

LA SELECTION DU COLZA POUR L'AMELIORATION DU RENDEMENT

Par Jacques Morice

I.N.R.A. - Station d'Amélioration des Plantes de RENNES

Dans la plupart des pays producteurs de colza oléagineux, la sélection s'est définitivement orientée vers l'obtention de variétés d'abord sans acide érucique puis sans glucosinolates. Le premier objectif peut être considéré comme atteint d'une façon générale. La conversion de la production a même été souvent remarquable par sa rapidité grâce aux efforts conjugués des instances officielles de l'Agriculture et de la Santé Publique et des organisations professionnelles. La deuxième étape est déjà réalisée par les sélectionneurs de plusieurs pays, principalement sur le colza de printemps, ou en cours d'achèvement. Un effort considérable de recherche a été nécessaire pour mettre en oeuvre des solutions génétiques aux problèmes de qualité de l'huile et du tourteau que posait le colza et pour conférer aux variétés nouvelles des caractéristiques agronomiques et physiologiques égales et une productivité de même niveau que celles des variétés conventionnelles. Au cours de la première phase de cette transformation profonde des caractéristiques biochimiques que l'on a imposée au colza, la progression de la productivité a marqué un temps d'arrêt et une certaine régression a même été ressentie par les producteurs. Il a fallu reconstituer un rendement équivalent à celui des types normaux cultivés avant l'opération "acide érucique" puis relancer le progrès génétique.

Les débouchés importants qui peuvent s'ouvrir aux produits améliorés du colza, l'huile et le tourteau permettent maintenant d'envisager une extension de la production dans les pays qui présentent des conditions favorables à sa culture. Il faut, maintenant que ces produits sont ou vont être, par leur qualité, plus substituables aux autres oléagineux et protéagineux, rendre aussi l'économie de leur production plus compétitive vis-à-vis des autres grandes productions végétales. Et cela impose une action intensive pour l'amélioration du rendement, action qui doit passer par une remise en cause des méthodes de sélection employées jusqu'à présent, afin d'exploiter au mieux les potentialités de l'espace.

1. RESULTATS OBTENUS DANS LA SELECTION POUR LA QUALITE ET LA PRODUCTIVITE

Dans les premiers programmes de sélection mis en oeuvre pour éliminer l'acide érucique, le géniteur généralement utilisé a été le colza découvert et généralement distribué par les chercheurs canadiens. Ce géniteur initial présentait, de par son origine, de nombreuses caractéristiques défavorables. Les sélectionneurs ont tenté de les éliminer par des méthodes différentes : suite de rétrocroisements successifs par une variété récurrente dans laquelle on voulait intégrer les deux gènes canadiens responsables de l'absence d'acide érucique ou système faisant alterner des croisements par une variété intéressante par sa productivité et des générations de sélection de colzas sans acide érucique de plus en plus valables au plan agronomique.

Quelles que soient les méthodes de sélection employées, les premières variétés de colza sans acide érucique ont généralement présenté par rapport aux

meilleures variétés normales qu'elles devaient remplacer une diminution de rendement plus ou moins importante. Pour le colza d'hiver, cette diminution a affecté en Europe les variétés allemandes, françaises, polonaises et suédoises.

En France, ce fut, par exemple, le cas de la variété PRIMOR qui est la version sans acide érucique de la variété MAJOR employée comme parent récurrent dans une série de rétrocroisements. La comparaison sur plusieurs années fait apparaître sur un grand nombre d'essais effectués dans des conditions très variées, une différence de rendements moyenne d'environ 5 % (Tableau 1).

TABLEAU 1 : COMPARAISON DES RENDEMENTS DES
VARIETES DE COLZA D'HIVER MAJOR et PRIMOR

Essais I.N.R.A. et C.E.T.I.O.M. 1972 à 1976

(Rendements en quintaux/hectare)

Années	Nombre d'essais	MAJOR	PRIMOR
1972	4	26,20	25,00
1973	22	26,45	25,80
1974	36	24,95	23,80
1975	23	25,20	23,20
1976	14	24,15	23,15
Moyenne q/ha	99	25,39	24,19
" % MAJOR		100	95,3

Ces variétés bien qu'imparfaites ont permis de réaliser la reconversion de la production et de maintenir une culture menacée par les critiques parfois excessives sur la qualité de l'huile de colza. Elles ont pendant quelques années assuré le relais entre les variétés normales que l'on ne pouvait plus cultiver, et les variétés sans acide érucique plus productives. Celles-ci sont apparues récemment, résultant généralement d'un deuxième cycle de sélection dans lequel le colza canadien d'origine avait été remplacé comme géniteur d'absence d'acide érucique par les premières lignées de colza d'hiver obtenues du premier cycle. Plusieurs variétés européennes de colza d'hiver sans acide érucique ayant retrouvé, et même dépassé parfois, les performances des anciennes variétés normales sont maintenant à la disposition des producteurs. C'est le cas en France, par exemple, où deux variétés inscrites au Catalogue en 1977, RAFAL et JET NEUF, constituent par rapport à PRIMOR un progrès remarquable (Tableau 2).

TABLEAU 2 : RESULTATS DE L'EXPERIMENTATION DES NOUVELLES VARIETES
DE COLZA D'HIVER RAFAL et JET NEUF (33 essais : 1976 et 1977)

Variétés	Rendement q/ha	Teneur en huile % de matière sèche	Dégâts de Phoma 1 à 9	Verse 1 à 9
RAFAL	25,21	44,2	2,1	2,8
JET NEUF	27,68	45,0	1,9	2,0
PRIMOR	22,75	45,10	3,2	5,0

Notation Phoma 1 à 9 1 : plante saine 9 : collet complètement
nécrosé

Notation Verse 1 à 9 1 : plante saine 9 : verse complète

JET NEUF notamment présente, par rapport à PRIMOR, une supériorité moyenne d'environ 20 % sur deux années d'expérimentation.

Une partie des différences de rendement, importantes surtout en 1977, s'explique par les conditions anormales de l'année où de fortes gelées très tardives, en fin Avril, ont touché davantage PRIMOR qui, dans l'ensemble, présente aussi une verse plus accentuée et un état sanitaire général moins bon.

RAFAL comme JET NEUF viennent de croisements initiaux entre PRIMOR et deux lignées de colza d'hiver (respectivement R 39 et R 40), suivis de rétrocroisements par ces mêmes lignées. La comparaison entre les variétés sans acide érucique et les types récurrents correspondants (Tableau 3) montre que l'on a pratiquement retrouvé les caractéristiques agronomiques de ces derniers.

TABLEAU 3 : COMPARAISON DES RENDEMENTS DE FORMES AVEC ET SANS ACIDE ERUCIQUE DE DEUX COLZAS D'HIVER

Variété récurrente normale % de MAJOR (35 essais 1974 et 1975)	Variété sans acide érucique correspondante % de PRIMOR (33 essais 1976 et 1977)
R 39 : 115,4	JET NEUF : 121,6
R 40 : 104,8	RAFAL : 110,8

JET NEUF représente dès la campagne 1977-78 la quasi totalité des ensemencements français en colza d'hiver.

Pour le colza de printemps, la situation a été dans l'ensemble plus favorable à cause des défauts moins graves et moins nombreux que présentait le géniteur canadien par rapport à ce type de colza. Il était plus facile de ce fait de sélectionner un colza de printemps sans acide érucique et suffisamment productif. Les généticiens canadiens l'ont fait rapidement aussi bien dans l'espèce Brassica napus que dans l'espèce Brassica campestris. Des variétés européennes ont aussi été créées. En France, la comparaison sur plusieurs années des variétés sans acide érucique et de leurs homologues normales (CRESUS - CRESOR, BRUTUS - BRUTOR) montre des rendements et des teneurs en huile semblables.

Si j'ai pris dans la sélection française, des exemples pour illustrer ce bref rappel historique de la création de variétés sans acide érucique, ce n'est pas pour en faire un modèle. L'évolution a été la même dans les autres pays producteurs et sélectionneurs de colza, avec peut-être même des exemples plus spectaculaires, mais pour lesquels je ne dispose pas de suffisamment de résultats chiffrés pour les évoquer avec précision et objectivité.

Les résultats acquis après cette sélection intensive commencée, suivant les pays il y a une douzaine ou une quinzaine d'années, permettent maintenant d'affirmer que la modification profonde de la biosynthèse des acides gras provoquée par les gènes bloquant la formation des acides gras monoinsaturés à longue chaîne n'a pratiquement pas de conséquences nuisibles même légères sur les caractéristiques physiologiques ou agronomiques des plantes qu'elle affecte. Certains ont pu penser, en jugeant les performances et le comportement des premières variétés sans acide érucique, que l'élimination de l'acide érucique (et de l'acide eicosénoïque) entraînerait obligatoirement une baisse des rendements et une certaine fragilité aux adversités. Il fallait certainement trouver l'explication à des résultats parfois décevants dans les seules lois de la génétique qui rendaient improbable, dans un seul

cycle de sélection, de conserver toutes les qualités de bonnes variétés normales par leur huile et de prendre dans l'autre géniteur les deux seuls gènes conditionnant l'absence d'acide érucique. Statistiquement, on sait, par exemple, qu'après un croisement initial et quatre rétrocroisements, il subsiste encore 4 % du génotype du parent non récurrent et cela sans tenir compte des linkages plus ou moins étroits qui peuvent exister, sur les deux chromosomes concernés, dans le génome de Brassica napus, entre les deux gènes intéressants et les gènes responsables des autres facteurs défavorables du colza canadien de départ. On pouvait cependant craindre des conséquences directes de la perturbation de la biosynthèse normale des lipides de réserve d'abord au niveau de leur accumulation dans la graine et ensuite au niveau de leur dégradation et de leur métabolisation lors de la germination et de la croissance de la jeune plantule de colza. En fait, la graine de colza sans acide érucique se développe tout à fait normalement, atteignant un poids de matière sèche et une teneur en huile normaux. Et des comparaisons, faites à diverses températures n'ont montré aucune différence dans la faculté germinative, dans l'énergie germinative et dans la croissance des plantules entre les types avec ou sans acide érucique.

La sélection des colzas sans glucosinolates généralement démarrée quelques années après les programmes "acide érucique" commence à fournir des variétés dites "double zéro". Au Canada, les dernières obtentions chez les types printemps de Brassica napus et de B. campestris semblent attendre de bons rendements. En Europe, quelques variétés de colza de printemps ont été obtenues. Leur rendement paraît généralement inférieur à celui des variétés seulement sans acide érucique. Pour le colza d'hiver, des variétés nouvelles "double zéro" sont en cours d'expérimentation. Il est encore trop tôt pour établir si, d'une façon générale, l'élimination des glucosinolates, par la sélection, entraîne une régression systématique de la productivité et pour préciser l'importance de cette diminution. Il est vraisemblable, étant donné, dans ce cas aussi, le type de géniteur utilisé, que l'on aura à passer, surtout pour le colza d'hiver, par les mêmes étapes que pour la sélection de colzas sans acide érucique : diminution plus ou moins grave du rendement, reconstitution d'une bonne productivité des variétés, relance du progrès génétique.

Dans les exposés qui vont me succéder, DOWNEY pour le Canada, FABRY pour la Tchécoslovaquie, HARI et SINGH pour l'Inde, KRZYMANSKY pour la Pologne, SVENSK pour la Suède, vont présenter l'état actuel de l'amélioration du colza dans leurs pays et compléter ma présentation générale et les renseignements que j'ai pu donner sur la sélection française.

2. PERSPECTIVES D'AMELIORATION DE LA PRODUCTIVITE DU COLZA

On peut considérer que certains problèmes de qualité - acide érucique et glucosinolates - sont résolus ou en voie de l'être. Des solutions génétiques ou technologiques peuvent aussi s'envisager pour d'autres : acide linoléique et cellulose. Il convient maintenant de faire un effort particulier pour améliorer de façon sensible la productivité du colza. Certes les méthodes de sélection employées jusqu'à présent ont assuré une progression assez satisfaisante des rendements. Ce fut le cas en France de la sélection généalogique, basée sur l'autofécondation forcée, de lignées issues de populations d'abord, d'hybridations ensuite. (Tableau 4). En une vingtaine d'années le rendement a progressé de 36 % malgré "l'accident acide érucique".

TABLEAU 4 : PROGRESSION DES RENDEMENTS DU COLZA D'HIVER
DUE A LA SELECTION DE 1966 à 1977
(240 essais INRA et CETIOM)

Variétés		Années d'inscription au Catalogue	Rendements % de SAREPTA
Normales	SAREPTA	1962	100
	TITUS	1966	104,7
	MARCUS	1969	106,4
	RAMSES	1970	108,2
	MAJOR	1971	121,2
Sans acide érucique	PRIMOR	1973	116,0
	JET NEUF	1977	136,0

Ce fut aussi le cas dans les autres pays producteurs où la sélection a été conduite par d'autres voies qui peuvent aller de la création de variétés synthétiques à l'obtention d'homozygotes par le doublement d'haploïdes.

Un programme ambitieux de progression importante de la productivité impose sans doute une réflexion générale sur les objectifs et sur les méthodes, réflexion basée sur l'ensemble des connaissances déjà acquises ou encore à préciser concernant la génétique et la biologie du colza.

21. Définition des objectifs - Idéotype de colza

La définition des objectifs de la sélection doit prendre en compte l'ensemble des facteurs de productivité, de sécurité des rendements, de qualité des produits et des caractéristiques agronomiques et physiologiques. La synthèse de tous ces éléments aboutit à un idéotype que l'on tentera de réaliser de façon imparfaite par approches successives en essayant d'atteindre les niveaux les plus élevés en priorité pour les caractères présentant l'importance jugée la plus grande au plan agronomique ou au plan économique. Cette notion d'idéotype sera exposée par YADAVA à propos de Brassica juncea.

La notion d'idéotype pour une plante comme le colza ne peut d'ailleurs pas être universelle. Elle doit tenir compte, dans la liste des caractères à prendre en compte et dans les seuils à fixer pour chacun d'entre eux, des problèmes d'adaptation aux conditions particulières de milieu. Et par milieu il faut entendre au sens large, le sol, le climat, l'environnement parasitaire, les contraintes agronomiques ou techniques.

Certains de ces aspects seront abordés par plusieurs conférenciers de cette session "sélection". On peut, sans entrer dans le détail, classer en plusieurs rubriques les différents éléments d'un idéotype de colza d'hiver.

Les problèmes de croissance et développement concernant évidemment toute la vie de la plante mais on doit attacher une importance particulière à ceux qui correspondent aux phases et aux stades les plus critiques. THURLING développera une stratégie de la sélection basée sur les caractéristiques du développement. Parmi les éléments à prendre en considération, on peut mentionner :

- la croissance de la plantule et de la jeune plante pendant l'automne, avec l'aptitude à supporter le mieux possible les conditions de température et de photopériode moins favorables consécutives à un semis plus tardif ;
- un port étalé au stade rosette pendant l'hiver avec un allongement très réduit des entrenœuds pour favoriser la résistance au froid ;
- une montaison assez tardive, c'est-à-dire une croissance très réduite de la tige lors des périodes de temps doux qui peuvent survenir à la fin de l'hiver : cela afin de protéger la plante des gelées tardives très dangereuses pour les plantes en phase de montaison et pour contrôler dans une certaine mesure les attaques du Charançon de la tige.
- une montaison rapide ensuite avec une floraison assez précoce. La précocité de floraison à rechercher sera différente suivant les zones de production. Elle dépend en particulier des risques de sécheresse pendant la phase critique de formation des graines et des risques de maladies pouvant attaquer le colza en fin de végétation ;
- une durée de floraison courte pour contrôler dans une certaine mesure les attaques d'insectes ;
- une maturité assez précoce pour les mêmes raisons et aussi dans certaines régions pour une bonne organisation des opérations de récolte, séchage, stockage entre le colza et les céréales qui le suivent (orge d'hiver notamment). Pour des raisons de sécurité des rendements cette notion de précocité est importante aussi pour le colza de printemps. Elle est même d'une importance considérable pour des pays, comme le Canada où le colza doit, dans certaines régions de production, réaliser l'ensemble de son cycle sur une période très courte entre deux longs hivers. CAMPBELL évoquera ce problème.
- une maturité homogène
- une croissance totale de la plante limitée donnant des colzas de taille moyenne ou plutôt courte, la hauteur excessive étant généralement associée à une sensibilité à la verse.

Les problèmes de physiologie concernant, par exemple, les aspects de la nutrition liés à l'efficacité du fonctionnement du système racinaire vis à vis de l'eau et des éléments nutritifs et à l'efficacité des mécanismes photosynthétiques mesurée soit au niveau du système foliaire, soit par un bilan global donné par le rapport matière sèche des graines/matière sèche des parties végétatives aériennes n'ont été que peu étudiés sur le colza. On ne dispose que de peu d'éléments permettant de définir à ce point de vue le type de colza à rechercher. Un facteur est certainement très important à considérer : c'est l'enracinement et l'agressivité du système racinaire en conditions défavorables. Dans une autre session, celle d'Agronomie Générale, ROLLIER discutera de ce problème d'enracinement du colza.

Les problèmes de résistance aux parasites du colza se posent de façon très différentes suivant les zones de production.

La sélection pour la résistance aux maladies sera exposée d'une façon générale par DIXON. SCHEIBERT-BOHM et PIERRE s'intéresseront plus particulièrement au Phoma lingam et aux différences de sensibilité observées entre variétés.

En France, la maladie la plus grave par ses risques d'apparition et les dégâts qu'elle peut causer est justement le Phoma lingam. Ensuite vient le Sclerotinia sclerotiorum puis l'Alternaria brassicae.

Dans d'autres pays, l'importance relative de ces maladies n'est pas la même. Plasmociophora brassicae est parfois un parasite important. Mais il semble que le Phoma lingam généralise ses attaques dans de nombreux pays. Il gagne vers les pays du Nord de l'Europe, Allemagne et Suède, touche aussi l'Australie et inquiète maintenant les producteurs de colza Canadiens.

Pour le Phoma, les études déjà faites depuis plusieurs années ont déjà permis de mettre en évidence la variabilité du comportement des lignées de colza et de sélectionner des variétés peu sensibles. Mais des recherches sont encore à poursuivre pour préciser aussi bien l'épidémiologie du parasite que les mécanismes de résistance ou de tolérance en jeu et le déterminisme héréditaire de ces résistances.

Une meilleure connaissance sur ces sujets est indispensable pour élaborer de façon rationnelle des programmes de sélection de variétés résistantes. C'est encore plus vrai pour les autres maladies pour lesquelles on connaît peu la variabilité du comportement du colza et les possibilités de sélectionner des variétés résistantes.

Parmi les autres facteurs de sécurité des rendements, il convient d'attacher une importance particulière à la résistance à la verse. Une moindre sensibilité à l'égrenage doit aussi être recherchée si la variabilité de cette caractéristique le permet et cela nécessite la mise au point de méthodes pour l'apprécier objectivement. On peut aussi faire intervenir d'autres paramètres comme la résistance aux herbicides, sujet qui sera traité par BRADSHAW.

Le rendement lui-même a fait l'objet de nombreuses études au niveau de ses composantes pour dégager en fonction de la variabilité et de l'hérédité de celles-ci des critères de sélection. En pratique toutes les composantes -aptitudes à ramifier, nombre de siliques par hampe florale, fertilité de la silique, grosseur de la graine- doivent être prises en compte dans l'analyse du rendement. La sélection doit intervenir à ces différents niveaux, qu'il ne faut pas considérer mathématiquement comme des éléments qui se multiplient pour donner le rendement théoriques mais qui représentent en fait, depuis la ramification jusqu'à la grosseur de la graine, des étapes successives dans le développement de la plante. Même si globalement, des phénomènes de compensation interviennent, statistiquement chiffrés par des corrélations négatives, la sélection doit agir pour porter à son optimum chacune des composantes.

Ces problèmes de critères de sélection pour le rendement seront abordés pour les Brassica indiens par KUMAR et par CHAUMAN.

Les facteurs de qualité du colza seront étudiés très largement dans la session "sélection pour la qualité". Pour compléter sous cet angle notre idéotype de colza, on peut d'abord citer la teneur en huile et la teneur en protéines. La valeur économique actuelle relative de ces deux produits engage la sélection vers les teneurs en huile élevées. Il s'agit donc là, dans le cadre général d'une corrélation négative entre huile et protéines, d'avoir les meilleures teneurs en protéines dans des colzas riches en huile. Les autres caractéristiques qualitatives concernent évidemment l'absence d'acide érucique et de glucosinolates, la diminution de la teneur en acide linoléique avec une bonne teneur en acide linoléique et la réduction de la cellulose.

L'énumération de tous les objectifs principaux de l'amélioration du colza ne doit pas être qu'un simple exercice. C'est en fonction de cet ensemble que doit s'élaborer le programme de sélection, depuis la recherche de géniteurs pour les différents caractères considérés jusqu'au système mis en oeuvre pour les associer dans un génotype : croisements entre lignées, croisements pyramidaux, sélection généalogique ou sélection en bulk, obtention de lignées pures, de populations synthétiques ou d'hybrides F₁, populations composites traitées en sélection récurrente réciproque ou non.

Différentes stratégies sont possibles pour traiter ce problème d'une amélioration dans des directions aussi multiples, mais au niveau de la conduite pratique de la sélection, cela impose surtout, dans l'observation et l'ana-

lyse du matériel végétal, que l'accent soit mis autant et même davantage sur les points faibles ou les éléments négatifs par rapport à l'idéotype imaginé que sur les caractères favorables même si ceux-ci sont remarquables par leur niveau.

22. Les hybrides F₁ de colza

La biologie florale normale de l'espèce avec une prédominance de l'autogamie sur l'allogamie ne permet pas d'exploiter d'une façon satisfaisante, au stade de la variété, l'hétérosis dont l'existence chez le colza a été mis en évidence assez largement.

HÜHN discutera de cette allogamie partielle et de ses conséquences sur la sélection.

La constitution de variétés populations où l'on maintient une hétérogénéité génétique et même la création de variétés synthétiques par mélange de descendance ne constituent qu'une approche empirique qui vise plutôt à éviter les conséquences estimées néfastes de l'inbreeding qu'à utiliser au mieux les combinaisons hybrides les plus performantes. D'ailleurs ces variétés n'ont pas été jusqu'à présent constituées en fonction d'une aptitude à la combinaison rigoureusement établie de leurs composantes. C'est sans doute la raison pour laquelle la sélection des variétés de ce type a donné dans l'ensemble des résultats à peu près équivalents à ceux obtenus par la sélection des meilleures lignées inbred. L'exploitation rigoureuse de la vigueur hybride passe évidemment, comme pour les autres espèces où c'est possible, par les hybrides F₁.

Les résultats de recherches conduites depuis quelques années laissent espérer la possibilité d'obtenir des semences hybrides de colza. Les études sur l'hétérosis ne présentent donc plus seulement un intérêt théorique mais peuvent déboucher sur une réalisation pratique.

Nous avons à la Station d'Amélioration des Plantes de RENNES entrepris, depuis 1975, l'étude de nombreuses combinaisons hybrides F₁ comparées aux lignées parentes. Les semences hybrides ont été obtenues par croisements manuels en quantité suffisante pour réaliser des essais comparatifs avec répétitions. Tous les hybrides F₁ étudiés ont PRIMOR comme parent constant, l'autre parent étant pris dans une série de lignées d'origines géographique et génétique variées. Le tableau 5 récapitule les résultats pour l'ensemble des hybrides en 1975, 1976 et 1977. Les rendements sont donnés en pourcentage du parent constant du "top cross" PRIMOR.

TABLEAU 5 : RENDEMENTS (% de PRIMOR) DES LIGNEES ET HYBRIDES F₁
DE COLZA D'HIVER - RENNES 1975 - 1976 - 1977

	1975	1976	1977
Nombre d'hybrides étudiés	20	35	7
Rendement des lignées	69,4 à 113,4	48,2 à 114,2	61,0 à 105,1
Moyenne des lignées	85,7	87,9	81,5
Rendement des hybrides F ₁	122,5 à 171,2	107,2 à 154,7	102,0 à 147,0
Moyenne des hybrides F ₁	143,2	128,4	136,4

Toutes les combinaisons hybrides présentent, par rapport aux lignées parentes, une nette supériorité de rendement qui pour certaines F₁ atteint et dépasse 50 % par rapport à PRIMOR. La teneur en huile déterminée seulement dans les essais de 1976 se comporte de façon différente suivant les hybrides; en moyenne, elle est légèrement supérieure (PRIMOR : 47,5 % de la matière

sèche ; moyenne des lignées : 48,3 % ; moyenne des hybrides F_1 : 49,3 %). Les rendements en graines fournissent une estimation globale de l'hétérosis. Des essais plus précis doivent en chiffrer les effets sur certains facteurs de la croissance et du développement, notamment l'importance du système racinaire, et sur les différentes composantes du rendement.

Bien que ce Congrès soit consacré au Colza Oléagineux, il est intéressant de signaler aussi l'importance de l'hétérosis chez les colzas fourragers. Dans un essai diallèle de colza fourrager d'hiver (Tableau 6) comprenant 4 lignées et les 6 hybrides F_1 entre elles, le rendement moyen en matière sèche des hybrides atteignait 126 % de celui des parents.

TABLEAU 6 : RENDEMENTS EN MATIERE SECHE D'HYBRIDES F_1
DE COLZA FOURRAGER D'HIVER - RENNES 1977

Nombre de lignées	4
Nombre d'hybrides F_1	6
Rendement des lignées T/ha	7,37 à 8,39
Rendement moyen des lignées T/ha	7,74
Rendement des hybrides T/ha	9,23 à 10,71
Rendement moyen des hybrides T/ha	9,75
Rendement des hybrides % parent moyen	114,5 à 136,2
Rendement moyen des hybrides % parent moyen	126,0

Dans un autre essai de colza fourrager en culture dérobée (semis en Août, récolte en Octobre) 24 hybrides F_1 ont été comparées à leurs 10 lignées parentales (Tableau 7). On constate aussi pour ce type de culture une supériorité générale, dans certains cas très importants, des hybrides sur les lignées.

TABLEAU 7 : COMPARAISON D'HYBRIDES F_1 et de LIGNEES DE COLZA
FOURRAGER EN CULTURE DEROBEE (RENNES 1977)
RENDEMENTS EN MATIERE SECHE

Nombre de lignées	10
Nombre d'hybrides F_1	24
Rendements des lignées T/ha	2,62 à 3,84
Rendement moyen des lignées T/ha	3,16
Rendement des hybrides T/ha	3,50 à 4,82
Rendement moyen des hybrides T/ha	4,11
Rendement des hybrides % du parent moyen	111,4 à 171,6
Rendement moyen des hybrides % des parents	124,5

Ces essais montrent évidemment l'intérêt que pourraient présenter les colzas hybrides pour la production fourragère mais ils donnent aussi plus généralement une idée de l'importance de l'hétérosis sur l'appareil végétatif du colza.

23. Les moyens possibles de produire de la semence hybride de colza

L'utilisation pratique de l'hétérosis dans les variétés de colza nécessite de transformer la biologie florale de l'espèce pour la rendre strictement allogame.

L'une des voies possibles pour résoudre ce problème repose sur l'autoincompatibilité. Les études du taux de fécondation croisée du colza ont parfois révélé des plantes nettement plus allogames. On peut donc envisager de sélectionner de telles plantes présentant un fort degré d'autoincompatibilité dans les variétés de colza. C'est le travail que fait en particulier THOMPSON. On peut aussi utiliser l'autoincompatibilité que l'on trouve dans certains colzas issus de croisements interspécifiques entre Brassica oleracea et Brassica campestris.

L'autre voie est celle de la stérilité mâle cytoplasmique. Les recherches à ce sujet sont engagées dans plusieurs directions.

Une stérilité mâle à déterminisme cytoplasmique et génique se manifeste pour divers cytoplasmes de colza en présence de gènes mainteneurs de stérilité apportés par la variété polonaise BRONOWSKI largement utilisée comme géniteur de très faible teneur en glucosinolates. Elle a été signalée par THOMPSON pour la première fois. Concernant ce type de stérilité mâle il est intéressant de signaler la très grande fréquence du cytoplasme "stérile" (S) par rapport au cytoplasme "fertile" (N). Malheureusement la stérilité pollinique induite par ce système n'est pas parfaite. Il y a presque toujours production d'une certaine quantité de pollen fonctionnel principalement en fin de floraison et cette production est accentuée dans certaines conditions de température (en serres notamment). Il semble cependant d'après l'étude de descendance de nombreux croisements qu'il existe une certaine variabilité dans l'expression de cette stérilité mâle. On pourrait ainsi sélectionner des combinaisons cytoplasme-génotype donnant des plantes présentant une stérilité pollinique plus profonde et au moins suffisante pour ne fournir qu'un très faible pourcentage de graines par autofécondation dans leur utilisation pour l'obtention de semences hybrides.

Une autre origine de stérilité mâle cytoplasmique chez le colza a été étudiée par SHIGA. Elle présente, au moins dans les conditions où nous l'avons observée en France des inconvénients de même genre que la précédente. La stérilité pollinique semble même plus imparfaite. Malgré les différences anatomiques et histologiques au niveau des anthères entre les deux types, il pourrait s'agir du même déterminisme, avec des gènes mainteneurs (ceux de BRONOWSKI notamment) et restaurateurs communs.

Une stérilité mâle cytoplasmique de Raphanus sativus a été introduite chez le colza (par Y. CAUDERON et BANNEROT). Elle est complète, les plantes qui la portent ne forment aucun pollen. Jusqu'à présent aucune restauration de fertilité n'a été trouvée chez Brassica napus. HEYN présentera des résultats sur l'introgression de gènes de restauration de Raphanus sativus.

Une autre caractéristique défavorable liée à ce type de stérilité mâle est une déficience chlorophyllienne générale chez toutes les plantes qui le présentent. Cette déficience de déterminisme cytoplasmique est plus ou moins prononcée suivant les génotypes. Elle est très marquée pendant les périodes de temps froid, depuis la fin de l'automne, jusqu'au début du printemps ; elle s'atténue par la suite et les plantes finissent par être pratiquement normales en fin de végétation. Elle est aussi beaucoup plus discrète en

Les recherches actuelles sur cette stérilité mâle cytoplasmique très intéressantes par la perfection de son expression visent, en plus de la recherche de restaurateurs de fertilité, à la débarrasser de la déficience chlorophyllienne qui l'accompagne ou à atténuer suffisamment celle-ci pour qu'elle ne présente pas d'inconvénients sur la croissance et le développement normaux des plantes.

D'autres sources de stérilité mâle cytoplasmique peuvent s'envisager. Des études portent notamment sur celle qui a été apportée chez Brassica oleracea par PEARSON à partir de croisements interspécifiques avec B. nigra. Les premiers croisements de plante de B. oleracea mâle stériles de ce type par B. napus donnent des hybrides fertiles.

Les recherches entreprises dans de multiples directions sur l'autoincompatibilité et sur les différentes sources de stérilité mâle cytoplasmique devraient aboutir à rendre opérationnel au moins l'un des systèmes permettant la sélection de variétés hybrides F_1 et la production de semences de telles variétés.

24. Sélection du matériel végétal pour la création d'hybrides F_1

La recherche de combinaisons hybrides remarquables suppose une étude de l'aptitude à la combinaison dans un matériel aussi varié que possible composé de lignées inbred. Cette orientation suppose donc un travail préliminaire d'inbreeding, qui est déjà réalisé de façon intensive dans les programmes de sélection basé sur la sélection généalogique et de façon moins systématique dans les programmes basés sur d'autres méthodes. La sélection d'hybrides F_1 peut donc exploiter largement le matériel végétal déjà disponible. Une réalisation de génotypes homozygotes peut aussi s'envisager par doublement d'haploïdes. Il peut s'agir soit d'haploïde spontanés à déceler dans les populations ou dans les descendance en disjonction de croisements, soit d'haploïdes obtenus par culture d'anthères comme le présentera KELLER à propos de Brassica campestris.

Quelle que soit la méthode de sélection adoptée, et on l'envisage ici pour le cas particulier d'un programme de création d'hybride F_1 , le problème fondamental est d'exploiter la variabilité de l'espèce pour une suite d'améliorations successives à court terme sans perdre de vue la conservation et même l'amélioration de cette variabilité pour des objectifs à plus long terme. Les méthodes basées uniquement sur l'autofécondation prolongée même si elles opèrent sur des effectifs importants présentent à ce sujet certains risques qui peuvent être liés à la faible fréquence des gènes favorables, à une limitation des recombinaisons par une fixation trop rapide, à des dérives. Pour maintenir la variabilité du matériel de base, il faut concevoir des méthodes de sélection récurrente basées sur la succession de cycles de brassage génétique, par intercroisements contrôlés ou non, suivis de sélection. Le brassage génétique de telles populations de base peut se réaliser par la stérilité mâle cytoplasmique. La sélection du matériel pour le cycle suivant doit prendre en compte l'ensemble des éléments retenus lors de la définition des objectifs d'amélioration. Le résultat d'une telle sélection récurrente est une amélioration progressive avec un maintien de variabilité. Pour la création d'hybrides F_1 , il faut aussi considérer l'aptitude à la combinaison et le système le plus rationnel est alors celui de la sélection récurrente réciproque. Celle-ci est basée sur la sélection de plusieurs populations de base, d'une part pour une amélioration progressive de leurs caractéristiques propres et, d'autre part, pour une amélioration de l'aptitude à la combinaison générale entre elles. Les lignées tirées des populations pour constituer le cycle suivant devront alors être jugées par leur aptitude à donner de bons hybrides dans des top-cross avec les populations partenaires. De tels systèmes de sélection augmentant de façon générale

l'efficacité de toutes les méthodes de sélection pour plantes autogames et pour plantes allogames, ont déjà été largement utilisés chez une plante comme le maïs. Au moment où la sélection du colza s'engage dans des voies nouvelles susceptibles d'apporter de grands progrès, il est important d'envisager l'application de systèmes semblables afin d'éviter de perdre à long terme une partie du potentiel de l'espèce.