

D'un congrès colza à l'autre : quelles recherches pour quels enjeux, Une relecture du congrès de Saskatoon 2015 dans la perspective de Berlin 2019[☆]

Etienne Pilorgé^{1,*}, Francis Flénet¹, Alain Quinsac² et Xavier Pinochet¹

¹ Terres Inovia, F 78850 Thiverval-Grignon, France

² Terres Inovia, F 33600 Pessac, France

Reçu le 14 janvier 2019 – Accepté le 4 juin 2019

Résumé – Les contenus du congrès Colza de 2015, qui s'est tenu à Saskatoon, Canada, sous l'égide du GCIRC, fournissaient un état des lieux à date de la recherche-innovation sur le colza et des perspectives de développement, qui peuvent offrir une clé de lecture des évolutions qui s'exprimeront lors du 15^e congrès Colza, à Berlin, Allemagne, en juin 2019, dans un contexte marqué à la fois par l'émergence de nouvelles technologies et par les évolutions de la demande des marchés et des sociétés.

Mots clés : colza / canola / procédés / protéines / génétique / production durable

Abstract – **From one rapeseed congress to another: what research for which issues, A review of the Saskatoon 2015 conference in the perspective of Berlin 2019.** The contents of the 2015 Rapeseed Convention, held in Saskatoon, Canada, under the auspices of GCIRC, provided an up-to-date review of rapeseed research and innovation and development perspectives, which may key to understanding the evolutions that will be expressed during the 15th Colza Congress, in Berlin, Germany, in June 2019, in a context marked both by the emergence of new technologies and by changes in market and societal demand (le texte complet en anglais est disponible sur <https://www.ocl-journal.org/10.1051/ocl/2019026>).

Keywords: rapeseed / canola / process / protein / genetics / sustainable production

1 Introduction

Tous les quatre ans, le monde de la Recherche – Innovation sur le colza et le canola se donne rendez-vous sous l'égide du GCIRC (Groupe Consultatif International de Recherche sur le Colza) pour faire le point sur les avancées des recherches et les enjeux du secteur. Les contenus du congrès de 2015, qui s'est tenu à Saskatoon, Canada, peuvent-ils nous donner quelques clés de lecture des dynamiques de recherche-innovation qui seront présentées à Berlin en juin 2019 ?

Le « *14th International Rapeseed Congress* » a accueilli 853 participants de 31 pays. Outre la forte présence du pays organisateur, les principales délégations provenaient de Chine, d'Allemagne, des USA, d'Inde, de France, d'Australie, de Grande Bretagne.

[☆] Contribution to the Topical Issue "Rapeseed / Colza"

*Correspondance : e.pilorge@terresinovia.fr

Co-organisé par Ag-West Bio Inc. (Saskatchewan's Bioscience Industry Association, www.agwest.sk.ca) et le Canola Council of Canada (www.canolacouncil.org), le congrès a permis le croisement des enjeux sectoriels et des dynamiques de recherche, dans une perspective très centrée sur le progrès permis par les acquis de connaissances et les innovations technologiques en réponse aux besoins des marchés et des consommateurs, aux réglementations internationales, aux problématiques environnementales.

Outre les 5 présentations en session plénière et les 35 présentations orales en *Keynotes*, le Congrès a été le cadre de 498 communications sur 5 thématiques : 175 présentations sur la génétique, la génomique et la sélection (44 orales et 131 posters), 124 sur la protection des cultures, les stress biotiques, et la biologie des ennemis des cultures (40 orales, 84 posters), 72 sur l'analyse des graines, les procédés de transformation et les débouchés, (28 orales, 44 posters), 113 sur l'agronomie, les stress abiotiques et les impacts environnementaux (25 orales, 88 posters), 14 sur l'économie, les politiques et les échanges commerciaux (10 orales, 4 posters).

Neuf workshops hors programme ont également été organisés en marge du congrès sur des sujets très actifs en

termes de recherche et/ou correspondant à de forts enjeux, à savoir : « *Leptosphaeria* », « *Brassica carinata* », « Technologies émergentes », « Protection intégrée IPM », « Rhizosphère et microbiome », « Réseaux d'évaluation variétale », « Santé des pollinisateurs », et « Protéines de colza ».

2 Au carrefour des enjeux de marché et de durabilité de la production, le progrès génétique dans le jeu des controverses sociétales et réglementaires

Peter Philips (Université du Saskatchewan) constatait dans sa *Keynote* que le canola est une culture « de designer », pour laquelle l'innovation a été basée sur la science, génétique particulièrement : après les double zéro, le colza a fait partie de la première vague de cultures génétiquement modifiées, tolérants aux herbicides (HT), suivie des variétés pour de nouvelles huiles à profils d'acides gras modifiés, puis en 3^e génération viendraient les cultures à usages pharmaceutiques (PMP, Plant-Made Pharmaceutical).

La connaissance de la génétique du colza et des espèces apparentées et l'amélioration génétique ont représenté près de 30 % des communications et fait état de plusieurs avancées majeures, à commencer par la publication en 2014 de la séquence de référence du génome du colza (Chalhoub *et al.*, 2014)¹.

En matière d'exploration des génomes, une dizaine de communications ont porté sur la génétique d'association pangénomique (GWAS, Genome Wide Association Studies) et traduisent à la fois les efforts faits pour aller au-delà des séquences de référence, obtenir des cartes denses en marqueurs SNP (présentation orale des travaux du NRC Canadien et Dow Agrosciences par S.M.H. Rizvi), et le souci de valoriser les acquis. Les équipes publiques chinoises (H. Wang, CAAS Wuhan), allemandes (Rod Snowdon, Université de Giessen) et canadiennes (Isobel Perkin, Agriculture and Agrifood Canada) sont très présentes sur ces approches, ainsi que certaines sociétés privées (Dow AgroScience devenu Corteva, par exemple).

Le phénotypage a été une fois de plus montré comme facteur limitant de l'exploitation des génomes.

Des démarches similaires se sont développées dans plusieurs pays : X. Pinochet a présenté un état du projet français PHENOME et de son application pour la recherche de colzas adaptés à des disponibilités limitées en azote (projet RAPSODYN), José Jimenez-Berni faisait état en Australie de 2 sites en conditions contrôlées comparables aux sites français, et du développement d'un engin de phénotypage au champ tout comme en France. En Allemagne, l'institut Jülich a également

équipé un site en conditions contrôlées et investi sur les automates de manipulation des pots. C. Bissuel a par ailleurs présenté une méthode de culture du colza en conditions contrôlées permettant de faciliter l'évaluation de l'efficacité de l'azote : cette méthode utilisable pour le phénotypage faciliterait grandement la caractérisation des différents organes de la plante, en particulier le système racinaire.

Près d'une douzaine de communications ont porté sur l'obtention des hybrides, de la caractérisation de groupes hétérotiques pour optimiser l'hétérosis à des bilans de résultats pour les hybrides demi-nains par exemple. Les travaux sur les systèmes d'hybridation continuaient en Chine, avec 2 nouvelles stérilités mâles cytoplasmiques, dont une sensible à la température, et même une communication sur l'auto-incompatibilité.

La déhiscence des siliques (*pod shattering*) reste aussi un sujet très travaillé, notamment en Inde et en Chine, où le problème reste crucial sur *Brassica juncea* en particulier. Les équipes chinoises (J. Liu *et al.*, Chinese Academy of Agricultural Science, Wuhan)¹ ont identifié un nouveau QTL majeur sur A6 et confirment les résultats antérieurs sur A9. Les chercheurs canadiens ont également recherché des QTLs sur du matériel à graines jaunes craignant des effets liés à des introgressions de *B. rapa* et *B. carinata* (S. Vail, AAFC). Les QTL sont très spécifiques des environnements, ne semblent pas liés aux introgressions et ne se situent pas sur les groupes de liaison identifiés par les équipes chinoises.

Un Workshop spécifique a été consacré aux technologies émergentes, à l'occasion duquel a été soulignée la montée en puissance rapide des technologies d'ingénierie génétique CRISPR CAS9, découvertes en 2012, et l'abandon de technologies plus anciennes de mutagenèse ciblée TALEN ou des enzymes de restriction Zn Finger.

Les potentialités de cette nouvelle technologie apparaîtront pleinement lors du congrès de 2019, et mériteront certainement une mise en perspective dont plusieurs interventions de 2014 peuvent fournir des éléments. On observait en effet plusieurs tendances contraires à la valorisation des applications des biotechnologies.

P. Phillips (Univ. Saskatchewan) faisait une évaluation très positive des canolas résistants aux herbicides au Canada, depuis les premières innovations des années 90, qui ont permis d'augmenter les rendements mais aussi induit des changements profonds dans les systèmes de culture (systèmes intensifs sans travail du sol). Fin 2013, ces variétés représentaient environ 95 % du canola au Canada, les surfaces de la culture étant passées de 3,6 Mha en 2002 à plus de 8 Mha en 2014. Selon Phillips, les producteurs ayant adopté les canola GM ont en effet engrangé une série de gains économiques : les systèmes sans labour sont passés de 11 % des surfaces en 1999 à 65 % actuellement, entraînant une baisse des coûts de travail du sol de 72 %. En tenant compte des gains sur les cultures suivantes, les bénéfices sont estimés entre 350 et 400 millions de Can\$ par an. Ces éléments étaient confirmés par Maurice Delage, agriculteur du Saskatchewan qui mettait en avant deux avancées déterminantes de la performance de la culture du canola : la tolérance aux herbicides, qui lui a permis depuis 20 ans de pratiquer le travail du sol simplifié en un passage, et le développement d'hybrides avec de très bons potentiels et une tolérance aux stress améliorée. Phil Mc Donald de la Canadian inspection

¹ Les références suivantes « [Chalhoub *et al.*, 2014; J. Liu *et al.*; Rogiewicz *et al.*; Quinsac *et al.*; Kaushik *et al.*; Strelkov, Gossen *et al.*; G. Shi-xing *et al.*; Z. Huang *et al.*; Y. Liu *et al.*; Harker *et al.*; Génard *et al.*; Mikic *et al.*; Stahl *et al.*; Rudloff et Becker; Bouchereau *et al.*; Bouchet *et al.*; Niu *et al.*; Sorin *et al.*; Faralli *et al.*; Lemke *et al.*; Rübiger *et al.*; Dauguet *et al.*] » correspondent à des communications effectuées lors du Congrès Colza de 2015 et sont disponibles dans le « Book of Abstracts » du congrès sur www.gcirc.org.

Food Agency précisait que 95 % des canolas canadiens étaient résistants aux herbicides, le système Roundup Ready représentant 65 % des surfaces, le Liberty Link 20 % et le Clearfield 18 %. Le Canada venait par ailleurs d'autoriser deux nouvelles variétés tolérantes aux herbicides obtenues par mutagenèse et plusieurs dossiers de variétés cisgéniques étaient en cours d'examen. Ces succès présentent toutefois des fragilités : côté adventices, si 95 % des agriculteurs jugent que le contrôle a été amélioré, 76 % font état de problèmes de résistances. Les rotations courtes ont aussi contribué à l'apparition de résistances des adventices aux herbicides (N. Harker, *Keynote*). Parmi les trois solutions de désherbage utilisées au Canada (Clearfield®, Liberty Link® et Round-up Ready®), seul le glufosinate (Liberty Link®) ne présentait pas encore de résistances. En revanche, de nombreuses espèces présentent des résistances à l'imidazolinone (Clearfield®) et certaines au glyphosate (Round-up®).

P. Phillips considérait toutefois que si dans le passé la technologie a généré de la valeur, à l'avenir les impacts d'autres éléments de contexte seront plus déterminants : les évolutions dans les avantages comparatifs dans les relations commerciales, les systèmes de réglementations, les évolutions dans les systèmes industriels génératrices de doutes. Par exemple, les adoptions partielles (25 % des pays acceptant les OGM pour l'usage alimentaire, mais 12 % au niveau environnemental) heurtent les consommateurs comme les innovateurs et les complexités réglementaires accroissent les délais alors que les possibilités de mise en marché diminuent.

Ces aspects réglementaires persistent aujourd'hui, les approches Nord-Américaine et Européennes reposant sur des fondamentaux différents. Phil Mc Donald de la Canadian Inspection Food Agency (*Keynote*) a expliqué le cadre réglementaire canadien pour les biotechnologies mis en place en 1993, basé sur le produit. Le premier critère pris en compte est l'aspect « nouveau » du produit et l'évaluation repose sur les concepts de familiarité et d'équivalence substantielle, en référence à un « témoin familial ». Ce qui est considéré comme fondamental est l'aspect nouveau des caractères introduits et la génération possible d'un risque, et non pas le fait qu'il s'agisse d'OGM ou non (au contraire de l'Europe).

S. Yarrow et C. Moran, de la « trade association » Crop Life Canada, ont exposé les incidences pratiques des réglementations en matière de biotechs : on comptait 28 pays utilisant les biotechnologies au champ. Le manque de synchronisation des autorisations est source de problèmes pour les exportateurs dans la mesure où les systèmes de manutention en vrac n'ont pas été conçus pour séparer des variétés, or minimiser l'imprévisibilité devient une clé pour accéder au marché. Au final, les développeurs de biotechnologies hésitent à homologuer les « traits » au Canada (qui est un exportateur majeur, donc source de problèmes potentiels), ce qui a tendance à freiner l'innovation. L'industrie appelait donc à une politique internationale sur les présences à faible niveau. Les industriels concernés se sont rassemblés dans la Global Alliance for Agricultural Biotech Trade, et les pays exportateurs dans la Global Low Level Presence Initiative pour faire reconnaître que la faible présence est une question de conformité et non une question sanitaire et redéfinir le « zéro » pour éliminer les refus commerciaux liés à la simple détection.

D'autres aspects réglementaires peuvent handicaper l'amélioration du colza, à l'autre bout de la chaîne de

valeur : celui des ressources génétiques et de la création variétale. Petra Jorash, de l'association des semenciers allemands, a évoqué la question des politiques de propriété intellectuelle, sur le constat de départ que la propriété intellectuelle est l'un des 3 piliers de l'innovation génétique avec la technologie et l'accès à la diversité génétique. La législation européenne permet de breveter un trait ou une technique mais pas une variété, à l'inverse de la législation US. En fait, il y a un optimum pour le niveau de protection en deçà et au-delà duquel l'innovation se trouve freinée. Alors que la Protection des obtentions végétales (POV) protège une combinaison unique, le brevet permet de protéger les composants de la combinaison : les brevets restreindraient l'accès à la diversité génétique, en comparaison de la POV.

Les développements qui venaient d'avoir lieu au niveau de l'office européen des brevets montraient des incohérences. Dans un cas de jurisprudence, les procédés de croisements et de sélection, qui sont de nature biologique, n'étaient pas brevetables, au contraire des techniques de transformation génétique et de mutagenèse. Dans un second cas, les plantes étaient considérées comme le résultat des croisements et de la sélection, et les « native traits », produits issus de ces procédés, considérés comme brevetables... En 2015, 30 % des demandes de brevets comportaient des revendications de « native traits », tant en agriculture qu'en horticulture. La multiplication des brevets restreindrait l'accès aux ressources génétiques : il faut trouver un équilibre entre protection et accès.

Petra Jorash a également exposé les différences en matière de ressources génétiques des systèmes CBD Nagoya (Convention sur la Diversité Biologique/protocole de Nagoya) et ITPGRGA (International Treaty on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture). Notamment en matière de champ d'application et d'exceptions pour les sélectionneurs. Nagoya se réfère à toutes les ressources végétales, alors que l'ITPGRGA ne prend en compte qu'un certain nombre d'espèces et de cultures pour l'alimentation humaine et animale, Nagoya impose des descriptions beaucoup plus précises. Là encore, les enjeux pour l'accès aux ressources génétiques sont prégnants.

En termes de perspectives, ces éléments concernant le domaine de la génétique portent des questions à plusieurs niveaux.

Tout d'abord, les gains économiques observés au Canada découlant de l'introduction des OGM résistants aux herbicides interrogent sur les différentiels de compétitivité au niveau de la production entre zones géographiques liés à l'adoption ou non des innovations dès lors que le marché de consommation reste libre et ouvert, ce qui est resté le cas dominant jusqu'à présent pour la plupart des traits de transformation génétique. Sachant que le caractère libre et ouvert du marché reste lié à des autorisations spécifiques à chaque trait et crée des incertitudes au niveau commercial en cas de contaminations accidentelles.

À l'avenir, les technologies d'ingénierie génétique CRISPR Cas9 promettent une accélération notable du progrès génétique sur une gamme de caractéristiques élargie bien au-delà des résistances aux herbicides. Des travaux sont en effet en cours sur l'efficacité de l'azote ou de l'eau, des critères nutritionnels, etc... L'évolution des réglementations en Europe notamment sera déterminante pour l'évolution de la compétitivité économique relative du colza dans des différents pays à la fois au niveau de la production, comme ces dernières

décennies, mais aussi au niveau du marché sur des critères qualitatifs. Or, la tendance actuelle sous la pression des opinions est d'être de plus en plus restrictive, comme le montrent les jugements de la Cour Européenne de Justice de juillet 2018 sur les variétés issues de mutagénèse, qui posent la question de l'obsolescence de la directive 2001-18 au regard de la progression des connaissances scientifiques et des technologies.

L'utilisation massive des herbicides à large spectre ou totaux, avec l'adoption des techniques de non-labour, en Amérique du Nord avec les OGM résistants aux herbicides, mais aussi en Europe où les mêmes molécules sont utilisées en intercultures, ont induit des transformations structurelles des systèmes de production. L'affaiblissement de ces techniques, en cas de montée en puissance des populations d'adventices résistantes, ou leur disparition du fait d'évolutions réglementaires comme cela se profile en Europe pour le glyphosate, interrogent les agronomes quant à la durabilité technique de ces systèmes, les accompagnements, les alternatives et évolutions à envisager. Le monde du colza a aussi un besoin accru d'agronomie systémique.

Enfin, les éléments portant sur l'accès aux ressources génétiques seront déterminants pour les dynamiques de création variétale, que ce soit du fait de l'évolution des réglementations et jurisprudences en matière de protection des obtentions végétales, de brevetabilité du vivant et ou des accords sur les transferts internationaux. Là aussi, le sujet dépasse le seul colza.

3 Les débouchés de demain : les procédés en première ligne

À l'autre extrémité de la chaîne de valeur se pose la question de l'avenir des débouchés du colza. F. Isermeyer (*Keynote*) a présenté une analyse des tendances et perspectives globales pour le colza en soulignant les développements impressionnants observés ces dernières années pour les productions d'huile de palme et de soja et les principales caractéristiques du commerce international : le soja et ses produits font l'objet d'un commerce beaucoup plus développé que le colza, une des raisons principales étant l'attitude de l'Europe, fortement présente en position d'importateur de soja, mais consommant sur place l'essentiel de son colza, notamment pour le biodiesel. Le soja est beaucoup plus tiré par les usages alimentaires que le colza. Les perspectives FAO prévoient une forte demande en alimentation humaine et animale, alors que le développement récent du colza a largement reposé sur le biodiesel, tiré par des politiques publiques dont l'avenir est en question. F. Isermeyer remarquait que peu d'économistes avaient tenté d'évaluer la corrélation entre « prix du pétrole et prix du colza », mais que dans la mesure où les biocarburants resteront toujours quantitativement très faibles vis-à-vis du pétrole, des prix de pétrole élevés entraîneront une hausse des prix des biocarburants. L'ère des énergies fossiles risquant de se prolonger y compris avec le charbon, les politiques publiques réinterviendront probablement sur les aspects gaz à effet de serre. Il considère qu'à long terme, les biocarburants ont peu de chances de trouver une place dans le mix énergétique, et qu'à moyen terme, ils dépendent de politiques protectrices. Si ces

mesures venaient à disparaître, l'Europe devrait devenir exportatrice de colza sur des marchés très concurrentiels que les pays déjà exportateurs ont l'avantage de bien maîtriser. Les bioénergies devraient jouer le rôle d'instrument stabilisateur des prix du marché alimentaire. F. Isermeyer résume la situation par les éléments suivants :

- l'expansion du colza est en ligne avec celles du soja et du palme ;
- le soja et le palme dominent les échanges commerciaux ;
- au niveau des usages, il y a eu un fort développement des bioénergies ;
- les perspectives sont celles de forts besoins en alimentation humaine et animale ;
- le développement du marché biocarburants est peu probable ;
- en termes de croissance des rendements, le palme est supérieur au colza lui-même supérieur au soja ;
- enfin, le tourteau de colza reste faible vis-à-vis du tourteau de soja. Si le soja est porté par les protéines, cela provoquera une pression sur les prix des huiles.

F. Isermeyer concluait que la fraction protéique du colza méritait donc plus d'attention et que la réflexion devrait porter sur la segmentation des marchés. Cette conclusion rejoignait celles de la prospective par scénarios des huiles et protéines végétales 2030 présentée par E. Pilorgé (Pilorgé et Muel, 2016) : à long terme l'alimentation reste la base de compétitivité du colza, et l'attention doit être maintenue sur l'huile alimentaire et les protéines pour l'alimentation animale, voire humaine. La fraction huile reste en question et une partie du développement côté huile devrait passer par l'oléochimie (probablement plus génératrice de valeur ajoutée que les biocarburants), du fait de l'abondance prévisible de l'huile de palme.

Les interventions sur le thème « Chimie, procédés et utilisations » ont montré une recherche active tant sur l'amélioration de la compétitivité sur les débouchés traditionnels que pour d'autres plus prospectifs, les évolutions du contexte étant assez bien prises en compte, avec une forte mise sur la fraction protéique, beaucoup plus illustrée dans ce congrès que la fraction huile.

3.1 Du côté des protéines : tourteaux en marchés de masse et explorations nouvelles

L'amélioration du tourteau de colza reste la clé de la compétitivité sur le débouché de masse de l'alimentation animale, et passe tant par la génétique que par l'amélioration des procédés industriels.

Un tour d'horizon de la valorisation actuelle et future du tourteau de Canola (TC) en alimentation animale a été fait par D. Hickling. Le débouché le plus important en Amérique du Nord est constitué par les ruminants et en particulier par les vaches laitières en Californie. Le TC favorise davantage la production de lait que le tourteau de soja, et les raisons en seraient le niveau d'ingestion supérieur, la proportion importante de protéines non dégradées dans le rumen, et la stimulation de l'activité de celui-ci. Selon D. Hickling, les valeurs nutritionnelles du TC devraient être réévaluées. Une méta-analyse montre que dans le TC, le niveau des protéines

non dégradées par le rumen n'est pas relié au traitement thermique du tourteau (*toasting*).

Sur le même sujet, divers travaux français similaires pour l'utilisation du tourteau de colza sur ruminants ont été présentés : une réévaluation de la valeur azotée et de sa prédiction par P. Chapoutot (AgroParisTech, France), la mesure de l'impact sur la qualité du lait et des fromages de chèvres (C. Hurtaud, INRA-Agrocampus, France) et la comparaison technico-économique des tourteaux de colza et soja dans 84 élevages appariés C. Teinturier (Ch. Agric. Haute-Marne, France).

L'aquaculture en Asie est le second débouché du TC canadien selon D. Hickling. Les poissons herbivores (carpes) et omnivores (tilapias, silures) tolèrent un niveau assez élevé de facteurs antinutritionnels (FAN) tels que glucosinolates, phytates ou fibres et leur ration peuvent comporter 50 % de TC. En revanche, le TC n'entre pas dans les aliments pour poissons carnivores qui sont davantage sensibles aux FAN et qui exigent une concentration en protéines supérieure. L'utilisation du TC chez le porc et les volailles pose encore des problèmes de formulation car la digestibilité des acides aminés (AA) peut être réduite par le process et les FAN. De fait, le TC n'est pas incorporé à plus de 10 % dans les aliments pour poulets en croissance, mais il peut être incorporé à 15–20 % dans les aliments pour pondeuses (Rogiewicz *et al.*)¹.

Toujours selon D. Hickling, l'amélioration de la valeur nutritionnelle du TC requiert la diminution des FAN et l'augmentation de la teneur en protéines digestibles. Le dépelliculage avant déshuilage ou après (front- ou end-tail dehulling) ne crée finalement pas assez de plus-value pour être économiquement viable. La sélection génétique est un moyen efficace et un exemple d'amélioration a été cité avec le Canola produit par Dow AgroSciences qui donne un tourteau pauvre en fibres et proche du tourteau de soja sans perte de rendement agronomique en huile. Les autres alternatives relèvent des procédés : réduction de température pendant le process pour éviter l'insolubilisation des protéines, contrôle de la granulométrie pour améliorer la digestibilité, extraction des protéines pour l'obtention de concentrats ou d'isolats, utilisation d'enzymes.

La caractérisation des tourteaux et l'étude de leur utilisation en alimentation animale reste l'objet de travaux soutenus. Les fibres alimentaires et leur impact sur la valeur alimentaire du tourteau ont fait l'objet d'une synthèse (*Keynote*) par B. Slominski (Univ. Manitoba, Canada). Le contenu en fibres des tourteaux de colza qui est naturellement assez élevé peut encore être accru pendant le process par le recyclage des impuretés et par la réaction de Maillard qui leur associe des protéines. La réduction des fibres peut être obtenue avec les graines jaunes ou par dépelliculage. La comparaison des variétés à graines jaunes (*Brassica napus* et *B. juncea*) avec une variété conventionnelle à graines noires (*B. napus*) a été menée par M. Radfar (Univ. Manitoba, Canada) sur des poulets. Les teneurs en protéines des tourteaux préparés étaient respectivement de 43,4, 47,2 et 41,1 %. Les tourteaux de graines jaunes *B. juncea* présentaient les meilleures valeurs d'énergie métabolisable, de digestibilité des acides aminés et de performances zootechniques. Le tourteau de graines jaunes *B. napus* était intermédiaire et le tourteau de graines noires, le moins bon.

La digestibilité des protéines ou des acides aminés, qui présente un fort enjeu à la fois économique et environne-

mentale, a fait l'objet de travaux par plusieurs équipes. S.K. Jensen (Univ. Aarhus, Dk) a montré sur un pool de 30 variétés de colza d'hiver et 8 de printemps que la digestibilité des protéines de tourteau de colza était positivement reliée à la teneur totale en protéines. Ceci est expliqué par la très basse digestibilité des protéines des pellicules dont la présence dans la graine est inversement proportionnelle à la teneur en protéines. F. Schöne (TSIA, Iena, Allemagne) a étudié l'effet du *toasting* pendant la désolvantation au pilote Creol (France) et a constaté sur porcs la corrélation entre la teneur en glucosinolates et la digestibilité iléale des protéines : un traitement optimum dégradant suffisamment les glucosinolates est envisageable grâce à la supplémentation en acides aminés. D. Adewole (Univ. Manitoba) a observé sur porcs et poulets, le même effet en comparant 11 usines de trituration classiques pratiquant des traitements thermiques sensiblement différents. K. Kozłowski a constaté l'effet néfaste du chauffage sur les digestibilités iléales des AA des tourteaux déshuilés en les comparant aux tourteaux expeller non chauffés. Houdjik (SRUC, Edimbourg, UK) a confirmé cet effet et a étendu la comparaison à différentes variétés de colza en montrant que l'effet process était très supérieur à l'effet variété. Tous ces travaux montrent la difficulté à maîtriser le procédé de désolvantation-*toasting* pour réduire l'action des glucosinolates et sauvegarder la digestibilité des acides aminés.

La digestibilité du phosphore restait un sujet très peu traité malgré l'enjeu sur le niveau des rejets dans les effluents d'élevage. La seule communication (M. Vilarino, Arvalis, France) a montré l'additivité de la digestibilité du phosphore des tourteaux de colza et de drèches de céréales en formulation d'aliments pour porcs.

En matière de facteurs anti-nutritionnels, la réduction de la sinapine par voie génétique a été envisagée par C. Jung (Univ. Kiel, Allemagne) à partir de mutations : des graines avec trois fois moins de sinapine ont pu être produites en F3.

3.2 Vers de nouveaux débouchés avec l'extraction des protéines

La valorisation des protéines du colza au-delà des usages traditionnels du tourteau a été clairement posée comme un défi. Les premiers constats sont encourageants et montrent que les protéines de colza présentent un profil d'acides aminés relativement bien équilibré, que ces protéines présentent des caractéristiques fonctionnelles intéressantes et peu courantes, qu'il existe une variabilité naturelle exploitable des protéines dans le genre Brassica et des marges de manœuvre en termes de sélection pour améliorer le tourteau de colza pour l'extraction des protéines et leur disponibilité biologique. Les procédés de fractionnement des protéines du colza étudiés au pilote PPM (D-Magdeburg) ont été présentés par F. Pudel. Les conditions favorables à la préservation des protéines avant leur extraction sont identifiées : graines jaunes à faible teneur en fibres, dépelliculage, pression assistée par CO₂, désolvantation douce. Des fractions de napine et de cruciférine très pures peuvent ainsi être obtenues et pourraient être utilisées en nutrition humaine ou pour des applications techniques. Il est à signaler que la société canadienne Burcon (M. Schweitzer, Winnipeg) commercialise depuis quelques années trois produits (Supertéine, Puratéine et Nutratéine) contenant

respectivement la napine, la cruciférine et un mélange des deux. La napine riche en AA soufrés est un bon agent moussant, la cruciférine un bon émulsifiant et le mélange, bien équilibré en AA peut être utilisé en nutrition humaine. Le POS Bio Sciences (pilot plant de Saskatoon) travaille aussi sur le fractionnement des protéines de colza et des travaux sur l'isolement et l'étude des propriétés la napine (notamment la floculation) ont été présentés par J.P.D. Wanasundara (*cf.* Wanasundara *et al.*, 2016). En raison du coût élevé de l'élimination de l'eau dans les procédés d'extraction, le fractionnement par voie sèche ou en solution concentrée a été étudié par K. Rommi (VTT, Finlande). Outre les présentations en sessions, le sujet a fait l'objet d'un atelier spécifique, rapporté par L. Campbell *et al.* (2016) dans la revue *Plants*. Malgré l'intérêt de ces concentrats et isolats au niveau nutritionnel et fonctionnel, et les investissements des équipes de recherche sur les process de deux pays gros producteurs (Canada et Allemagne), le marché pour ces produits ne semblait pas encore mûr en 2015 pour que la production passe vraiment à l'échelle industrielle. Les premiers défis à relever portent sur l'analyse du marché potentiel et une meilleure compréhension des avantages compétitifs des protéines de colza. Il est toutefois noté que les tourteaux de désolvantation actuellement produits par l'industrie constituent un matériel peu efficace pour l'extraction des protéines dans des conditions économiques, ce qui pose à nouveau la question des procédés d'extraction de l'huile. Enfin, dans le contexte évolutif du paysage des produits riches en protéines, il conviendrait de considérer les protéines de colza pour leurs caractéristiques propres et non seulement dans une approche de remplacement d'ingrédients protéiques d'origine animale, rapidement limitante. Il faut toutefois noter que la « fracture OGM » entre régions du monde est susceptible de s'exprimer plus fortement sur des produits destinés à l'alimentation humaine que sur les tourteaux destinés à l'alimentation animale ou sur les huiles.

En termes de perspectives pour la fraction protéique, les ruminants restent le débouché majeur des tourteaux le plus facilement accessible. Les perspectives de croissance de l'aquaculture – liées notamment à l'appauvrissement des ressources marines et à la hausse de la consommation – sont particulièrement intéressantes pour le marché des tourteaux, mais de façon différentielle selon les parties du monde : l'aquaculture des espèces herbivores ou omnivores est avant tout le fait de l'Asie et de l'Afrique.

La poursuite de l'amélioration des tourteaux reste un défi de compétitivité à la fois pour des raisons environnementales (limitation des rejets en azote et phosphore des élevages, par l'amélioration de la digestibilité) et technico-économiques : la hausse de la teneur en protéines biologiquement disponibles, par la génétique et/ou par les procédés, est à la fois un enjeu de compétitivité sur le marché des tourteaux et un verrou économique à lever dans la perspective de développer l'extraction des protéines.

3.3 En ce qui concerne la fraction huile

Une *Keynote* de W. Loh et L. Debonte (Cargill USA) a dressé un bilan du développement des variétés à haute teneur en acide oléique à partir de 1993, qui représentait 15 % de la sole de canola canadienne entre 2010 et 2015, développement

principalement sous contrats et non concurrentiel de la sole de canola classique. Du fait des reformulations des industriels de l'agro-alimentaire et des sociétés de restauration, ce développement aurait permis de substituer annuellement près de 135 000 tonnes de gras trans et 126 000 tonnes de saturés, induisant des bénéfices santé significatifs. Toutefois ce débouché est concurrencé par les huiles de soja oléiques. Loh concluait sur l'intérêt de nouveaux types d'huiles à l'avenir pour créer de la valeur en répondant aux besoins des consommateurs et aux évolutions réglementaires.

Les composés mineurs de l'huile font également l'objet d'attention en vue de les préserver lors du process et de les développer : une méthode de détection des composés mineurs d'intérêt de l'huile (stérols, tocophérols, caroténoïdes) par HPLC-MSMS a été mise au point par C.L. Flakelar (Univ. Wagga Wagga, Australie) pour faire du screening génétique. Une calibration NIRS devrait suivre et faciliter l'évaluation des effets du process et du stockage. Les composés phénoliques (acide gallique, caféique, sinapique, ferrulique, etc.) intéressants du point de vue santé pour leurs effets anti-oxydants, sont analysés par F. Ma (OCRI, Wuhan, Chine) par extraction en phase solide avec adsorbants magnétiques et par HPLC-MS/MS. La méthode simple à mettre en œuvre et rapide permet de doser ces composés pendant le raffinage des huiles et de limiter ainsi leur dégradation.

Du côté qualité sensorielle, une contribution à l'analyse sensorielle des huiles pressées à froid vierges est apportée par B. Matthäus (Max Rubner Inst. Detmold, Allemagne) par l'analyse et l'identification par Headspace dynamique et GC-MS de 41 composés volatils dont 23 sont reliés à la qualité sensorielle de l'huile. L'analyse des composés volatils odorants de l'huile de colza par C. Liu (OCRI, Wuhan, Chine) montre qu'une majorité provient de la dégradation des glucosinolates et que le procédé d'obtention de l'huile a une grande influence sur leur composition.

En matière de qualité technologique, B. Matthäus envisage également d'améliorer les performances de friture des huiles en utilisant les effets anti-oxydants du canolol extrait du tourteau dans lequel il s'est formé lors des traitements thermiques de la trituration.

Pour la qualité sanitaire, la contamination des graines de colza par le cadmium et sa migration dans l'huile a été suivie par X. Ding (Oil Crop Research Inst., Wuhan, Chine) avec près de 600 échantillons collectés dans 11 régions à risque. Les niveaux dans les graines sont inférieurs à 0,2 ppm dans 99 % des cas (norme chinoise à 0,5 ppm) et la proportion transmise à l'huile varie de 2 à 10 %. Les auteurs concluent sur l'absence de risque même en cas de contamination des sols. Un test immunochimique rapide et sensible (0,1 ng/ml) sur bandelette pour détecter les aflatoxines B1 est également décrit par Z. Zhang (OCRI, Wuhan, Chine). Enfin, une méthode chimiométrique basée sur l'analyse de 28 acides gras permet de détecter l'adultération des huiles de colza à partir d'un niveau de 12 % (L. Zhang, OCRI). Une méthode plus sensible (seuil 10 %) est utilisée par B. Xu (OCRI) en analysant les phytostérols par GC multidimensionnelle et spectrométrie de masse à temps de vol (GC-GC-TOF/MS).

Au niveau des procédés d'extraction, des solvants alternatifs (éthanol, isopropanol) ont été comparés à l'hexane pour l'extraction de l'huile dans un process semi-continu par Quinsac *et al.*¹ (Terres Inovia). L'huile est extraite avec un bon rendement

et le tourteau produit est enrichi en protéines de près de 4 points, mais le recyclage du solvant est rendu difficile par son hygroscopie et l'accumulation de l'eau extraite de la matière traitée. Le comportement des graines de colza pendant le pressage en mode statique a été étudié par L. Bogaert (UTC, Compiègne) dans le but de modéliser cette opération et de définir les conditions optimales de prétraitement des graines. Les résultats permettent d'envisager des recherches sur le pressage dynamique pour aboutir à l'amélioration des performances des presses à vis actuelles fonctionnant en mode continu.

3.4 Vers des approches de bioraffinage du colza ?

La plupart des présentations ont été guidées par une entrée huile ou protéines. Quelques-unes se distinguent en explorant la valorisation d'autres éléments contenus dans la graine de colza. Un screening de la présence de composés bio-actifs dans le tourteau de Canola (inhibiteurs de protéases, activités anti-oxydante, anti-cancer, anti-obésité, anti diabétique, anti-hypertension) a été réalisée par S. Hussain (Charles Sturt Univ., Wagga Wagga, Australie). Les GSL extraits de la moutarde ont été testés par Kaushik *et al.*¹ (TERI, New Delhi, India) pour lutter contre la noctuelle dans le cadre du projet APROPOS (FP7/289170) dont l'objectif est la valorisation des co-produits de l'industrie du colza et du poisson (<http://www.euapropos.eu/>). L'effet bio-fumigation des glucosinolates a été testé par Y.S. Jang (Bioenergy Crop Research Inst., Muan, Rep Corée) sur nématodes en utilisant du tourteau gras.

La production de polymères biodégradables du type polyhydroxybutyrate (PHB), à partir de graines de cameline a été présentée par M. Malik (Metabolix Oilseeds Inc., Saskatoon). Un rendement de 15 % du poids de la graine a été obtenu.

On notera que les usages des huiles en biocarburants n'ont pas fait l'objet de développements lors du congrès, en dehors de l'évaluation de leurs bilans en énergie et gaz à effet de serre.

4 Durabilité de la production : des évolutions inquiétantes en protection des cultures

Pour les besoins de la pratique agricole, la production de connaissances sur la biologie des différents ennemis des cultures reste un passage obligé tant pour le développement de résistances génétiques que de solutions agronomiques.

En matière de maladies, les deux vedettes du congrès ont été le *Leptosphaeria* qui fait toujours l'objet de travaux soutenus, et la hernie des crucifères, pour laquelle on observe une montée en puissance.

Le *Leptosphaeria* a fait l'objet de 40 communications, et a connu une extension en Chine, qui n'était pas concernée jusqu'à un passé récent. Les recherches sont orientées d'une part vers les effecteurs à partir de séquençages RNA seq, et vers l'état des lieux des populations caractérisées par leurs profils de virulences. Ce type d'études menées en France dans la décennie 2000 s'est multiplié en Europe ainsi qu'au Canada. On a noté en particulier le contournement de la résistance Rlm3 au Canada. La Chine entreprend également des travaux sur ce sujet.

La hernie des crucifères -*Plasmodiophora brassicae* a été incontestablement l'un des points majeurs de ce congrès avec 35 communications. Les 3 premiers États canadiens producteurs de colza sont confrontés à de très sérieux problèmes, et le pathogène monte aussi en puissance en Europe (Allemagne, Pologne, Suède et Tchéquie) et en Chine (Sichuan). Des travaux canadiens ont confirmé des aspects déjà connus en Europe sur les effets du chaulage, de la rotation, et sur la transmission. Des bilans de pathotypes présents, ou dominants dans certaines régions ont été faits (Canada, Allemagne, France). Parmi les points plus originaux, on peut citer les possibles contaminations, bien que minoritaires, par les nuages de poussières des grandes plaines (Strelkov, Gossen *et al.*)¹. Des travaux ont également été présentés sur la mise au point de méthodes de qPCR pour les quantifications, avec des études de variation de nombre de spores en fonction des cultures de la rotation dont une communication suédoise reprenant des comptages sur des échantillons de terres conservés depuis 40 ans montrant l'explosion du nombre de spores liée à la culture du colza, puis la décroissance dans le cadre d'un rallongement de la rotation. De gros efforts ont été accomplis pour rechercher et introduire des résistances nouvelles par la recherche publique et privée (Pioneer, Syngenta, Monsanto, NPZ). Des sources de résistance nouvelles ont été annoncées avec du pyramidage de 3 gènes différents. Une équipe chinoise (G. Shi-xing *et al.*)¹ exprimait son désarroi de n'avoir trouvé que 2 sources potentielles de résistance dans un screening de 279 génotypes. Une équipe canadienne a développé des marqueurs pour l'introgession de 7 gènes majeurs de résistance issus de *B. rapa* ou *B. nigra* et situés sur les GL A3, A8, B3 et C7 pour répondre à l'urgence de trouver des solutions génétiques. Une équipe d'Edmonton (Alberta) a exploité des croisements avec du rutabaga qui s'avère pourvoyeur de sources de résistance contre l'ensemble des pathotypes de l'ouest canadien. Des stratégies par amphidiploïdes synthétiques ont été développées à Saskatoon en utilisant des sources identifiées chez *B. rapa*, *B. nigra* et *B. oleracea* (Z. Huang *et al.*)¹. Ces sources confèreraient des résistances à de nombreux pathotypes. Une approche QTL est présentée par un consortium Chine-Canada-Pioneer avec la localisation sur carte à la fois de gènes majeurs et de QTL (H. Zhang *et al.*)¹. Pour le court terme des introgressions de Rcr1 (*B. rapa*) ont été décrites avec suivi par marqueurs. Dans une autre étude Rcr4 contrôlerait les 5 principaux pathotypes canadiens. Une autre communication des équipes de Saskatoon identifiait Rcr6 et Rcr8 chez *B. nigra* avec des SNP associés. Coté Pathogène, avec le séquençage une étude Canado-anglo-iranienne a recherché des effecteurs et fait l'hypothèse d'avoir des gènes candidats d'avirulence. En Pologne Le groupe de M. Jedryczka a présenté un état des lieux et des perspectives de diagnostic avec q PCR et LAMP à partir du sol. A. Laperche (France) a présenté des résultats montrant des modulations de l'effet de QTL en fonction de la contrainte en N et du pathotype. Une équipe chinoise (Y. Liu *et al.*)¹ a testé un enrobage de semences efficient, mais non décrit.

La hernie des crucifères est un sujet qui croît en importance et a fait l'objet de plusieurs workshops dédiés, au Canada et en Allemagne, depuis le congrès de 2015.

Bien que n'ayant pas l'importance attendue dans ce congrès, le *Sclerotinia* ait été assez présent avec en particulier 2

exposés de synthèse par M. Barbetti et I. Falack. Les principaux progrès portent sur la reconnaissance de pathotypes avec la définition d'un set d'hôtes différentiels, l'application de la génétique d'association pour l'identification et la sélection de facteurs de résistance, et la description d'une nouvelle stratégie OGM par une équipe chinoise (Wuhan) sur un sujet pourtant déjà riche en stratégies de ce type.

L'essentiel des travaux présentés a été ciblé sur les maladies considérées comme majeures : en dehors des travaux sur phoma, hernie et sclérotinia, on ne compte qu'un poster sur le *Verticillium* présenté par C. Obermeier (Univ. de Giessen) sur la recherche de QTL de résistance et production de marqueurs diffusés aux semenciers allemands, et un poster sur albugo par une équipe Indo-canadienne (caractérisation de la diversité génétique d'isolats d'*Albugo candida*).

La lutte chimique contre les maladies a été très peu présente, avec seulement 3 posters sur l'évaluation de la sensibilité du phoma à l'azoxystrobine (Université du Nord Dakota) par crainte de résistances, sur la caractérisation d'isolats de sclérotinia en vue d'homologuer des fongicides en Australie, sur un traitement de semences non précisé pour contrôler la hernie (Chine).

Enfin, point assez nouveau, quelques travaux sur des solutions de biocontrôle sur colza ont été présentés : travaux sur l'utilisation de mycovirus contre sclérotinia (université de Wuhan, Chine), utilisation de *Trichoderma* en tests en laboratoire sur semences de colza... (Serbie) et de *Pseudomonas chlororaphis* (Université du Manitoba, Canada), en tests en serres sur pétales contre sclérotinia.

Le contrôle des insectes est crucial pour la production de colza et reprend une importance nouvelle au fur et à mesure de l'usure des solutions insecticides classiques par l'apparition de populations résistantes et du fait des restrictions ou interdictions réglementaires sur plusieurs familles de molécules, les dernières en date concernant les néonicotinoïdes : après un moratoire en 2013, le thiaméthoxame, la clothianidine et l'imidaclopride sont désormais interdits en Europe pour les usages en plein champ sur toutes cultures, et le Canada prévoit de les supprimer d'ici 2023.

Le cas des néonicotinoïdes controversés avait été largement abordé au congrès de 2015 : Heimbach avait présenté des études conduites en Allemagne sur l'effet des néonicotinoïdes sur les pollinisateurs (*Keynote*) soulignant que l'interdiction de leur utilisation en traitement de semences avait conduit à une augmentation de 500 % de l'utilisation des pyréthrinoïdes, à l'augmentation du risque de résistance de la grosse altise et à la diminution des surfaces de colza. Pourtant, d'après les résultats présentés, il n'y avait pas d'augmentation de la mortalité des abeilles vivant à proximité de parcelles de colza dont les semences étaient traitées aux néonicotinoïdes. Les concentrations retrouvées dans le pollen et le nectar de colza étaient en effet faibles (< 1 ppb). Des concentrations plus élevées ont été retrouvées dans les gouttelettes de la guttation des plantes, mais les abeilles ont d'autres sources d'alimentation en eau. D'après les études allemandes, le principal risque provenait de la contamination par les poussières de néonicotinoïdes lors du semis, maîtrisable par un enrobage de qualité, plus que les remontées de matières actives dans les nectars et les pollens des plantes cultivées. Au Royaume-Uni, l'interdiction du traitement de semences avec des néonicotinoïdes avait également contribué à réduire les surfaces de colza (Nicholls,

workshop). De plus, 3 % des surfaces ont été retournées à cause de dégâts d'altise et la résistance de ces insectes aux pyréthrinoïdes progresse.

Au Canada, Sekulic (Workshop) trouvait également des concentrations dans le pollen < 1 ppb et dans 68 % des cas pas de résidus du tout. En France, les études au champ (Cerrutti, workshop) montraient que l'insecticide thiaméthoxam réduisait la longévité des abeilles, ces perturbations mises en évidence au niveau individuel n'ayant pas de répercussions visibles sur les performances des colonies. La production de miel, les niveaux de population ainsi que l'état sanitaire des colonies n'était pas affecté. En ce sens, les résultats présentés ne sont pas en contradiction.

Le workshop de 2015 mettait donc l'accent sur les conséquences négatives en termes de gestion des ravageurs du colza liées au retrait des néonicotinoïdes et exprimait de fortes inquiétudes pour l'avenir du colza. Les observations et méta-analyses inquiétantes sur le déclin des populations d'insectes en Europe et la pression de l'opinion publique ont depuis remporté les décisions politiques. Le contrôle des insectes devrait donc revenir au premier plan au congrès de 2019. Malheureusement, la mise au point de solutions alternatives et d'efficacité comparable aux insecticides est complexe.

Au congrès de 2015, l'exposé introductif de Samantha Cook (Université de Rothamsted, UK) appelait les bases d'une protection intégrée et évoquait un ensemble de pistes :

- le développement de pièges attractifs, étudié pour les méligèthes, a montré une bonne corrélation entre les captures et les infestations sur plantes, pour faciliter les interventions des agriculteurs ;
- le développement de cultivars résistants, sans doute la voie d'avenir malgré les difficultés rencontrées par les sélectionneurs. Ont été cités notamment les travaux de l'INRA IGEPP (Rennes, France) sur méligèthes, le développement d'une variété de Limagrain résistante au virus TuYV, le test de plantes de colza avec des fleurs de différentes couleurs ;
- les stratégies de Push and Pull (plantes pièges) ;
- la gestion du paysage.

Les ravageurs étudiés au Canada sont peu ou pas présents en Europe sur colza. Un nouveau ravageur, la cécidomyie du chou-fleur (*Contarinia nasturtii*), posait de nombreux problèmes au Canada avec des attaques assez graves pour recommander d'éviter de cultiver du colza pendant au moins 3 ans dans les secteurs touchés. Les premiers travaux visaient à décrire l'aire de répartition de l'insecte et les ennemis naturels qui pourraient réduire les niveaux de populations.

Le nombre de communications sur le contrôle des insectes a finalement été assez limité, traduisant *a priori* un manque d'investissement de R&D au moins relatif et/ou la difficulté de faire aboutir les recherches. Bien que les ravageurs soient parfois différents, les approches et les niveaux d'avancées sont globalement les mêmes. La recherche de stratégies alternatives est laborieuse et présente des niveaux d'efficacité souvent insuffisants pour se passer complètement du chimique. Aucune avancée majeure n'a été présentée. Les attentes sont particulièrement fortes sur le développement de variétés résistantes.

5 Durabilité de la production : quels rôles pour l'agronomie face à un besoin accru d'intégration des savoirs et des techniques ?

Au Canada le canola se distingue par sa place prépondérante dans les rotations et par le recours quasi-systématique à des variétés résistantes aux herbicides. La rotation la plus fréquente est en effet colza-blé, suivie de colza-blé-blé ou orge ou pois-colza et de la monoculture de colza (Harker, *Keynote*). Harker *et al.*¹ ont conduit des travaux pour évaluer l'effet de la diversification des cultures et des variétés de colza sur les bioagresseurs et le rendement du colza. Les rendements observés présentent une corrélation linéaire avec le nombre d'années entre deux colzas (0, 1 ou 2 ans), avec une pente de 2 à 3,6 q/ha/an. L'étude montre également une diminution de la présence de mouches du chou et des symptômes de phoma avec l'allongement de la rotation. En revanche, aucun effet sur la densité d'adventices n'a été observé. Par ailleurs, en monoculture de colza l'alternance des variétés dans la rotation ou le mélange variétal n'ont eu aucun effet. O'Donovan (Canada) a également montré l'effet positif sur le colza de l'introduction de légumineuses (pois protéagineux, lentille, féverole ou féverole intégralement restituée comme engrais vert) dans la rotation. Par exemple, avec un précédent pois ou lentille, par rapport à un précédent blé, la quantité d'engrais N pour atteindre un niveau de rendement donné est réduite de 25 %. Un effet sur le potentiel de rendement a également été observé après pois et lentille par rapport à un précédent blé. Aucune interaction n'est constatée avec la dose d'azote suggérant que l'effet précédent des espèces légumineuses ne soit pas lié qu'à des fournitures d'azote directes. Les rotations courtes contribuent aussi à l'apparition de résistances des adventices aux herbicides : Harker plaide pour la mise en place d'un désherbage plus intégré : semis direct pour limiter la levée des adventices, fertilisation en bande, augmentation de la densité de semis du colza, contrôle alternatif (récolte de menues pailles pour éliminer les graines d'adventices...) et diversification des rotations.

Des résultats sur les colzas associés à des légumineuses ont été présentés par trois équipes. En France, les couverts associés de légumineuses ont montré une réduction de la couverture des adventices et des dégâts d'insectes d'automne, et une augmentation de l'efficacité d'utilisation de l'azote (Cadoux *et al.*, 2015). Une équipe de l'Université de Caen a montré en conditions contrôlées (Génard *et al.*)¹ que la quantité d'azote dans le sol augmente avec les légumineuses, surtout avec le lupin, dans une moindre mesure avec le trèfle et peu ou pas avec la vesce. La part de l'azote des légumineuses issue de la fixation augmente quand elles sont associées avec le colza, confirmant l'effet de synergie, mais reste faible pour le trèfle (< 50 %). L'association avec le trèfle permet d'augmenter la teneur en chlorophylle des feuilles de colza. Enfin, le colza exerce une compétition vis-à-vis des légumineuses (réduction de biomasse) qui pourrait s'expliquer par une baisse de disponibilité en soufre (la concentration en soufre est inférieure quand les légumineuses sont associées). La troisième étude (Mikic *et al.*)¹ portait sur l'intérêt d'associer du pois ou de la vesce à du colza récolté comme fourrage. L'association permet d'augmenter la biomasse et la quantité de protéines récoltée et présente donc un potentiel de développement pour cet usage.

Une demi-douzaine de présentations a concerné l'amélioration de l'efficacité de l'azote qui reste une préoccupation majeure. Les résultats présentés ont confirmé une variabilité importante entre les génotypes de colza (Bouchereau *et al.*, *Keynote* ; Stahl *et al.* ; Rudloff et Becker)¹. Stahl précisait que la variabilité concerne aussi bien l'efficacité d'absorption de l'azote que l'efficacité d'utilisation, et qu'elles sont indépendantes : aucun génotype dans leur étude ne présentait à la fois une bonne efficacité pour l'absorption et pour l'utilisation. Les auteurs concluent à un potentiel important d'amélioration de l'efficacité de l'azote chez le colza. Les études visent à identifier les processus impliqués dans l'efficacité de l'azote (Bouchereau *et al.*)¹ et à trouver des QTLs (Bouchet *et al.*)¹. Par ailleurs, une communication portait sur l'effet des conditions climatiques et des pratiques culturales sur l'efficacité de l'azote du colza et de la moutarde (Niu *et al.*)¹, la finalité étant la réduction des émissions GES.

Une communication sur l'alimentation en soufre du colza a également été présentée (Sorin *et al.*)¹. La première réponse à une carence en cet élément est la diminution de la concentration en sulfate dans les vacuoles qui est compensée par une augmentation en ions nitrates, chlorures et phosphates, ce qui permet de maintenir la pression osmotique, la croissance, l'absorption de nitrate et l'activité de la nitrate réductase. Ce n'est que dans un deuxième temps, après une dizaine de jours, qu'on observe une réduction de la pression osmotique et des processus associés. En conséquence, les auteurs proposaient la mise au point d'un indicateur précoce de carence en sulfate basé sur le rapport entre la concentration en sulfate et la somme des concentrations en chlore, nitrate et phosphate. Sur ce thème, Sophie Brunel Muguet (Université de Caen, France) a établi une courbe de dilution critique du soufre dans le colza et développé un modèle de simulation de la croissance et du contenu du colza en soufre.

Mc Kay (*Keynote*) a présenté des résultats concernant l'efficacité de l'eau. Une variabilité a été observée entre des génotypes de colza et un QTL majeur a été identifié. L'auteur indique que les différences observées sont associées à des variations dans la sensibilité de l'ouverture des stomates à l'ABA. Des résultats prometteurs d'amélioration de l'efficacité de l'eau grâce à l'application d'antitranspirants ont également été présentés (Faralli *et al.*)¹. Les auteurs soulignent que les premiers tests de l'application d'antitranspirants datent de 50 ans, mais que les travaux avaient été abandonnés en raison de l'effet dépressif de ces composés sur la photosynthèse. Des travaux récents sur blé ont cependant montré que si les antitranspirants étaient appliqués pendant la période de développement de la plante la plus sensible à la sécheresse, ils permettaient d'augmenter le rendement. En colza, Faralli *et al.*¹ ont observé que l'application de composés à base de pinolène augmentait la photosynthèse, l'efficacité de l'eau et le rendement en condition de déficit hydrique, tandis qu'elle diminuait la photosynthèse des plantes témoins correctement alimentées en eau sans réduire leur rendement en graines.

L'enjeu des gaz à effet de serre (GES) a fait l'objet de plusieurs présentations, notamment en raison de l'utilisation de l'huile de colza pour produire des biocarburants. Cette préoccupation concerne la filière canadienne dans la perspective d'exportation de la production vers les fabricants européens de biodiesel. C'est pourquoi les émissions de GES des différentes régions du Canada ont été calculées (Rempel).

Les régions présentent des valeurs de GES plus ou moins importantes, mais toujours inférieures à la valeur par défaut publiée dans la Directive européenne (29 g CO₂/MJ). Cette variabilité provient de différences de pratiques culturales et aussi du niveau de précipitations, car la méthode utilisée au Canada pour calculer les émissions de N₂O prend en compte ce facteur. Le Canada est l'un des seuls pays à avoir développé une méthode nationale pour estimer les émissions de N₂O (méthode de niveau 2 du GIEC). Les données utilisées pour développer cette méthode ont été acquises sur des rotations dominées par la culture du blé. L'augmentation des surfaces de colza au Canada justifie de se poser la question de l'effet de la culture sur les émissions. Lemke *et al.*¹ ont ainsi étudié l'effet de la culture et du précédent cultural. Leurs conclusions sont en accord avec les résultats acquis en France : émissions du pois protéagineux du même niveau que celles du blé ne recevant pas d'engrais N et inférieures à celles des cultures fertilisées en azote, pas de différence entre un blé et un colza qui reçoivent la même quantité d'engrais N et émissions plus élevées après la culture du colza sans qu'on puisse attribuer cette différence à la teneur en nitrate du sol, la quantité d'azote dans les résidus ou la quantité d'engrais apportée sur la culture suivante. Rübiger *et al.*¹ se sont quant à eux intéressés aux émissions indirectes de N₂O en Allemagne (émissions provoquées par l'enrichissement en azote des milieux naturels en raison des pertes provenant des parcelles cultivées). Leur travail repose sur l'utilisation de modèles pour estimer le lessivage de nitrate et la volatilisation de NH₃. Les émissions ainsi calculées sont plus faibles que celles obtenues avec la méthode de niveau 1 du GIEC qui repose sur des facteurs d'émissions.

Des évaluations plus globales que la contribution au réchauffement climatique ont également été présentées. En France, une base de données publique a été conçue pour permettre des analyses de cycle de vie (Dauguet *et al.*)¹, dans le cadre du projet AgriBalyse. La présentation s'est focalisée sur les sources de données utilisées et l'utilisation de la base de données pour calculer 4 indicateurs environnementaux de la production de colza français : émissions GES, consommation d'énergie fossile, eutrophisation et acidification. BASF (Weston) a par ailleurs présenté son outil AgBalanceTM qui propose une évaluation des 3 piliers de la durabilité (économique, environnemental et social), ainsi que deux exemples d'application de cette méthode.

En termes de perspectives, tant les bilans des biocarburants que l'impact de la culture elle-même sur l'environnement dans le contexte du changement climatique font des travaux sur l'efficacité de la plante et de la culture vis-à-vis des ressources (en particulier azote, soufre, eau) des passages obligés pour l'avenir. De ce point de vue, l'utilisation du phosphore pourrait s'inviter plus fortement dans ces questionnements d'avenir. Par ailleurs, les questions d'équilibre des systèmes de culture, notamment en termes de diversification et d'allongement des rotations, seront d'autant plus cruciales que les possibilités d'artificialisation du milieu par les intrants seront limitées, d'une part pour le contrôle des ennemis des cultures par les produits phytosanitaires pour des raisons réglementaires et de dynamiques d'innovation, d'autre part pour la nutrition des plantes avec les engrais pour des raisons d'économies de ressources. On peut donc souhaiter que les travaux des agronomes pour le colza se complètent sur les différentes échelles de travail de la plante au système de culture, voir aux bassins de production.

6 La production se joue au champ : développements de produits et services de conseil ?

Les modèles sont souvent à la base des outils de conseil. Très peu d'exposés ont été consacrés à des modèles épidémiologiques tant pour les maladies que pour les insectes. En matière de modèles de culture, un poster de W. Wenmann (Université de Kiel) montre un module phénologique particulièrement détaillé (calcul des stades BBCH) basé sur la thèse de Karla Muller (2008), avec une description des processus écophysologiques très complète qui rappelle le modèle français CERES-EGC. On peut remarquer un très bon accord modèle-observations. Le modèle n'était pas encore publié. Il a également été utilisé dans la présentation orale de T. Robiguer sur les émissions de N₂O.

Amélie Mathieu (UMR ECOSYS, France) a présenté en poster un projet de modèle architecturé en 3D à l'échelle du peuplement. Le point bloquant à ce moment était le manque de mesures pour mieux comprendre la mise en place des hétérogénéités au sein d'un peuplement de colza.

S. Brunel-Muguet (Université de Caen) a développé le modèle SuMoToRI pour prédire l'effet d'une carence en soufre sur la croissance du colza d'hiver.

En matière d'outils pour le pilotage des cultures, Pradip Das, de la « Climate Corporation » filiale de Monsanto, présentait des outils embarqués pour l'agriculture de précision. Le point le plus novateur consistait en des sorties de modèles dynamiques (en particulier le positionnement de la fertilisation azotée) directement intégrées dans des outils embarqués et des applications smartphone, appelés à connaître un fort développement.

7 Conclusions

Le Congrès Colza de 2015 a été fortement tiré par les deux thématiques lourdes en investissements technologiques et scientifiques que sont l'amélioration des plantes et la valorisation.

En matière de génétique, le congrès de 2015 voyait les premières applications des nouvelles techniques moléculaires : 2019 devrait constater une série d'avancées liées à ces techniques.

L'accroissement du débouché biodiesel et sa relative fragilité ont mis en évidence l'intérêt de valoriser davantage le coproduit tourteau pour garantir la compétitivité de la culture à long terme dans le contexte mondial. Les travaux sur la fraction protéique ont donc été fortement illustrés. L'aquaculture, promise à un bel avenir, vient renforcer les utilisations traditionnelles du tourteau de colza, et d'autres applications se profilent avec l'extraction des protéines : le congrès de 2019 constatera-t-il des évolutions et une maturation de ce marché ? Avec quelles segmentations ? Quel que soit le type d'utilisation envisagée en dehors de l'alimentation animale pour les ruminants, la question de l'évolution des procédés industriels d'extraction d'huile reste primordiale pour la mise au point de filières économiques cohérentes de valorisation des protéines. Plus largement, la valorisation du colza s'orientera-t-elle plus fortement vers une intégration de type bioraffinage ? Les *Keynotes* relatives au thème production/agronomie relevaient elles-mêmes largement de la dimension technologique : phénotypage et lien avec

l'expression de la génétique, agriculture de précision et big data, innovations issues des biotechnologies. Au-delà des technologies, la mobilisation des agronomes est plus que jamais nécessaire pour leur assemblage et la mise au point de systèmes de culture avec colza productifs, efficaces et à faibles impacts, question restée relativement peu traitée lors du congrès. En matière de protection des cultures, la hernie des crucifères est passée au premier plan des préoccupations, et la lutte intégrée contre les insectes relève du défi vital pour la culture. Le colza est cultivé dans des systèmes de culture céréaliers souvent trop peu diversifiés dans le temps (rotation) et dans l'espace (assolement), avec le risque d'entraîner des pressions parasitaires élevées. L'érosion souvent rapide des solutions simples, qu'elles soient chimiques ou génétiques, montre l'urgence de travailler des voies plus intégrées associant la redéfinition des systèmes de culture et de production dans l'objectif de faire baisser les pressions parasitaires à des niveaux gérables par des solutions à effets généralement partiels comme le biocontrôle.

Acronymes

AAFC	Agriculture and Agri-Food Canada
CAAS/OCRI	Chinese Academy of Agricultural Science/ Oil Crops Research Institute
CBD	Convention on Biological Diversity
FAO	Food and Agriculture Organization
GCIRC	International Consultative Group for Research on Rapeseed
IGEPP	Environment and Plant Protection (Inra, France)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
NRC	National Research Council Canada
PVP	Plant Varieties Protection

SRUC	Scotland's Rural College (UK)
TERI	The Energy and Resources Institute (India)
TSIA	Thuringian State Institute of Agriculture (Germany)
UTC	Université Technologique de Compiègne (France)
VTT	Technical Research Centre of Finland

Matériel supplémentaire

Version anglaise.

Le matériel supplémentaire est disponible sur <https://www.ocl-journal.org/10.1051/ocl/2019026/olm>.

Références

- Les contenus de l'atelier sur les protéines ont été publiés par les animateurs : Campbell L, Rempel CB, Wanasundara JP. 2016. Canola/Rapeseed protein: Future opportunities and directions – Workshop Proceedings of IRC 2015. *Plants* 5: 17. Available from <https://www.mdpi.com/2223-7747/5/2/17>.
- Plusieurs travaux communiqués lors du congrès ont été publiés par la suite dans *OCL Journal* : Cadoux S, Sauzet G, Valantin-Morison M, *et al.* 2015. Intercropping frost-sensitive legume crops with winter oilseed rape reduces weed competition, insect damage, and improves nitrogen use efficiency. *OCL* 22(3): D302. DOI: [10.1051/ocl/2015014](https://doi.org/10.1051/ocl/2015014).
- Pilorgé E, Muel F. 2016. What vegetable oils and proteins for 2030? Would the protein fraction be the future of oil and protein crops? *OCL* 23(4): D402. DOI: [10.1051/ocl/2016030](https://doi.org/10.1051/ocl/2016030).
- Wanasundara JPD, McIntosh TC, Perera SP, Withana-Gamage TS, Mitra P. 2016. Canola/rapeseed protein-functionality and nutrition. *OCL*. DOI: [10.1051/ocl/2016028](https://doi.org/10.1051/ocl/2016028).

Citation de l'article : Pilorgé E, Flénet F, Quinsac A, Pinochet X. 2019. D'un congrès colza à l'autre : quelles recherches pour quels enjeux, Une relecture du congrès de Saskatoon 2015 dans la perspective de Berlin 2019. *OCL*, <https://doi.org/10.1051/ocl/2019026>