

Diversité pour une multiplicité de territoires et d'usages

Diversité de la composition en acides aminés des protéines

La qualité des protéines pour la nutrition humaine peut être caractérisée par sa composition en acides aminés (AA).

Pour différentes tranches d'âge, un profil d'AA est recommandé [21]. La qualité des protéines dépend aussi de la biodisponibilité des AA, en particulier de leur digestibilité. Quand la composition relative en AA est corrigée par leur digestibilité, il est possible de déterminer les AA indispensables alors disponibles pour la synthèse des protéines après leur absorption intestinale. Le ratio DIAA (Digestible Indispensable AA) indique pour chaque AA si son niveau est supérieur ou inférieur aux besoins, le ratio le plus bas parmi les 9 ratio d'AA indispensables définissant le DIAAS (DIAA Score, [22]). Les DIAAS des protéines de plantes sont souvent inférieurs à 1 [23] parce que la plupart d'entre elles présentent au moins un AA limitant. La lysine est l'AA le plus limitant parmi les protéines végétales provenant de céréales mais aussi de fruits à coque ou d'oléagineux. Les légumineuses présentent généralement des déficiences moindres, la méthionine étant l'AA le plus limitant, mais d'autres AA sont parfois en faible quantité, comme par exemple, valine, leucine et isoleucine pour la féverole. Quelques protéines de plantes ne présentent pas ou peu de déficiences. C'est le cas des protéines de colza, de pomme de terre, du quinoa, de pois et du soja, bien que les données varient selon la matrice (les isolats de protéines étant plus digestibles que les graines, par exemple) et le profil d'AA recommandé (enfants entre 0,5 et 3 ans par exemple).

Si le profil de composition en AA est un facteur clé de l'équilibre nutritionnel, la plupart des protéines végétales ne sont pas consommées pures mais au sein de matrices transformées qui en affectent la biodisponibilité et déterminent l'attractivité pour le consommateur. Des facteurs comme le goût, la texture, la facilité d'utilisation, la couleur, la présence de galactosides générateurs de flatulences sont bien plus déterminants sur le comportement d'achat que les considérations d'équilibre nutritionnel. La valorisation en circuits courts par un tissu de PME territoriales sera probablement le plus à même de promouvoir les améliorations variétales et développer la segmentation du marché pour créer de la valeur en portant des innovations de niche d'un bout à l'autre de la filière. Cette approche est à la fois complémentaire et concurrente de celle qui consiste à produire des ingrédients plus purifiés, transformés tels que les isolats et les concentrats.

Diversité au niveau de chaque espèce

Les protéines du grain sont essentiellement stockées dans les tissus de réserve. Thomas Burr Osborne (1859 – 1929) a posé les bases de la biochimie des protéines végétales et défini une classification

basée sur leur solubilité dans différents solvants sur laquelle reposent les procédés d'extraction encore utilisés de nos jours.

On distingue ainsi 4 classes de protéines : les albumines solubles dans l'eau, les globulines solubles en milieu salin et majoritaires dans les graines de légumineuses, les prolamines solubles dans une solution alcoolique et les glutélines solubles en conditions alcalines. Ces deux dernières sont majoritaires dans les céréales [6]. Chez le blé, les gliadines et les gluténines constituent les protéines de réserve (PR) du grain et sont capables de s'agréger après hydratation et pétrissage pour former le réseau de gluten à l'origine des qualités technologiques des pâtes. Elles sont aussi à l'origine d'allergie, de la maladie cœliaque et pourraient être impliquées dans l'hypersensibilité au gluten. Chacun de ces groupes de protéines est encore subdivisé en plusieurs fractions protéiques. Pour les protéines du grain, on distingue donc la teneur en protéines totales du grain et sa composition, c'est-à-dire la contribution de chaque classe de protéines. Il existe plusieurs niveaux de variations pour ces deux caractères :

- le niveau interspécifiques avec par exemple les espèces de légumineuses qui ont des teneurs en protéines plus élevées que les céréales.
- le niveau de l'espèce avec des variétés qui ont des teneurs et des compositions différentes en PR.

Les protéines sont produites par des gènes qui sont régulés notamment au niveau transcriptionnel. Leur synthèse dépend de facteurs génétiques, ce qui rend possible l'action du sélectionneur, mais aussi de facteurs environnementaux (disponibilité en azote et en soufre qui influencent fortement la teneur et la composition en protéines totales du grain, stress hydrique, stress thermique...).

La capacité des légumes secs à offrir une haute teneur en protéines en absence de fertilisation azotée les rend particulièrement attractifs en tant que source de protéines végétales, contribuant simultanément aux transitions agroécologique et nutritionnelle. La sélection variétale chez les légumineuses a eu pour objectif d'éliminer certains composés antinutritionnels ou nocifs des graines, par exemple des inhibiteurs de trypsine en pois [24], tannins ou vicine/convicine chez la féverole [25, 26]. La biosynthèse de saponines qui contribue à l'amertume des protéines extraites des graines de légumes secs a récemment été inhibée dans des lignées obtenues par mutagenèse aléatoire chez le pois [27]. Cette collection de lignées permet d'accéder à de nouveaux allèles notamment pour l'amélioration des propriétés organoleptiques des variétés.

Cependant, des progrès restent à faire concernant la quantité et la qualité nutritionnelle des protéines de légumes secs. Il existe de grandes variations intra- et inter-spécifiques quant à la teneur en fractions protéiques, allant de 16 à 32 % chez le pois, 18 à 32 % chez la lentille,

22 à 38 % chez la féverole et 26 à 57 % chez le soja [28]. Ces grandes variations au sein de chaque espèce ouvrent la voie à l'amélioration de la teneur en protéines, sans diminuer le rendement. Contrairement à ce qui est observé chez les céréales (Fig. 2), la corrélation négative entre teneur en protéines et rendement en grain est très faible, voire nulle [29, 30]. Toutefois, la corrélation entre ces deux caractères varie avec l'environnement et le fond génétique [31]. Les locus et les régions des génomes qui contrôlent la teneur en protéines ont été identifiés chez le pois et le soja [31-33]. Ces locus peuvent être utilisés pour améliorer la teneur en protéines.

La nécessité d'étudier la qualité des protéines de légumes secs apparaît de plus en plus clairement, en particulier pour les besoins en AA indispensables de l'Homme. La quantité de protéines issues de légumes secs à consommer pour couvrir les besoins quotidiens d'un adulte pour chaque AA indispensables est donnée par Leinonen et al. [34]. Elle suggère que cet équilibre peut être atteint en augmentant de 30 % la proportion d'AA soufrés (AA-S). La variabilité génétique pour la quantité d'AA-S dans les légumes secs [35,36] peut être exploitée pour en comprendre les bases génétiques utilisables en sélection comme cela a été fait chez le soja [32, 37].

Les gènes contrôlant la synthèse des protéines de réserve plus ou moins riches en AA indispensables figurent parmi les gènes candidats à considérer pour améliorer l'équilibre entre AA. Chez le pois, les variations de la composition en PR entre génotypes [38-40] a été exploitée pour identifier les régions du génome qui contrôlent ce caractère [41]. La légumineuse modèle *Medicago truncatula*, dont le génome présente une bonne synténie avec celui du pois [42], a été utilisée pour proposer des gènes candidats à ces locus [43]. Parmi eux, se trouvent des régulateurs potentiels de la synthèse des globulines [43], dont le facteur de transcription ABA Insensitive 5 (ABI5) qui contrôle la synthèse de globuline 7S chez le haricot [44,45]. Chez le pois, des mutations dans le gène ABI5 réduisent significativement le taux de globulines 7S de type viciline [43], qui sont pauvres en AA-S et moins avantageuses que les globulines 11S pour la formation d'émulsions [46]. Des travaux sont encore nécessaires pour identifier les réseaux de gènes contrôlant la composition en AA et en protéines des graines et pouvoir ainsi proposer une combinaison d'allèles pour l'amélioration des variétés de légumes secs à haute valeur protéique. Les techniques de génotypage à haut débit permettent d'accélérer la découverte de marqueurs génétiques utilisables en sélection [42]. Des millions de polymorphismes de séquence peuvent être utilisés dans des études d'association à l'échelle du génome pour rechercher les locus responsables des variations de la qualité des graines. L'identification des gènes causaux est facilitée par la connaissance de la séquence d'un génome de référence pour les espèces étudiées, comme le pois et le soja [47,48]. Une telle approche a été utilisée chez le soja où des gènes candidats pour améliorer la teneur en méthionine des graines ont été identifiés [37].

Les produits à base de soja qui passent par la formation de suspensions colloïdales (tonyu) représentent la majeure partie des usages alimentaires du soja en France : ils sont à l'origine d'une consommation de 45 000 tonnes de graines par an [49]. Une enquête réalisée par Terres Inovia auprès des¹³ principaux industriels de cette filière a fait ressortir un certain nombre d'attentes en matière de qualité des graines. L'acceptabilité organoleptique est un facteur critique. Aucun lot, si intéressant fût-il ne pouvant être utilisé s'il ne passe pas le test sensoriel. Cette qualité est indissociable d'un procédé de fabrication, les flaveurs négatives résultant en grande partie de la dégradation oxydative des matières grasses de la graine par la lipoxigénase (LOX), enzyme clé de la voie de dégradation oxydative des lipides. Cette voie de la LOX conduit notamment à des aldéhydes tel l'hexanal, responsables d'odeurs « herbacée » ou « verte » [50, 51]. Elle est traditionnellement inactivée par chauffage mais ces traitements ont pour effet indésirable de réduire la solubilité des protéines [52-54]. Les saponines du groupe A entièrement acétylées situées généralement au niveau de l'hypocotyle sont la principale cause d'amertume et astringence indésirables dans les aliments à base de soja. Le degré d'acétylation affecte l'intensité des caractéristiques indésirables de ces produits, telles que le goût amer, l'astringence et la saveur de haricot vert [55-57].

Les rendements de production tonyu / okara¹⁴ dépendent, outre de la teneur en protéines des graines, du rapport entre les globulines 11S et 7S [58]. Ce rapport 11S/7S est également important pour la formation de tofu (tonyu caillé), le tofu riche en 11S étant plus ferme et retenant mieux l'eau [59]. La présence d'isoflavones, aux propriétés phytoœstrogènes donc perturbateurs endocriniens, est également un sujet de préoccupation des industriels. Un rapport de l'AFSSA¹⁵ de 2005 recommande une dose journalière limite de 1 mg/j/kg qui semble atteinte par certains des consommateurs ayant remplacé les produits laitiers par la famille des dérivés de soja¹⁶. Les isoflavones jouant un rôle dans la nodulation [60], il reste possible qu'en réduire la teneur dans les graines puisse induire des effets négatifs sur la vigueur végétative de la plante. Les lectines et les facteurs antitrypsiques semblent peu préoccupants pour cette filière.

Pour les céréales, améliorer la concentration en protéines sans diminuer le rendement est difficile. De plus, la synthèse de protéines dépend fortement de la fertilisation azotée. Cependant, des études récentes ont permis d'identifier chez les blés un locus qui augmente la concentration en protéines sans diminuer le rendement. Ce locus, en jouant sur la senescence des plantes, améliore la remobilisation d'éléments nutritifs comme l'azote, le fer et le zinc des feuilles vers le grain. Le locus porte le gène *NAMB1* qui code pour un facteur de transcription [61]. En termes de qualité nutritionnelle, les protéines de céréales sont toutes pauvres en lysine [62]. Riz, orge et blé sont bien pourvus en AA-S ce qui n'est pas le cas du maïs. Comme chez les légumineuses, il est donc nécessaire de travailler

13 Tonyu : « jus » obtenu par broyage de graines de soja dans l'eau puis centrifugation

14 Okara : partie solide résiduelle après centrifugation lors de la préparation du tonyu ou lait de soja

15 <https://www.anses.fr/fr/system/files/NUT-Ra-Phytoestrogenes.pdf>

16 <https://www.quechoisir.org/action-ufc-que-choisir-perturbateurs-endocriniens-dans-les-produits-a-base-de-soja-l-ufc-que-choisir-sait-l-anses-et-la-dgccrf-n66983/>

sur la qualité des protéines. Des travaux de génétique ont été réalisés pour corriger la carence en lysine des céréales, mettant à profit la variabilité génétique. Par exemple chez le blé, la teneur en lysine varie de 0,36 à 0,51 mg pour 100 g de farine complète et cette teneur est plus élevée chez des blés diploïdes ou tétraploïdes [63]. Des études de mutants riches en lysine ont montré le rôle de certains facteurs de transcription impliqués dans la synthèse de PR, comme Opaque2 chez le maïs ou PBF chez l'orge et le blé [64]. Des mutations rendant ces facteurs de transcription non fonctionnels génèrent des génotypes avec moins de PR dans lesquels on observe une augmentation d'autres protéines riches en lysine [63,65,66]. D'autres approches basées sur la transgénèse ont été utilisées chez les céréales et aussi chez les dicotylédones pour augmenter la concentration en lysine. Deux cibles ont été visées :

1 les enzymes de la voie de biosynthèse de la lysine, par exemple, l'enzyme catalysant la première étape de cette voie connue comme étant peu active notamment chez le maïs et inhibée par la lysine elle-même. Frizzi et al. [67] ont multiplié par 40 la concentration en lysine des grains de maïs transformés pour l'expression de plusieurs enzymes de la voie de biosynthèse ;

2 la surexpression de protéines riches en lysine.

Enfin, tous les outils nécessaires (marqueurs, séquence d'un génome de référence) étant disponibles chez la plupart des céréales, des approches de génétique d'association à l'échelle du génome peuvent également être réalisées pour déterminer les régions chromosomiques, voire les gènes, impliqués dans la concentration en lysine (ou tout autre caractère). Pour conduire à des résultats fiables, ces études nécessitent de travailler avec des effectifs importants (> 200 individus). Leur limite est donc généralement le phénotypage du caractère étudié.

Les tourteaux d'oléagineux (colza, soja et tournesol) qui sont habituellement destinés à l'alimentation animale représentent un gisement potentiel de protéines concentrées pour l'alimentation humaine. Ces tourteaux pourraient servir de base à la fabrication d'ingrédients riches en protéines permettant d'accompagner légumes et céréales pour équilibrer les apports en AA.

Actuellement peu d'utilisations de ce type sont recensées. On trouve sur le marché des protéines de soja texturées par extrusion après dégraissage mécanique et qui sont incorporées dans des préparations humides pour apporter une texture proche de celle de hachés de viande [68]. L'inconvénient de ces produits est qu'ils restent assez riches en lipides oxydables, en isoflavones et en oligosaccharides. Des traitements complémentaires seraient nécessaires pour en réduire la concentration.

Les tourteaux d'oléagineux issus du procédé conventionnel présentent une qualité insuffisante pour un usage en alimentation humaine. Plusieurs facteurs interviennent dans cette inadaptation.

• La première en est la dégradation thermique des protéines qui intervient lors de l'étape de désolvantation des tourteaux au cours de laquelle le produit est exposé à des températures de l'ordre de 105°C pendant plusieurs dizaines de minutes [69]. Il en résulte un brunissement non enzymatique, la perte d'une partie de la lysine dans le colza (15-20 %), une réduction de la digestibilité des protéines liée à la formation de complexes avec les phytates et les fibres ainsi que la formation de flaveurs toastés a priori peu attractives [70].

• Une autre caractéristique indésirable est la présence des enveloppes ligneuses des graines (colza et tournesol), produit non comestible et responsable de texture désagréable.

Le colza contient aussi plusieurs substances indésirables responsables d'astringence (tannins), d'amertume (dérivés des glucosinolates, sinapine et polyphénols), de mauvaise odeur et d'activité antinutritionnelle (goitrine). En conséquence, la protéine de colza requiert un assez haut niveau de purification pour être utilisée sans problèmes en alimentation humaine et ne semble pas une cible pour les transformations simples [69]. Cependant une usine de production de protéines de colza pour l'alimentation qui devrait être opérationnelle en 2022 avec un procédé nouveau, a ouvert à Dieppe¹⁷. En termes d'amélioration génétique, il n'existe pas de route simple pour améliorer significativement les perspectives dans ce domaine tant les traits à introduire sont nombreux. Un programme de sélection soutenu par la filière française met l'accent sur l'amélioration de la teneur en protéines des colzas d'hiver au détriment de la richesse en fibres et en lignine (Terres Univia, 2020)¹⁸. En revanche, les teneurs en glucosinolates stagnent depuis plus d'une décennie. Les sélectionneurs éprouvent des difficultés à améliorer les traits en lien avec la productivité et la résistance aux agresseurs de la plante, tout en réduisant les glucosinolates de la graine.

Le tournesol en revanche ne contient pas de facteurs antinutritionnels. Cependant deux points limitent son intérêt :

1 Il serait nécessaire de décortiquer les akènes complètement puis d'éliminer autant que possible l'huile par extraction mécanique. Or la première étape est actuellement impossible à réaliser avec des rendements de production corrects. En effet l'augmentation des teneurs en huile dans les hybrides commerciaux a été atteinte en modifiant une composition des akènes privilégiant une réduction de la proportion du péricarpe par rapport à celle de l'embryon [71]. Un effet secondaire est que ces akènes sont beaucoup plus résistants au décortiquage, notamment du fait de phénomènes d'adhérence entre coque et amandes. Il existe des variations importantes d'aptitude au décortiquage au sein des cultivars [72] qui pourraient être exploitées pour limiter l'adhérence.

2 Le tournesol noircit pendant la trituration à cause de phénomènes d'oxydation de l'acide chlorogénique [73]. Ce phénomène naturel n'a a priori pas d'effets indésirables sur la qualité nutritionnelle.

Un déshuilage mécanique peut réduire la teneur en huile résiduelle à moins de 7 % et le tourteau contenir plus

17 <https://www.saipol.com/actualites/avril-et-dsm-finalisent-leur-partenariat-pour-lancer-en-france-le-developpement-de-la-protéine-de-colza-a-partir-du-site-industriel-saipol-de-dieppe/>

18 <https://www.terresunivia.fr/decouvrir-terres-univia/actualites/un-tourteau-de-colza-plus-riche-en-protéines-afin-de-repondre-aux>

de 50 % de protéines. La farine ainsi obtenue pourrait s'employer texturée ou telle-quelle pour être incorporée dans de nombreuses préparations pourvu qu'une couleur blanche ne soit pas recherchée. Ce produit est proposé dans les filières « agriculture biologique » en Allemagne¹⁹. Une version plus concentrée et délipidée par CO₂ super-critique est également disponible laquelle présente une coloration moins prononcée.

Notons le développement de la culture du chanvre pour la consommation de ses graines en alimentation humaine ou pour l'extraction de protéines²⁰.

Multiplicité des génotypes (G), des environnements (E), des pratiques culturales (P) et interactions (GxExP)

Les stress abiotiques, qu'ils soient climatiques (élévation de la concentration atmosphérique en CO₂, sécheresse, fortes températures...) ou nutritionnels (carences en azote ou en soufre) influencent fortement l'accumulation et la composition des protéines de la graine chez les espèces cultivées [40,74-78].

Par exemple, chez le soja, le stress hydrique affecte la quantité de protéines par graine, sans toutefois diminuer la concentration en protéines car l'huile est aussi fortement diminuée [79]. Le déficit hydrique entraînant la fermeture des stomates réduit la photosynthèse et donc l'accumulation de l'amidon, en particulier chez le blé. Il accélère la sénescence des feuilles et donc la remobilisation de l'azote des feuilles vers les grains. Selon l'intensité, la durée et autres caractéristiques des stress ressentis par la plante, la concentration en protéines du grain peut parfois se trouver augmentée [80]. Des interactions significatives génotype*environnement ont été observées pour la teneur en protéines chez diverses espèces : soja [81], lentille [82], pois [31] et blé [83]. Comprendre les bases génétiques de ces interactions renseignerait sur les gènes contribuant à la plasticité phénotypique, c'est-à-dire la capacité d'un génotype à changer son phénotype selon des paramètres de l'environnement. Une étude conduite chez *Medicago truncatula* suggère que la plasticité des globulines en réponse à l'environnement repose sur l'aptitude de la plante à recycler la méthionine [84]. Comparées à d'autres stress abiotiques, les carences en soufre ont un fort impact négatif sur la composition en protéines des graines puisqu'elles diminuent massivement la proportion de protéines riches en AA-S [77,78,85]. Chez le blé, la modification de composition en PR dépend de l'équilibre entre fertilisations azotée et soufrée [86,87]. Chez cette espèce, la diminution en AA-S modifie non seulement la qualité nutritionnelle des graines, mais aussi leur aptitude à la panification [88]. Des gènes candidats pour la réponse des graines en cours de développement aux carences en soufre ont été identifiés à l'aide d'approches « omiques » chez le blé et le pois [85,86,89,90]. De plus, Cartelier et al. [84] montrent qu'un de ces gènes candidats code une homocystéine S-méthyltransferase3 (HMT-3), qui régénère de la méthionine à partir de S-méthylméthionine, et contribue à l'accumulation de globulines 11S, même en

condition de carence en soufre. Des résultats similaires ont été rapportés chez le blé [87]. Un apport adéquat en soufre augmente le rendement en grains et le rendement en protéines du grain grâce à une amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'azote. De plus, le rôle d'une HMT (HMT-1) dont l'expression est régulée par un facteur de transcription myb lui-même contrôlé par la disponibilité en soufre est rapporté. Un apport adéquat en soufre conduit à une surexpression des gènes codant le facteur myb et la HMT-1, ce qui favorise la biosynthèse de la thréonine et de la glycine qui favoriseront à leur tour la synthèse des gluténines [87].

Cependant la littérature est limitée quant aux déterminants génétiques et moléculaires de la plasticité de la composition en protéines des graines. Une meilleure connaissance de ces déterminismes permettrait de réduire l'impact des variations de l'environnement : un effort de recherche serait bienvenu dans cette direction. Par ailleurs, dans le contexte de la transition agroécologique, il est essentiel d'évaluer l'impact des pratiques de culture minimisant les intrants sur la composition et la qualité des protéines de graines et de déterminer comment les cultures en association et leur diversification contribuent à cette qualité.

Diversité des territoires et des systèmes de culture

Dans les années 2005-2010, des travaux basés sur des essais multi-partenariaux mettent en lumière l'intérêt des associations blé (tendre ou dur) / légumineuses (pois protéagineux, pois chiche) sur la quantité et la qualité de la récolte [91].

En effet, la légumineuse s'alimente en azote essentiellement grâce à ses nodosités qui fixent l'azote atmosphérique. Un blé cultivé en association avec une légumineuse a un nombre d'épis et de grains/m² réduit par rapport à une monoculture, mais son rendement en grains n'est que peu diminué (le rendement de la parcelle est même supérieur si l'on considère la double récolte blé + pois). On observe aussi une augmentation du taux de protéines du blé sans utilisation supplémentaire d'azote minéral. En effet, le fonctionnement azoté de la parcelle est amélioré car du fait de la concurrence au niveau racinaire, la légumineuse a une activité de fixation symbiotique de l'azote accrue alors que le blé dispose de plus de ressources en raison de sa plus faible densité.

Dans une moindre mesure, les mélanges de variétés peuvent également conférer des avantages en termes de composition protéique. Ainsi, chez le blé tendre, les travaux effectués dans le cadre du projet Wheatamix [92,93] ont montré que si les mélanges de variétés permettaient un gain de rendement modeste, ils pouvaient contribuer à améliorer la qualité de panification (Gauffreteau, communication personnelle), et effacer les défauts d'un composé du mélange.

En pratique, les associations ne présentent pas que des avantages, et demandent à être intégrées dans des rotations. L'équilibre entre les cultures associées est difficile à

19 <https://www.all-organic-treasures.com/food/heliaflor/sunflowerprotein-application.html>

20 [doi:10.3390/nu12071935](https://doi.org/10.3390/nu12071935)

gérer car elles sont en concurrence, et les proportions d'espèces récoltées peuvent être très variables entre deux années ou deux sites. Des méta-analyses récentes montrent des gains de rendement de l'ordre de 20 % dans ces associations interspécifiques, par comparaison aux cultures pures [91,94,95]. Les céréales étant généralement plus compétitives que les légumineuses vis-à-vis des adventices, elles permettent généralement un meilleur contrôle que la culture pure de légumineuses. Enfin, la pression des maladies et des adventices est généralement diminuée. La concordance des précocités dans la maturité des grains de blé et de légumineuses pour la récolte est difficile à gérer et le tri des grains après moisson représente une contrainte. Ainsi, malgré l'intérêt de ces pratiques, celles-ci sont très peu mises en œuvre, mais sont en forte progression actuellement comme observé en agriculture durable, grâce notamment à des projets qui ont promu leur développement (H2020 ReMIX²¹, Diversify, et Mobidiv²² par exemple).

L'adoption des cultures associées céréale/légumineuse, notamment avec la lentille, repose sur plusieurs raisons :

- La demande du marché : on observe une demande forte pour des lentilles d'origine France, produites en « circuit

court », de préférence en culture biologique, avec un prix rémunérateur déconnecté du cours mondial.

- La levée d'un verrou technologique : la plupart des organismes de collecte sont maintenant équipés de trieurs optiques de grande capacité utilisés pour la séparation des grains céréale/légumineuse.
- Une évolution des coopératives et négoces, même de petite taille, vers l'aval des filières : malgré les contraintes logistiques administratives et commerciales que cela comporte, des filières de diversification allant jusqu'au consommateur ont été créées pour répercuter la valeur ajoutée sur les producteurs.
- Un changement complet de vision des producteurs quant à la technique d'association : imaginée au départ par le monde de la recherche pour la céréale en tant que culture principale, c'est la lentille qui devient rémunératrice. Les effets bénéfiques de l'association pour la lentille sont observés : la céréale joue le rôle de « tuteur » ce qui facilite la récolte, elle occupe l'espace donc diminue la pression d'adventices. La rentabilité de la production est conditionnée par la réussite de la lentille, et le blé récolté constitue un complément de revenu.



© David Alvarez

21 <https://www.remix-intercrops.eu/>

22 <https://plant-teams.org/> <https://www6.inrae.fr/mobidiv/>