

Arrivée de matériel de type hybride en France

Xavier PINOCHET

CETIOM, 174 avenue Victor Hugo 75116-Paris (France)

Résumé : 1994 marque à la fois l'arrivée des premiers hybrides restaurés en colza de printemps et l'inscription du premier composite hybride lignée en colza d'hiver. Les gains de rendement sont dans les deux cas de l'ordre de 20% par rapport aux témoins classiques. La spécificité du CHL d'être une association entre un hybride mâle stérile et une lignée pollinisatrice induit des questions sur la survie des plantes pollinisatrices dans le couvert et sur le fonctionnement de la pollinisation croisée rendue obligatoire. Les éléments recueillis lors d'une première année d'expérimentation sont plutôt rassurants, même s'ils ne constituent pas une assurance absolue. A court terme, la majorité du matériel de type hybride semble devoir être produit à partir du système de stérilité mâle OGU INRA, même si d'autres systèmes font également l'objet de recherches actives. L'alternative principale consiste à savoir si l'on s'oriente rapidement vers des hybrides restaurés qui permettent de retrouver la sécurité de l'autogamie du colza, ou si dans l'espoir d'un gain de productivité supérieur à court et moyen termes, on accepte de continuer dans la voie d'associations à fécondation croisée.

Le contexte de l'évolution du colza en Europe

Le colza est devenu au fil des ans une culture de première importance, qui s'intègre très bien comme tête de rotation dans des systèmes de cultures céréalières. Ces dernières années, elle occupe entre 600 et 800 000 ha en France et de l'ordre de 2 300 000 ha dans l'Union Européenne. Le développement de la production à usage non alimentaire et les possibilités que le colza offre en matière de protection de l'environnement sont des atouts importants pour son avenir.

Dans un contexte où le développement de la culture est limité en surface par les accords

internationaux, et où des efforts de diminution des coûts sont nécessaires pour améliorer la compétitivité des biocarburants, la perspective de matériel hybride est intéressante. Elle renforce l'intérêt des améliorateurs des plantes pour cette espèce et laisse entrevoir des gains de productivité par unité de surface importants.

Les hybrides de colza ont fait l'objet de recherches actives depuis une quinzaine d'années. 1994 a été marquée par l'inscription de deux hybrides restaurés de colza de printemps (obtentions CARGILL) et d'un Composite Hybride Lignée (CHL) d'hiver (co-obtention INRA-SERASEM), association de 80 % d'hybrides mâles stériles et de 20 % d'une lignée pollinisatrice. Il s'agit là des premiers matériels de type hybride disponibles commercialement en France.

Rappel des voies de recherches explorées

Le colza est une plante majoritairement autogame. Pour obtenir des hybrides F1 entre deux lignées homozygotes, il est indispensable de bloquer la fécondation autogame. Ceci peut s'obtenir par différents moyens : utilisation comme parent femelle d'une lignée auto-incompatible, c'est-à-dire non fécondable par son propre pollen, utilisation de produits gametocides, obtention de stérilité mâle génique ou cytoplasmique.

L'auto-incompatibilité a été beaucoup étudiée. C'est un caractère récessif qui permet de fabriquer des hybrides 3 voies autocompatibles. La difficulté est constituée par le maintien des lignées parentales auto-incompatibles.

La plupart des sélectionneurs semblent désormais opter pour la stérilité mâle. Deux voies d'obtention sont explorées: la stérilité mâle génique où l'information génétique correspondante est située sur les chromosomes et la stérilité mâle cytoplasmique où l'information génétique est portée par de l'ADN mitochondrial.

La stérilité génique, travaillée en Chine et au Canada, a notamment fait l'objet d'un système obtenu par génie génétique par la société PGS. La plupart des stérilités mâles géniques sont récessives et instables. On manque en général de marqueurs précoces permettant de les utiliser facilement en production de semences (dans le cas de PGS un caractère de résistance à un herbicide a été introduit). Cependant, ces systèmes ont un intérêt pour brasser du matériel d'origines différentes dans des schémas de sélection récurrente.

La stérilité mâle cytoplasmique fait l'objet d'un plus grand développement. Les systèmes de stérilités mâles cytoplasmiques d'origine intraspécifique sont en général relativement instables; par contre la restauration est assez facilement obtenue (systèmes Bronowki et Hokuriku). Le système de ce type le plus développé est le système POLIMA. Il semble manquer de stabilité et de mainteneurs pour le type «hiver». Deux variétés de printemps de ce type ont été déposées pour les épreuves d'inscription par Cargill, l'une en 1992, l'autre en 1993. La première vient d'être proposée à l'inscription en France sous le nom d'Hybridol. Un troisième hybride de printemps de la même société a été inscrit au catalogue européen sous le nom d'Energol.

Les systèmes d'origine interspécifique (radis, moutardes) sont souvent plus stables, mais la difficulté se situe au niveau de la restauration de la fertilité. Une stérilité mâle a été découverte chez une variété japonaise de radis par Ogura (1968). C'est cette stérilité transférée au colza par hybridation cytoplasmique qui a abouti au système actuellement développé par l'INRA (OGU-INRA) (Bannerot et al 1974, Pelletier et al 1983). Plus stable que le système Polima, la stérilité mâle n'est toutefois pas transmise automatiquement. Par ailleurs, l'écueil principal a été la mise au point d'un restaurateur de fertilité. Ce problème est aujourd'hui a priori résolu et l'INRA a diffusé en mars 1992 ce gène de restauration de la fertilité mâle aux sélectionneurs, qui doivent maintenant réinsérer ce gène dans leur matériel d'intérêt agronomique. A court et moyen termes l'essentiel du matériel de type hybride commercialisé en colza d'hiver sera produit avec ce système.

Définition des différents types

Pour le colza d'hiver, nous entrons donc en 1994 dans l'ère des hybrides, avec un premier type de matériel végétal : les composites hybrides lignées. Néanmoins le vocable hybride peut recouvrir tout une série de matériels assez diffé-

rents dont il convient de donner les définitions. Les mises au point nécessaires ont également introduit des matériels expérimentaux générateurs de confusion :

1) Lignée mixte : Il ne s'agit pas d'un matériel hybride, mais de l'association d'une lignée mâle stérile et de sa lignée d'origine fertile. La lignée mâle stérile est obtenue par hybridation cytoplasmique. Le génome nucléaire de la lignée d'origine n'est donc en principe pas touché, seul l'ADN du cytoplasme est hybridé. Ceci a conduit à l'emploi du terme de cybride pour désigner la lignée mâle stérile de ce type de matériel. Un exemple est constitué par la lignée mixte B08 de SERASEM et de l'INRA qui est l'association de 80% d'une lignée Samouraï mâle stérile et de 20% de la lignée Samouraï utilisée comme pollinisateur de l'association. Ce matériel a permis l'étude du système de stérilité et n'a qu'un caractère expérimental, malgré ses bonnes performances agronomiques (+ 10% environ pour B08 par rapport à Samouraï seul).

2) Composite Hybride lignée : c'est l'association d'un hybride mâle stérile avec une ou plusieurs lignée(-s) pollinisatrice(-s). Synergy, premier matériel de type hybride commercialisé en colza d'hiver, est un exemple où la lignée pollinisatrice est présente à hauteur de 20%. D'autres formules sont à l'étude : 80-10-10 par exemple avec deux lignées pollinisatrices. Ce matériel ne peut fonctionner qu'en fécondation croisée entre l'hybride mâle stérile et les pollinisateurs.

3) Hybride restauré : Se dit d'un hybride fabriqué en utilisant une stérilité mâle génique ou cytoplasmique et dont la restauration de la fertilité mâle chez l'hybride permet un fonctionnement en autogamie. Ce type de matériel n'est encore qu'au stade expérimental pour le colza d'hiver. Les premiers dépôts pour les épreuves d'inscription ne devraient plus tarder. En colza de printemps, les deux hybrides de type POLIMA appartiennent à cette catégorie.

4) Hybrides fertiles : ce terme s'applique aux hybrides obtenus par système d'auto-incompatibilité, dont l'auto-compatibilité est restaurée automatiquement au niveau de l'hybride, le caractère auto-incompatible étant récessif. Les hybrides restaurés précédemment évoqués sont bien sûr, eux aussi, fertiles.

5) Hybride mixte : Il s'agit d'une association entre un hybride mâle stérile et l'hybride fertile correspondant. Ce type de construction peut provenir d'un prolongement du concept de CHL où l'hybride restauré est utilisé comme pollinisateur de l'association avec l'hybride mâle stérile.

Les gains de productivité

La première attente en matière d'hybride est d'obtenir des gains significatifs de rendement. Ceci est d'autant plus important que si les accords internationaux limitent les possibilités de développement de la culture en surface, il n'y a aucune limitation en volume. Ce gain de productivité provient de l'effet d'hétérosis, c'est-à-dire du gain supplémentaire obtenu au niveau de l'hybride par rapport à la moyenne des deux parents ou par rapport au meilleur parent. Plusieurs études s'accordent pour affirmer qu'en colza d'hiver on peut obtenir une vigueur hybride qui se manifeste par un gain de rendement de 15 à 50% par rapport à la moyenne des parents (Lefort-Buson et Dattée 1982).

Avec le composite hybride lignée Synergy, on obtient un gain de productivité assez important par rapport aux meilleures lignées classiques cultivées aujourd'hui. Synergy était présent dans le réseau d'évaluation des variétés commercialisables du CETIOM en 1993-94. Les résultats présentés par région dans le tableau 1 ont été obtenus sur 46 essais répartis sur toute la France. Les résultats de Synergy varient suivant la région, de 117.1% des témoins dans le Sud, à 122.7% pour la région Centre-Est. Par rapport aux lignées les plus vendues que sont Bristol et Goéland, l'écart est plus réduit (0 à 13%).

Tableau 1 : Comparaison des rendements aux normes (q/ha) par région, pour le CHL Synergy et les variétés Goéland, Falcon, Eurol et Bristol. Les valeurs entre parenthèses représentent les rendements exprimés en pourcentages du témoin, (Eurol + Falcon) / 2.

	Nombre d'essais	SYNERGY	GOELAND	FALCON	EUROL	BRISTOL
SUD	7	50.5 (117.1)	44.2 (104.9)	43.7 (101.1)	42.3 (98.9)	45.0 (104.8)
OUEST-ATLANTIQUE	11	42.3 (122.6)	39.9 (114.7)	35.2 (101.7)	34.0 (98.3)	39.9 (115.2)
CENTRE	8	36.5 (118.3)	35.6 (119.3)	32.0 (103.5)	29.9 (96.5)	34.0 (109.7)
CENTRE-EST	10	44.0 (122.7)	41.6 (115.3)	37.0 (101.3)	36.0 (98.7)	40.5 (111.9)
NORD/NORD-EST	10	40.8 (121.5)	39.5 (116.9)	36.3 (106.9)	31.9 (93.1)	36.8 (108.1)

En colza de printemps, la première variété sur un réseau national de 12 lieux est l'hybride HYBRIDOL à 124 % des témoins PACTOL + TANTO, auquel il convient de rajouter l'hybride ENERGOL (123% des témoins sur uniquement 6 lieux).

Après les CHL : en route vers quels hybrides en colza d'hiver?

Avec le premier composite hybride lignée, le gain de productivité est au rendez-vous. Néanmoins la spécificité de ce type de matériel de fonctionner en pollinisation croisée entre les éléments de l'association a amené des questions sur la survie des plantes pollinisatrices au milieu d'un couvert exprimant sa vigueur hybride, et sur la réussite de la fécondation si les conditions de climat sont défavorables, ou si la quantité de pollen disponible est limitante :

- Les plantes pollinisatrices qui sont issues de lignées classiques survivent-elles bien au milieu d'un couvert majoritairement hybride exprimant sa vigueur, et qui donc peut avoir tendance à étouffer les plantes pollinisatrices ? Quel pourcentage de plantes pollinisatrices subsiste-t-il à la floraison, et la quantité de pollen émise est-

elle suffisante ? Quels seraient les critères de choix du ou des pollinisateur(-s) ? Faut-il un ou plusieurs pollinisateur(-s) ?

- L'association devant fonctionner en pollinisation croisée, quel est le risque d'obtenir des accidents de fécondation dus à des conditions climatiques défavorables, en particulier en situation isolée à faible pression pollinique ? Quelles pourraient être les incidences sur le rendement ? Y a-t-il des possibilités de compensation en cas de fécondation moyenne ?

Sur la question de la survie des plantes pollinisatrices dans un couvert majoritairement hybride, nous avons déterminé le pourcentage de plantes pollinisatrices présentes dans le couvert au moment de la floraison, dans les essais d'évaluation variétale présents sur les stations CETIOM, dans certains essais extérieurs réalisés en partenariat, ainsi que dans les 10 parcelles isolées de Synergy. Ces contrôles ont été effectués sur 60 plantes par répétition, soit 180 à 300 plantes par essai. L'identification de chaque plante se réalise par l'observation de la morphologie des pièces florales mâles, qui sont atrophiées lorsqu'il s'agit d'une plante mâle stérile. Ceci nécessite toujours au moins deux passages.

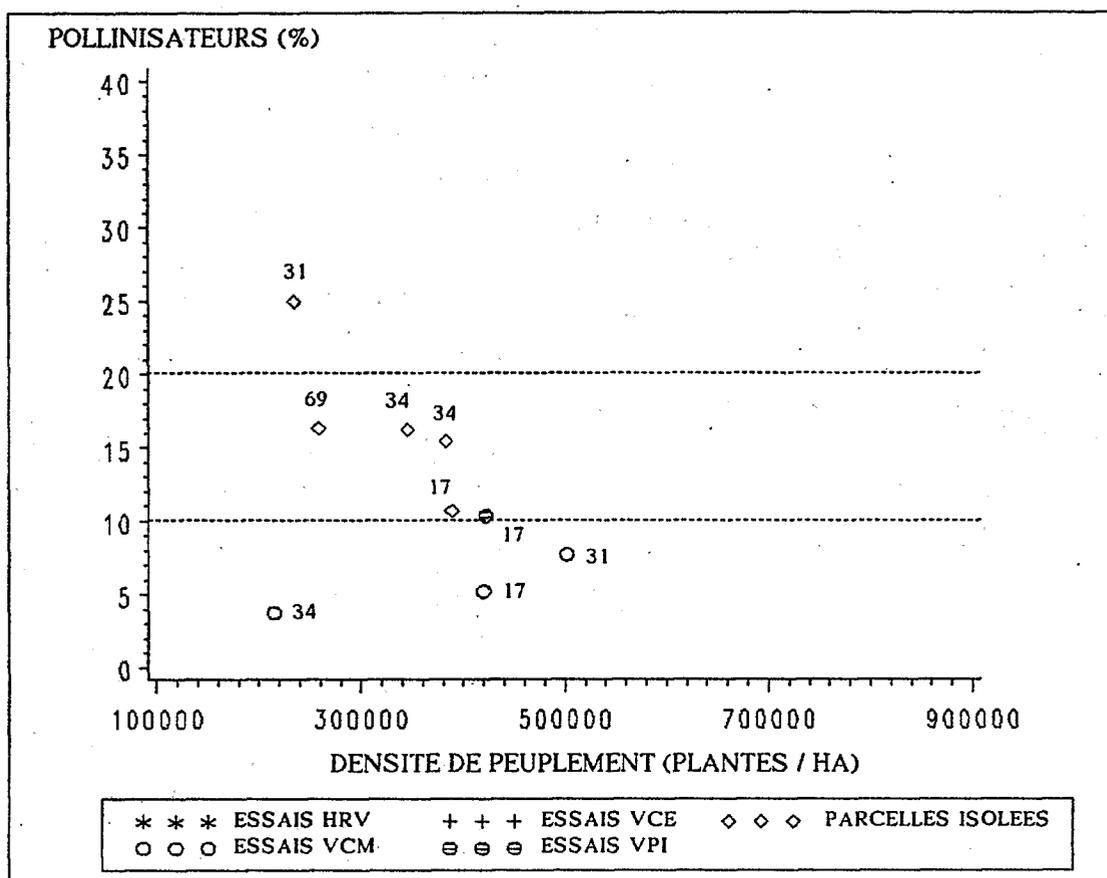
Les pourcentages observés dans les essais varient de 3.8 à 26.3% sur une base de 24 données. La moyenne est de 14.5% sur les 14 essais variétés et de 18.5% sur les 10 parcelles isolées. Un tiers des situations présente un pourcentage de pollinisateurs inférieurs à 15%. Ces données sont comparables à celles obtenues dans le cadre des épreuves d'inscription CTPS : 9 à 26.3 %, moyenne de 15.2 % pour les 12 essais VAT et 19.6 % pour les 14 parcelles isolées.

Les situations de la moitié Nord-Est de la France ont fleuri en avril et présentent pour la majorité d'entre elles des pourcentages qui varient entre 15 et 25%, avec une moyenne voisine du pourcentage théorique de 20%. Par contre, les situations de la moitié Sud-Ouest de la France mettent en évidence une variabilité de comportements bien supérieure, avec des pourcentages variant de 3.8 à 25%, et 3 situations à moins de 10% de pollinisateurs. Ces essais, situés dans

des régions à automne et hiver plus cléments, correspondent à des situations à colza particulièrement bien développés et l'on peut penser que la compétition plante à plante a été plus intense. Au contraire, dans la moitié Nord-Est, l'automne et l'hiver sont plus rigoureux, les matières sèches produites sont plus faibles et la reprise de végétation plus tardive. Trois éléments viennent étayer cette hypothèse :

- Si l'on ne reprend que les 9 situations dans la moitié Sud de la France, on constate (figure 1), malgré la diversité des sites, une assez bonne liaison entre le pourcentage de pollinisateurs et la densité de peuplement. Plus les peuplements sont élevés et plus la diminution du pourcentage de pollinisateurs dans le couvert est fréquente. Ces résultats devront naturellement être confirmés avec un nombre de données plus important, obtenues si possible sur plusieurs années.

Figure 1 : Relation entre le pourcentage de pollinisateurs observé et la densité de peuplement, pour les situations de la moitié Sud de la France.



• Les essais des stations de Nancy et Saint-Florent présentaient différentes densités de peuplement. Le pourcentage de plantes pollinisatrices a été déterminé pour chacune des densités (tableau 2).

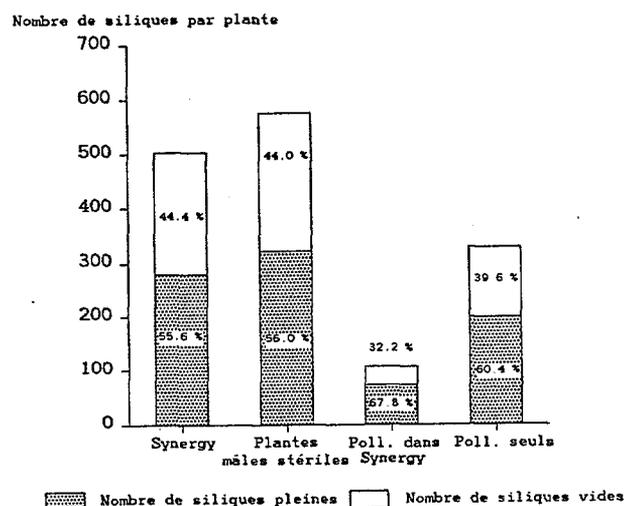
Tableau 2 : Pourcentages de pollinisateurs observés en fonction de la densité de peuplement, pour les essais de Nancy et de Saint-Florent.

Essai	Peuplement (pltes/m ²)	Pollinisateurs (%)
Saint-Florent	31	11.0
	44	9.1
Nancy	25	22.8
	45	22.5
	65	17.5

Une légère variation du pourcentage de plantes pollinisatrices est observée dans l'essai de Saint-Florent. Par contre, à Nancy, on constate une diminution de ce pourcentage (de 23 % à 17 %) lorsque le peuplement passe de 25 et 45 plantes par m², à 65 plantes par m².

• La figure 2 présente le nombre de siliques par plante obtenu sur la station d'En Crambade près de Toulouse, pour Synergy, en distinguant hybride et pollinisateur à l'intérieur de l'association (CHL), ainsi que le pollinisateur seul. On constate nettement l'expression de la vigueur hybride, le nombre de siliques produites sur l'hybride stérile étant largement supérieur à celui produit sur le pollinisateur, dans l'association ou en parcelle isolée. On note par ailleurs un effet d'étouffement du pollinisateur, qui, lorsqu'il est en association, produit beaucoup moins de siliques que lorsqu'il se trouve en parcelle isolée.

Figure 2 - Station d'En Crambade : comparaison du nombre de siliques par plante, pour le CHL Synergy, les plantes hybrides et les plantes pollinisatrices dans l'association, ainsi que pour le pollinisateur seul



Ces résultats acquis en 1994 et les hypothèses faites sur ces phénomènes de compétition entre plantes hybrides mâles stériles et plantes pollinisatrices ont été acquis dans le cadre d'une année climatique globalement peu favorable à l'expression de ces phénomènes de compétition. Au contraire, l'automne 94 a permis l'installation de colza à très fort développement végétatif. Cette année très contrastée par rapport à la précédente devrait nous permettre de tester ces hypothèses sans ambiguïté.

La deuxième réserve faite au sujet des CHL porte sur les problèmes éventuels de fécondation, liés à la nécessité de faire fonctionner en pollinisation croisée, une plante qui est normalement majoritairement autogame.

Le premier problème qui se pose est celui de la synchronisation de la floraison entre le pollinisateur et l'hybride. C'est l'une des raisons pour lesquelles certains semenciers ont opté pour des associations à deux pollinisateurs différents, choisis afin de permettre une durée d'émission de pollen plus importante de façon à limiter le risque de décalage. Dans le cas de Synergy, nous avons effectué des contrôles de floraison dans les essais où figuraient à la fois le CHL Synergy et son pollinisateur seul (hors de l'association). Pris séparément, le pollinisateur fleurit de 0 à 6 jours avant le CHL Synergy, et dans plus d'un tiers des cas (44%), la floraison est synchronisée. Par contre, lorsqu'il est en association dans le mélange, le comportement du pollinisateur est différent. Ainsi, nous avons suivi la cinétique de floraison du CHL Synergy, en distinguant les plantes pollinisatrices des plantes mâles stériles sur les deux parcelles isolées et sur l'essai «densité de peuplement» de la station de Nancy. Dans tous les cas, durant la première semaine de floraison, lorsque moins de 30% des plantes du couvert sont fleuries, la part de plantes pollinisatrices fleuries est faible (toujours inférieure à 10%). Par la suite, les floraisons s'équilibrent et rapidement, la part de plantes pollinisatrices correspond bien au pourcentage théorique de l'association. Les plantes hybrides du CHL ont donc eu tendance à fleurir avant les plantes pollinisatrices.

Les aspects de la fécondation ont été abordés par le biais des composantes du rendement, plus particulièrement sur les parcelles isolées de Synergy, en distinguant les plantes mâles stériles, des plantes pollinisatrices, mais également sur les essais placés en stations, de façon à pouvoir comparer le CHL Synergy avec les variétés classiques, Eurol, Falcon et Goéland. On constate que le nombre de siliques produites par Synergy est toujours très important, supérieur à 10 000 par m², avec une moyenne de 14 194 pour les parcelles isolées et 16 302 pour les essais en station, sans que l'on puisse déceler

un effet lié à l'isolement. Les taux de nouaison pour Synergy varient de 55 à 79%. Dans les essais placés en stations, ils ne diffèrent pas des taux obtenus pour les variétés classiques. Pour les parcelles isolées, le taux de nouaison des plantes hybrides ne présente jamais un écart supérieur à 5% par rapport au taux de nouaison observé sur les plantes pollinisatrices. Par contre, exception faite de la parcelle isolée de Vermand (Aisne), le nombre de siliques sur l'hybride est de 1.5 à 3.8 fois plus important que celui observé sur les plantes pollinisatrices.

Le nombre de graines par silique, calculé à partir des rendements observés et des poids de 1000 graines (PMG), varie de 5.8 à 9.4 dans les essais des stations, avec une moyenne de 7.44, et de 4.2 à 7.6 sur les 5 parcelles isolées menées à terme, avec une moyenne de 5.63. Les parcelles isolées suivies dans le cadre des épreuves d'inscription donnent des résultats similaires avec une variation plus importante (2.6 à 11.5 graines par silique) et une moyenne de 6.65 graines par silique. Ces résultats suggèrent une légère différence entre parcelles isolées et parcelles d'essais. Néanmoins, on peut également attribuer cette différence aux modes de récolte différents entre parcelles expérimentales (machine pour essais) et parcelles isolées récoltées avec un matériel de type agriculteur. Cependant, lorsque le nombre de graines par silique est inférieur à 6, il semble y avoir un phénomène de compensation sur le poids de 1000 graines. Cette compensation peut être importante, même si elle reste exposée à des risques climatiques de fin de cycle, limitant le remplissage.

Dans tous les cas, les rendements obtenus sont bons, et souvent supérieurs à ceux généralement observés en colza dans ces parcelles.

Les premiers éléments de réponse acquis par le CETIOM en complément des données des épreuves d'inscription sont rassurants. Ils mettent en avant les bons résultats obtenus malgré une année climatique peu favorable au moment de la fécondation, ils montrent également les possibilités de compensation par le nombre de siliques ou le poids de 1000 grains, et l'intérêt de cultiver ce matériel à des peuplements modérés pour éviter la perte d'un trop grand nombre de plantes pollinisatrices dans le mélange. Ils ne constituent cependant pas une assurance absolue par rapport aux questions posées. Avec ce type de matériel tout à fait nouveau, il est nécessaire de continuer à acquérir des références. Face à ces questions et à ce recul encore insuffi-

sant, deux hypothèses peuvent être faites. Soit on s'orientera rapidement vers des hybrides restaurés pour retrouver la sécurité de l'autogamie traditionnelle du colza, soit on acceptera de travailler avec des associations en fécondation croisée.

Le gain de rendement obtenu avec un CHL par rapport à une lignée provient d'un effet d'hétérosis, additionné, comme le montrent les lignées mixtes, d'un gain lié à la stérilité mâle. Si ce dernier provient de l'absence de pollen et donc de la perte d'un site consommateur d'assimilats pour la plante, alors il ne sera présent que chez des hybrides mâles stériles. On développera alors les CHL ou des hybrides mixtes, version hybride de la lignée mixte, où l'hybride restauré correspondrait servirait de pollinisateur. La vigueur hybride du pollinisateur serait un gage de survie dans le couvert et la proximité des deux matériels de l'association un gage du succès de la fécondation. Si par contre le gain lié à la stérilité mâle provient de l'hybridation cytoplasmique, alors il sera conservé au niveau de l'hybride restauré. Le choix entre CHL, hybride mixte et hybride restauré dépend de la démonstration qui pourra être faite sur l'origine du gain lié à la stérilité mâle. S'il est lié à l'hybridation cytoplasmique, la porte des hybrides restaurés est ouverte à condition que la restauration de la fertilité ne s'accompagne pas d'effets secondaires défavorables comme une modification du métabolisme des glucosinolates.

Dans l'attente des démonstrations nécessaires au choix d'une voie vers laquelle aller, les efforts de sélection continuent. De nouvelles lignées classiques plus performantes sont en cours d'inscription. La sélection de lignées parentales sur leur aptitude à la combinaison pour augmenter l'effet de l'hétérosis est une voie qui sera favorable quel que soit le type d'hybride envisagé. Les efforts vers des hybrides restaurés continuent. A court et moyen termes, le matériel hybride commercialisé sera produit avec le système de stérilité mâle OGU-INRA. Néanmoins, certains poursuivent également les recherches avec d'autres systèmes de fabrication d'hybrides, soit pour avoir une alternative, soit pour le plus long terme, estimant que certains systèmes pourraient permettre des effets d'hétérosis plus importants. Mais le dépôt de nouveaux CHL pour les épreuves d'inscription par de nombreuses sociétés nous amène à poursuivre l'acquisition de connaissances sur ce type de matériel.