe, sont l'équipement le plus utilisé; il est aussi le moins cher.

- **La récolte de soja**

Il est recommandé de récolter le soja à un taux d'humidité de 14%. La récolte directe par moissonneuse-batteuse est aisée. La séparation entre les graines et les pailles dans la moissonneuse-batteuse a lieu sans difficulté. La taille et le poids des graines se différencient de ceux des morceaux de pailles et des gousses.

Le nettoyage par soufflage d'air est très efficace

Lors de la récolte du soja, des pertes peuvent être occasionnées par des gousses qui restent sur la partie de la plante non récoltée. La variété et la conduite de culture peuvent entraîner une croissance des gousses trop près du sol.

1.1.2 Le transport des graines oléagineuses

Le colza et le tournesol représentent 90% des oléagineux transformés en France, sur une douzaine d'usines avec une capacité annuelle totale (atteinte en 2008) d'environ 5 millions de tonnes de graines. Ces plantes arrivent par route, rail, voie maritime ou fluviale. Pour le soja, le broyage traditionnel se concentre sur une seule usine dont la capacité annuelle est de 500 000 tonnes à partir de semences importées.

1.1.3 Le stockage des graines oléagineuses

Les normes commerciales exigent que le colza ait moins de 9% de teneur en eau, moins de 2% d'impuretés et une teneur en huile supérieure à 40%. Les graines de tournesol doivent avoir les mêmes caractéristiques pour l'eau et les impuretés ; la teneur en huile doit être supérieure à 44% et l'acide oléique inférieur à 2%.

Afin de préserver ces qualités de graines, plusieurs étapes sont nécessaires. Elles sont décrites dans la Figure 9. Passer d'une étape à l'autre implique une opération de traitement séparée. Ces opérations de traitement peuvent également être effectuées à l'occasion d'un transfert de bacs, une opération pour optimiser les lieux de stockage ou une opération spécifique sur le grain stocké lui-même.

Avant le séchage et le stockage, les graines de tournesol et de colza doivent être soigneusement nettoyées par tamisage afin d'éliminer les impuretés. Afin d'éviter l'acidification de l'huile, le développement d'insectes et la propagation de moisissures, ces graines doivent être sèches (près de 7-8% d'humidité) et au frais (en dessous de 10°C).

1.1.4 La trituration des graines oléagineuses

Pour l'extraction d'huile du soja et du tournesol, les industries utilisent, et même combinent, les méthodes mécaniques (pré-pressage) et les méthodes d'extraction par solvants. Suite à un processus

industriel, la teneur en huile résiduelle dans le colza et le tourteau de colza sera autour de 2% (Allaf *et al.*, 2014).

Avant le procédé d'extraction d'huile, les oléagineux exigent des degrés variables dans la préparation des graines. Le nettoyage des graines, le séchage, le broyage, l'élimination de la coque, la cuisson, l'effritage et l'extrusion sont tous des processus unitaires potentiels impliqués dans la préparation des semences.

Le **nettoyage** vise à éliminer la matière étrangère, tels que les graines de mauvaises herbes, tels que graines de mauvaises herbes, des bâtons, des gousses, de la poussière, de la terre, du sable, des pierres et des métaux parasites. Des aimants sont utilisés pour enlever les matériaux à base de fer. Les débris végétaux et la poussière sont généralement plus légers que les matériaux oléagineux. La suppression de ces matières étrangères à partir du flux des semences implique donc généralement une combinaison de dépistage suivie par une aspiration. Cette combinaison de procédés est communément appelée scalpage. Le soja est généralement réduit en taille en utilisant un dispositif connu sous le nom un broyeur à fissuration. Ces broyeurs sont généralement constitués de deux ensembles de rouleaux ondulés cylindriques en série. Les rouleaux fonctionnent à des vitesses différentielles de manière à faciliter le broyage des matières oléagineuses. Les graines de tournesol sont rompues dans un décortiqueur à impact avant l'élimination de la coque. Afin de minimiser la production de fines, qui sont difficiles à séparer des coques au cours du tri en aval, ces appareils sont conçus pour provoquer des impacts multiples. Une conception populaire est basée sur un grand rotor en cage tournant en face d'un stator spécifique.

Les graines de soja et de tournesol sont entourées par une fraction à haute teneur en fibres et faible teneur en huile, appelée une coque. La suppression de cette fraction réduit le volume de matière ayant à subir l'extraction et entraîne une teneur plus élevée en protéines de la farine dégraissée. Le décortiquage ou dépelliculage a lieu après le broyage des graines décrit ci-dessus. Dans un premier temps, les coques sont séparées des amandes (noyaux) par aspiration ou par flottaison dans un courant d'air à contre-courant. Des petites particules d'amandes s'attachent aux coques ; elles sont récupérées par différentes combinaisons d'agitation et de détection afin d'éviter de larges pertes d'huile. Un décortiquage efficace de soja aboutit à des coques avec moins de 1.5% de teneur en huile et des amandes avec moins de 3.5% de coques.

Sauf dans le cas d'un pressage à froid, les oléagineux sont généralement chauffés et parfois séchés avant leur extraction. Cette étape importante peut être désignée comme «**conditionnement**» lorsque le temps de chauffage est court (10-15 minutes) et que la température maximale ne dépasse pas les 70-80°C. Elle est appelée «cuisson» lorsque la durée de chauffage est plus longue et la température plus élevée. Le conditionnement précède l'étape de décortiquage et vise à assouplir les graines afin de réduire le travail du broyage et d'augmenter l'extractibilité de l'huile. La source de chaleur est de la vapeur indirecte : le principe du conditionnement est de faciliter le transfert de chaleur de la vapeur saturée aux oléagineux sans permettre à la vapeur d'entrer en contact le matériau étant conditionné. Il est possible de distinguer trois principaux types de conditionneurs/cuiseurs selon la méthode utilisée pour faciliter le contact entre les graines et les parois de la cuve contenant la vapeur. Le plus récent a été présenté par Solex Termal Science et consiste à faire passer les graines entre de grandes plaques à double paroi contenant de la vapeur. Les plaques sont fixées verticalement et sont espacées de 10 cm, permettant ainsi aux graines de s'écouler par gravité. Cette conception minimise l'énergie mécanique nécessaire pour forcer les graines à être en contact avec le métal chaud et permet l'utilisation d'une température plus basse de fluide que dans le cadre d'autres systèmes. Une autre conception populaire est un grand tambour horizontal équipé de nombreux tuyaux de vapeur contre lesquels les graines entrent en contact. Bien que ce conditionneur nécessite de l'énergie mécanique pour assurer l'agitation des graines, le transfert de chaleur est relativement rapide et efficace en raison des surfaces relativement grandes des zones de métal chaud disponibles pour l'échange de chaleur. La conception la plus ancienne est appelée cuiseur cheminée et se compose d'une série verticale de

plateaux plats chauffés à la vapeur sur lesquels les graines sont vigoureusement agitées afin de faciliter leur contact avec le métal. Puisque le rapport volume-surface est plus grand que dans les dispositifs précédents, une quantité considérable d'énergie mécanique est nécessaire pour forcer l'échange de chaleur.

La **cuisson** est un traitement plus fort que le conditionnement et conduit à une modification significative de la structure de la graine. La principale conséquence concerne la coagulation des protéines, en particulier les oléosines qui stabilisent les corps huileux dans les cellules. Par conséquent, le cloisonnement cellulaire des gouttelettes d'huile est perturbé et la disponibilité de l'huile améliorée. L'agitation moléculaire diminue la viscosité de l'huile et génère une certaine exsudation d'huile visible sur la surface des écailles. La chaleur diminue également la viscosité de l'huile et réduit la teneur en eau. En ce qui concerne l'expression mécanique d'huile à partir de colza, la cuisson réduit par trois la quantité d'énergie nécessaire pour le pressage.

Le **décortilage** est effectué sur les graines extraites au solvant. L'opération consiste à aplatir le matériau conditionné entre deux rouleaux lisses qui tournent en sens inverse et sont forcés ensemble par des vérins hydrauliques. Une bonne extraction, en particulier pour les graines allant directement à l'extraction, exige un décortilage complet car des particules insuffisamment décortiquées ne seront pas accessibles au solvant diffusé et l'huile qu'elles contiennent restera inextractible.

L'**extrusion avec expandeurs** est couramment utilisée pour la préparation des graines de soja. Le principe de l'opération est d'améliorer la qualité de l'huile en inactivant la phospholipase D responsable de la formation de phospholipides non hydratables, et d'améliorer l'efficacité de l'extraction en transformant les flocons de faible densité dans des collets plus denses. Cette densification augmente la capacité de l'extracteur en permettant à plus de graines oléagineuses d'être conditionnées. Le procédé est basé sur la possibilité de mettre les flocons en contact direct avec la vapeur à une pression atmosphérique supérieure dans un premier temps, suivie par une chute de pression à la sortie de la machine qui assure une vaporisation rapide de l'humidité, donnant ainsi aux collets une structure poreuse.

L'**extraction mécanique** peut être utilisée aussi bien en tant que technique d'extraction unique qu'en combinaison avec l'extraction au solvant. Le principe de l'extraction mécanique consiste à presser la matière oléagineuse dans un dispositif muni d'une surface poreuse permettant de concentrer le solide et au liquide de sortir. Le pressage continu se fait dans une presse à vis qui compresse le gâteau en forçant sa progression dans un volume en constante diminution. Pour ce faire, l'arbre de la vis a un diamètre croissant. Cette vis est entourée d'une cage à fentes qui permet à l'air et à l'huile de quitter la zone sous plus forte pression. La largeur des fentes est adaptée à la pression et au débit d'huile. Une bonne séparation des solides et liquides exige que la porosité de la cage soit à la fois suffisamment grande pour que l'huile puisse circuler et suffisamment faible pour maintenir le solide sous pression à l'intérieur. La préparation des oléagineux est essentielle car les ajustements de température, le degré de cuisson et la teneur en humidité influencent la plasticité du gâteau, la viscosité de l'huile et la porosité du gâteau. Lorsque l'extraction mécanique n'est pas suivie par une extraction par solvant, la cuisson est généralement plus forte et le séchage plus intense. Le double pressage, par exemple pressage à froid suivi de cuisson et second pressage, donne des tourteaux de colza avec un résidu d'huile de 9-10%. Une pression complète unique donne un tourteau plus gras (10-12%). Le pressage à froid produit un tourteau de colza avec 12 à 25% d'huile, en fonction de la capacité et la qualité de la presse. Dans les grandes huileries utilisant l'extraction par solvant, l'extraction mécanique élimine jusqu'à 70% de l'huile des graines, mais cela est simplement considéré comme une étape préparatoire car la qualité du tourteau dépend de l'efficacité de l'extraction. Le pré-pressage produit un tourteau avec une teneur en huile de 18 à 22%. Le tourteau doit avoir une bonne perméabilité pour que le solvant puisse pénétrer parmi les particules et percoler avec facilité.

L'extraction par solvant a l'avantage de produire des rendements d'extraction plus élevés que ceux réalisés avec l'extraction mécanique. Dans le monde entier, l'hexane commercial est le solvant le plus couramment utilisé pour l'extraction par solvant des oléagineux. Dans le procédé d'extraction par solvant, le miscella à la surface de la matière oléagineuse se diffuse à travers les parois des cellules dans les corps huileux situés à l'intérieur des cellules. Le miscella et les corps huileux deviennent rapidement une solution. Le gradient de concentration d'huile dans le miscella est la force motrice conduisant à l'épuisement de la matière solide. Ainsi, le principe de l'extraction en continu est de maintenir ce gradient de concentration par addition de solvant frais sur le matériau dans une circulation à contre-courant. A la fin de l'extraction, le solide est trempé avec de l'hexane qui est éliminée dans un désolvanteur par l'action de la chaleur, comme dans un four vertical ou par vapeur directe qui supprime le solvant de la farine. Le désolvantisation de la farine joue un rôle important dans sa valeur alimentaire parce que, en présence de chaleur et d'humidité, certains facteurs antinutritionnels tels que l'inhibiteur de trypsine de soja peuvent être détruits, mais d'autre part, un chauffage excessif peut entraîner la perte d'acides aminés sensibles, tels que la lysine qui ont une fonction aminée qui peut réagir avec des sucres réducteurs pour former le premier composé de la réaction de Maillard. L'huile du miscella est récupérée par évaporation du solvant sous vide, avec le solvant étant condensé et renvoyé vers l'extracteur.

1.1.5 Le raffinage des huiles

L'objectif du raffinage des huiles et graisses comestibles est d'éliminer les acides gras libres et autres substances indésirables, y compris les impuretés, tout en maintenant la valeur nutritionnelle et garantissant la qualité et la stabilité du produit final. Ainsi les clients industriels ont un intrant qui est conforme aux spécifications précises et complètes et les consommateurs finaux sont fournis avec un produit raffiné qui répond à leurs attentes (par exemple, une huile qui est claire, a un goût constant et est stable). L'objectif de l'étape de raffinage est d'éliminer les phospholipides (dégommage), les acides gras libres (neutralisation), les pigments (décoloration), les cires dans le cas du tournesol (déparaffinage) et les composés odorants (désodorisation). Les contaminants possibles (pesticides, métaux lourds) sont également éliminés. Il existe deux principaux procédés de raffinage utilisés sur les huiles brutes : le raffinage chimique/alcalin et le raffinage physique. Ils diffèrent principalement dans la façon dont les acides gras libres sont éliminés. Le raffinage permet également à l'hexane d'être retiré à un niveau indétectable. Les différentes opérations élémentaires sont réalisées en continu, avec des installations de raffinage traitant tous les types d'huile en adaptant les conditions de fonctionnement.

1.1.6 Le conditionnement des huiles

Après le raffinage, les huiles végétales sont généralement filtrées avant le conditionnement. Le conditionnement varie selon les spécifications des clients. L'huile, par exemple, peut être conditionnée dans des petits flacons, des bouteilles ou des conteneurs. Une large gamme de matériaux d'emballage peut être utilisée pour le conditionnement des huiles (verre, PET...). Ce conditionnement peut être effectué directement sur le site de production d'huile, ou sur un site entièrement dédié à cette activité. Au cours de ce conditionnement, des mélanges d'huiles peuvent être faits.

1.1.7 L'approvisionnement

Il y a seulement quelques entreprises en France qui font du broyage : Saipol, Cargill, INEOS et les Huileries Lapalisse. En ce qui concerne le raffinage, cette activité est essentiellement limitée à Cargill et SAIPOL. Les activités de raffinage ont tendance à être liées au broyage et se trouvent dans les sites portuaires.

La concentration de l'industrie d'huilerie se reflète également dans les emballages et les entreprises marketing, avec Lesieur et Cargill étant de loin les plus importantes, et Lapalisse étant beaucoup plus petit, mais cependant considérable.

1.2 Le TOFU

1.2.1 Le processus du tofu

Le tofu régulier de base est un produit blanc, doux, essentiellement fade qui ressemble beaucoup au pressé blanc du lait caillé. Sa production commence avec la préparation de lait de soja. Les fèves de soja sont bouillies, puis refroidies à environ 75°C. Le mince film de protéine-lipide (écume de surface) formé sur la surface du lait est enlevé. Un coagulant, constitué d'une suspension de poudre de gypse ou d'une solution de sels de magnésium (appelé aussi nigari) est ensuite ajouté. Le caillage se produit. Le lactosérum surnageant est retiré et le caillé est transféré dans des boîtes perforées et pressé jusqu'à ce qu'un bloc uni de caillé est obtenu. Le caillé est ensuite immergé dans l'eau froide pendant plusieurs heures, dans un but de refroidissement, de lessivage du coagulant en excès et de capture des matières solides du petit-lait. Le bloc est ensuite découpé en portions de commerce et enveloppé pour la vente. Le tofu frais est stocké, transporté et vendu comme un périssables réfrigéré. Une analogie peut être faite entre la production de tofu et la fabrication de fromage.

Une méthode radicalement différente est utilisée pour la production industrielle de "tofu soyeux", une sorte de tofu plus doux et plus fragile. Ici, le processus de production ressemble plus à celui du yaourt que du fromage. Le lait de soja avec un contenu solide élevé (10% au lieu de 5-6% dans le tofu habituel) est chauffé à 100 ° C, puis refroidi à température ambiante.

De la glucono-delta-lactone (GDL) est ensuite ajouté et le lait est versé dans les récipients de vente au détail. Après fermeture étanche, les récipients remplis sont chauffés dans un bain d'eau à 80-90°C pendant 40 à 60 minutes. A cette température, la GDL est convertie en acide gluconique, ce qui induit la coagulation des protéines sous forme de gel homogène, sans séparation du petit-lait.

Préparé de cette façon, le tofu soyeux est un produit pasteurisé qui se conserve bien au froid pendant quelques jours.

La première partie d'une usine de tofu est, en fait, une usine de lait de soja usine (également appelé tonyu) où 1 tonne de graines peut donner 8000l de Tonyu et 1,3 tonnes de résidu solide (appelé okara). La seconde moitié d'une usine de tofu comprend la coagulation, le lavage du caillé et les opérations de finition, où 3 tonnes de tofu peuvent être obtenus à partir de 1 tonne de graines de soja.

Une variante du procédé décrit ci-dessus est utilisée pour la production de tofu de soie à longue durée de conservation, en utilisant la technologie UHT. Le lait de soja ayant une teneur en matières solides de 10% est chauffé à 130 °C et est refroidi à température ambiante de façon aseptique en continu. La solution GDL est stérilisée à froid par filtration et injectée dans le flux du lait de soja stérilisé, refroidi. La mixture est mise dans des récipients en plastique, de manière aseptique. Les récipients scellés sont soumis à un chauffage, tel que décrit ci-dessous. Le tofu rempli de manière aseptique se conserve bien pendant plusieurs mois sans réfrigération.

2. Méthodologie

2.1 Définition et périmètre des pertes alimentaires dans la filière oléagineuse

Dans le cadre de cette étude nous appelons pertes alimentaires tout produit destiné à la consommation humaine mais écarté de cet usage, qu'il soit perdu ou retiré. Toutefois, les volumes écartés de la consommation humaine mais valorisés en alimentation animale et revenant donc indirectement à l'alimentation humaine ne sont pas considérés comme pertes alimentaires.

Les parties non-consommables, comme les co-produits de transformation, en l'occurrence les tourteaux de graines oléagineuses, ne sont pas considérés comme pertes alimentaires car d'emblée, elles ne sont pas destinés à l'alimentation humaine. Pour compléter l'analyse de l'utilisation de la matière agricole les volumes des coproduits sont quand-même présentés.

Le périmètre considéré va de la production agricole dans le champ et prête à être récoltée, au stade de la distribution (le produit en magasin).

Enfin, bien qu'en dehors de la définition des pertes alimentaires, une analyse spécifique, relative aux manques à produire en phase de production (liées au stress biotiques ou abiotiques) est proposée.

Pour une discussion approfondie de la méthode de l'étude et les choix qui y ont été faits, voir dans ce numéro l'article Redlingshöfer, 2015.

2.2 Contraintes rencontrées dans la collecte de données

Très peu de données sont disponibles sur les pertes dans le secteur des oléagineux. Les seules publications concernent les pertes à la récolte ou tout le long du process du tofu. Pour conduire ce type d'analyse, il est apparu nécessaire de rechercher les données directement auprès d'organisations professionnelles et de valoriser les réseaux existants entre acteurs de la filière. Nos données proviennent principalement d'experts professionnels via leur institution ou leur société (Terres Inovia, SAIPOL, CREOL) pour l'huile.

L'expertise est apparue limitée pour de petites filières telles que l'huile d'olive. Dans ce cas les données brutes restent à produire. Dans le cas du lin, les graines étant triturées en dehors de la France, nous avons considéré qu'il n'y avait pas de pertes alimentaires. De même l'huile de palme étant totalement importée, nous n'avons pas analysé les pertes de cette filière.

2.3 Choix des espèces

Les huiles les plus consommées dans le Monde sont les huiles de palme (31,7%), de soja (29,7%) et de colza (14,7%). En France, la consommation d'huiles végétales est divisée en deux secteurs : alimentaire et non alimentaire (biocarburants, chimie verte, ..). La consommation alimentaire a atteint presque 300 millions de litres en 2013. Les huiles de tournesol et d'olive sont les plus consommées (Tableau 1).

Tableau 1: Consommation totale en huiles végétales (litres) en France (Nielsen/ONIDOL data, 2013)

TOTAL	297 552 800
Tournesol	126 856 500
Olive	69 687 100
Huiles combinées	31 180 800
Colza	29 455 600
Huiles de friture (espèces non spécifiées)	25 688 200
Arachide	6 176 800
Pépins de raisin	3 353 300
Autres	5 154 400

Bien que couvrant l'ensemble des huiles végétales, l'activité de GROI (Groupe filière Oléagineux Inra) s'est donc focalisée sur le colza, le tournesol et le soja. Les extraits protéiques des tourteaux de colza et de tournesol n'ont pas été traités du fait d'une utilisation qui reste hypothétique, contrairement au soja qui est largement utilisé sous forme de jus ou de jus fermenté.

3. Caractérisation des pertes alimentaires aux différentes étapes de la filière

3.1 Sources de pertes alimentaires identifiées

Dans cette étude, les pertes suivantes ont été initialement comprises :

- Pertes de graines immédiatement avant la récolte et à la récolte en moissonnant
- Pertes de graines durant le transport et le stockage

- Pertes d'huile durant le broyage (contraintes rencontrées lors de l'extraction d'huile pour certains lots de semences)
- Pertes lors de la transformation du Tofu
- Pertes lors de l'approvisionnement (ruptures, date d'expiration dépassée ...) qui ont été jugées négligeables

3.2 Facteurs déterminants de pertes alimentaires (technique, économique, organisationnel, etc. réglementaire)

3.2.1 Juste avant la récolte

Les pertes de colza surviennent en raison de l'éclatement des gousses lié à la présence d'oiseaux, de conditions climatiques particulières (vent, grêle, pluie ; une échelle de risques par région et une carte des conditions climatiques défavorables sont disponibles), de l'état sanitaire de la récolte et du génotype de la variété (différences significatives). Il semblerait que la qualité des graines (acidité, etc.) et la capacité de broyage ne soient pas modifiées, mais cela doit être confirmé. Dans le cas du tournesol, les pertes sont principalement dues à des dommages faits par les oiseaux sur les capitules. L'éclatement des gousses pour le soja est dépendant du génotype. Certaines variétés semblent être très sensibles à l'égrenage.

3.2.2 A la récolte

Pour le colza, les pertes sont liées à l'état de la végétation, à l'hétérogénéité de la culture, à la déhiscence des gousses, à la maturité des tiges (il est recommandé que la récolte soit effectuée à 9% d'humidité et non à 14%), au réglage de la machine (vitesse du batteur, vitesse de progression de la machine, etc.) et au matériel de récolte plus ou moins adapté (diviseurs coupant, extension de coupe) ; pour le soja, les pertes sont dues à des gousses trop près du sol pour être récoltées mécaniquement (utilisation de barres de coupe souples) et à l'hétérogénéité de la culture.

Pendant le transport : la perte de graines, qui est négligeable pendant le chargement, le transport et le déchargement, est directement liée à la taille des graines.

3.2.3 Pendant le stockage des graines

Les graines sont sèches, de sorte que la possibilité de dégrader les lots de graines est très limitée. Le stockage est facile et, par conséquent, les pertes sont faibles. Les refus de lots de graines par les broyeurs sont principalement dus à la présence d'impuretés. Ces lots de graines sont triés à nouveau par l'organisme stockeur avant le broyage.

Le stockage des graines à la ferme, sur des plateformes plates sans ventilation, est bien géré. Mais les pertes peuvent être plus importantes que chez les organismes stockeurs.

3.2.4 Pendant le broyage et le conditionnement

La marge pour le broyeur est très faible, donc le processus industriel est optimisé pour minimiser les pertes possibles (teneur en huile résiduelle inférieure à 1% dans le tourteau). Le procédé d'extraction peut être adapté aux caractéristiques de chaque lot de graines, ce qui limite la teneur en huile dans le tourteau. Le décorticage peut entraîner des pertes d'huile, mais les coques grasses peuvent être utiles pour d'autres marchés. Les principales pertes sont observées lors de l'extraction de l'huile par pression ou lors de la filtration de l'huile. Les possibilités d'amélioration dans ce domaine semblent être limitées. Le risque de contamination de l'huile au cours du procédé est également très faible.

Les pertes au cours du raffinage se trouvent principalement dans les savons et les terres décolorantes (par exemple le tournesol). Le conditionnement de l'huile raffinée est géré directement par le broyeur sur le même site, ce qui limite les risques de pertes. Les pertes au cours de l'approvisionnement sont également très limitées car l'huile est traitée pour la conservation longue durée à la maison.

3.3 Quantification des pertes alimentaires

3.3.1 Pertes en pourcentage aux différentes étapes du process (Tableau 2).

Tableau 2 : Pourcentage de pertes alimentaires de la filière oléagineuse française (huiles de colza, tournesol et soja, tofu)

Produits	Pertes alimentaires (%)		
	Récolte	Transport et stockage	Process
Huile de colza	5	1.5	3.7
Huile de tournesol	2	1.5	3.7
Huile de soja	6	1.5	3.3
Tofu	6	1.5	1.1

- A la **récolte** (Tableau 3) :

Tableau 3: Pertes de graines (kg/ha et % de la production escomptée) à la récolte de la filière oléagineuse française (colza, tournesol et soja)

Espèces	Pertes totales			Pertes à trois étapes			
	Minimum	Moyenne	Maximum		Minimum	Moyenne	Maximum
Colza	40	175	550	Egrenage	0	15	50
	1%	5%	13%	Coupe	10	80	300
				Battage	30	80	200
Tournesol	30	80	500	Egrenage	Lors de présence de maladies		
	1%	2%	15%	Coupe	Lors de verse		
				Battage	20	30	200
Soja	50	400	600	Egrenage	Inhabituel (caractéristique variétale)		
	1%	6%	18%	Coupe	40	300	580
				Battage	10	15	20

- Pendant le **transport et le stockage** : les pertes ont été estimées autour de 1,5%. Pour le tournesol, on peut s'attendre à ce que les pertes à la récolte et durant le transport soient plus faibles que celles du colza.

- Pendant la **trituration et le raffinage**:

Colza: le rendement en huile est de 95,2%; l'huile résiduelle est récupérée exclusivement dans le tourteau.

Tournesol: le rendement en huile est de 93,3%; l'huile résiduelle est récupérée principalement dans le tourteau.

Soja: le rendement en huile est de 89,2%; l'huile résiduelle est récupérée principalement dans le tourteau.

Lin: l'huile de lin est principalement importée de Belgique. La graine n'est pas triturée en France.

3.3.2 Pertes quantitatives (T) de la production totale (Tableau 4)

Seul le rendement en huile après raffinage a été utilisé, l'huile résiduelle restant dans le tourteau est valorisée en alimentation animale et ne peut donc être considérée comme une perte alimentaire. La consommation de 16,7kg d'huiles végétales et 1000€/T ont été utilisés comme données de références dans les calculs.

Tableau 4: Pertes alimentaires quantitatives (KT) de la filière oléagineuse française (huiles de colza, tournesol, soja, tofu)

Produit	Pertes alimentaires (KT)			
	Récolte	Transport et stockage	Process	Total
Colza	25.6	7.3	17.7	50.6 (huile)
Tournesol	4.1	3.0	7.2	14.3 (huile)
Soja	1.4	1.6	3.5	6.5 (huile)
Tofu	2.6	0.3	0.5	3.4 (grains)

- **Colza**

3.558 MT x 31% sont triturées pour la consommation alimentaire, soient 1.103 MT

A la récolte: 5% de pertes = 25.6 KT (50.6%)

Pendant le transport et le stockage: 1.5% de pertes = 7.3 KT (14.4%)

Pendant le raffinage: 3.7% de pertes= 17.7 KT (35.9%)

Au total: 50.6 KT d'huile brute, soit 9.8% de la production potentielle d'huile, ou 116.3 KT de graines ; ou 50.6 M€; équivalent à la consommation annuelle de 3 029 940 personnes ; l'huile résiduelle restant dans le tourteau (1%) représente 6.0 KT

- **Tournesol**

1.458MT x 31% = 452 KT sont triturées

A la récolte : 2% de pertes = 4.1 KT (28.7%)

Pendant le transport et le stockage : 1.5% de pertes = 3.0 KT (21.0%)

Pendant le raffinage : 3.7% de pertes = 7.2 KT (50.3%)

Au total: 14.3 KT d'huile brute, soit 7,0% de la production potentielle d'huile, ou 32,9 KT de graines ; ou 14,3 M€; équivalent à la consommation annuelle de 856.287 personnes; l'huile résiduelle restant dans le tourteau (1%) représente 1,8 KT.

- **Soja pour l'huile**

587 KT de graines sont triturées (20% produites en France et 80% importées)

Les pertes à la récolte de productions non métropolitaines n'ont pas été intégrées

A la récolte : 6% de pertes = 1.4 KT (21.5%)

Pendant le transport et le stockage : 1.5% de pertes = 1.6 KT (24.6%)

Pendant le raffinage : 3.3% de pertes = 3.5 KT (53.8%)

Au total: 6.5 KT d'huile brute soit 6,0% de la production potentielle d'huile, ou 36,1 KT de graines ; ou 6,5 M€; équivalent à la consommation annuelle de 389.221 personnes; l'huile résiduelle restant dans le tourteau (1%) représente 4,6 KT.

- **Soja pour le tofu**

104 KT x 40% = 41.6 KT sont produites en France for la production de tofu:

A la récolte: 6% de pertes = 2.6 KT (76.4 %)

Pendant le transport et le stockage: 1.5% de pertes = 0.3 KT (8.8%)

Pendant le process de transformation: 1.1% de pertes = 0.5 KT (14.7 %)

Au total: 3.4 KT de grains métropolitaines ou 8.2% de la production potentielle de tofu.

Pour des graines à 7%, du tofu à 78% et du Okara à 80% d'eau, une tonne de graines produit 3 tonnes de tofu et 1,3 tonnes d'Okara, équivalents à 0.989 T de graines pour un rendement de 98.9% yield.

Par conséquent, les pertes totales en huile de la récolte à la distribution sont d'environ 71.4 KT, équivalentes à 10% de la consommation totale d'huiles alimentaires en France.

4. Manque à produire au stade de la production

Pour les dix dernières années, le rendement moyen en France :

- du colza est de 3,34T/ha (Mini : 2,90 ; Maxi : 3,68)
- du tournesol est de 2,40T/ha (Mini : 2,14 ; Maxi : 2,62)
- du soja est de 2,71T/ha (Mini : 2,50 ; Maxi : 2,98).

Le manque à produire en comparant le rendement moyen minimum au rendement moyen maximum est d'au moins :

- pour le colza cultivé sur 1.490.000ha : 1162,2 KT soit 511 KT d'huile.
- pour le tournesol cultivé sur 660.000ha : 316,8 KT soit 142 KT d'huile.
- pour le soja cultivé sur 45000ha : 21,6 KT de graines soit 4 KT d'huile.

En colza, les facteurs engendrant des variations de rendement sont la présence de fortes pressions de maladies certaines années, la qualité de l'implantation de la culture (travail du sol et date de semis) et les conditions de température et de rayonnement au moment de la nouaison. Les sécheresses de fin de cycle peuvent également avoir un impact en réduisant le remplissage des grains. Parmi les principales maladies affectant les rendements, on peut citer le Phoma pour les années 1993, 1994 et plus récemment 2000 ; la cylindrosporiose en 2002. Le Sclerotinia très présent en 2006, l'est localement régulièrement en fonction des conditions de température et d'humidité post contamination (rarement limitante). Le préjudice de la maladie est évalué à 1,5 q/ha par tranche de 10 % de plantes présentant les symptômes. L'oïdium, affecte plutôt le tiers sud de la France. Il s'exprime si les conditions de fin de cycle sont chaudes et humides. Sa nuisibilité de l'ordre de 5,6 q/ha en moyenne, peut atteindre 13 q dans les pires des cas. Le verticillium, maladie endémique présente dans l'Est de la France s'exprime certaines années avec des symptômes de dessèchements partiels de la tige. Le rendement peut être affecté selon les conditions hydriques de fin de cycle. La nuisibilité, selon les études, varie de 0 à 20 %. Le moyen de lutte contre ce champignon repose raisonnablement sur la sélection variétale.

Les dégâts d'insectes peuvent également avoir un impact sur le rendement du colza. Les effets seront atténués d'une manière générale sur des parcelles bien implantées avec des plantes présentant une bonne vigueur. Le pouvoir de compensation de la plante est dans ce cas optimisé. Des dégâts occasionnés sur des plantes au printemps ont pu être simulés en sectionnant volontairement les hampes principales d'un colza au stade G1 (chute des premiers pétales). Dans cette situation, les compensations sont telles, qu'à la récolte, le niveau de rendement est identique à celui du témoin. On a seulement observé que la variabilité des rendements est plus importante dans la partie où les hampes

principales ont été sectionnées. Parmi l'ensemble des insectes pouvant nuire au colza, le charançon du bourgeon terminal et l'altise d'hiver sont ceux qui actuellement nous préoccupent le plus. La détermination des facteurs qui influencent les fluctuations spatiotemporelles des populations d'insectes sont encore difficiles à établir.

Pour les espèces de printemps comme le tournesol ou le soja, les facteurs abiotiques sont prépondérants pour expliquer les variations de rendement et les manques de récolte. Il y a un lien assez net entre le niveau de rendement moyen annuel national et la pluviométrie de l'été. Ce point est particulièrement net pour le tournesol, alors que l'irrigation plus souvent pratiquée en soja atténue ce lien. Pour le tournesol, certaines périodes du cycle sont sensibles à l'humidité avec pour conséquences l'induction de maladies. Les conditions humides de début de cycle induisent du Mildiou. Un mois de juin pluvieux favorise le Phomopsis ou le Sclerotinia du bourgeon terminal. Des étés et des fins de cycle humides favorisent Sclerotinia du capitule et botrytis.

5. Leviers d'action

5.1 A la récolte

5.1.1 Juste avant la récolte

L'égrenage à maturité du **colza** : Les agriculteurs sont très sensibles au risque d'égrenage lors de la maturité des siliques. Les conséquences de l'ouverture prématurée des siliques sont la présence de repousses de colza au sol lors de la récolte. Même si peu de graines tombent au sol, elles germent très rapidement ce qui rend les pertes très visibles.

Les protections phytosanitaires réduisent l'égrenage et homogénéise la maturité.

Par ailleurs, les conditions de culture en général ont un effet sur l'ouverture des siliques : sols détrempés, conditions pluvieuses avant récolte ou oiseaux et insectes.

L'effet variétal est aussi un élément important et les efforts réalisés en sélection permettent de produire de nouvelles variétés avec une meilleure résistance à l'égrenage. Actuellement, nous testons les nouvelles variétés commercialisées afin de les classer selon leur sensibilité à l'égrenage.

Néanmoins, l'égrenage naturel n'est pas la principale raison des pertes récolte en colza.

En **tournesol**, si la récolte se déroule en bonnes conditions, les pertes de graines sont pratiquement inexistantes. Des capitules peuvent occasionnellement sortir de la barre de coupe mais cela est rare. Des dégâts peuvent parfois être occasionnés sur les capitules de tournesol par les oiseaux. Ils se produisent lorsque les graines ont encore un niveau d'humidité élevé. Il est possible d'observer ce type de dégâts localement quelquefois sur seulement une partie de la parcelle de tournesol.

5.1.2 Pertes lors de la récolte

- **Récolte du colza**

Pour une récolte directe, la date idéale d'intervention est difficile à établir et est en général choisie de façon anticipée.

La raison à cela est que la maturité peut s'étirer dans le temps et ne pas être uniforme.

La période optimale de maturation est déterminée lorsque les ramifications du bas de la plante et les siliques qui y sont attachées ont atteint la maturité.

Le montage d'un équipement qui rallonge le tablier de coupe est un excellent moyen de réduire les pertes à l'avant de la machine de récolte.

L'effet des doigts escamotables de la vis d'amenée en rotation est l'une des principales causes d'éjection de graines. La distance insuffisante entre le fond de coupe et la vis d'amenée est aussi un

obstacle ralentissant le flux de végétation pouvant entraîner des éjections de graines. Le colza a une végétation relativement volumineuse avec de nombreuses tiges ou ramifications et des siliques très fragiles.

C'est durant le transfert de la végétation au centre de la coupe que les graines éjectées tombent au sol.

Durant la récolte une partie des siliques s'égrainent au contact des lames de coupes ou à la suite de la pression exercée sur la végétation par la vis d'amenée aux endroits où se trouvent positionnés des doigts escamotables.

La profondeur de la coupe est importante. Même s'il existe une large gamme d'extensions de coupe à colza, leur profondeur doit être suffisante pour retenir les graines éjectées provenant des doigts centraux de la vis. L'efficacité de la coupe dépend donc de sa profondeur. Les extensions les plus profondes sont de l'ordre de 0,80 m.

Les pertes au nettoyage et au triage peuvent être aussi importantes que celles mesurées à l'avant de la machine. Différents moyens existent pour réduire ces pertes.

La date de récolte est traditionnellement déterminée par le niveau d'humidité des graines (9%) mais très souvent, la partie végétative des plantes n'est pas mature. De nombreuses variétés sont devenues tolérantes au phoma : les ramifications restent vertes jusqu'à la récolte sans présence de maladies. Dans la machine les ramifications vertes mélangées aux siliques et graines sèches provoquent des pertes. L'air soufflé sous les grilles a des difficultés à traverser le mélange pailleux pour le trier efficacement et séparer les pailles humides (plus lourdes) des graines sèches ou humides. Les graines mal triées partent avec les pailles derrière la machine.

Dans ce cas, il est nécessaire de retarder la date de récolte jusqu'à maturité complète de la plante avec des pailles sèches (autour de 10 % d'humidité).

Si les conditions climatiques ne sont pas favorables et retardent trop la récolte, il est nécessaire de récolter les tiges encore vertes (avec siliques mures) mais en les coupant juste en dessous des siliques pour éviter au maximum l'entrée d'un taux de pailles vertes important dans la machine.

Néanmoins, du haut de la cabine, il est difficile de clairement distinguer la hauteur précise de la coupe dans la végétation.

Il serait possible dans l'avenir, d'installer une caméra vidéo près de la lame de coupe qui permette d'ajuster automatiquement la hauteur de la coupe sous le matelas de siliques en laissant la partie verte des tiges dans le champ. Très souvent la hauteur de 0,80 m convient pour se positionner sous les siliques. De plus, couper les plantes plus haut est un moyen efficace de réduire le volume de pailles dans la machine et en augmenter ses performances.

Le volume moyen de tiges à partir du sol jusqu'à 0,80 m, c'est 40 % du volume total de la végétation. L'autre partie de la végétation, « utile », avec siliques et petites tiges (> 0,80 m) ne représente pas plus de 60 % du volume total. Actuellement, les enquêtes ont pu établir que, au champ, la hauteur moyenne de coupe est de 0,30 m.

- **Récolte du tournesol**

La période entre maturité et récolte doit être aussi courte que possible. De façon à minimiser les pertes par dégâts d'oiseaux, botrytis ou sclérotina du capitule.

Pour la récolte de tournesols versés, il est recommandé d'utiliser une coupe avec becs cueilleurs pour minimiser la perte des capitules. Par ailleurs, récolter des graines avec des taux d'humidité très bas, peut entraîner une augmentation du niveau des pertes. Dans ce cas la vitesse d'intervention doit être ralentie.

- **Récolte du soja**

Couper les plantes aussi ras que possible permet de limiter les pertes. Une hauteur de chaume excessive conduit inévitablement à des pertes exagérées.

Des équipements spécifiques existent pour éviter la majorité des pertes observées. Quand les premières gousses du soja sont très près du sol, il est nécessaire d'avoir une flexibilité de la coupe pour suivre le sol. Il existe des coupes dites « flexibles » permettant d'ajuster la hauteur de la coupe sous les premières gousses. Une coupe flexible améliore la productivité de la machine. Ce type de coupe peut également être utilisé pour d'autres graines plus petites sans besoin de flexibilité. Dans ce cas, la coupe peut alors être rigidifiée.

En définitive, pour le colza, si le rendement national annuel varie entre 2,9 T et 3,7 T/ha, nous avons une variation de rendement de 0,8 T /ha max pour un niveau de pertes de 0,4 T /ha. Pour le tournesol et le soja, comme pour le colza, les variations de rendements sont supérieures aux pertes 0,5 T/ha pour 0,3 T/ha.

Comparées aux fluctuations annuelles de rendement, le niveau des pertes est significatif mais inférieur à celles-ci.

5.2 Pendant le transport et le stockage

Moins de 15% de la production métropolitaine de graines est utilisée directement à la ferme. 60 millions de tonnes sont ainsi commercialisées pour la transformation ou l'export via les collecteurs. Il n'y a pas de données publiées sur les pertes pendant cette phase du process. Le nombre de manutentions pendant le stockage impacte fortement le niveau de pertes. Aux dires d'expert les pertes peuvent être estimées à environ 1%.

5.3 Pendant la trituration et le raffinage

Selon les experts des unités de trituration, des améliorations techniques significatives du process ont permis de réduire progressivement les pertes (Fine *et al.*, 2013). A ce jour, il n'y a pas de technologie plus performante que celle utilisant de l'hexane.

L'utilisation de process de trituration plus doux afin de préserver la digestibilité des protéines par les monogastriques conduirait à la production de tourteaux gras contenant plus d'huile mais tout à fait valorisable en alimentation animale. Tout nouveau process sans hexane produisant un tourteau à moins de 5% d'huile serait adopté par les industriels.

Pour réduire les pertes au raffinage, il faudrait développer des méthodes douces débouchant sur des huiles plus colorées et parfumées, acceptables par le consommateur. Au cas où l'huile brute serait moins riche en composés indésirables, il y aurait la place pour rechercher un process de raffinage moins drastique.

La réduction du nombre et de l'intensité des étapes de raffinage déboucherait sur :

- Une diminution du coût de production (énergie consommé, inputs,..),
- Une préservation des micronutriments (tocophérols, coenzymes, stérols, ..),
- Une préservation de la stabilité oxydative de l'huile,
- Moins de pertes d'huile.

Remarque: la trituration à l'hexane des graines oléagineuses produit un tourteau à 1% d'huile résiduelle alors que l'extraction mécanique à la ferme permet de produire un tourteau à 15% d'huile. Mais ce tourteau gras est facilement utilisé en alimentation animale. C'est la raison pour laquelle l'huile résiduelle contenu dans les tourteaux n'a pas été considérée comme une perte.

5.4 Pendant la distribution

En fonction de l'utilisateur, l'huile végétale est conditionnée dans des emballages de tailles différentes, allant des bouteilles en plastique ou en verre aux containers d'une tonne. Ces conditionnements

permettent de conserver l'huile sur des périodes longues sans développement de micro-organismes. Seule la qualité organoleptique des huiles peut être altérée par des phénomènes d'oxydation. Les industriels considèrent que les pertes à ce stade sont fonction du volume de l'emballage, celles-ci étant plus importants pour de petits volumes.

Pour le tofu, deux cas se présentent: le tofu velouteux est un produit pasteurisé qui se conserve bien quelques jours dans le réfrigérateur ; le tofu UHT se conserve bien pendant plusieurs mois à température ambiante.

Conclusions et perspectives

Les données publiées ne concernant que les pertes à la récolte, la plupart des données ont dues être collectées auprès d'experts professionnels.

Les graines et les huiles végétales se conservent bien, mais les pertes de la récolte à la distribution apparaissent cependant significatives (environ 71,4 KT d'huile brute, équivalente à 10% de la consommation d'huile en France). Comparés aux pertes avant la récolte (évaluées à environ 12% en conditions extrêmes), les pertes de la récolte à la distribution sont légèrement inférieures. Les pertes sont plus élevées pour le colza que pour le soja ou le tournesol. Nous avons montré que les pertes concernent principalement la récolte (huile et tofu) et le raffinage (huile).

Il est envisageable d'améliorer l'efficacité de la filière oléagineuse, via en particulier la sélection pour certaines caractères génétiques (résistance à l'égrenage du colza ou du soja, résistance à la verse du tournesol, hauteur des gousses basales du soja, ..), la conception des moissonneuses-batteuses ainsi que les conditions de raffinage. Une voie pour réduire les pertes au raffinage serait d'amener le consommateur à accepter des huiles plus colorées et parfumées.

Du fait des pertes relativement faibles après la récolte, il est cependant difficile d'imaginer comment éviter totalement ces pertes ou comment les valoriser de façon rentable. De plus, il faut souligner que les tourteaux gras sont économiquement faciles à utiliser en alimentation animale.

Cependant, le résultat inattendu de cette étude quantitative démontre l'intérêt d'appliquer une telle approche à d'autres oléagineux (oliviers par exemple) et d'autres pays pour identifier des voies d'amélioration.

Parallèlement aux pertes quantitatives, il semble nécessaire d'évaluer les pertes qualitatives, telles que la qualité nutritionnelle. Par exemple, le raffinage doux a montré son intérêt pour préserver la qualité des huiles (micronutriments) et du tourteau résiduel pour l'alimentation animale ou humaine (digestibilité des protéines). D'autres améliorations du processus pourraient ouvrir la porte à des gains additionnels de la valeur alimentaire des huiles végétales.

Références bibliographiques

- Fukushima D., 1981. Soy Proteins for Foods Centering around Soy Sauce and Tofu. *J. Amer Oil Chem. Soc.* 58(3), 346-354.
- Gustavsson J., Cederberg J., Sonesson J., van Otterdijk J., Meybeck A., 2011. Global food losses and food waste: extent, causes and prevention. FAO, Rome, 29.
- Lipinski B., Hanson C., Lomax J., Kitinoja L., Waite R., Searchinger T., 2013. Reducing Food Loss and Waste. Working Paper, Installment 2 of Creating a Sustainable Food Future. Washington, DC: World Resources Institute. Available online at <http://www.worldresourcesreport.org>.
- Lundqvist J., de Fraiture C., Molden D., 2008. Saving water: from field to fork. Curbing losses and wastage in the food chain. Stockholm International Water Institute.

Sausse C., Wagner D., Lucas J.L., Estragnat A., Mangenot O., Garric B., Reau R., Devaux C., Champolivier J., Messéan A., 2006. Estimation des pertes à la récolte du colza d'hiver (*Brassica napus*) dans des conditions variées. OCL 13 (6), 431-438.

UNEP, 2009. The Environmental food crisis – The environment's role in averting future food crisis. United Nations Environmental Programme (UNEP), Nairobi.

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0)



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « Innovations Agronomiques », la date de sa publication, et son URL)