



Agence canadienne  
d'inspection des aliments

Canadian Food  
Inspection Agency

**Document de biologie**

**BIO1999-02**

## **La biologie du *Brassica rapa* L.**

**Cahier parallèle à la directive 94-08, « Critères d'évaluation du risque  
environnemental associé aux végétaux à caractères nouveaux »**

***(also published in English)***

**février 1999**

Document publié par le Bureau de la biosécurité végétale. Pour de plus amples renseignements, communiquer avec le :

---

Bureau de la biosécurité végétale  
Direction des produits végétaux  
Agence canadienne d'inspection des aliments  
59, promenade Camelot  
Ottawa, Ontario K1A 0Y9  
Téléphone : (613) 225-2342  
Télécopieur : (613) 228-6140

**Canada**

## Table des matières

<b>Partie A - Généralités</b> .....	3
A1. Contexte .....	3
A2. Portée .....	4
<b>Partie B - Biologie de <i>B. rapa</i></b> .....	4
B1. Description générale et utilisation agricole .....	4
B2. Centres d'origine des espèces .....	6
B3. Biologie de la reproduction de <i>B. rapa</i> .....	6
B4. Bref aperçu des pratiques agronomiques liées à la culture de <i>B. rapa</i> oléifère .....	7
B5. <i>B. rapa</i> cultivé, en tant que mauvaise herbe spontanée .....	8
B6. Sommaire de l'écologie de <i>B. rapa</i> .....	9
<b>Partie C - Espèces étroitement apparentées à <i>B. rapa</i></b> .....	10
C1. Hybridation interspécifique et intergénérique .....	10
Tableau 1 : Hybrides interspécifiques et intergénériques obtenus par reproduction sexuée entre <i>B. rapa</i> et les espèces apparentées présentes au Canada .....	10
C2. Risques d'introgession génétique de <i>B. rapa</i> cultivé vers les espèces apparentées	2
C3. Distribution de <i>B. rapa</i> et des espèces apparentées au Canada .....	13
C4. L'agroécologie des mauvaises herbes apparentées à <i>B. rapa</i> .....	15
<b>Partie D - Interactions possibles entre <i>B. rapa</i> et d'autres formes de vie</b> .....	15
Tableau 2 : Interactions possibles de <i>B. rapa</i> avec d'autres formes de vie durant son cycle biologique. ....	16
<b>Part E - Bibliographie</b> .....	18

## Partie A - Généralités

### A1. Contexte

L'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA) est responsable de la réglementation des essais au champ des végétaux utilisés en agriculture et en horticulture et comportant des caractères nouveaux (VCN) au Canada. Les VCN sont définis comme étant des variétés ou des génotypes végétaux qui, d'une part, possèdent des caractères ni familiers, ni essentiellement équivalents à ceux présents dans une population distincte et stable d'une espèce cultivée au Canada et, d'autre part, ont été intentionnellement sélectionnés, créés ou introduits dans une population de cette espèce par une modification génétique précise. Par familiarité, on entend la connaissance des caractères d'une espèce végétale et l'expérience de son utilisation au Canada. Par équivalence essentielle, on entend l'équivalence d'un caractère nouveau au sein d'une espèce végétale donnée par rapport à son emploi particulier et à son innocuité pour l'environnement et la santé humaine comparativement aux caractères de cette même espèce déjà utilisée et jugée sécuritaire au Canada; cette équivalence repose sur des arguments scientifiques solides. Les critères d'évaluation du risque pour l'environnement incluent :

- ▶ les possibilités que les VCN se comportent comme des mauvaises herbes en agriculture ou qu'ils n'envahissent les habitats naturels;
- ▶ l'impact possible des VCN ou de leurs produits géniques sur les espèces non visées, y compris les humains;
- ▶ le flux génétique possible vers les espèces sauvages apparentées, avec risque de production de descendants hybrides susceptibles de devenir des mauvaises herbes ou d'être plus envahissants;
- ▶ les possibilités que les VCN ne deviennent eux-mêmes nuisibles;
- ▶ les répercussions possibles sur la biodiversité.

Les VCN peuvent être créés grâce à des techniques de phytosélection classiques ou à d'autres méthodes comme les technologies de recombinaison de l'ADN. On doit procéder à des essais au champ réglementés quand les VCN : 1) sont jugés peu familiers comparativement aux produits déjà commercialisés; 2) ne sont pas considérés comme étant essentiellement équivalents aux types de végétaux familiers analogues déjà utilisés ou jugés sûrs.

Avant que l'on autorise la dissémination des VCN en milieu ouvert, il faut procéder à une évaluation du risque que ceux-ci comportent pour l'environnement. La directive 94-08 (Dir94-08), intitulée « *Critères d'évaluation du risque environnemental associé aux végétaux à caractères nouveaux* », précise les critères et l'information requise pour l'évaluation environnementale des VCN afin d'assurer la protection de l'environnement en cas de culture en milieu ouvert.

## A2. Portée

Le présent document est parallèle à la Dir94-08. Il contient de l'information de base sur la biologie de *Brassica rapa* L., les centres d'origine et les espèces voisines. L'accent est mis sur l'analyse des possibilités d'hybridation entre *B. rapa* et les espèces étroitement apparentées. La discussion se limite au risque d'hybridation dans la nature, laquelle pourrait aboutir à la production de descendants fertiles.

Cette information particulière à l'espèce servira de guide pour répondre à certaines exigences de la partie D de la Dir94-08. Plus précisément, on l'utilisera pour déterminer si les nouveaux produits géniques des VCN altéreront de manière significative les interactions avec d'autres formes de vie, de sorte que les VCN deviendraient des mauvaises herbes dans les cultures, envahiraient les habitats naturels ou nuiraient d'autres façons à l'environnement.

Les conclusions tirées dans ce cahier sur la biologie de *B. rapa* n'ont trait qu'aux végétaux non modifiés appartenant à cette espèce.

## Partie B - Biologie de *B. rapa*

*B. rapa* et *B. campestris* ont d'abord été décrits par Linné comme étant deux espèces distinctes, *B. rapa* étant la navette et *B. campestris*, la forme sauvage nuisible. En 1833, Metzger a conclu qu'il s'agissait de la même espèce et les a toutes deux regroupées sous le nom de *B. rapa* (Toxeopus *et al.*, 1984).

### B1. Description générale et utilisation agricole

*B. rapa* appartient à la famille des Crucifères (Brassicacées) aussi connue comme étant la famille de la moutarde. Le terme crucifère vient de la forme des fleurs dont les quatre pétales opposés se croisent pour former une croix.

*B. rapa* possède un feuillage vert, des feuilles glabres ou légèrement hispides quand elles sont jeunes et des feuilles supérieures partiellement embrassantes. La tige est bien ramifiée, même si le degré de ramification dépend du biotype ou de la variété, ainsi que des conditions du milieu. Les ramifications naissent à l'aisselle des feuilles les plus hautes sur la tige, et chacune se termine par une inflorescence. Les feuilles basilaires sont très légèrement dentées ou pinnatifides et pétiolées, alors que les feuilles supérieures sont sessiles, presque entières, oblongues lancéolées et souvent étranglées au-dessus de la base. L'inflorescence est un racème allongé; les fleurs jaune pâle, en grappes denses au sommet, sont ouvertes à l'égalité et au-dessus des bourgeons terminaux et s'ouvrent vers le haut à partir de la base du racème (Downey *et al.*, 1980).

Il existe trois groupes de *B. rapa* (génom A, n=10) bien définis d'après leurs caractères morphologiques : 1 - le groupe oléifère ou oléagineux, souvent appelé navette ou colza au Canada, dont le canola est une forme particulière qui produit une huile pauvre en acide érucique

et un tourteau contenant très peu de glucosinolates; (2) le type feuillu comprenant le groupe chinensis (pak-choï, moutarde céleri), le groupe pekinensis (pé- tsai) et le groupe perviridis (verdure tendre); (3) le type rapifère, qui comprend le groupe rapifera (navet, rapini), ainsi que le groupe ruvo (brocoli-rave, navet italien) (Hortus Third, 1976; Prakash et Hinata, 1980). Le navet et les types maraîchers sont d'importantes sources de légumes dans de nombreuses régions du monde et servent aussi de fourrages pour les ovins et les bovins. Ce cahier porte sur la navette oléifère.

*B. rapa* peut se subdiviser en : 1- ses formes indiennes, soit la sous-espèce *trilocularis* (Roxb.) Hanelt. connue sous le nom de sarson à graines jaunes et la sous-espèce *dichotoma* (Roxb.) Hanelt. comprenant le type toria et le sarson à graines brunes; (2) la forme qui pousse en Europe occidentale et en Amérique du Nord, soit la sous-espèce *oleifera* (DC.) Metzg. (Kimber et McGregor, 1995).

On ne sait pas quand et où la domestication de l'espèce a eu lieu, mais des écrits en sanscrit remontant à 2000 à 1500 avant J.-C., de même que des écrits grecs, romains et chinois datés de 500 à 200 avant J.-C. (Downey et Röbbelen, 1989) font directement allusion au type oléagineux, ainsi qu'à la moutarde. En Europe, on croit que l'espèce a été domestiquée au début du Moyen-Âge et l'on a rapporté sa culture commerciale aux Pays-Bas dès le XVI<sup>e</sup> siècle. À cette époque, son huile servait surtout comme huile à lampe. Plus tard, on l'a utilisée comme lubrifiant pour les moteurs à vapeur. Malgré son emploi généralisé comme huile comestible en Asie, ce n'est qu'à la suite, d'une part, de la sélection pour en améliorer la qualité et, d'autre part, de la mise au point de meilleures techniques de transformation que son huile a pris de l'importance en Occident. Depuis la Deuxième Guerre mondiale, en raison de l'amélioration de la qualité de l'huile et du tourteau, la production de navette et de colza en Europe et au Canada a considérablement augmenté. La Chine, l'Inde, l'Europe et le Canada sont maintenant les principaux producteurs, même s'il existe un bon potentiel pour sa culture aux États-Unis, en Amérique du Sud et en Australie, où la production annuelle a connu un essor majeur les dernières années.

Les variétés commerciales actuelles de *B. napus* et de *B. rapa* à faibles teneurs en acide érucique et en glucosinolates dominent la production des espèces de Brassica oléagineux dans les pays industrialisés. Ces variétés double zéro se caractérisent par une très faible concentration (<1%) d'acide érucique dans le profil des acides gras des réserves lipidiques de la graine, ainsi que de glucosinolates (< 18 µmoles par gramme de graines à un taux d'humidité de 8,5 %) dans les graines et le tourteau. L'expression « de qualité canola » s'applique habituellement aux graines, à l'huile et aux tourteaux de ces variétés.

*B. rapa* était l'espèce dominante dans l'Ouest canadien au début des années 1970 (Downey *et al.*, 1974). À la fin des années 1980, dans les Prairies canadiennes, on consacrait à peu près les mêmes superficies à la culture de *B. napus* et de *B. rapa*. Toutefois, dans les années 1990, la proportion des terresensemencées de *B. rapa* a diminué d'environ 15 à 20 p. 100. Les principales régions productrices de *B. rapa* au Canada sont l'Alberta, la région de la rivière de la Paix en

Colombie-Britannique et le nord de la Saskatchewan. Au Manitoba, on cultive surtout *B. napus*. *B. rapa* résiste mieux au gel printanier que *B. napus* et exige généralement moins de jours sans gel pour compléter son cycle biologique. On a donc tendance à cultiver les variétés de *B. rapa* au nord des zones de production de *B. napus*. Il existe des variétés de printemps et d'hiver, mais seules celles de printemps sont cultivées. Les variétés d'hiver sont plus productives que celles de printemps, mais ne résistent pas suffisamment bien au froid pour être cultivées dans l'Ouest canadien (Downey et Röbbelen, 1989).

## **B2. Centres d'origine des espèces**

*B. rapa* subsp. *oleifera* [y compris la var. *silvestris*] indigène est considéré comme étant l'espèce dont sont issus la var. *rapa* L. (navet cultivé) et la var. *silvestris* (Lam.) Briggs (navet-rave). Cette sous-espèce est indigène en Europe, en Russie, en Asie centrale et au Proche-Orient (Prakash et Hinata, 1980), et l'on propose l'Europe comme l'une des centres d'origine. Les types de l'Asie et du Proche-Orient proviennent peut-être d'un centre d'origine indépendant en Afghanistan; ils se seraient progressivement introduits vers l'est au gré de leur domestication. Selon Prakash et Hinata (1980), le *B. rapa* oléifère qui s'est développé aux deux endroits a produit deux races différentes, une européenne et une asiatique. Selon de récents résultats d'analyse (Song et Osborn, 1992) de l'ADN des chloroplastes et des mitochondries, il semble que *B. montana* (n = 9) puisse être étroitement apparenté au prototype qui aurait donné les cytoplasmes de *B. rapa* et de *B. oleracea*.

D'ordinaire, l'aire de distribution de *B. rapa* comprend les basses terres côtières, les plateaux, les collines et les régions montagneuses (jusqu'à 2 300 m) (Warwick & Francis, 1994). En Europe, la forme d'hiver est devenue une crucifère jaune commune sur le bord des routes, dans les terrains vagues et les terres cultivées, sur les docks, dans les villes, ainsi que dans les cultures et sur les berges. Dans les îles britanniques, par exemple, elle s'est échappée des terres cultivées et s'est naturalisée partout où l'on cultive le colza oléagineux. Elle n'a été introduite que récemment au Canada et aux États-Unis, et est décrite comme étant une mauvaise herbe occasionnelle (échappée de culture ou plante spontanée) dans les champs cultivés (Munz, 1968; Muenscher, 1980). Au Canada, on la trouve dans les habitats perturbés, d'ordinaire dans les cultures, les champs et les jardins, sur le bord des routes et dans les terrains vagues. (Warwick et Francis, 1994).

## **B3. Biologie de la reproduction de *B. rapa***

*B. rapa*, à l'exception du sarson à graines jaunes, dépend obligatoirement de l'allofécondation en raison de la présence de gènes d'autostérilité. Par conséquent, lorsqu'il y a autofécondation, *B. rapa* produit peu ou pas de graines. Le pollen de *B. rapa* est collant, mais plus léger que celui de *B. napus* (K. Falk et K. Downey, communications personnelles). Comme pour *B. napus*, on peut observer des concentrations relativement élevées de pollen, quand la floraison est synchrone dans les champs de *B. rapa*; par contre, comme l'indiquent les études sur l'allofécondation, la concentration de pollen diminue rapidement à mesure qu'on s'éloigne de sa source (Stringam et

Downey, 1978; Raney et Falk, 1998). Au champ, le pollen de *B. rapa* est transféré d'une plante à l'autre surtout par contact physique entre plantes voisines. Il peut aussi être transporté sur de plus grandes distances par le vent et les insectes. Pour réduire au minimum la contamination des parcelles de semences fondation de *B. rapa*, il faut prévoir une distance de 400 mètres de toute autre source contaminante de pollen de *B. rapa* (ACPS, 1994).

On croit que les insectes pollinisateurs, en particulier les abeilles mellifères (*Apis mellifera*) et les bourdons (*Bombus* sp.), jouent un rôle fondamental dans le transport du pollen sur de grandes distances. La dynamique de la dissémination du pollen par les abeilles dépend de la quantité de pollen disponible (taille et densité de la population donneuse), de la taille, de l'emplacement et de l'orientation des populations receveuses par rapport à la source de pollen, ainsi que des conditions du milieu et de l'activité des insectes (Levin et Kerster, 1969; Ellstrand *et al.* 1989; Klinger *et al.*, 1992; Stringam et Downey, 1978; Raney et Falk, 1998). En général, les conditions météorologiques présentes à la floraison influenceront sur la pollinisation; ainsi, le temps froid et venteux ralentit l'activité des abeilles.

#### **B4.       Bref aperçu des pratiques agronomiques liées à la culture de *B. rapa* oléifère (selon Thomas, 1994)**

*B. rapa* oléifère de printemps est une culture de saison froide. Cette espèce est adaptée à un éventail de conditions et se comporte bien dans une vaste gamme de sols, si les taux d'humidité et de fertilité de ces derniers sont adéquats. La température de l'air et du sol influe sur sa croissance et sa productivité. La température optimale de croissance et de développement dépasse tout juste 20°C, et l'espèce pousse le mieux entre 12°C et bien en-dessous de 30°C. Après la levée, les plantules préfèrent des températures relativement fraîches jusqu'à la floraison; par contre, des températures élevées à la floraison accéléreront le développement de la plante, réduisant ainsi l'intervalle entre la floraison et la maturité.

*B. rapa* est habituellement coupé en andains à maturité physiologique quand 30 à 50 p. 100 des graines sur la plante ont commencé à passer du vert au brun ou au jaune. Les graines sont regroupées à maturité, quand presque toutes ont changé de couleur. L'emploi de défânants accélère et uniformise le mûrissement, favorisant ainsi la récolte à la moissonneuse-batteuse. De plus, *B. rapa* résiste mieux à l'égrenage que *B. napus*, ce qui en facilite la récolte à la moissonneuse-batteuse.

Les pratiques agronomiques utilisées pour la culture de *B. rapa* changent actuellement en raison d'une plus grande sensibilisation à la conservation des sols. On recommande un travail minimal ou l'absence de travail du sol pour la production de *B. rapa*; par conséquent, la plus grande partie des résidus de culture et du chaume restent sur le sol et y captent la neige, réduisent le ruissellement à la fonte des neiges, stoppent l'érosion des sols causée par le vent et l'eau et améliorent la rétention de l'eau dans le sol. Toutefois, les techniques de travail réduit du sol ne sont efficaces que lorsqu'elles sont associées à un bon programme de lutte systématique contre les mauvaises herbes.

Les mauvaises herbes sont d'ailleurs l'un des paramètres les plus limitants de la production de navette. Les crucifères nuisibles étroitement apparentées, comme la moutarde sauvage (*Sinapis arvensis*), le tabouret des champs (*Thlaspi arvense*), la capselle (*Capsella bursa-pastoris*), la neslie paniculée (*Neslia paniculata*), la sagesse-des-chirurgiens (*Descurainia sophia*), le vélar giroflée (*Erysimum cheiranthoides*), le conringia oriental (*Conringia orientalis*), la lépidie densiflore (*Lepidium densifolium*), etc., sont souvent une source de problèmes. La navette de printemps a du mal à concurrencer ces plantes nuisibles au début de sa croissance, car elle pousse lentement et prend du temps à recouvrir le sol. Il faut donc désherber tôt pour éviter les pertes de rendement dues à la concurrence. Même si la culture peut être la proie de nombreux insectes ravageurs, il faut bien gérer les traitements insecticides pour éviter les applications inutiles et coûteuses de pesticides, les possibilités de développement de la résistance chez les insectes et les dommages causés aux abeilles et aux insectes pollinisateurs indigènes. Les maladies peuvent causer de graves dommages dans les grandes régions productrices et leur apparition dépend en grande partie des pratiques culturales et des facteurs environnementaux. Pour l'éradication des maladies, on conseille aux agriculteurs de mettre en oeuvre des programmes phytosanitaires (voir le Tableau 2 pour les exemples de ravageurs et de maladies de *B. rapa*).

En général, on devrait éviter de cultiver les Brassica dans le même champ plus d'une fois par quatre ans pour prévenir une aggravation des maladies, ainsi que des infestations d'insectes et de mauvaises herbes. Les résidus d'herbicides et les plantes spontanées issues de cultures précédentes, y compris des cultures de navette et de colza produits pour l'obtention de divers types d'huile, sont aussi d'importants facteurs dont il faut tenir compte dans le choix des sites. La sélection de *B. rapa* est courante et repose sur de simples méthodes de sélection récurrente pour éviter la dépression de consanguinité. *B. rapa* affiche une vigueur hybride remarquable pour le rendement, avec des hausses de rendement allant jusqu'à 40 p. 100; elle suscite donc un vif intérêt à l'égard de la création d'hybrides ou de cultivars synthétiques (Falk *et al.*, 1998). Ces cultivars synthétiques sont le fruit de croisements aléatoires entre des lignées parentales sélectionnées; ces croisements donnent des hybrides et, quand ils ont lieu au sein des mêmes lignées parentales, des frères et soeurs (Buzza, 1995; Falk *et al.*, 1998). Les premières lignées synthétiques de *B. rapa* ont été enregistrées au Canada en mai 1994 sous les noms de variété CASH, Hysyn 100 (Falk et Stoenescu, 1996a), Hysyn 110 (Falk et Stoenescu, 1996b) et Maverick (ACIA, 1999).

#### **B5. *B. rapa* cultivé, en tant que mauvaise herbe spontanée**

Comme pour toutes les espèces cultivées et récoltées au champ, des graines peuvent échapper à la récolte et demeurer dans le sol jusqu'à la prochaine campagne pendant laquelle elles germent avant ou après les semis de la culture subséquente. Parfois, ces plantes spontanées peuvent livrer une concurrence féroce à la culture ensemencée et causer ainsi une détérioration de la qualité de la récolte. Dans ce cas, il est essentiel de procéder à des traitements chimiques et mécaniques.

Le problème des plantes spontanées dans les cultures subséquentes est courant dans la plupart des grandes cultures. Son ampleur dépend toutefois des façons culturales, comme la libération



des graines lors de la récolte, ainsi que du réglage de l'équipement de moisson et de la vitesse de la récolte, qui détermineront dans quelle mesure la moissonneuse laissera échapper les graines. Les cultures de Brassica produisent une grande quantité de petites graines qui, en l'absence de méthodes appropriées, germeront spontanément dans les cultures subséquentes et y seront un véritable fléau. On peut rencontrer des difficultés analogues avec les variétés cultivées de *B. juncea* et de *B. napus*. On peut induire la dormance des graines de *B. rapa* ainsi perdues, en particulier en les enfouissant dans le sol, bien qu'un traitement approprié du sol après la récolte puisse atténuer considérablement l'apparition de plantes spontanées.

## **B6. Sommaire de l'écologie de *B. rapa***

*B. rapa* est une plante des habitats perturbés. Dans les écosystèmes non aménagés, l'espèce peut être considérée comme étant un colonisateur primaire, soit une espèce végétale qui est la première à s'approprier un terrain perturbé où elle concurrencera les végétaux de types analogues pour l'espace. À moins que les habitats soient régulièrement bouleversés, comme le bord des falaises, les berges des rivières et les bords des sentiers tracés par les animaux, les populations de ces types de végétaux seront remplacées par des espèces intermédiaires et, enfin, par des végétaux qui formeront des écosystèmes climaciques, comme les graminées pérennes dans les prairies et les essences d'arbres et les arbustes pérennes dans les forêts.

*B. rapa* peut devenir naturalisé dans les habitats perturbés comme le bord des routes, les terrains industriels, les terrains vagues et les terres agricoles. On peut trouver des preuves de cela dans les données sur *B. rapa* provenant des pays où l'on a introduit la culture de cette espèce. La capacité de *B. rapa* à concurrencer d'autres colonisateurs primaires pour occuper l'espace déterminera si l'espèce se naturalisera à un endroit donné. Cela dépendra également des conditions climatiques, édaphiques et autres particulières à l'endroit.

Dans les systèmes de production agricole, l'application de pratiques culturales inappropriées et une résistance insuffisante de la culture à l'égrenage peuvent entraîner une forte réduction du nombre de graines récoltées de *B. rapa*, suivie de graves problèmes dus à l'apparition de plantes spontanées dans les cultures subséquentes, en particulier dans les peuplements denses. De plus, la contamination des cultures subséquentes amoindrira la qualité des semences, surtout s'il s'agit de peuplements denses.

*B. rapa* n'est pas énuméré parmi les espèces nuisibles dans *l'Arrêté sur les graines de mauvaises herbes (1986)*. Dans *Les mauvaises herbes du Canada (Frankton et Mulligan, 1993)*, on indique que *B. rapa* est largement distribué dans toutes les provinces canadiennes. Selon la recherche menée au champ, *B. rapa* pousse communément comme mauvaise herbe spontanée dans les cultures dans les provinces de l'Ouest (Thomas et Frick, 1998; Thomas *et al.*, 1998). Le signalement de *B. rapa* comme mauvaise herbe est plus fréquent au Québec et dans les provinces de l'Est. Dans les champs de maïs de l'Est, les pressions sur la sélection causées par l'emploi de l'herbicide atriazine ont abouti à l'identification de plants de *B. rapa* tolérants à la famille des herbicides à base de triazine (Maltais et Bouchard, 1978). De plus, la moutarde des oiseaux, un

biotype sauvage de *B. rapa*, est une mauvaise herbe secondaire dans une zone limitée de culture des céréales en Ontario (Alex et Switzer, 1976).

## Partie C - Espèces étroitement apparentées à *B. rapa*

### C1. Hybridation interspécifique et intergénérique

En évaluant l'impact environnemental potentiel de la dissémination de *B. rapa* génétiquement modifié en milieu ouvert, il importe de bien comprendre les possibilités de création d'hybrides à la suite de croisements interspécifiques ou intergénériques avec les espèces apparentées. La formation de tels hybrides pourrait entraîner l'introgession des caractères nouveaux vers ces espèces apparentées, ce qui aurait les conséquences suivantes :

- ▶ les espèces apparentées deviendraient plus nuisibles dans les terres cultivées ou envahiraient davantage les écosystèmes naturels;
- ▶ une altération des interactions environnementales risquant de nuire à l'environnement ou à la santé et la sécurité humaines.

Pour qu'un caractère soit intégré au génome d'une espèce, il faut d'abord que des hybrides intermédiaires soient produits et, deuxièmement, qu'il y ait rétrocroisement récurrent entre les plants de cette espèce et les hybrides intermédiaires et que la descendance soit viable et capable de se reproduire.

Même si l'on a réalisé des croisements interspécifiques et intergénériques entre *B. rapa* et les espèces apparentées, un grand nombre de ces croisements ont nécessité une intervention sous forme de culture d'ovaires, de sauvetage des embryons et de fusion des protoplastes. Dans la documentation et tel que cité au Tableau 1 ci-après, les hybrides interspécifiques et intergénériques ont été obtenus par reproduction sexuée entre *B. rapa* et les espèces apparentées présentes au Canada (Warwick et Black, 1993; Prakash et Hinata, 1980).

**Tableau 1 : Hybrides interspécifiques et intergénériques obtenus par reproduction sexuée entre *B. rapa* et les espèces apparentées présentes au Canada**

*Veillez noter :* F1 = hybrides F1; F2 = descendants autofécondés produits à partir des hybrides F1; DRC = descendance de rétrocroisement

<u>Croisement</u>	<u>Résultat</u>	<u>Bibliographie</u>
<i>B. napus</i> x <i>B. rapa</i>	F1, F2, DRC	Morinaga, 1929; U, 1935; Bing <i>et al.</i> , 1991; Jørgensen & Andersen, 1994; Mikkelsen <i>et al.</i> , 1996

<i>B. rapa</i> x <i>B. napus</i>	F1, F2, DRC	Morinaga, 1929; U, 1935; Bing <i>et al.</i> , 1991; Falk, 1991; Jørgensen & Andersen, 1994; Mikkelsen <i>et al.</i> , 1996
<i>B. rapa</i> x <i>B. nigra</i>	F1	Mizushima, 1950; Prakash, 1973; Hinata <i>et al.</i> , 1974; Mattsson, 1988; Bing <i>et al.</i> , 1996
<i>B. rapa</i> x <i>B. nigra</i>	F1	Mizushima, 1950; Prakash, 1973; Hinata <i>et al.</i> , 1974; Mattsson, 1988; Bing <i>et al.</i> , 1996
<i>B. nigra</i> x <i>B. rapa</i>	F1	Hinata <i>et al.</i> , 1974
<i>B. rapa</i> x <i>B. oleracea</i>	F1	Wojciechowski, 1985; Mattsson, 1988
<i>B. oleracea</i> x <i>B. rapa</i>	F1	Ellerström, 1978; Wojciechowski, 1985
<i>B. rapa</i> x <i>B. carinata</i>	F1	Takeda, 1975; Falk, 1991
<i>B. carinata</i> x <i>B. rapa</i>	F1	Mizushima, 1950
<i>B. juncea</i> x <i>B. rapa</i>	F1, DRC	Sinskaia, 1927; Olsson, 1960; Katiyar and Chamola, 1995
<i>B. rapa</i> x <i>Raphanus sativus</i>	F1, F2	Ellerström, 1978; Dolstra, 1982
<i>R. sativus</i> x <i>B. rapa</i>	F1	Ellerström, 1978
<i>Diplotaxis eruroides</i> x <i>B. rapa</i>	F1	Hinata <i>et al.</i> , 1974; Vyas <i>et al.</i> , 1995
<i>D. muralis</i> x <i>B. rapa</i>	F1	Salisbury, 1989; Lefol <i>et al.</i> , 1997
<i>D. tenuifolia</i> x <i>B. rapa</i>	F1	Salisbury, 1989
<i>B. rapa</i> x <i>Erucastrum gallicum</i>	F1	Lefol <i>et al.</i> , 1997

Certains hybrides, comme *B. rapa* x *B. napus*, *B. napus* x *B. rapa* et *B. rapa* x *B. nigra*, sont le fruit d'études sur l'allofécondation au champ signalées par Bing *et al.* (1991, 1996). D'autres sont

le résultat d'une pollinisation manuelle, en général par émasculature de la plante femelle suivie d'un transfert du pollen de la plante mâle au moyen d'un pinceau.

Les croisements interspécifiques peuvent donner des descendants qui affichent une fertilité/stérilité partielle selon le nombre de chromosomes chez les espèces cultivées et les espèces apparentées. De nombreux hybrides ne verront pas le jour parce que l'endosperme (tissu résultant de la fertilisation de deux noyaux polaires du sac embryonnaire par un noyau reproducteur mâle) ne se développe pas. Malgré de nombreuses exceptions, un ratio de 2:1 ou plus pour les chromosomes maternels et paternels améliore le taux de succès des croisements (Nishiyama et Inomata, 1966). Ainsi, la pollinisation d'un parent femelle tétraploïde par un mâle diploïde produit habituellement des graines, alors que le croisement réciproque est moins productif ou ne donne aucune graine. Il est aussi intéressant de noter que les plantes partiellement fertiles issues du croisement interspécifique *B. napus* x *B. rapa* peuvent produire des graines par autofécondation.

Chez *B. rapa* et d'autres espèces (*B. napus*, *B. nigra*), la floraison est critique pour l'hybridation. Les périodes de floraison, qui dépendent largement des conditions du milieu, doivent se chevaucher au moins en partie. Pour évaluer les possibilités d'hybridation, il est important de connaître la chronologie de la floraison à la fois de l'espèce cultivée et des espèces apparentées, les distances entre les espèces pouvant se croiser, la présence des vecteurs de pollinisation et, dans le cas de la pollinisation par les insectes, la fréquence de la pollinisation potentielle, de l'activité et du comportement.

Pour qu'un caractère soit intégré au génome d'une espèce, il doit y avoir un rétrocroisement récurrent entre les plants de l'espèce et les hybrides intermédiaires, et il faut que la descendance survive et soit fertile.

## **C2. Risques d'introgession génétique de *B. rapa* cultivé vers les espèces apparentées**

Les croisements énumérés au Tableau 1 visent à faciliter l'évaluation des possibilités d'introgession de caractères nouveaux introduits dans *B. rapa* cultivé aux espèces sauvages apparentées. Plusieurs facteurs doivent être considérés quand on évalue les possibilités de flux génétique d'une espèce à une autre, y compris : la compatibilité de croisement entre les espèces visées, la direction du croisement, la viabilité des graines issues de croisements interspécifiques ou intergénériques, la fertilité de l'hybride. La probabilité de flux génétique entre les Brassica est passablement forte en raison de la compatibilité croisée des membres du triangle U.

La première étape de l'évaluation consiste à déterminer lesquelles des espèces susceptibles de se croiser avec *B. rapa* sont présentes dans la région géographique où on en propose la culture. En cas de risque d'hybridation avec des espèces sauvages, il faut déterminer la fréquence de l'hybridation et les répercussions possibles sur l'environnement en cas d'introgession.

Les populations sauvages de *B. rapa* (moutarde des oiseaux) existent dans les zones agricoles, et

le flux génétique entre *B. rapa* cultivé et les individus sauvages est probable.

Selon Bing *et al.* (1991), lors des croisements qu'ils ont tentés, il était possible pour des hybrides issus de croisements entre *B. napus*, *B. juncea* et *B. rapa* de produire des semences viables capables de survivre jusqu'aux prochaines générations. Ces trois espèces sont largement cultivées pour la production de canola et de moutarde.

*S. arvensis* est peut-être la pire des Brassica nuisibles apparentées, en particulier dans les principales régions productrices de canola au Manitoba, en Saskatchewan et en Alberta. On a notamment observé des taux d'infestation allant jusqu'à 45 p. 100 dans les champs de canola surveillés au Manitoba (Thomas *et al.*, 1998).

Les combinaisons hybrides créées avec succès avec *B. rapa* comme parent femelle méritent aussi d'être étudiées en ce qui concerne le flux génétique, car elles peuvent agir comme ponts génétiques pour d'autres espèces de Brassica apparentées. On s'inquiète notamment du rôle de *B. juncea* comme pont génétique vers *B. nigra* ou *S. arvensis*, car *B. juncea* peut former des hybrides avec ces deux espèces (Bing *et al.*, 1991).

### **C3. Distribution de *B. rapa* et des espèces apparentées au Canada**

Parmi les croisements susmentionnés, *B. carinata* n'est pas déclaré comme étant présent au Canada (Warwick, 1993; Warwick *et al.*, 1999), même s'il constitue, pour la sélection du canola, une source future de gènes responsables de la formation de grosses graines jaunes et de la résistance aux maladies et à l'égrenage sur pied. Quant à *D. erucoïdes*, on ne signale sa présence sur la péninsule de Gaspé au Québec que dans d'anciens rapports. Quant à *B. oleracea*, sauf pour les types sauvages dans leurs habitats d'origine en Europe, cette espèce se manifeste rarement à l'état sauvage.

Distribution des espèces :

- ▶ La forme sauvage de *B. rapa* (moutarde des oiseaux) est présente dans le district de Mackenzie, dans les Territoires du Nord-Ouest (DM, T N.-O.), au Yukon (Yuk.), au Labrador (Labr.), à Terre-Neuve (T.-N.), en Nouvelle-Écosse (N.-É.), à l'Île-du-Prince-Édouard (Î.-P.É.), au Nouveau-Brunswick (N.-B.), au Québec (QC), en Ontario (Ont.), au Manitoba (Man.), en Saskatchewan (Sask.), en Alberta (Alb.) et en Colombie-Britannique (B.-C.). Dans Les mauvaises herbes du Canada (Frankton et Mulligan, 1993), on indique qu'elle abonde parfois et que dans certaines parties de l'Est canadien, elle supplante *S. arvensis* sur de grandes superficies. Selon Alex et Switzer (1976), elle apparaît dans quelques champs de céréales et dans des terrains vagues dans le sud de l'Ontario.
- ▶ *B. napus* (colza) est présent dans les Territoires du Nord-Ouest, au Labrador, à Terre-Neuve, en Nouvelle-Écosse, à l'Île-du-Prince-Édouard, au Nouveau-Brunswick, au Québec, en Ontario, au Manitoba, en Saskatchewan, en Alberta et en Colombie-Britannique. Cette

- espèce n'est pas répertoriée dans Les mauvaises herbes du Canada (Frankton et Mulligan, 1993), ni dans Ontario Weeds (Alex et Switzer, 1976).
- ▶ *B. juncea* (moutarde joncée et moutarde brune) pousse dans le district de Mackenzie dans les Territoires du Nord-Ouest, à Terre-Neuve, en Nouvelle-Écosse, à l'Île-du-Prince-Édouard, au Nouveau-Brunswick, au Québec, en Ontario, au Manitoba, en Saskatchewan, en Alberta et en Colombie-Britannique. Dans Les mauvaises herbes du Canada, on indique qu'elle est présente dans toutes les provinces, mais qu'elle abonde surtout dans les provinces de l'Ouest. Dans Ontario Weeds, on mentionne que son aire de distribution est analogue à celle de *S. arvensis*, bien qu'elle soit généralement moins courante.
  - ▶ *B. nigra* (moutarde noire) croît à Terre-Neuve, en Nouvelle-Écosse, à l'Île-du-Prince-Édouard, au Nouveau-Brunswick, en Ontario, en Saskatchewan et en Colombie-Britannique (B.-C.). Dans Les mauvaises herbes du Canada, cette espèce ne serait pas très courante dans l'Ouest canadien. Dans Ontario Weeds, on mentionne qu'elle pousse dans quelques localités du sud de la province, en particulier dans les champs et les terrains vagues longeant les vallées fluviales et les voies ferrées.
  - ▶ *D. muralis* (diplotaxis des murs) est présent en Nouvelle-Écosse, à l'Île-du-Prince-Édouard, au Nouveau-Brunswick, au Québec, en Ontario, au Manitoba, en Saskatchewan et en Colombie-Britannique. Les mauvaises herbes du Canada n'en fait pas mention. Dans Ontario Weeds, on indique qu'elle pousse habituellement dans les sols légers le long des routes et des voies ferrées, sur les plages et autour des bâtiments, ainsi que dans les terrains vagues dans le sud de la province.
  - ▶ *D. tenuifolia* (diplotaxis des murs) croît en Nouvelle-Écosse, au Nouveau-Brunswick, au Québec et en Ontario. C'est une espèce pérenne commune le long des routes et dans les terrains vagues (Crompton *et al.*, 1988). L'espèce n'est pas mentionnée dans Les mauvaises herbes du Canada.
  - ▶ *E. gallicum* a été signalé dans le district de Mackenzie dans les Territoires du Nord-Ouest (Warwick et Wall, 1998), à Terre-Neuve, en Nouvelle-Écosse, à l'Île-du-Prince-Édouard, au Nouveau-Brunswick, au Québec, en Ontario, au Manitoba, en Saskatchewan, en Alberta et en Colombie-Britannique. Dans Les mauvaises herbes du Canada, on dit que c'est au Manitoba et en Saskatchewan qu'elle abonde le plus dans les champs, les terrains vagues, les gares ferroviaires, les jardins et les vergers. Elle est très commune le long des routes et foisonne comme mauvaise herbe dans les champs de nombreuses localités de l'Ouest canadien. En Ontario, l'espèce est présente partout, mais prolifère surtout dans le sud où on la trouve fréquemment autour des gares ferroviaires, dans les terrains vagues et les vergers, le long des routes et parfois dans les champs de céréales.
  - ▶ *R. sativus* (radis) pousse dans les Territoires du Nord-Ouest, à Terre-Neuve, en Nouvelle-Écosse, à l'Île-du-Prince-Édouard, au Nouveau-Brunswick, au Québec, en Ontario, au Manitoba, en Saskatchewan, en Alberta et en Colombie-Britannique. Dans Les mauvaises herbes du Canada, on mentionne que l'espèce persiste parfois dans les jardins (à la suite de sa culture) et qu'elle pousse aussi à l'état sauvage.
  - ▶ *S. arvensis* (moutarde sauvage) est présent dans les Territoires du Nord-Ouest, au Yukon, au Labrador, à Terre-Neuve, en Nouvelle-Écosse, à l'Île-du-Prince-Édouard, au Nouveau-Brunswick, au Québec, en Ontario, au Manitoba, en Saskatchewan, en Alberta et

en Colombie-Britannique. Dans Les mauvaises herbes du Canada, on indique qu'elle est l'une des mauvaises herbes annuelles les plus communes. Elle pousse dans toutes les provinces, mais on observe les plus graves infestations dans les riches vallées fluviales de l'Ouest. Son habitat comprend les champs de céréales, les champs cultivés, les terrains vagues, les vaines clôtures et les bords de routes. Dans Ontario Weeds, on mentionne que dans cette province, on la trouve le plus fréquemment dans les champs cultivés et les jardins, mais aussi à l'occasion le long des clôtures, sur le bord des routes et dans les terrains vagues.

#### C4. L'agroécologie des mauvaises herbes apparentées à *B. rapa*

Des espèces apparentées dont il a été question, *S. arvensis* (moutarde sauvage) est considéré comme étant l'une des mauvaises herbes primaires dans *l'Arrêté sur les graines de mauvaises herbes (1986)* et peut-être l'espèce la plus nuisible dans les cultures. Toutefois, avec des herbicides sélectifs, elle est relativement facile à maîtriser dans les cultures autres que celles de Brassica.

Les systèmes et pratiques culturaux peuvent considérablement atténuer la présence des espèces nuisibles. L'adoption récente de systèmes de production avec un travail minimal du sol ou même sans travail du sol et l'abandon de la jachère cultivée comme méthodes de conservation des sols ont modifié l'importance des diverses espèces nuisibles.

Les espèces nuisibles apparentées à *B. rapa* croissent dans des habitats perturbés, et les écosystèmes dans lesquels elles survivent et prolifèrent sont décrits dans la partie C3.0 ci-avant. Leur survie dépend de leur capacité à concurrencer les autres espèces colonisatrices primaires, notamment les mauvaises herbes, pour l'occupation de l'espace. Cette capacité dépend à son tour de l'adaptation des espèces aux conditions climatiques, édaphiques et autres particulières à l'endroit.

### Partie D - Interactions possibles entre *B. rapa* et d'autres formes de vie

Les renseignements du tableau 2 visent à aider le demandeur à déterminer les impacts possibles de la dissémination du VCN sur les organismes non visés mais **ne devraient pas être considérés comme étant exhaustifs**. En cas d'impact important du VCN sur tout organisme visé ou non visé, il peut être nécessaire d'évaluer les effets secondaires de cet impact.

**Tableau 2. Interactions possibles de *B. rapa* avec d'autres formes de vie durant son cycle biologique.**

<u>Autres organismes</u>	<u>Interaction avec <i>B. rapa</i></u>
	(Pathogène; Symbiote ou organisme bénéfique; Consommateur; Flux génétique)

<i>Albugo candida</i> (rouille blanche)	Pathogène
<i>Alternaria</i> spp. (tache noire)	Pathogène
<i>Botrytis cinerea</i> (moisissure grise)	Pathogène
<i>Erysiphe</i> spp. (maladie du blanc)	Pathogène
<i>Leptosphaeria maculans</i> (jambe noire)	Pathogène
<i>Peronospora parasitica</i> (mildiou)	Pathogène
<i>Plasmodiophora brassicae</i> (hernie)	Pathogène
<i>Pyrenopeziza brassicae</i> (tache pâle)	Pathogène
<i>Pythium debaryanum</i> (fonte des semis)	Pathogène
<i>Rhizoctonia solani</i> (pourriture basale, fonte des semis)	Pathogène
<i>Sclerotinia sclerotiorum</i> (pourriture sclérotique)	Pathogène
<i>Xanthomonas</i> spp. (nervation noire)	Pathogène
Virus de la mosaïque du navet	Pathogène
Mycoplasme de la jaunisse de l'aster	Pathogène
Altises	Consommateur
Pollinisateurs	Symbiote ou organisme bénéfique; Consommateur
Champignons mycorrhiziens	Symbiote ou organisme bénéfique
Oiseaux	Consommateur
Animaux brouteurs	Consommateur



Microorganismes terricoles	Symbiote ou organisme bénéfique
Vers de terre	Symbiote ou organisme bénéfique
Insectes terricoles	Consommateur
Autres <i>B. rapa</i>	Flux génétique
<i>B. napus</i>	Flux génétique
<i>B. juncea</i>	Flux génétique
<i>B. nigra</i>	Flux génétique
<i>R. sativus</i>	Flux génétique
<i>S. arvensis</i>	Flux génétique
<i>D. erucoides</i>	Flux génétique
<i>D. muralis</i>	Flux génétique
<i>D. tenuifolia</i>	Flux génétique
<i>E. gallicum</i>	Flux génétique

## Part E - Bibliographie

Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA) (1999). Liste des variétés qui sont enregistrées au Canada. Section des variétés, Gouvernement du Canada.

Alex, J. F. and C. M. Switzer (1976). Ontario Weeds. Ontario Ministry of Agriculture and Food Publication 505. 200 pp.

Arrêté sur les graines de mauvaises herbes (1986). Loi sur les semences

Bing, D. J., R. K. Downey and G. F. W. Rakow (1996). Assessment of transgene escape from Brassica rapa (*B. campestris*) into *B. nigra* or *Sinapis arvensis*. Plant Breeding 115: 1-4.

Bing, D. J., R. K. Downey and G. F. W. Rakow (1991). Potential of gene transfer among oilseed Brassica and their weedy relatives. GCIRC 1991 Congress. pp. 1022–1027.

Buzza, G. C. (1995). Plant breeding. In: Brassica Oilseeds - Production and Utilization. D. S. Kimber and D. I. McGregor, eds. CAB International, Oxon, UK. pp. 153-176.

Canadian Seed Growers Association (CSGA) (1994). Regulations and Procedures for Pedigreed Seed Crop Production. Circular 6. CSGA, Ottawa, Canada.

Crompton C. W., J. McNeill, A. E. Stahevitch and W. A. Wojtas (1988). Preliminary Inventory of Canadian Weeds. Agriculture Canada Research Branch, Biosystematics Research Centre, Technical Bulletin 1988-9E. 291 pp.

Dolstra, O. (1982). Synthesis and fertility of X Brassicoraphanus and ways of transferring Raphanus characters to Brassica. Agric. Res. Rep. 917, Pudoc, Wageningen, pp. 1-90.

Downey, R. K., A. J. Klassen and S. H. Pawlowski (1974). Breeding quality improvements into Canadian Brassica oilseed crops. Proc. 4th Int. Rapeseed Congress, Giessen, Germany. pp. 57-61.

Downey, R. K., A. J. Klassen and G. P. Stringam. (1980). Rapeseed and mustard. In: Hybridization of Crop Plants. American Society of Crop Science. pp. 495-509.

Downey, R. K. and G. Röbbelen (1989). Brassica species. In: Oil Crops of the World. G. Röbbelen, R. K. Downey and A. Ashri, eds. McGraw-Hill, New York. pp. 339 - 362.

Ellerström, S. (1978). Species crosses and sterility in Brassica and Raphanus. Cruciferae Newsletter 3: 16-17.

Ellstrand, N. C., B. Devlin and D. L. Marshall (1989). Gene flow by pollen into small populations: data from experimental and natural stands of wild radish. Proc. Nat. Acad. Sci. USA 86: 9044-9047.

Falk, K. C. (1991). Heterosis in summer turnip rape (*Brassica campestris* L.) And cytoplasmic substitution in the genus Brassica. Ph.D. Thesis, Dept. of Crop Science and Plant Ecology, University of Saskatchewan, Saskatoon, Saskatchewan, Canada.

Falk, K.C., G. F. W. Rakow and R. K. Downey (1998). The utilization of heterosis for seed yield in hybrid and synthetic cultivars of summer turnip rape (*B. rapa* L.). Can. J. Plant Sci. 78: 383-387.

Falk, K. C. and F. M. Stoenescu (1996a). Hysyn 100 summer turnip rape. Can. J. Plant Sci. 76: 127-128.

Falk, K. C. and F. M. Stoenescu (1996b). Hysyn 110 summer turnip rape. Can. J. Plant Sci. 76: 129-130.

Frankton, C. and G. A. Mulligan (1993). Weeds of Canada. Canadian Government Publishing Centre. Agriculture Canada Publication 948. 217 pp.

Hinata, K., N. Konnoe and U. Mizushima (1974). Interspecific crossability in the tribe Brassicaceae with special reference to the self-incompatibility. Tohoku J. Agr. Res. 25: 58-66.

Hortus Third (1976). A Concise Dictionary of Plants Cultivated in the United States and Canada. Liberty Hyde Bailey Hortorium, ed. Macmillan Publishing Company, Cornell University. pp. 903-04; 1054.

Jørgensen, R. B. and B. Andersen (1994). Spontaneous hybridization between oilseed rape (*Brassica napus*) and weedy *B. campestris* (Brassicaceae): a risk of growing genetically modified oilseed rape. *Journal of Botany* 81(12): 1620-1626.

Katiyar, R. K. and R. Chamola (1995). Useful end products from *Brassica juncea* x *B. carinata* and *Brassica juncea* x *B. campestris* crosses. *Cruciferae Newsletter* 17: 20-21.

Kimber, D. S. and D. I. McGregor (1995). The species and their origin, cultivation and world production. In: *Brassica Oilseeds - Production and Utilization*. D. S. Kimber and D. I. McGregor, eds. CAB International, Oxon, UK. pp. 1-8.

Klinger, T., P. E. Arriola and N. C. Ellstrand (1992). Crop-weed hybridization in radish (*Raphanus sativus*): effects of distance and population size. *Amer. J. Bot.* 79: 1431-1435.

Lefol, E., Séguin-Swartz, G. and R. K. Downey (1997). Sexual hybridization in crosses of cultivated *Brassica* species with the crucifers *Erucastrum gallicum* and *Raphanus raphanistrum*: Potential for gene introduction. *Euphytica* 95: 127-139.

Levin, D. A. and H. W. Kerster (1969). The dependence of bee-mediated pollen and gene dispersal upon plant density. *Evolution* 23: 560-571.

Maltais, B. and C. J. Bouchard (1978). Bird's rape (*Brassica rapa* L.) resistant to atrazine. *Phytoprotection* 59: 117-119

Mattsson, B. (1988). Interspecific crosses within the genus *Brassica* and some related genera. *Sveriges Utsadesforenings Tidskrift* 98: 187-212.

Mikkelsen, T. R., J. Jensen and R. B. Jørgensen (1996). Inheritance of oilseed rape (*Brassica napus*) RAPD markers in a backcross progeny with *Brassica campestris*. *Theor. Appl. Genet.* 92: 492-497.

Mizushima, U. (1950). Karyogenetic studies of species and genus hybrids in the tribe Brassicaceae of Cruciferae. *Tohoku J. Agr. Res.* 1: 1-4.

Morinaga T. (1929). Interspecific hybridization in *Brassica*. II. The cytology of F1 hybrids of *B. cerna* and various other species with 10 chromosomes. *Jap. J. Bot.* 4: 277-289.

Muenschler, W. G. (1980). *Weeds*. Second Edition. Cornell University Press, Ithaca and London. 586 pp.

- Munz, P.A. (1968). A Californian Flora. University of California Press, Berkeley and Los Angeles: 1681 pp.
- Nishiyama, I. and N. Inomata (1966). Embryological studies on cross incompatibility between 2X and 4X in Brassica. Jap. J. Genet. 41: 27-42.
- Olsson, G. (1960). Species crosses within the genus Brassica. II. Artificial Brassica juncea Coss. Hereditas 46: 171-222.
- Prakash, S. (1973). Artificial synthesis of Brassica juncea Coss. Genetica 44: 249-263.
- Prakash, S. and K. Hinata (1980). Taxonomy, cytogenetics and origin of crop Brassicas, a review. Opera. Bot. 55: 3-57.
- Raney, J. P. and K. C. Falk (1998). Out-crossing in Turnip Rape (*Brassica rapa* L.). 11th International Crucifer Genetics Workshop. Montreal, PQ, October 3-7.
- Salisbury, P. (1989). Potential utilization of wild crucifer germplasm in oilseed Brassica breeding. Proc. ARAB 7th Workshop, Toowoomba, Queensland, Australia. pp. 51-53.
- Sinskaia, E. N. (1927). Geno-systematical investigations of cultivated Brassica. Bull. Appl. Bot. Genet. Pl. Breed. 17: 3-166.
- Song, K. and T. C. Osborn (1992). Polyphyletic origins of Brassica napus: new evidence based on organelle and nuclear RFLP analyses. Genome 35: 992-1001.
- Stringam, G. R. and R. K. Downey (1978). Effectiveness of isolation distance in turnip rape. Can. J. Plant Sci. 58: 427-434.
- Takeda, T. (1975). On the later generations of artificially synthesized trigonomic hexaploid in Brassicaceae. II. *B. campestris* x *B. carinata* Harron. Ann. Rep. Fac. Edu. Iwate Univ. 35: 69-79.
- Thomas, P. (1994). Canola Growers Manual. Canola Council of Canada.
- Thomas, A. G., B. L. Frick and L. M. Hall (1998). Alberta Weed Survey of Cereal and Oilseed Crops in 1997. Agriculture and Agri-Food Canada. Saskatoon, SK, Canada.
- Thomas, A. G., B. L. Frick, R. C. Van Acker, S. Z. Knezevic and D. Joosse (1998). Manitoba Weed Survey of Cereal and Oilseed Crops in 1997. Agriculture and Agri-Food Canada. Saskatoon, SK, Canada.
- Toxeopus, H., E. H. Oost and G. Reuling (1984). Current aspects of the taxonomy of cultivated Brassica species. The use of *B. rapa* L. versus *B. campestris* L. and a proposal for a new

intraspecific classification of *B. rapa* L. *Crucifer Newsletter* 9: 55–57.

U, N. (1935). Genome analysis in Brassica with special reference to the experimental formation of *B. napus* and peculiar mode of fertilization. *Jap. J. Bot.* 7: 389-452.

Vyas, P., S. Prakash and K. R. Shivanna (1995). Production of wide hybrids and backcross progenies between *Diplotaxis erucoides* and crop Brassicas. *Theor. Appl. Genet.* 90: 549- 553.

Warwick, S. I. (1993). Guide to the Wild Germplasm of Brassica and Allied Crops, Part IV: Wild Species in the Tribe Brassiceae (Cruciferae) as Sources of Agronomic Traits. Technical Bulletin 1993 – 17E, Centre for Land and Biological Resources Research, Agriculture and Agri-Food Canada.

Warwick, S. I. and L. D. Black (1993). Guide to the Wild Germplasm of Brassica and Allied Crops, Part III: Interspecific and Intergeneric Hybridization in the Tribe Brassiceae (Cruciferae). Technical Bulletin 1993 – 16E, Centre for Land and Biological Resources Research, Agriculture and Agri-Food Canada.

Warwick, S. I. and A. Francis (1994). Guide to the Wild Germplasm of Brassica and Allied Crops, Part V: Life History and Geographical Data for Wild Species in the Tribe Brassiceae (Cruciferae). Technical Bulletin 1994, Centre for Land and Biological Resources Research, Agriculture and Agri-Food Canada.

Warwick, S. I., A. Francis and G. A. Mulligan (1999). <http://res.agr.ca/ecorc/cwmt.crucican/>. Brassicaceae of Canada. Minister of Public Works and Government Services, AAFC- ECORC Contribution No. 981317.1255.

Warwick, S. I. and D. A. Wall (1998). The biology of Canadian weeds. 108. *Erucastrum gallicum* (Wild.) O.E. Shulz. *Can. J. Plant Sci.* 78: 155-165.

Wojciechowski, A. (1985). Interspecific hybrids between *Brassica campestris* and *B. oleracea* L. 1. Effectiveness of crossing, pollen tube growth, embryogenesis. *Genetica Polonica* 26: 423-436.