

Pertes alimentaires dans la filière protéagineuse

Duc G.¹, Anton M.², Baranger A.³, Biarnes V.⁴, Buitink J.⁵, Carrouée B.⁶, Georget M.⁷,
Jeuffroy M.-H.⁸, Lessire M.⁹, Magrini M.-B.¹⁰, Pinochet X.⁴, Walrand S.¹¹,

avec l'appui de Redlingshofer B.¹². Experts interrogés : Million G.¹³, Chereau D.¹⁴

¹ INRA, UMR Agroécologie, F-21065 Dijon

² INRA, UR BIA Biopolymères, Interactions Assemblages, F-44316 Nantes

³ INRA, UMR IGEPP Institut de Génétique Environnement et Protection des Plantes, F-35653 Le Rheu

⁴ Terres Inovia, F-78850 Thiverval-Grignon

⁵ INRA, UMR IRHS Institut de Recherche en Horticulture et Semences, F-49071 Beaucozéz

⁶ Terres Univia, F-75378 Paris

⁷ INRA, CODIR, Collège de direction, F-75007 Paris

⁸ INRA, UMR Agronomie, F-78850 Thiverval-Grignon

⁹ INRA, UR0083 Recherches Avicoles, F-37380 Nouzilly

¹⁰ INRA, UMR1AGIR Agroécologie, Innovations, Territoires, F-31326 Castanet-Tolosan

¹¹ INRA, UMR UNH Unité de Nutrition Humaine, F-63122 Saint-Genes-Champanelle

¹² INRA, UAR MaR/S Mission d'anticipation Recherche / Société & Développement durable, F-75007 Paris

¹³ Dijon Céréales, F-21604 Longvic

¹⁴ Improve, Institut Mutualisé pour les Protéines Végétales, F-80480 Dury

Correspondance : Gerard.Duc@dijon.inra.fr

Résumé

La filière française des protéagineux (espèces pois, féverole et lupins), développée dans les années 1980 à 1990, avait pour premier objectif de répondre aux besoins de l'alimentation animale. A partir des années 2000, un marché significatif vers l'alimentation humaine s'est aussi développé.

Sur la base d'une estimation à 370 000 t de protéagineux actuellement destinées à l'alimentation humaine (export + marché intérieur), les pertes sont surtout situées à la récolte et représenteraient 22 000 t (soit 6% de la production), auxquelles s'ajoutent 1000 t de glucides solubles issues du fractionnement par voie liquide. De la récolte à la distribution, de nombreux coproduits ou déchets sont orientés vers l'alimentation animale et ne constituent pas des pertes. Un progrès génétique et agronomique portant sur une architecture maîtrisée des couverts végétaux, coadapté au progrès du machinisme de récolte, constitue le moyen principal pour réduire les pertes.

Le poids d'impact de ces leviers de progrès sera positivement corrélé à l'augmentation des surfaces et volumes de ces productions pour un débouché en alimentation humaine. Au-delà des actions qui pourront améliorer la compétitivité de ces cultures en augmentant et stabilisant les rendements et améliorant la qualité sanitaire des graines, (i) une amélioration génétique et agronomique de la valeur nutritionnelle et santé (protéines, fibres, composés bioactifs,...adaptés), (ii) de nouvelles technologies de fractionnement et transformation apportant de la digestibilité et de la valeur ajoutée, (iii) une information des consommateurs, (iv) une organisation de filière, pourront amplifier les volumes et l'efficacité nutritionnelle de ces produits dans les débouchés de l'alimentation humaine.

Mots-clés : Protéagineux, *Pisum sativum*, *Vicia faba*, *Lupinus* spp, Pertes alimentaires,

Abstract: Food loss in the protein crops supply chain

The French protein crops chain (pea, faba bean and lupins species) developed in the 1990's basically to supply the requirements of animal feed, has significantly developed a food outlet since the 2000.

From an estimation at 370 000 t of these productions presently dedicated to human food (export + national markets), losses are mainly at harvest representing 22 000 t (6% of the production), to which could be added 1000 t of water soluble sugars issued from the liquid fractioning process. From harvest to distribution, several co-products or wastes are processed into feeds and therefore cannot be considered as losses. Combination of genetic and agronomic progress to monitor a crop canopy co-adapted with the progress on harvesting equipments represents the major levers identified to reduce losses.

The impact weight of these levers of progress will be positively correlated with the increase of area and volumes of the food outlets of these productions. Beyond actions which will bring competitiveness of the crops, as well as higher and more stable yields together with better sanitary status of their seeds are (i) improvement of their nutritional and health value through varieties and cropping management (adapted proteins, fibers, bioactive compounds,...), (ii) new technologies of fractionation or transformation bringing higher digestibility and added value, (iii) consumer information and (iv) stakeholder organization in the chain, likely to amplify volumes and nutritional efficiency of these products for food outlets.

Keywords: Pulses, *Pisum sativum*, *Vicia faba*, *Lupinus* spp, Food losses

Introduction

Née dans les années 1980, la filière protéagineuse a été construite pour répondre aux attentes de l'alimentation animale (Guéguen, Duc et al., 2008 ; Coudurier et al., 2013 ; Schneider et al., 2015). Les espèces concernées sont le pois, la féverole et les lupins. Alors que les surfaces en production approchaient 700 000 ha au début des années 1990 en approvisionnant largement le marché de l'alimentation animale, elles se sont depuis réduites à environ 200 000 ha pour une production avoisinant 850 000 t dont 40 à 50% vont vers les débouchés de l'alimentation humaine (années 2013/2014), avec une répartition d'environ 60% pour l'export et de 40% pour le marché intérieur d'après les statistiques d'Agreste et de Terres Univia.

L'utilisation prépondérante des graines protéagineuses est l'alimentation des élevages de porcs, volailles et salmonidés pour la partie utilisée en France et en Europe. Le débouché à l'export de graines entières pour l'alimentation humaine s'est développé depuis les années 1990 (Figure 1), notamment de pois vers l'Inde dans les années 1990 et de féverole vers l'Egypte à partir de 2002. Le sous-continent indien a importé une quantité importante mais très volatile de pois français au cours des dix dernières années (aucune affaire en 2013/14 et un maximum de 204 000 t en 2011/12), quantité très dépendante du marché international. L'Egypte a importé environ 120 000 t de féverole de la récolte 2014, avec un maximum atteint à 245 000 t atteint deux années de suite entre 2009 et 2011.

La consommation française de protéagineux en alimentation humaine approche aujourd'hui 130 000 t par an. C'est seulement depuis 2005 que la filière « ingrédients » s'est significativement développée en France (volumes de pois fractionnés estimés aujourd'hui à 110 000 t et relativement stable en volume) (Figure 1).

Les surfaces de protéagineux s'étant fortement contractées du fait d'un manque de compétitivité de ces cultures et de trop faibles de rendements, c'est surtout le débouché de l'alimentation animale qui s'est réduit, et conséquemment, la proportion du débouché alimentation humaine encouragé par des prix de vente plus élevés, s'est amplifiée pour approcher aujourd'hui 40 à 50% de la production.

La capacité d'extension des deux débouchés animal et humain reste grande. Notamment le débouché de l'alimentation animale nationale peut retrouver un niveau élevé, tel que celui des années 1990 où il atteignait plus de 2 M de t, mais l'offre en protéagineux reste aujourd'hui limitée côté agriculteurs. Les volumes servant de semences s'élevaient à 45 000 t en 2012/2013¹. Le marché à l'export destiné à l'alimentation humaine, démarré à partir des années 2000, reste fluctuant et relativement peu développé en regard d'une demande croissante (en Inde et en Chine notamment). Ce marché export reste par ailleurs très dépendant de la concurrence internationale tant en volumes qu'en prix et qualités (notamment de l'offre du Canada et de l'Australie). On pourrait envisager que ce marché export s'étende si l'offre française devenait plus importante et concurrentielle. Le marché intérieur des graines et des ingrédients pourrait aussi s'accroître en relation avec (i) la demande croissante à venir en protéines végétales (rapport Sofiprotéol et BIPE 2014), (ii) une valeur santé reconnue aux graines de légumineuses, (iii) les progrès potentiels sur les technologies de transformation, et enfin (iv) la volonté des industriels (Groupe filière Protéagineux 2012 ; Voisin et al. 2014). Les formes d'incorporation de ces ingrédients appellent à acquérir davantage de connaissances sur leurs valeurs nutritionnelle et santé (dont les risques d'allergénicité), à mieux maîtriser leurs qualités organoleptiques, et à exploiter leurs fonctionnalités et leur aptitude à l'incorporation dans des préparations céréaliers, laitières ou carnées.

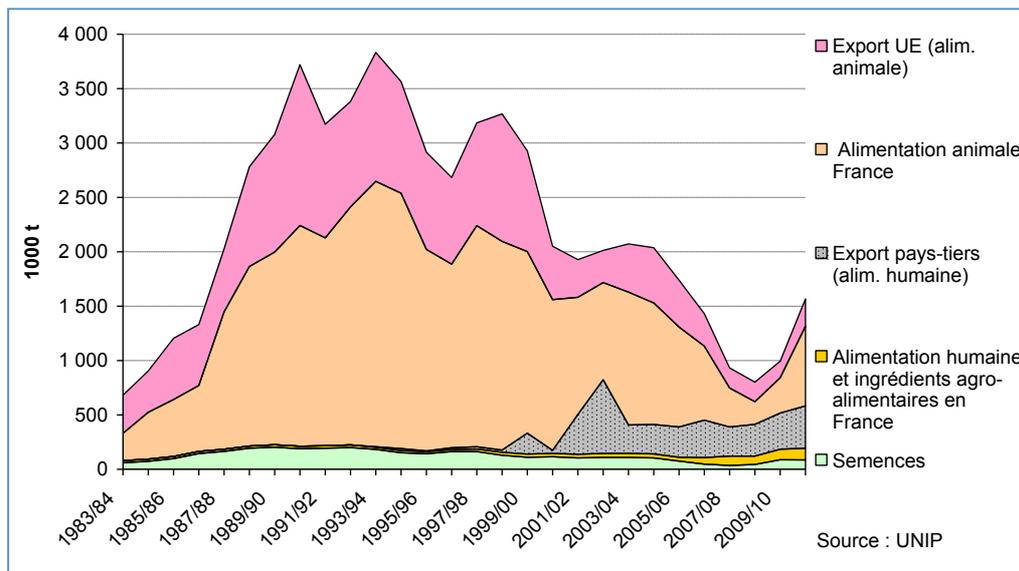


Figure 1 : Evolution des débouchés des principales espèces de la production française de pois et féverole de 1983 à 2012 (source : UNIP)

L'historique du débouché de ces graines en alimentation humaine est récent et peu de données sont disponibles sur les pertes dans cette filière.

La méthodologie suivie dans cette analyse a été de recueillir des expertises dans le groupe filière protéagineux INRA, à l'UNIP/Terres Univia, au CETIOM/Terres Inovia, et auprès de quelques professionnels ou collecteurs. Beaucoup de données sont des projections de connaissances issues de l'expertise de la filière de l'alimentation animale et devront être confortées par des enquêtes à mener dans la filière de l'alimentation humaine lorsque celle-ci sera davantage construite.

¹ Ils représentent 5 % de la récolte, réparties environ en 50% de semences certifiées et 50 % de semences fermières pour le pois, alors que la part de la semence fermière approche 70 % chez la féverole.

Nous avons suivi dans notre analyse la démarche globale adoptée par l'INRA pour conduire cette étude (voir « La méthodologie utilisée dans l'étude sur les pertes alimentaires dans les filières », Redlingshofer B., ce numéro) : les co-produits ne sont pas considérés comme pertes alimentaires ; et par ailleurs, les fractions potentiellement écartées de la filière alimentation humaine et utilisées pour l'alimentation animale ne sont pas comptabilisées dans les pertes, dans la mesure où elles reviennent indirectement dans la filière alimentation humaine.

1. Sélection des productions étudiées

Selon la réglementation européenne (Règlement COM 1765/92), les protéagineux recouvrent les pois (*Pisum sativum* L.), féveroles (*Vicia faba* L.) et lupins (*Lupinus* L. spp.). Au-delà des espèces protéagineuses, soulignons qu'il existe en France une production d'autres espèces de légumineuses à graines, majoritairement ou exclusivement utilisées en alimentation humaine et dont ne traitera pas ce texte. Cela concerne une production de lentilles, pois chiches et haricots secs d'environ 35 000 t sur 25000 ha. De même nous ne traiterons pas ici de la production de soja d'environ 230 000 t sur 97 000 ha (stat. Terres Inovia 2015) (pour cette filière soja, voir l'analyse relative à la filière oléagineux).

Avec un peu plus de 200 000 ha en culture pure en France en 2014, les cultures de protéagineux occupent moins de 2 % des surfaces en grandes cultures. Le pois (140 000 ha), la féverole (76 000 ha) et le lupin blanc (5 000 ha) sont majoritairement cultivés en cultures pures annuelles. Les modes de culture en association de pois avec des céréales dans une même parcelle, qui étaient très fréquents jusqu'au début du siècle dernier (pour l'élevage) et qui avaient quasiment disparu, se redéveloppent depuis peu. Ce renouvellement des cultures associées se fait principalement en agriculture biologique avec un débouché essentiellement animal. Il répond à des objectifs de meilleure gestion de l'azote et de la teneur en protéines du blé associé, ainsi que de diminution des risques d'adventices et de verse. Les difficultés de tri précis des graines à la récolte des deux espèces associées, excluent le plus souvent ces récoltes de l'alimentation humaine du fait des cahiers des charges exigeants en matière de pureté des matières premières (notamment dans le cas du marché zéro-gluten). Des appareils de triage performants tels que les trieurs optiques, plus fréquents aujourd'hui dans les coopératives, pourraient ouvrir un débouché pour ces produits issus d'associations. Environ 6 % des surfaces de protéagineux sont certifiées Bio ou en conversion Bio (Agence Bio, statistiques 2011) ; c'est surtout la féverole qui est développée en AB.

Les graines protéagineuses exportées hors Europe à destination de l'alimentation humaine sont consommées sous forme de graines entières, décortiquées ou réduites en farine. En France, l'utilisation traditionnelle des graines dépelliculées-cassées (pois cassés, fèves) en alimentation humaine ne représente plus que 13 000 t environ. Des farines de fèves sont utilisées en boulangerie (pour environ 7 000 t). Depuis environ 5 ans, des fractions de graines (protéines, amidons, fibres) sont produites à partir d'environ 110 000 t de graines, principalement de pois, qui servent d'ingrédients incorporés (i) en non-alimentaire, notamment la cartonnerie pour la fraction amidon, (ii) en alimentation humaine pour la boulangerie, la biscuiterie, la charcuterie, et les produits laitiers pour les fractions amidons, protéines et fibres, ou en lacto-remplaceurs en alimentation animale pour les fractions fibres et protéines.

Ayant été sélectionnées pour de faibles teneurs en facteurs antinutritionnels pour les animaux d'élevage (pois à faibles teneurs en facteurs anti-trypsiques et en tanins, féverole à faibles teneurs en vicineconvicine et en tanins, lupins à faibles teneurs en alcaloïdes), et contenant peu de matières grasses, les graines de protéagineux peuvent être utilisées en graines entières, sans transformation préalable poussée. En cela, elles sont différentes des graines d'oléagineux, comme le soja ou le colza, qui sont triturées pour donner un tourteau riche en protéines après extraction de l'huile. En alimentation humaine, et aussi en alimentation des poissons, les graines protéagineuses sont le plus souvent décortiquées (on parle aussi de dépelliculage par élimination des téguments riches en cellulose, pour ne garder que les amandes de la graine), puis cuites ou extrudées, voire moulues, puis

éventuellement fractionnées en constituants majeurs (protéines, amidon, fibres) quand il s'agit d'industries agro-alimentaires.

Avec une teneur moyenne en protéines proche de 24 % (de la matière sèche de la graine) chez le pois, de 29 % chez la féverole et de 35 % chez le lupin blanc, une teneur en amidons de 50 % chez le pois et de 45 % chez la féverole et enfin la présence de fibres, les graines de protéagineux sont reconnues pour leur bonne valeur nutritionnelle pour l'homme. Leurs protéines présentent une bonne digestibilité chez l'homme et l'animal. Etant riches en lysine et pauvres en méthionine et cystéine, elles présentent un profil d'acides aminés essentiels complémentaire de celui des céréales. Leur amidon riche en amylose et présentant une faible température de gélification a des propriétés fonctionnelles de texturation et de formation de gel intéressantes pour des applications non alimentaires (cartonnerie notamment) ou alimentaires. Différents travaux ont conclu à la réduction des risques d'obésité, de diabète de type II, de maladies cardiovasculaires, de cancer du côlon chez l'homme en lien avec la consommation de ces graines (Champ et al., 2002 ; Taylor et al., 2013 ; Schneider et Huyghe, 2015). Néanmoins, les études cliniques restent en nombre insuffisant pour prétendre à d'éventuelles allégations santé ou nutritionnelles. Les utilisateurs de fractions issues de graines de pois ou féverole rapportent souvent des difficultés d'application en IAA du fait de goûts ou d'odeurs jugés désagréables (ces facteurs limitants sont la cible du Projet FUI LegUP initié en 2015). Même si les programmes de sélection sur pois, féverole et lupins conduits en France recherchent en priorité le potentiel de production de la culture et sa stabilité, ils intègrent aussi l'objectif d'un maintien de teneurs en protéines les plus élevées et stables possibles. Cet objectif qui est traduit dans les critères d'inscription au CTPS est tout autant intéressant pour le débouché alimentaire animal qu'humain.

Les marchés de l'alimentation humaine, notamment à l'export, offrent souvent des prix de vente supérieurs d'environ 50 €/t à ceux de l'alimentation animale, mais requièrent des qualités supérieures des lots (qualité visuelle, notamment couleur et dommages causés par des attaques de bruches ou parasites, ou taches dues à des maladies). Qu'il s'agisse de stratégies de protection intégrée, de recherche de résistances génétiques ou d'homologation de matières actives, les recherches ont été relativement peu intenses sur ces espèces correspondant à de petits marchés, et de ce fait les dommages sur graines sont assez fréquents.

Pour les estimations des pertes relatives au débouché de l'alimentation humaine (export + marché intérieur) qui suivront, nous utiliserons une valeur de production destinée à l'alimentation humaine voisine de la situation 2013-2014, soit environ 370 000 t de production en France sur 80 000 ha de pois, féverole et lupins.

2. En amont de la récolte, instabilité des rendements des protéagineux

Bien que se positionnant hors du périmètre de la définition des pertes alimentaires, nous documentons cependant le rendement potentiel et rendement réalisé chez les protéagineux.

Sur les 10 dernières années, la moyenne nationale de rendement pour les espèces pois et féverole est souvent proche de 4,5 t/ha avec des variations inter-annuelles et inter-régionales de plus ou moins 0,7 t/ha. Dans des conditions agronomiques et climatiques optimales, des maxima de rendements en graines voisins de 8 t/ha ont quelquefois été rapportés pour ces espèces.

Les fluctuations des rendements sont liées à la conjonction des conditions pédologiques (de la parcelle) et des conditions climatiques (de l'année), mais aussi aux marges de manœuvre pour piloter les performances de la culture (liées à l'environnement technique). Même si toutes les espèces de grande culture ont connu de fortes fluctuations de rendement sur la dernière décennie (Figure 2), notamment expliquées par des stress climatiques, ces variations sont davantage pénalisantes lorsqu'elles portent sur une espèce à rendement moyen plus faible comme dans le cas des protéagineux.

Chez le pois, le développement de la pourriture racinaire due à *Aphanomyces* a contribué à une baisse de rendement moyen, voire à l'impossibilité de le cultiver dans les parcelles les plus contaminées. Les zones de production ont ainsi évolué, se déplaçant vers des sols moins profonds à moindre potentiel. La localisation actuelle du pois dans des terres à moindre potentiel l'expose davantage à des stress hydriques précoces. Pour la féverole, le stress climatique est la principale cause de perte de rendement. Ses besoins en eau sont plus importants que ceux du pois en fin de cycle, de la floraison jusqu'au remplissage des graines.

La faiblesse et l'instabilité des rendements, conjuguées à une instabilité des prix, constituent encore aujourd'hui un frein majeur au développement des protéagineux dans les exploitations agricoles.

Ce diagnostic appelle à des actions de recherches pluridisciplinaires et de partenariat entre les acteurs de la filière (incluant les acteurs du développement, de la sélection, des équipements et de technologies de protection respectueuses de l'environnement) pour l'évaluation et le développement des innovations. Sur la phase amont de la production, il faut notamment innover à l'échelle systèmes x conduite x variétés pour (i) améliorer le niveau de protection à l'égard des stress biotiques et abiotiques majeurs, (ii) améliorer l'efficacité du fonctionnement symbiotique au niveau des racines (symbioses à rhizobium pour la fixation de l'azote de l'air et symbiose à mycorhizes pour l'utilisation de l'eau et du phosphore), (iii) adapter l'architecture et la phénologie de la plante afin d'optimiser l'acquisition des ressources, la formation des réserves des graines et la maturité, et de réduire les risques de verse et de maladies. Des actions pluridisciplinaires génétique x agronomie x écophysiologie x protection des cultures sont déjà engagées sur ces objectifs dans les projets « investissement d'avenir » PEAMUST, ANR LEGITIMES, UE- FP7 LEGATO.

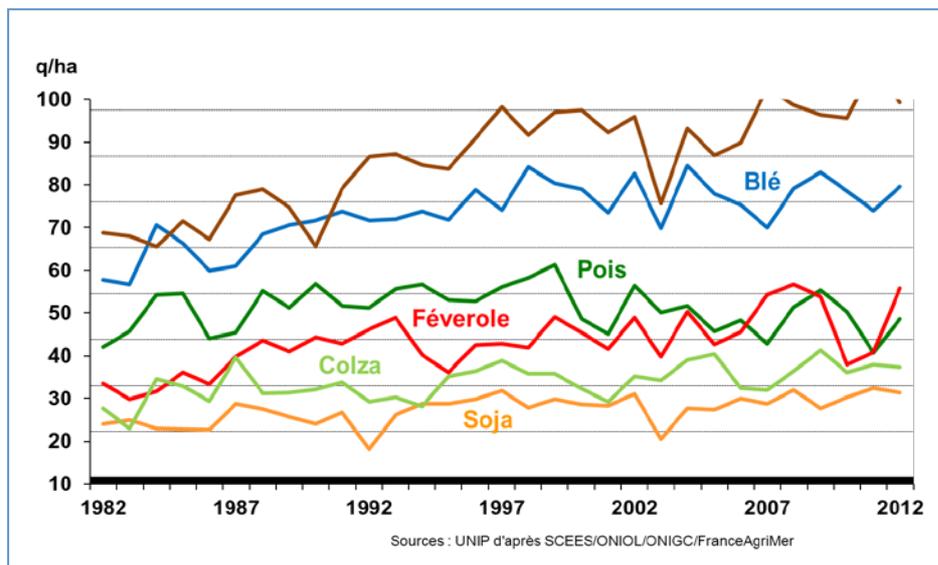


Figure 2 : Evolution des rendements des protéagineux et autres grandes cultures annuelles en France (Source : UNIP, d'après plusieurs sources statistiques).

Une évolution des pratiques, agricoles orientée vers une réduction d'intrants, va imposer des développements de nouvelles variétés et des choix de systèmes de culture réduisant la sensibilité aux stress. A court ou moyen terme, en améliorant les conduites et le choix variétal, on peut raisonnablement attendre des progrès de rendement de 0.7 t à 0.8 t/ha sur la moyenne nationale. Sur une base de 80 000 ha dédiés à l'alimentation humaine comme actuellement, cela correspondrait à un gain potentiel estimé à environ 60 000 t. Pour le débouché de l'alimentation humaine, la maîtrise des

dégâts sur graines consécutifs aux insectes parasites (notamment dégâts de bruches) ou maladies constitueront des priorités en matière de recherche et de techniques de production.

3. Analyse et quantification des sources de pertes à partir de l'état récoltable de la culture

3.1 Les pertes à la récolte peuvent encore être réduites : dégâts mécaniques sur graines et pertes au passage de la moissonneuse batteuse

Sauf accident climatique majeur (grêle provoquant l'égrenage, excès d'eau favorisant la germination sur pied), ou dégâts causés par des stress biotiques (insectes parasites des graines tels que bruches ou prélèvements par les pigeons), les pertes à cette étape de la récolte varieront selon les espèces de 1 à 2 % en conditions favorables. Il existe cependant des accidents extrêmes (des cas de verse très grave ou de grêle) qui peuvent aboutir à des pertes allant jusqu'à 50 % sur une parcelle, voire jusqu'à un abandon total de la récolte, mais nous n'avons pas de données statistiques quantifiant la fréquence de ces événements.

Globalement au plan national, on estime ces pertes à 6% des 370 000 t dédiées à l'alimentation humaine (export + marché intérieur) (Figure 3), soit 22 000 t (source Terres Univia).

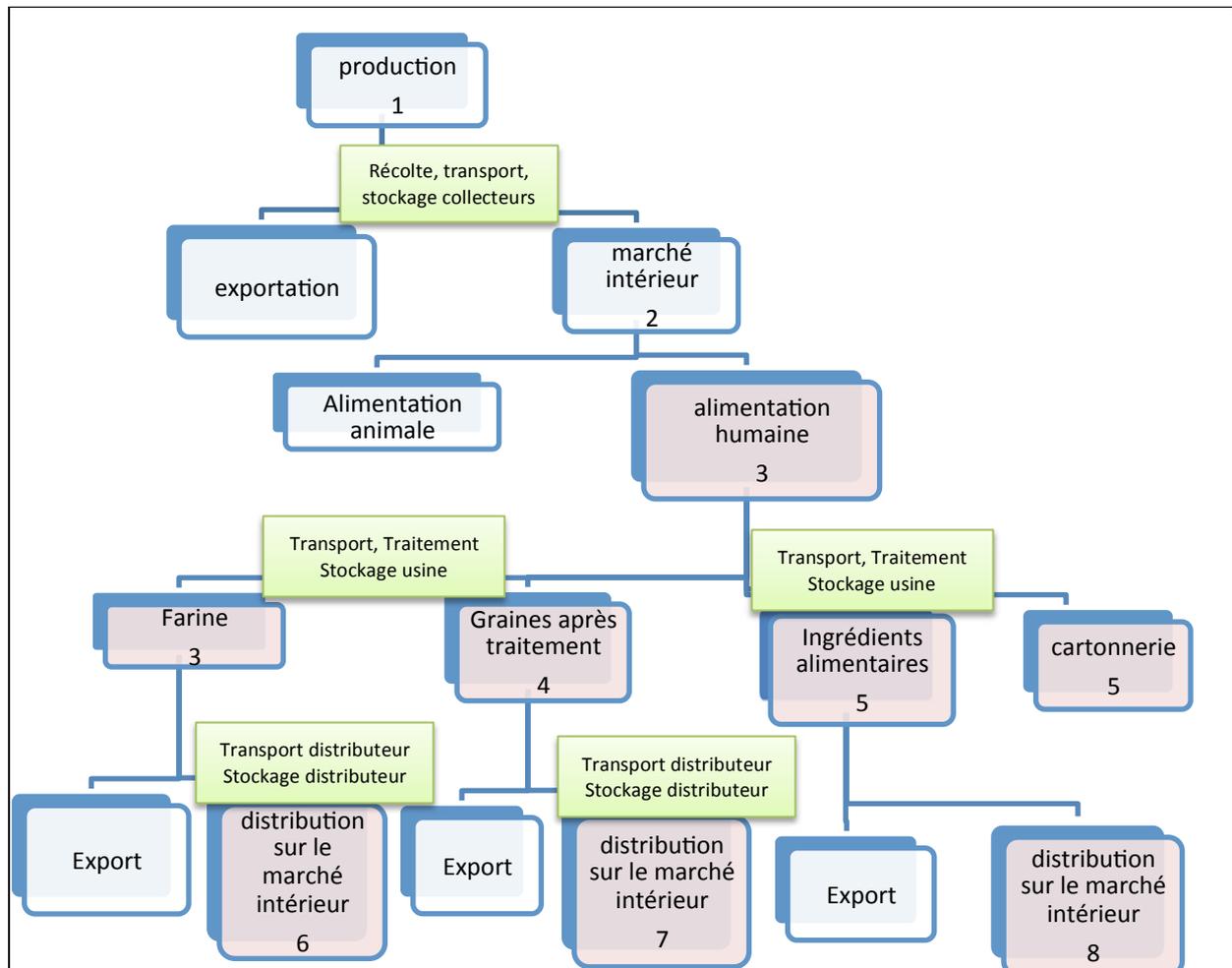


Figure 3 : Schéma simplifié des filières protéagineuses. La problématique des pertes ici analysée ne concerne que les filières destinées à l'alimentation humaine. Elles surviennent lors d'opérations visualisées par les cases intermédiaires (en vert)

Les repousses de plantules issues de ces graines demeurées sur le terrain sont riches en azote (N majoritairement issu de la fixation symbiotique) et elles sont enfouies avant le semis de la culture suivante pour servir d'engrais vert.

Les protéagineux sont des espèces de grandes cultures plutôt récentes qui ont connu des investissements de recherche en sélection, agronomie, équipements et homologation de produits phytosanitaires ou de lutte biologique relativement faibles. Différents leviers ont été combinés pour réduire les pertes à la récolte et il existe encore une marge de progrès par :

3.3.1 Les variétés :

La sélection a visé des architectures du couvert végétal adaptées à la récolte mécanique, mais des progrès variétaux sont encore possibles en combinant :

- Une réduction du risque de verse (féveroles à tiges courtes et croissance semi-déterminée, pois de type afile s'attachant entre plantes avec plantes hautes mais peu versantes comme dans le cas de variétés récentes de pois de printemps),
- Un premier nœud noué assez haut pour passer au-dessus de la barre de coupe,
- Des précocités adaptées au calendrier de récolte et climat des différentes zones et différents systèmes de culture,
- Une maturation homogène des gousses sur la plante et des plantes dans la parcelle
- Des gousses indéhiscentes moins propices à l'égrenage (il reste encore une sensibilité en cas de forte grêle),
- Des graines de taille moyenne (pas trop grosses pour limiter les problèmes techniques au semis; pas trop petites pour ne pas amoindrir une composante importante du rendement ni amplifier la proportion de téguments par rapport aux amandes), aux téguments assez résistants pour réduire les risques de brisures.

3.3.2 Le choix des conduites :

- Test du potentiel infectieux des sols par *Aphanomyces* préalable au semis du pois
- Préparation du sol
- Densité de semis, fertilisation
- Contrôle des adventices et des ravageurs
- Utilisation de régulateurs croissance ou défoliants à condition que les matières actives utilisées soient acceptables au plan environnemental et sanitaire
- Choix de la date de récolte : en incitant les agriculteurs à récolter en priorité le pois dès qu'il est mûr (avant le blé ou le colza dont la récolte est souvent privilégiée)
- Le choix des heures de récolte, en considérant aussi la possibilité de récolter des graines plus humides (taux d'humidité de 14%, avec ainsi moins de pertes par casse des graines) et à condition de les sécher ensuite.

3.3.3 Le choix et le réglage des équipements de récolte qui doivent être adaptés le plus finement possible au couvert végétal, aux tailles de graine et conditions d'humidité :

- Souvent conçus au départ pour des céréales, puis réadaptés aux protéagineux, ils sont de plus en plus performants avec des modalités de réglage automatiques selon les conditions d'humidité.

3.2 Les étapes de transport, nettoyage et stockage sont bien maîtrisées et ne s'accompagnent pas de fortes pertes

Il y a un peu de pertes de grains cassés lors des opérations de tri et de nettoyage qui peuvent atteindre jusqu'à 1 à 2 % des volumes récoltés, ce qui correspondrait à environ 5 000 t. Elles sont une conséquence de l'étape précédente de récolte, si celle-ci a causé de la casse de graines. L'élimination d'une grande partie de ces brisures avant stockage ou expédition est techniquement assez facile. Les graines étant sèches, elles se conservent bien au cours du stockage. Notons que si les bruches sont mal maîtrisées en cours de culture, des problèmes peuvent intervenir au stockage, nécessitant des traitements insecticides en silo.

3.3 Les cahiers des charges de l'alimentation humaine

De rares lots initialement destinés à l'alimentation humaine sont parfois déclarés inappropriés. Le tri des lots se fait au départ en fonction du cahier des charges de l'acheteur, principalement sur la qualité visuelle selon des critères exprimés par les acheteurs (couleurs de graine, niveau d'attaques par des insectes parasites, teneur en protéines, mélange d'espèces, etc.).

| Critères | Seuil |
|---|--|
| Humidité Insectes vivants | 14 % (maxi 15 %) 0 |
| Blé et autres sources de gluten | 0.1 % (très strict) |
| Grains cassés et splittés Grains autres que jaunes | 5 % (souple) 2 % |
| Impuretés minérales et autres graines Grains bruchés, germés, tachés extérieurement Grains moisiss | 2 % 3 % 0.2 % |
| Mycotoxines de stockage (aflatoxines et ochratoxines) Métaux lourds (Pb, As, Cd...) Résidus (screening GC-MS sur 85 matières actives) | Normes européennes |
| Protéines | Pas de seuil mais système de bonification envisagé à court terme par les industriels |

Figure 4 : Exemple de critères de qualité et seuils de rejets pour les lots de pois jaunes destinés à la fabrication d'ingrédients (B. Carrouée, UNIP/Terres Univia, 2014). NB : les principaux critères recherchés (propriétés fonctionnelles, goût, valeur alimentaire) sont considérés comme invariants, liés à l'espèce.

Ainsi, différents scénarios réorienteront certains lots destinés à l'alimentation humaine vers l'alimentation animale :

- **Tri des lots par l'organisme stockeur à la réception et livraison d'un produit *a priori* aux normes demandées par l'industriel** (cas le plus fréquent). L'organisme stockeur constitue des lots pour répondre à un cahier des charges. Pour la féverole, le taux de livraisons réorientées vers l'alimentation animale peut être important à cause du taux de grains bruchés ou de la couleur ; en pois jaune, le taux de déclassement est en général plus faible, principalement résultant de mélanges de couleur ou de la présence de grains de blé.
- **Livraison d'un lot *a priori* aux normes par un organisme stockeur qui sera rejeté par l'industriel** : les cas de refus sont alors beaucoup plus rares. Il y a eu quelques cas sur les

années récentes à cause de la présence d'insectes vivants (bruches non tuées issues de larves contenues dans les graines récoltées).

- **Contrat direct entre un agriculteur et un industriel / conditionneur** : c'est souvent le cas pour les pois verts pour la casserie. En pois vert, les cas de déclassement pour décoloration sont fréquents, et cela se fait sur la base du diagnostic d'un échantillon avant la livraison.

A notre connaissance, la teneur en protéine n'a jamais jusqu'à présent constitué un critère de déclassement ou de différenciation des prix (mais ce mécanisme est envisagé à court terme par l'industrie des ingrédients). Le critère de teneur en vicine et convicine chez la féverole (composés de la graine responsables d'un risque de la maladie de favisme chez des humains porteurs d'une sensibilité génétique ; 300 000 personnes en France portent une mutation conférant cette sensibilité) ne fait pas l'objet de refus, ni de valorisation particulière. Des variétés à teneur faible en vicine-convicine ont été récemment inscrites avec un bon niveau de productivité. Cette cible variétale est aujourd'hui privilégiée par l'ensemble des sélectionneurs européens et canadiens.

Il n'y a presque jamais eu de problèmes de qualité sanitaire avec les protéagineux qui ne sont pas sensibles aux mycotoxines de champ (un lot en 2007 avec la zéaralénone et un lot en 2008 à cause de mycotoxines de stockage).

Les Ets Roquette ont développé le label « sans gluten » sur des produits issus de pois qui impose un critère très exigeant sur l'absence de grains de blé dans les lots récoltés (rigueur nécessaire depuis la parcelle jusqu'au produit final, pour éviter un mélange accidentel).

Dans tous les cas, un lot initialement destiné à l'alimentation humaine et refusé est ensuite valorisé en alimentation animale ce qui selon la définition de notre étude ne constitue pas une perte alimentaire. La polyvalence de ces graines permet que la valorisation en alimentation animale fasse partie d'un processus normal de production et de segmentation du marché dans cette filière, avec des différentiels de prix faibles pour le pois, plus élevés pour la féverole ou les autres légumes secs. Dans les rares lots de pois détectés avec mycotoxines, les taux sont suffisamment bas pour ne pas poser de problème en alimentation animale après dilution par d'autres constituants de l'aliment (dans ce secteur, les normes s'appliquent à l'aliment composé et non pas à la matière première).

Un meilleur contrôle des bruches, en culture et en silo, et un tri plus fin des graines (trieurs optiques à haut débit) constitueraient des voies d'amélioration majeures pour augmenter la fréquence des lots valorisables en alimentation humaine.

4.4 Fractionnement de première transformation : peu de pertes

Les fractionnements de première transformation aboutissent à des co-produits protéines-amidons-fibres-autres toujours associés au souci de valorisation optimale en alimentation humaine et en minimisant les pertes.

Le fractionnement des matières premières constitue une étape décisive pour leur valorisation dans le domaine alimentaire. Il met en œuvre des procédés utilisant la voie sèche (décorticage, mouture, etc) ou humide (extraction, séparation, précipitation) pour obtenir des fractions végétales (farine) ou des produits à base de protéines végétales (concentrats, isolats) qui constituent les produits intermédiaires utilisés par la seconde transformation pour la fabrication d'aliments (Figure 5).

La première étape du processus de fractionnement (constituant la voie sèche) consiste en un dépelliculage des graines, puis un broyage conduisant à une farine qui peut être raffinée par un procédé de turboséparation pour obtenir un concentrat. Les farines obtenues après broyage ont une concentration en protéines d'environ 55 % (sur la base du poids sec), alors que pour les concentrats le taux est compris entre 65 et 80 %. La fraction complémentaire est quant à elle exploitée pour sa richesse en amidons et en fibres.

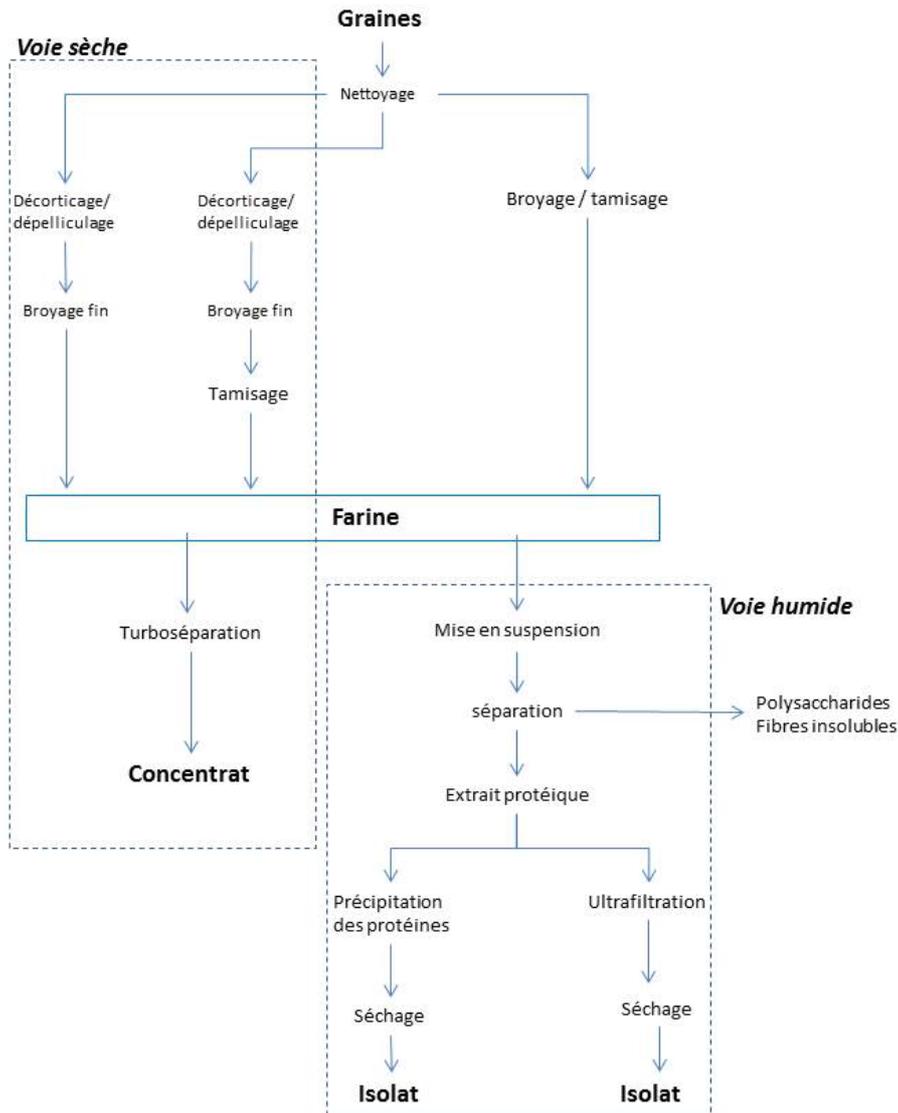


Figure 5 : Schéma de fractionnement des ingrédients de graines de légumineuses par voie sèche ou humide, (D'après Gehin et al., 2010).

A partir des farines, un fractionnement par voie liquide peut être mise en œuvre. Outre une séparation de l'amidon, il permet d'obtenir soit par précipitation, soit par ultrafiltration des isolats possédant des teneurs en protéines d'environ 90 %. Le fractionnement par voie liquide génère des effluents qui sont particulièrement chargés en glucides solubles après décantation. Ces boues sont réutilisées comme fertilisants. Certains industriels envisagent des possibilités de récupération de ces sucres solubles. Sur une hypothèse de 30 000 t de graines fractionnées par voie humide, on estime que l'on pourrait ainsi gagner 10 % de la fraction glucidique travaillée, soit environ 1000 t de glucides solubles à l'échelle française.

Nous n'avons pas identifié de fraction actuellement écartée de l'alimentation humaine et qui pourrait y être mieux valorisée.

A l'issue du dépellucage, le son de pois représente 10-15 % de la masse du produit brut récolté et le son de féverole plutôt 15-20 %. Ces parois sont parfois exclues de certaines préparations pour l'alimentation humaine car elles peuvent participer aux risques de flatulence. Ces co-produits sont le

plus souvent vendus en aliment pour lapins ou autres animaux. Certains industriels introduisent par ailleurs des pellicules micronisées de graines de pois à fleurs blanches (zéro-tanins) comme ingrédient pour enrichissement en fibres de préparations (exemple de certains yaourts...). Selon leur composition et les débouchés potentiels, diverses utilisations existent pour ces co-produits issus du dépelliculage. Selon la définition de l'étude, les sons orientés vers l'alimentation animale ne sont pas considérés comme faisant partie des pertes alimentaires même si à terme les applications en alimentation humaine peuvent davantage intéresser les industriels.

Indépendamment de ces voies de fractionnement, les graines destinées aux marchés des pois cassés ou farines de fèves (environ 20 000 t) sont dépelliculées et génèrent aussi des sons.

4.5 Pas de grandes pertes chez les distributeurs

Les produits issus de protéagineux sont des produits secs, stabilisés sur un pas de temps assez long. Il y a à cette étape deux types de risques résultant en pertes alimentaires :

- Si les bruches n'ont pas été bien détruites au stockage et que des adultes sortent des graines après mise en sachet (mais cet événement est très rare pour les pois et féverole récoltés en France),
- Le risque de décoloration des graines vertes (pour le pois) qui est fréquent et parfois rapide après mise en sachet translucide. On suppose que les sachets de pois cassés verts très décolorés sont éliminés et pas forcément recyclés en alimentaire, même si ils n'ont rien perdu de leur valeur nutritionnelle.

Même si les pertes à cette étape apparaissent quantitativement négligeables, il y a probablement intérêt à bien gérer l'adéquation des volumes offre/consommation chez les distributeurs, à limiter l'ensachage en sachets translucides et à mieux régler les dates limites de conservation pour réduire les risques de péremption.

5. Bilan global

Sur l'hypothèse de 370 000 t de protéagineux destinées à l'alimentation humaine (export + marché intérieur), les quantités écartées de la filière alimentation humaine approcheraient 27 000 t, représentant environ 7 % de la production, et surtout situées aux étapes de récolte et de tri au stockage. Considérant que 5000 t issues du nettoyage au stockage partent en alimentation animale, les vraies pertes situées à la récolte seraient donc de **22 000 t** (soit 6% de la production) auxquelles s'ajoutent 1000 t de glucides solubles issues du fractionnement par voie liquide (voir Tableau 1).

De gros efforts ont déjà été réalisés en sélection (architecture de la plante mieux adaptée à la récolte mécanique). Il reste des marges de progrès en combinant les leviers variétés x systèmes de culture x conduites x équipements de récolte (cf partie 5.1). A titre de comparaison, nous rappelons que les volumes espérés issus de ces progrès sont estimés par le groupe d'expert de cette étude à **60 000 t** (voir paragraphe 2).

Tableau 1 : Bilan des fractions écartées de la filière alimentation humaine sur un total de 370 000 t de production française de protéagineux destinés à l'alimentation humaine (marché intérieur et exportation).

| Etapes | Disponible | Fractions écartées | Devenir | Co-Produits |
|---|------------|--|-------------------------|-----------------------------|
| Récolte | 370 000 t | 22 000 t (6%) (pertes) | Repousses engrais-verts | |
| Tri-stockage | 348 000 t | 5 000 t (1.5%) | Alimentation animale | |
| 1 ^{ère} transformation-fractionnement par voie liquide | | 1 000 t de glucides solubles (pertes) | Fertilisants | Amidons pour la cartonnerie |

Tableau 2 : Bilans français en termes de constituants majeurs et de valeur énergétique, sur la production et des pertes en graines protéagineuses destinées à l'alimentation humaine.

| En tonne | Eau | Protéines | Amidons | Sucres | Parois | Matière grasse | Energie Brute (Giga cal) |
|---|--------|-----------|---------|--------|--------|----------------|--------------------------|
| Production récoltée et destinée à l'alimentation humaine 370 000 t | 50 701 | 84 337 | 155 749 | 18 500 | 50 535 | 3 827 | 1 410 000 |
| Pertes à la récolte 22 000 t | 3 042 | 5 060 | 9 345 | 1 110 | 3 032 | 230 | 84 000 |

6. Discussion

6.1 Les limites de l'étude

Un certain nombre de points sont à approfondir pour cerner de manière plus précise et exhaustive les pertes alimentaires. Il est notamment nécessaire de :

- Enquêter auprès de nouveaux grands industriels transformateurs de pois, féverole, lupins, pour capter leur expertise et références sur les pertes alimentaires.
- Conduire une analyse similaire sur les légumes secs, haricots et lentilles, non pris en compte dans cette étude. Pour ces espèces offrant la possibilité de filières à l'échelle de territoires, il faudra comparer les risques de pertes entre circuits longs et courts.

6.2 Des leviers existants pour réduire les pertes

On a vu que les pertes se situent essentiellement à la récolte. Des leviers existent d'ores et déjà pour les réduire : il s'agit notamment d'utiliser des variétés et conduites réduisant les risques de verse, d'améliorer la précision des outils de récolte, de maintenir par la sélection une taille de graine moyenne limitant la proportion de téguments, d'améliorer la protection à l'égard des insectes parasites des graines, d'améliorer les techniques de récolte et le tri des graines, et enfin de mieux extraire les glucides solubles des effluents du fractionnement par voie humide. Ces améliorations requièrent des actions de recherche et développement en agronomie, protection et génétique, ainsi que des éléments de technicité au niveau des producteurs et des transformateurs.

Relativement à d'autres filières, la petite taille actuelle de celle des protéagineux orientés vers l'alimentation humaine conduit à de petits volumes de pertes et gaspillages. Les marges de progrès proposées dans cette analyse pourront avoir davantage d'impacts, corrélés positivement avec l'accroissement des volumes produits qui est appelé par de nouveaux modes d'alimentation durable et par les besoins d'atténuation du changement climatique.

6.3 Des recherches pour aller plus loin

Pour limiter plus encore les pertes à la récolte, il conviendrait de développer les recherches (i) en amélioration génétique (architecture des plantes pour réduire la verse, optimiser le port des gousses et la taille des graines en relation avec les outils de récolte, réduire le risque de casse des gousses et graines), (ii) en physiologie et agronomie (architecture du couvert) en lien avec une évolution technologique du matériel de récolte (exemple des barres de coupe flexibles). Plus en aval, on pourrait également investir dans les technologies de tri des graines à la récolte (trieurs optiques qui permettraient d'éliminer les grains bruchés ou tachés pour les rendre conformes aux marchés de l'alimentation humaine).

Un défi majeur est celui de l'augmentation des surfaces et volumes de production de ces graines pour un débouché en alimentation humaine (Schneider et al., 2015). Au-delà des actions qui pourront augmenter et stabiliser les rendements et améliorer la qualité sanitaire des graines (i) une amélioration génétique et agronomique de la valeur nutritionnelle et santé (protéines, fibres, composés bioactifs), (ii) de nouvelles technologies de fractionnement et transformation apportant de la valeur ajoutée et (iii) une information/éducation des consommateurs et plus globalement une organisation de filière, pourront amplifier ces productions et usages.

6.4 Les principales marges de progrès pour cette filière : augmenter et stabiliser le rendement, améliorer la digestibilité des graines

Bien qu'en amont du périmètre des pertes alimentaires, il faut insister sur le fait que le problème majeur pour cette filière se situe au niveau de la production. En effet, des rendements faibles expliqués par une sensibilité à divers stress biotiques et surtout abiotiques doivent impérativement être augmentés et stabilisés. Les leviers de progrès majeurs pour cela sont de combiner la voie génétique et la voie agronomique pour une protection efficace à l'égard des stress majeurs susceptibles de pénaliser les rendements et altérer la qualité des graines récoltées : stress hydrique, insectes parasites des plantes (sitones, pucerons) ou des graines (bruches), maladies à champignons (ascochytose) et oomycètes (aphanomyces) phytopathogènes.

6.5 Une vision encore plus élargie des pertes ou des opportunités manquées de valorisation ?

Des pertes existent aussi chez le consommateur, sous forme de produits non-consommés (restes de repas, etc.). Mais on pourrait considérer aussi comme « perte » des phénomènes de mauvaise utilisation digestive des produits consommés. La consommation de ces graines riches en protéines par l'homme pourrait être amplifiée et permettre ainsi une diminution de la consommation de produits carnés. La digestibilité des graines et fractions de graines de légumineuses est souvent inférieure à celle du grain de blé, notamment du fait de parois cellulaires résistantes au broyage lors de la fabrication de farines et de la présence d'alpha-galactosides mal utilisés dans l'intestin et causes de flatulences. Par voie génétique ou de transformation, on peut envisager une réduction de ces pertes digestives. La digestibilité pourrait en effet être améliorée par :

- Une adaptation de la composition des graines qui peut varier selon les variétés, les espèces et les conduites culturales : composition en fractions protéiques, acides aminés, amidons et fibres, taille des cellules des graines et épaisseur des parois des cellules cotylédonaire.
- Les traitements technologiques (finesse de broyage, extrusion, cuisson, fermentation).
- Les combinaisons de matières premières dans les aliments ou les régimes (exemple de l'intérêt du mélange pois-blé dur avec des effets positifs sur la valeur nutritionnelle du produit en mélange formulé sous forme de pâte alimentaire...).

Après cette étude sur les pertes et gaspillage de la récolte à la distribution, il nous semble au final que pour cette filière, les plus grandes marges de progrès se situent davantage de part et d'autre, c'est-à-dire (i) au stade de la production, car le potentiel de production n'est pas atteint aujourd'hui et (ii) au niveau de la consommation car la quantité de ces produits dans les régimes et l'utilisation digestive de ces graines pourraient être grandement amplifiées.

Relativement à d'autres filières, et compte-tenu de la faible utilisation actuelle des protéagineux en alimentation humaine, les volumes de pertes sont faibles. Les marges de progrès proposées dans cette analyse auront davantage d'impact dans la perspective d'un accroissement de la filière qui est actuellement appelé par de nouveaux modes d'alimentation durable et par les besoins d'atténuation du changement climatique.

Références Bibliographiques :

Gueguen J., Duc G. (coord.), Boutin J.P., Dronne Y., Munier-Jolain N., Sève B., Tivoli B., 2008. La filière protéagineuse. Quels défis ? Editions Quae.147pp

Champ M., 2002. Non-nutrient bioactive substances of pulses. Brit. J. Nut. Suppl 3, S307-S319.

Coudurier B., Georget M., Guyomard H., Peyraud J.L., (sous la direction de), 2013. Vers des agricultures à hautes performances, Volume 4. Analyse des voies de progrès en agriculture conventionnelle par orientation productive). <http://www6.inra.fr/groupe-filieres/Expertises-multifilieres/Agriculture-a-hautes-performances>

Gehin B., Gueguen J., Bassot P., Seger A., 2010. Répondre aux besoins spécifiques de qualité pour augmenter l'utilisation des légumineuses en transformation industrielle. Innovations Agronomiques 11,115 -127

Groupe filière protéagineux INRA, 2012. L'avenir des légumineuses dans l'alimentation humaine, <https://www6.inra.fr/groupe-filieres/Filieres-Vegetales/Filiere-Proteagineux/Activites-du-groupe/Rencontres-2010-2012/Workshop-L-avenir-des-legumineuses-dans-l-alimentation-humaine>

Schneider A., Huyghe C. (coord.), 2015. Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables. Quae eds. 473pp. ISBN 978-2-7592-2334-3

Taylor C., Buckley J., Champ M., Patterson C.A, (Eds) 2012. The nutritional value and health benefits of pulses for obesity, diabetes, heart disease and cancer. Brit. J. Nut. 108, supplement 1, 165 pp. Supplement Eds ISSN 0007-1145

Voisin A.S., Guéguen J., Huyghe C., Jeuffroy M.H., Magrini M.B., Meynard J.M., Mougél C., Pellerin S., Pelzer E., 2014. Legumes for feed, food, biomaterials and bioenergy in Europe: a review. Agronomy for Sustainable Development 34, 361-380.

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)