

Mise sur le Marché d'hybrides de colza

(Market Introduction of Rapeseed Hybrid Varieties)

Michel RENARD (1), R. DELOURME (1) et J. PIERRE (2)

(1) INRA, Station d'Amélioration des Plantes, BP 29 - 35653 Le Rheu (France)

(2) INRA, Laboratoire de Zoologie, BP 29 - 35653 Le Rheu (France)

Introduction

Les variétés de colza (*Brassica napus* L.) d'hiver et de printemps cultivées dans le Monde jusqu'à la fin des années 80 correspondaient principalement à des populations, à base génétique plus ou moins large, ou à des lignées pures créées par sélection généalogique ou par haplodiploïdisation. Les schémas de sélection appliqués au colza ont été déterminés au départ par l'autogamie préférentielle de cette espèce (système de reproduction mixte caractérisé par un taux de fécondation croisée de 20 à 30%). Les travaux de recherche réalisés au départ à partir de semences hybrides F1 produites manuellement ont mis en évidence un effet d'hétérosis important chez le colza d'hiver et de printemps. C'est la raison pour laquelle de nombreuses équipes dans le Monde se sont lancées dans la mise au point d'un système d'hybridation capable de déboucher sur la production de semences hybrides commerciales de colza.

1 - Systèmes d'hybridation

Différentes approches sont encore exploitées ou font l'objet de travaux de recherche: l'autoincompatibilité, la stérilité mâle digénique et la stérilité mâle géno-cytoplasmique.

⇒ Des allèles d'autoincompatibilité provenant de *B. rapa*, *B. oleracea* ou du rutabaga (*B. napus* var. *rapifera*) ont été introduits dans le colza ; malgré les progrès réalisés, l'application à grande échelle de ce système d'hybridation paraît encore limitée par les contraintes rencontrées principalement dans le maintien et la multiplication des lignées autoincompatibles (Kott, 1995); au Canada, la société King Agro, après avoir inscrit quelques variétés hybrides produites avec un système d'autoincompatibilité, semble avoir arrêté son programme ; cependant, l'Université de Guelph (Canada) poursuit actuellement son effort de recherche sur ce système chez le colza.

⇒ En dehors d'une stérilité mâle génique récessive exploitée en Chine, deux sources de stérilité mâle digénique sont étudiées: la stérilité mâle de l'Académie de Shanghai obtenue spontanément dans l'espèce et à partir de laquelle il est possible de sélectionner des lignées homogènes mâle-stériles (Ms/ms, rf/rf), et le système 'Seedlink™' de la société Plant Genetic Systems. Ce dernier a été obtenu par transfert d'un gène de stérilité mâle MS codant pour une ribonucléase et d'un gène Rf de restauration de la fertilité codant pour un inhibiteur de cette ribonucléase (Mariani *et al*, 1992). Des allèles "élites" de stérilité mâle et de restauration ont été sélectionnés à partir des différents transformants issus de transformation via *Agrobacterium tumefaciens* en expérimentant, dans des essais pluriannuels et multilocaux, le matériel obtenu dans différents fonds génétiques ; des hybrides F1 créés avec ce système dont 'PGS3850' ont

été inscrits au Canada ou sont en cours d'expérimentation dans les essais officiels dans certains pays de l'Europe de l'Ouest ; il reste à démontrer que ce système est opérationnel du point de vue technique et économique, à l'échelle de la production commerciale (De Both, 1995).

⇨ Différents systèmes de stérilité mâle géno-cytoplasmique (SMC) ont été étudiés chez le colza:

- deux systèmes proches, le système 'Polima' (*pol*) et le système 'Shaan 2A' dont la restauration est contrôlée par un gène trouvé chez différents cultivars, mais pour lesquels il est difficile de sélectionner des lignées mainteneuses de stérilité mâle (Bartkowiak-Broda, 1995, Fu & Yang, 1995) ; des hybrides obtenus avec ces deux systèmes de stérilité mâle cytoplasmique ont été inscrits entre autres au Canada ('Hyola 401'), en Chine ('Quin-you2') ou en Europe ('Hybridol').

- le système '*ogura*' transféré du radis dans le colza par croisement interspécifique et fusion de protoplastes avec un radis (système '*ogu*-INRA') ; ce système est caractérisé par une stérilité mâle très stable ; les lignées mâle-stériles expérimentées au champ se sont révélées plus productives que les lignées alloplasmiques mâle-fertiles ; les lignées restauratrices créées par introgression d'un fragment de chromosome de radis porteur d'un gène de restauration de la fertilité mâle ont été récemment améliorées pour la fertilité femelle, le taux de transmission du gène de restauration dans les descendance, le comportement méiotique et surtout la teneur en glucosinolates (Delourme *et al.*, 1995) ; différentes stratégies sont utilisées pour tenter de cloner ce gène de restauration afin de limiter l'information génétique introduite du radis dans le colza à ce gène ; actuellement plus de 35 établissements de sélection utilisent ce système en Europe de l'Ouest et de l'Est ainsi qu'en Amérique. Des associations variétales telles que 'Synergy' et 'Cocktail' en colza d'hiver ou 'Triolo' en colza de printemps ont été sélectionnées sur ce système d'hybridation et inscrites dans différents pays de l'Union européenne. Des hybrides double zéro utilisant le gène de restauration sont en cours d'expérimentation dans les essais officiels en Europe.

- d'autres systèmes de SMC d'origine interspécifique sont en cours d'introduction dans le colza selon le même schéma que celui appliqué à la SMC *ogu*-INRA (Prakash *et al.*, 1995): *tour* (*B. tournefortii*), *oxy* (*B. oxyrrhina*), *siifolia* (*Diplotaxis siifolia*), *trachy* (*Trachystona ballii*), *mori* (*Moricandia arvensis*). L'utilisation de ces systèmes est encore très souvent tributaire de l'introduction d'un gène de restauration de l'espèce donneuse dans le colza.

⇨ La société NPZ-Lembke a développé un système original d'hybridation connu sous le nom de 'Système MSL'. Des hybrides restaurés créés à partir de ce système tels que 'Pronto' et 'Joker' en colza d'hiver ou 'Orakel' en colza de printemps ont été inscrits dans différents pays de l'Union européenne.

2 - Types variétaux

L'utilisation de ces différents systèmes d'hybridation peut conduire à la création de types variétaux très divers:

- les hybrides restaurés obtenus en croisant une lignée mâle-stérile avec une lignée restauratrice de la fertilité mâle (Figure 1 ; SMC *pol*: "Hybridol" ou "Hyola 401", colzas de printemps ; Figure 2, stérilité mâle digénique de Plant Genetic Systems couplée à une résistance à un herbicide: PGS 3850) ;

- les hybrides mixtes en ségrégation pour la restauration tels que les hybrides trois voies produits en croisant une lignée mâle-stérile avec un hybride restauré hétérozygote (R/r) pour le gène de restauration (Figure 3) ;

- les associations variétales dont les composites hybride-lignées (Figure 4 ; SMC *ogu*-INRA: "Synergy", "Cocktail" et "Cannon", colzas d'hiver ; "Triolo", colza de printemps) et les composites hybride-hybride (Figure 5) ; ces derniers types variétaux permettent d'exploiter le

gain de productivité potentiel lié à la stérilité mâle des plantes et de valoriser certains systèmes de stérilité mâle pour lesquels le gène de restauration n'est pas encore disponible .

3 - Dispositifs de production de semences hybrides

Les semences hybrides peuvent être produites dans des dispositifs le plus souvent alternés voire en mélange. En Chine, le système le plus répandu comprend 1 ligne de mâle en alternance avec 2 lignes de femelle, sachant que, dans ce pays, les lignées parentales peuvent être semées en pépinière avant d'être repiquées selon le dispositif choisi.

Par contre, au Canada et en Europe, la mécanisation nécessite la mise en place de dispositifs en bandes alternées. En France le dispositif le plus courant est composé de deux bandes mâles de 3.00 m de large pour 6 bandes femelles. Le rendement en semences hybrides de colza d'hiver est de l'ordre de 2T/ha en ce qui concerne les hybrides produits avec le système de SMC *ogu*-INRA, lequel se caractérise par une très bonne fertilité des lignées femelles.

Par contre, la production de semences hybrides avec le système de SMC 'Polima' est beaucoup plus délicate aussi bien au Canada qu'en Europe, du fait principalement de la morphologie florale des lignées femelles laquelle se traduit par un butinage préférentiel des abeilles sur le parent mâle et un rendement en semences hybrides faible. Le prix de revient des semences hybrides reste donc élevé ce qui limite le développement de bonnes variétés telles que 'Hyola 401' ou 'Hybridol'.

Au Canada, le mélange de graines du parent mâle avec le parent femelle à hauteur de 10 à 15% a été tenté avec des succès divers. Le rendement en semences hybrides est certes amélioré mais des difficultés ont été rencontrées au niveau de la synchronisation de la floraison et dans le maintien du taux d'hybridité au dessus de 80%. Il a été démontré qu'il n'y avait pas d'effet pénalisant sur le rendement jusqu'à 25% de parent mâle dans le mélange utilisé pour la production de semences hybrides (Downey, com. pers.).

Le rendement en semences hybrides dépend en grande partie de la population d'insectes pollinisateurs (densité, composition). Le taux d'hybridité, fonction entre autres de la qualité de l'isolement, de la présence d'une bande tampon autour du champ, de la synchronisation des floraisons et du ratio mâle/femelle, est fortement tributaire de la présence de contaminants fertiles dans la femelle. Une expérimentation est en cours en France (GNIS) afin de préciser le taux limite de contaminants tolérable.

Le dispositif utilisé sera le résultat d'un compromis entre le coût de la semence et sa qualité: rendement, homogénéité du poids de 1000 graines, taux d'hybridité, risques d'hybridation interspécifique, composition de la graine (par rapport au développement des projets de diversification pour des usages alimentaires ou non alimentaires) sont autant de facteurs à prendre en compte.

4 - Méthodologie de la sélection

Les premiers hybrides créés font le plus souvent appel à des lignées parentales préalablement sélectionnées pour leur valeur propre ('Falcon', 'Samourai'...) et non pour leur aptitude à la combinaison. Les sélectionneurs devront progressivement orienter leurs programmes vers l'utilisation de schémas de sélection récurrente déterminés en fonction des contraintes du système d'hybridation.

La production de semences hybrides expérimentales sous cages ne rencontre pas de difficultés particulières. Celle-ci sera réalisée à partir de lignées mâle-stériles et restauratrices

sélectionnées par sélection généalogique ou haplodiploïdisation à partir de populations, ou par rétrocroisements accélérés. La Sélection Assistée de Marqueurs (SAM) sera valorisée à la fois dans la sélection des descendances issues de rétrocroisement et dans la gestion des pools génétiques hétérotiques. Des marqueurs moléculaires du gène de restauration du système de SMC *ogu*-INRA sont ainsi exploités dans la sélection précoce de plantes homozygotes restauratrices.

5 - Comportement agronomique des hybrides

Les premiers hybrides commercialisés apportent un gain de rendement d'environ 15% par rapport aux types variétaux classiques (Tableau 1: 'Synergy'; Tableau 2: 'Cocktail'; Tableau 3: 'Pronto' et 'Joker'; Tableau 4: 'Hybridol'). La composition de la graine est proche de celle des variétés lignées ou populations en ce qui concerne les teneurs en huile et en glucosinolates. La teneur en protéines est souvent légèrement inférieure à celle des lignées.

Du fait d'un développement végétatif plus important, lequel se traduit en général par des plantes plus hautes, les hybrides peuvent être plus sensibles à la verse. Les premiers résultats obtenus avec des hybrides demi-nains semblent démontrer que l'introduction du gène de nanisme *Bzh* devrait permettre de créer des variétés hybrides aussi productives et beaucoup plus résistantes à la verse. Les hybrides présentent un niveau de résistance à la Nécrose du collet (*Leptosphaeria maculans*) souvent plus proche de celui du parent sensible d'où la nécessité de sélectionner des combinaisons hybrides à partir de lignées parentales ayant un bon niveau de résistance.

6 - Contraintes rencontrées

Ces contraintes reflètent tout d'abord les caractéristiques propres à chaque système d'hybridation: instabilité de la stérilité mâle pour certains systèmes, variation dans l'expression de l'autoincompatibilité, absence de gène de restauration, liaison génétique forte du gène de restauration avec certains caractères agronomiques (teneur en glucosinolates), caractère 'OGM' de certains systèmes. Un effort de recherche important est encore consacré à l'étude de chacun de ces systèmes afin de les rendre plus performants: sélection de lignées mainteneuses de stérilité mâle (*pol*), sélection de recombinants ayant intégré principalement le gène de restauration (systèmes obtenus par croisement interspécifique), sélection d'allèles "élites" dans le cas de lignées transgéniques.

D'autres contraintes concernent la production de semences hybrides commerciales. Les dispositifs et les normes de production devront encore être précisés afin de garantir la qualité et la pureté des semences récoltées (taux d'hybridité), tout en restant dans certaines limites économiquement acceptables.

Les autres contraintes ont trait au concept variétal. Selon que les difficultés rencontrées avec les associations variétales dans certaines régions sont liées à la sensibilité au gel des plantes mâle-stériles, à un défaut de pollinisation ou à une carence de la plante, différentes orientations devront être prises: création d'hybrides restaurés (sensibilité des plantes mâle-stériles), amélioration de la compétitivité du pollinisateur par la création de composites hybride-hybride ou d'hybrides mixtes 50% mâle-fertiles/50% mâle-stériles (défaut de pollinisation), ou modification de la structure de la plante (colza nain ou apétale).

7 - Marché actuel des hybrides dans le Monde

La Chine est le pays où la production de colza hybride est la plus importante depuis plusieurs années. En 1995, la surface était estimée à 1,3 millions d'ha, soit environ 20% de la surface totale. En 1997, elle serait d'environ 1.8 millions d'ha. La variété la plus cultivée est l'hybride restauré à haute teneur en acide érucique et en glucosinolates 'Quin-you2' (système de SMC 'Shaan 2A'). Seulement 50.000 ha seraient cultivés avec des hybrides produits avec une stérilité mâle génique récessive ou digénique.

Au Canada, les hybrides occupent moins de 10% de la surface en 1997. La variété la plus développée est 'Hyola 401' de la société Zeneca Seeds produite avec le système de SMC 'Polima'. Plant Genetic Systems (AgrEvo) a commercialisé pour la première fois l'hybride 'PGS3850' au Canada en 1997.

Dans l'U.E. environ 10% des variétés commercialisées sont des 'hybrides'. En 1997 les associations variétales correspondent au type variétal le plus cultivé (environ 220.000 ha dont 180.000 ha en France). Elles utilisent toutes le système de SMC *ogu*-INRA. Les hybrides restaurés tels que 'Pronto', 'Joker' (système de SMC 'MSL') en colza d'hiver ou 'Hybridol' (système de SMC 'Polima') occupent environ 50.000 ha.

Conclusion

Actuellement aucun système d'hybridation n'a encore fait définitivement la démonstration de sa fiabilité à chacune des étapes de sélection et de production de semences hybrides. La compétition entre les différents systèmes disponibles reste donc largement ouverte.

Le développement futur des associations variétales dans l'U.E. dépend encore des résultats qui seront obtenus en culture en 1997, sachant que ces variétés ont été commercialisées cette année dans la plupart des pays de l'Union européenne. En fonction de ces résultats, les sélectionneurs pourront poursuivre leurs travaux de création de composites hybride-lignée ou de composites hybride-hybride en veillant tout particulièrement à sélectionner de bons pollinisateurs, ou ils devront définitivement orienter leurs programmes vers la création d'hybrides mixtes et surtout d'hybrides restaurés.

Le remplacement des variétés de type traditionnel par des variétés de type hybride dépend encore du prix de revient de la semence hybride et de l'investissement des établissements de sélection sur chacun de ces deux types variétaux. Cependant l'évolution enregistrée en Chine (30% des surfaces) ou dans le Sud et l'Ouest de la France (80% des surfaces) laisse présager un changement rapide de l'éventail variétal dès que les contraintes liées au système d'hybridation seront levées.

Remerciements : R.K. Downey (Agriculture and Agri-Food Canada), F. Arnaud (Rustica Program Génétique), J.P. Despeghel (Semences Cargill) et D. Brauer (NPZ Lembke) pour les données fournies sur la situation actuelle des hybrides de colza dans différents pays producteurs).

Références

Bartkowiak-Broda I., 1995. CMS Polima. Proc. 9th International Rapeseed Congress, Cambridge, UK, 4-7 July 1995, 24-28.

De Both G., 1995. Seedlink™ technology. Proc. 9th International Rapeseed Congress, Cambridge, UK, 4-7 July 1995, 64-69.

Delourme R., *et al*, 1995. Breeding double low restorer lines in radish cytoplasmic male sterility of rapeseed (*Brassica napus*). Proc. 9th International Rapeseed Congress, Cambridge, UK, 4-7 July 1995, 6-8.

Fu T. D. and Yang G. S., 1995. Rapeseed heterosis breeding in China. Proc. 9th International Rapeseed Congress, Cambridge, UK, 4-7 July 1995, 119-121.

Kott L.S., 1995. Hybrid production systems based on self-incompatibility in oilseed Brassica. Proc. 9th International Rapeseed Congress, Cambridge, UK, 4-7 July 1995, 73-78.

Mariani C. *et al*, 1995. A chimaeric ribonuclease-inhibitor gene restores fertility to male sterile plants. Nature, 357, 384-387.

Prakash S., *et al*, 1995. Cytoplasmic male sterility (CMS) and systems other than OGU and Polima in Brassicae: current status. Proc. 9th International Rapeseed Congress, Cambridge, UK, 4-7 July 1995, 44-48.

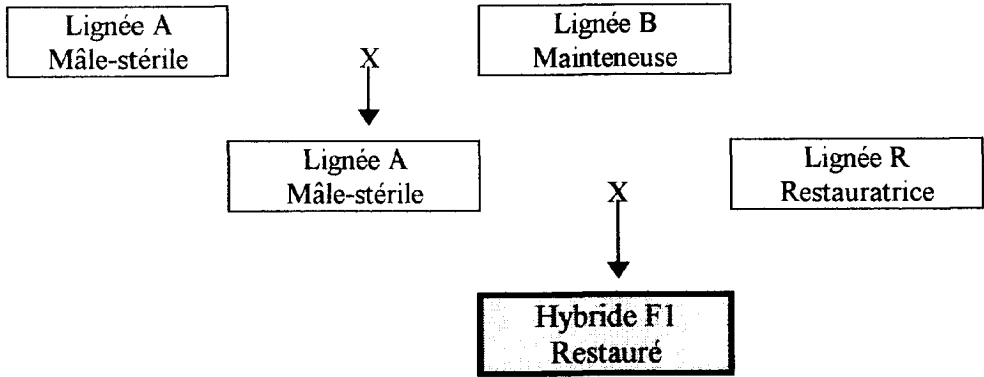


Figure 1: Schéma de production de semences d'un hybride F1 restauré dans le cas d'une stérilité mâle cytoplasmique

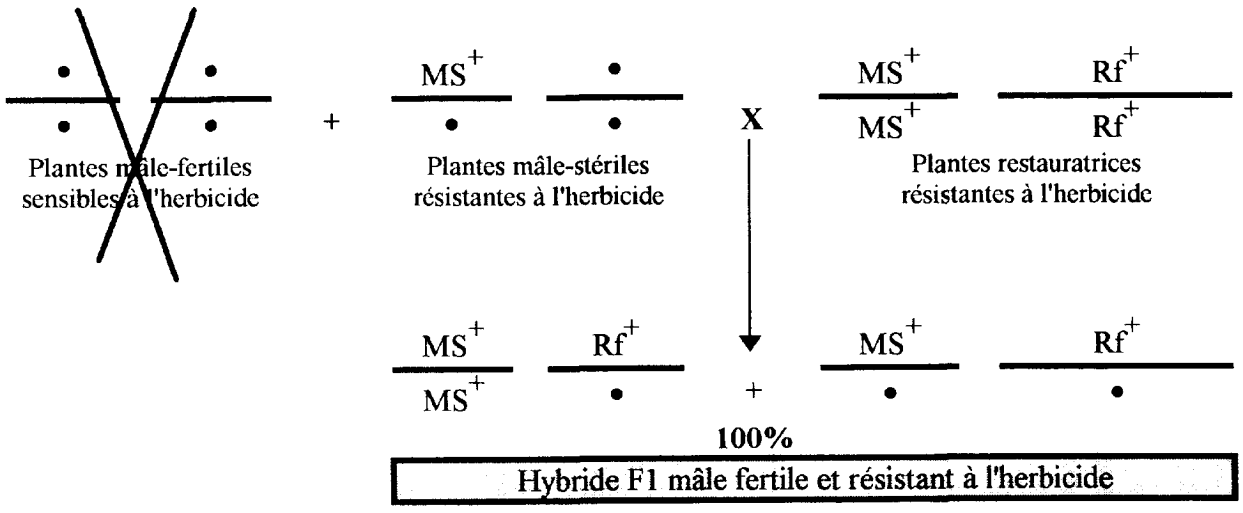


Figure 2: Schéma de production de semences d'un hybride restauré dans le cas d'une stérilité mâle digénique couplée à une résistance à un herbicide.

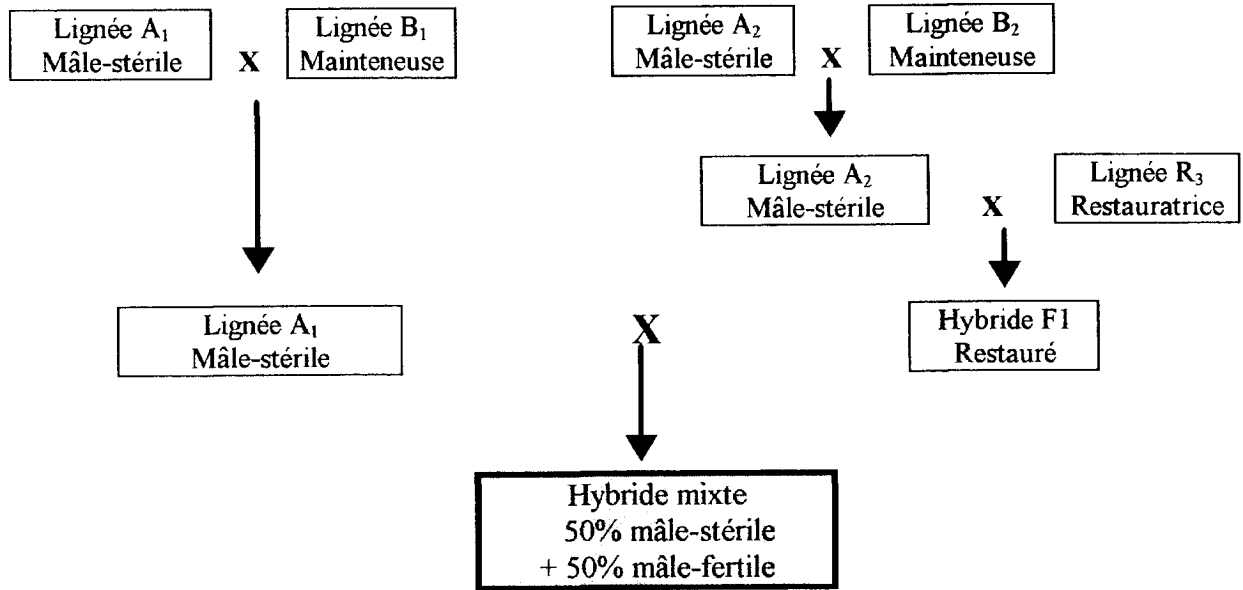


Figure 3: Schéma de production de semences d'un hybride mixte

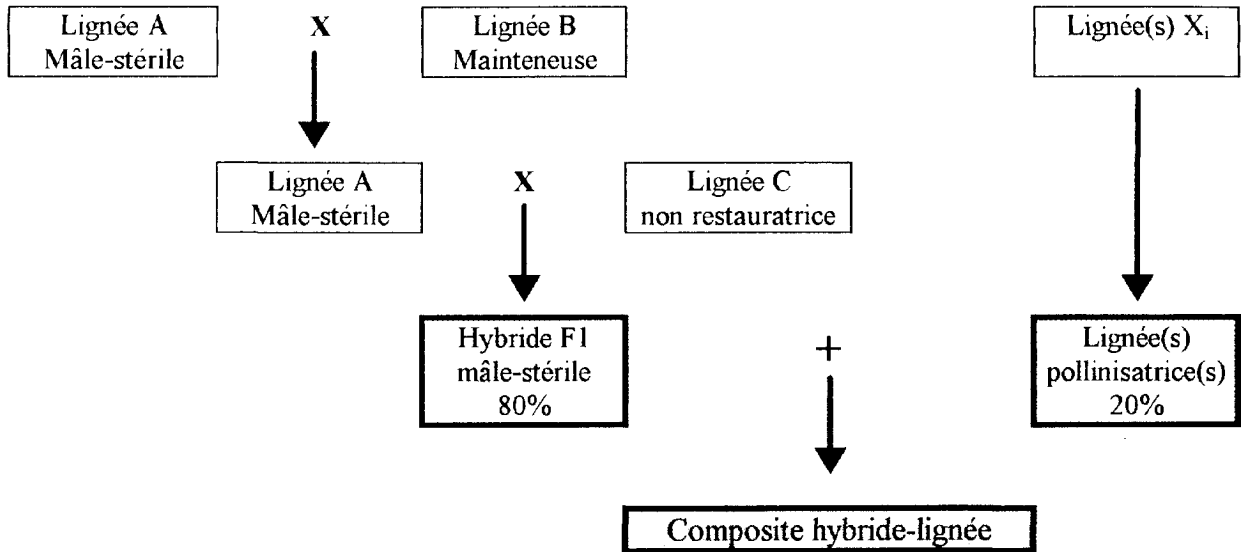


Figure 4: Schéma de production de semences d'un composite hybride-lignée dans le cas d'une stérilité mâle cytoplasmique.

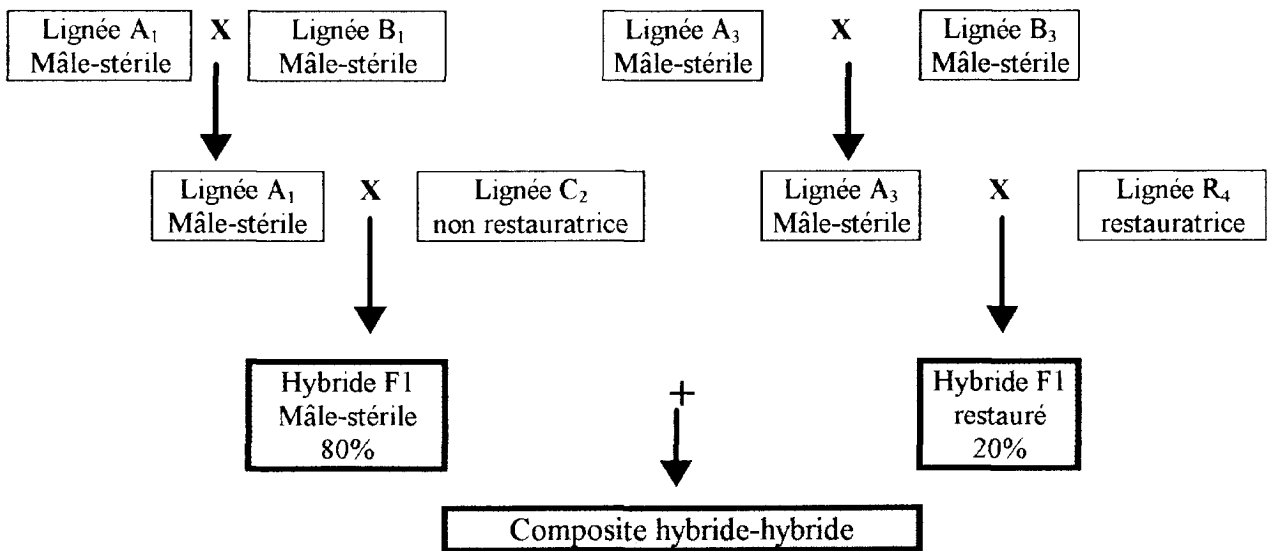


Figure 5: Schéma de production de semences d'un composite hybride-hybride

Tableau 1: Comportement de 'Synergy' (essais C.T.P.S.; 1993+1994)

	Eurol	Synergy
Rendement %	(3.51 T/ ha) 100	124
Hauteur (cm)	136	152
Verse	4.5	4.0
Nécrose du collet	5.9	5.1
Cylindrosporiose	4.2	2.4
Huile %	48.2	47.9
Proteines %	38.3	37.6
Glucosinolates (µmoles) ①	12.7	12.4

① Analyses en C.L.H.P.

Tableau 2: Comportement de 'Cocktail' (essais C.T.P.S.; 1994 +1995)

	Eurol	Cocktail
Rendement %	(3.44 T/ha) 100	120
Hauteur (cm)	143	162
Verse	5.5	5.5
Nécrose du collet	5.1	3.3
Cylindrosporiose	5.8	6.0
Huile %	48.7	47.7
Proteines %	37.0	37.0
Glucosinolates (µmoles) ①	12.9	13.4

① Analyses en C.L.H.P.

Tableau 3: Comportement de 'Pronto' et 'Joker' (essais officiels de R.F.A., 1996)

	Falcon	Pronto	Joker
Rendement %	100	119	115
Huile %	41.4	42.5	42.2
Glucosinolates (µmoles) ①	13.6	11.5	13.6

① Analyses en C.L.H.P.

Tableau 4: Comportement d'"Hybridol' (essais C.T.P.S., 1993 + 1994)

	Drakkar	Hybridol
Rendement %	100	115
Hauteur	125	129
Verse	3.0	5.8
Mildiou	7.0	2.0
Huile %	46.2	46.0
Proteines %	42.9	39.8
Glucosinolates (µmoles) ①	16.1	11.0

① Analyses en C.L.H.P.