



Agence canadienne  
d'inspection des aliments

Canadian Food  
Inspection Agency

**Document sur la biologie**

**BIO2006-07**

# **La biologie de *Triticum turgidum* ssp. *durum* (Blé dur)**

**Document d'accompagnement des *Critères d'évaluation du risque environnemental  
associé aux végétaux à caractères nouveaux (Dir94-08)***

***(also available in English)***

**Le 6 juillet 2006**

---

Document publié par le Bureau de la biosécurité végétale. Pour de plus amples renseignements, prière de 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> .....	1
A1.0 Contexte .....	1
A2.0 Portée .....	1
<b>Partie B. Biologie de <i>Triticum turgidum</i> ssp. <i>durum</i></b> .....	2
B1.0 Description générale, culture et emploi .....	2
B2.0 Bref aperçu de l'amélioration, de la production de semences et des pratiques agronomiques.....	3
B3.0 Biologie de la reproduction de <i>Triticum turgidum</i> ssp. <i>durum</i> .....	5
B4.0 Lieux d'origine du blé dur.....	6
B5.0 Blé dur cultivé devenu mauvaise herbe spontanée .....	6
<b>Partie C. Espèces étroitement apparentées à <i>Triticum turgidum</i> ssp. <i>durum</i></b> .....	7
C1.0 Hybridation des espèces et des genres .....	7
C2.0 Possibilité d'introgession de gènes de <i>Triticum turgidum</i> ssp. <i>durum</i> dans les espèces apparentées .....	7
C3.0 Occurrence des espèces apparentées à <i>T. turgidum</i> ssp. <i>durum</i> au Canada.....	8
C4.0 Sommaire de l'écologie des espèces apparentées à <i>Triticum turgidum</i> ssp. <i>durum</i> ..	9
<b>Partie D - Interactions possibles de <i>Triticum turgidum</i> ssp. <i>durum</i> avec d'autres formes de vie durant son cycle biologique en milieu naturel</b> .....	9
Tableau 1. Exemples d'interactions possibles entre <i>T. turgidum</i> ssp. <i>durum</i> et d'autres formes de vie durant son cycle biologique en milieu naturel .....	10
<b>Partie E - Bibliographie</b> .....	11

## Partie A – Généralités

### A1.0 Contexte

Au Canada, l'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA) réglemente les essais au champ des végétaux à caractères nouveaux (VCN). Ces VCN sont des variétés ou des génotypes végétaux qui possèdent des caractères ni familiers, ni essentiellement équivalents à ceux présents dans une population distincte et stable d'une espèce cultivée au Canada. Ces caractères ont été volontairement sélectionnés, mis au point ou introduits dans une population de l'espèce au moyen d'une modification génétique particulière. Par familiarité, on entend la connaissance des caractères d'une espèce végétale et l'expérience des emplois de cette espèce au Canada. De son côté, l'équivalence essentielle correspond à l'équivalence d'un caractère nouveau au sein d'une espèce végétale donnée, en termes de son utilisation particulière et de son innocuité pour l'environnement et la santé humaine comparativement aux caractères de cette même espèce, que l'on exploite et que l'on juge sûr au Canada d'après des arguments scientifiques valables.

Les VCN sont mis au point au moyen de méthodes de sélection classiques ou de techniques de recombinaison de l'ADN. Il faut les soumettre à des essais contrôlés au champ quand on les juge : 1. peu familiers par rapport aux produits déjà commercialisés; 2. non essentiellement équivalents aux types de végétaux familiers déjà employés et jugés sûrs.

Avant d'autoriser la dissémination d'un VCN en milieu ouvert, il faut en évaluer le risque pour l'environnement. La directive Dir94-08 - *Critères d'évaluation du risque environnemental associé aux végétaux à caractères nouveaux* établit les critères et précise les exigences sur la présentation des données qu'il faut recueillir durant l'évaluation de ce risque pour pouvoir garantir l'innocuité pour l'environnement en cas de dissémination en milieu ouvert.

### A2.0 Portée

Le présent document accompagne la directive Dir94-08 - *Critères d'évaluation du risque environnemental associé aux végétaux à caractères nouveaux*. Il contient des renseignements élémentaires sur la biologie de *Triticum turgidum* spp. *durum*, les lieux d'origine, les espèces apparentées et le risque d'introgression génétique vers ces espèces, ainsi que des précisions sur les formes de vie avec lesquelles l'espèce interagit. Ces renseignements fondamentaux particuliers à l'espèce serviront à répondre à certaines exigences de la Dir94-08 concernant la présentation de données. Plus précisément, le présent document permettra de déterminer si les nouveaux produits géniques du VCN induisent chez celui-ci des interactions significativement différentes ou modifiées avec d'autres formes de vie, de sorte que le VCN pourrait : se comporter comme une mauvaise herbe en agriculture; envahir les milieux naturels; nuire de tout autre façon à l'environnement. Les conclusions tirées dans le présent document au sujet de la biologie de *T. durum* n'ont trait qu'aux végétaux de cette espèce qui n'ont pas de caractères nouveaux.

## **Partie B. Biologie de *Triticum turgidum* ssp. *durum***

### **B1.0 Description générale, culture et emploi**

Le blé dur (*Triticum turgidum* ssp. *durum*) est une monocotylédone de la famille des Graminées, de la tribu des Triticées et du genre *Triticum*. En termes de production commerciale et d'alimentation humaine, cette espèce est la deuxième plus importante du genre *Triticum* après le blé tendre (*Triticum aestivum* L.).

Il s'agit d'une graminée annuelle de hauteur moyenne et dont le limbe des feuilles est aplati. L'inflorescence en épi terminal se compose de fleurs parfaites (Bozzini, 1998). Comme pour le blé tendre, il existe des variétés de blé dur demi-naines. Le système racinaire comprend des racines séminales produites par la plantule durant la levée, ainsi que des racines adventives qui se forment plus tard à partir des nœuds à la base de la plante et constituent le système racinaire permanent. Le blé dur possède une tige cylindrique, dressée, habituellement creuse et subdivisée en entrenœuds. Certaines variétés possèdent toutefois des tiges pleines (Clarke et coll., 2002). Le chaume (talles) se forme à partir de bourgeons axillaires aux nœuds à la base de la tige principale. Le nombre de brins dépend de la variété, des conditions de croissance et de la densité de plantation. Dans des conditions normales, une plante peut produire en tout trois brins en plus de la tige principale, mais tous ne grènent pas nécessairement (Bozzini, 1988). Comme pour d'autres graminées, les feuilles de blé dur se composent d'une base (gaine) entourant la tige, d'une partie terminale qui s'aligne avec les nervures parallèles et d'une extrémité pointue. Au point d'attache de la gaine de la feuille se trouve une membrane mince et transparente (ligule) comportant deux petits appendices latéraux (oreillettes). La tige principale et chaque brin portent une inflorescence en épi terminal.

L'inflorescence du blé dur est un épi muni d'un rachis portant des épillets séparés par de courts entrenœuds (Bozzini, 1988). Chaque épillet compte deux glumes (bractées) renfermant de deux à cinq fleurs distiques sur une rachéole. Chaque fleur parfaite est renfermée dans des structures semblables à des bractées, soit la glumelle inférieure (lemma ou lemme) et la glumelle supérieure (paléa). Chacune compte trois étamines à anthères biloculaires, ainsi qu'un pistil à deux styles à stigmates plumeux. À maturité, le grain de pollen fusiforme contient habituellement trois noyaux. Chaque fleur peut produire un fruit à une seule graine, soit le caryopse. Chaque graine contient un large endosperme et un embryon aplati situé à l'apex de la graine et à proximité de la base de la fleur.

Le blé dur est bien adapté aux régions à climat relativement sec, où il fait chaud le jour et frais la nuit durant la période végétative, ce qui est typique des climats méditerranéens et tempérés. Les semences peuvent lever à aussi peu que 2 °C, même si la température optimale est de 15 °C (Bozzini, 1988). La plus grande partie du blé dur produit dans le monde est constituée de blé de printemps; toutefois, il existe des variétés de blé dur d'hiver (qui ont besoin de vernalisation pour amorcer la transition de la phase végétative à la phase reproductrice); ces variétés ont été évaluées en vue de la production dans le Sud des États-Unis (Domnez et coll., 2000; Schilling et coll., 2003).

Sur la scène mondiale, la superficie moyenne consacrée annuellement à la culture du blé dur s'étend sur environ 18 millions d'hectares, ce qui donne une production annuelle moyenne approximative de 30 millions de tonnes métriques (Conseil international des céréales, 2002). L'Union européenne (principalement l'Italie, l'Espagne et la Grèce) est le plus grand producteur de blé dur, avec une récolte annuelle moyenne de huit millions de tonnes métriques. Le Canada arrive au deuxième rang avec 4,6 millions de tonnes métriques par année, suivi de la Turquie et des États-Unis, avec 4 et 3,5 millions de tonnes métriques respectivement (Conseil international des céréales, 2002).

Au Canada, on cultive le blé dur dans les régions plus sèches du centre-sud des Prairies. Ainsi, on doit au Manitoba, à la Saskatchewan et à l'Alberta respectivement 2, 84 et 14 p. 100 de la production canadienne.

Le blé dur se distingue des autres catégories de blé commerciales cultivées au Canada (qui appartiennent presque toutes à l'espèce *T. aestivum* L.) par ses caractères qualitatifs uniques. Les grains de blé dur servent principalement à la fabrication de semoule utilisée dans les pâtes alimentaires. Toutefois, en Afrique du Nord, on utilise aussi cette céréale pour la production de couscous et de boulogne. De plus, au Maroc, sa farine entre dans la préparation des pains traditionnels. Le blé dur (du latin *durum*) possède le grain le plus dur parmi les blés. Il est riche en protéines et la force de son gluten en fait le blé privilégié des transformateurs pour la préparation de pâtes alimentaires. Les grains de blé dur sont ambrés et plus gros que ceux des autres catégories de blé. Le blé dur se distingue aussi par la couleur jaune de l'endosperme, qui donne des pâtes alimentaires dorées. En raison de la fermeté du gluten de blé dur, on obtient une pâte ferme et non collante, idéale pour les pâtes alimentaires. De plus, la semoule à gluten fort donne aussi des pâtes alimentaires de qualité culinaire supérieure. Au Canada, il existe des sous-catégories de blé dur : les variétés classiques à gluten modérément fort et les variétés à gluten extra fort, analogues au blé dur de désert aux États-Unis (Clarke et coll., 2005).

## **B2.0 Bref aperçu de l'amélioration, de la production de semences et des pratiques agronomiques**

Au Canada, on sème le blé dur au début du printemps (avril-mai) et on le récolte au milieu ou à la fin de l'été (août-septembre). Habituellement, on intègre *T. durum* à un programme de rotation afin de prévenir l'aggravation des maladies et des infestations d'insectes et de mauvaises herbes. Dans l'Ouest canadien, on a recours à plusieurs types de rotation pouvant comprendre la mise en jachère (champs non cultivés) durant laquelle on combat les mauvaises herbes en travaillant le sol, en pulvérisant des herbicides non sélectifs ou en combinant ces deux pratiques. Selon les méthodes culturales employées, les antécédents culturaux, la texture du sol, l'humidité disponible et les recettes potentielles, on exploite aussi dans cette région d'autres cultures en rotation avec le blé dur, notamment l'orge, l'avoine, le canola, la moutarde, le lin, le pois, les lentilles et les pois chiches.

## B2.1 Amélioration du blé dur

La pleine étendue de la variabilité génétique des caractères liés à la composition du grain et à la résistance aux stress biotiques et abiotiques dans le germoplasme canadien n'a pas été étudiée; il existe sûrement une variabilité considérable encore inexploitée. Les sélectionneurs de blé dur mettent l'accent sur l'amélioration simultanée du comportement agronomique, de la résistance aux maladies et des caractères qualitatifs du grain. Les caractères agronomiques comprennent le rendement grainier, la tolérance à la sécheresse, la résistance aux maladies et aux insectes, la robustesse de la paille, la hauteur du plant, la résistance à la verse et la récoltabilité. Les caractères qualitatifs du grain englobent des caractères qualitatifs physiques, tels que le poids spécifique, la grosseur du grain et le pourcentage de grains durs vitreux. De leur côté, les caractères qualitatifs requis à la transformation comprennent notamment la teneur en protéines, la concentration en pigment jaune, la teneur du grain en cadmium, la force du gluten, les propriétés meunières de la semoule, ainsi que la qualité culinaire et la couleur des pâtes alimentaires. La concentration en ions métalliques varie beaucoup dans le grain, et l'on exploite actuellement cette variabilité pour sélectionner des cultivars à grains pauvres en cet élément (J. Clarke et coll., 2002). Les sélectionneurs de blé dur tentent aussi de maintenir la résistance aux rouilles du blé et s'efforcent constamment d'intégrer une résistance stable aux taches foliaires, aux maladies transmises par les semences et à la fusariose de l'épi. Il existe des gènes de résistance aux ravageurs, notamment à la cécidomyie orangée du blé (*Sitodiplosis mosellana*), au cèphe du blé (*Cephus cinctus*) et à la mouche de Hesse (*Mayetiola destructor*) (Lamb et coll., 2000; Lamb et coll., 2002; Clarke et coll., 2002) dans le germoplasme du blé dur canadien, et nos sélectionneurs y font constamment appel.

La majorité des variétés de blé dur cultivées en Amérique du Nord sont des lignées pures obtenues, soit par des cycles répétés d'autofécondation, soit par haplodiploïdisation (Knox et coll., 2002). Le processus de création d'une nouvelle variété commence par la production d'hybrides  $F_1$  par croisement de deux parents ou plus. Les sélectionneurs doivent veiller à ce que tous les parents servant au croisement possèdent collectivement la majorité des caractères recherchés pour la nouvelle variété. Dans le cas des populations autogames, la génération  $F_2$  dérivée de l'autofécondation de sujets  $F_1$  affiche une grande variabilité génétique. La sélection des plants possédant les caractères recherchés peut commencer à la  $F_2$  et se poursuivre pendant au moins deux générations, jusqu'à ce que les plants donnent une descendance génétiquement uniforme. Certains phytosélectionneurs choisiront de ne pas sélectionner en  $F_2$ , mais plutôt en  $F_3$  ou en  $F_4$ . Habituellement, on procède à la sélection à ces stades précoces pour les caractères dont l'expression dépendra peu des conditions du milieu. La sélection pour des caractères complexes, comme le rendement grainier et la qualité du grain, commence habituellement en  $F_6$ , quand une lignée généalogique est suffisamment uniforme. Pour l'haplodiploïdisation, on soumet, soit l'ovaire, soit le grain de pollen en développement des plants de la  $F_1$ , à la culture de tissus, afin d'obtenir un grand nombre de plantules haploïdes. Après avoir procédé au doublement des chromosomes au moyen d'inhibiteurs mitotiques comme la colchicine, les lignées généalogiques obtenues sont entièrement homozygotes. Après un ou deux cycles de multiplication des semences et une sélection visuelle, les lignées dihaploïdes sont avancées au cours d'essais répétés au champ en vue de l'évaluation du rendement et des caractères qualitatifs du grain. Mais peu importe la méthode de sélection choisie, les données sur le rendement recueillies sur de petites parcelles servent à sélectionner les lignées qui seront avancées. De nombreux sélectionneurs poursuivront leurs travaux en pépinières d'hiver ou en serre pour produire

deux générations par année et réduire ainsi le délai préalable à la commercialisation d'une variété de blé dur. Pour plus d'efficacité, les sélectionneurs de blé dur ont de plus en plus recours à la sélection à l'aide de marqueurs moléculaires pour les caractères « difficiles à mesurer ».

D'après les données sur le rendement de la F<sub>6</sub> recueillies sur de petites parcelles, les chercheurs choisissent les lignées de blé pour les essais préalables à l'enregistrement. Ces essais, d'une durée habituelle de deux ans, ont lieu à quatre à six endroits par année. Les lignées qui donnent des rendements égaux ou supérieurs aux variétés témoins actuelles sont ensuite avancées au cours d'essais d'enregistrement menés à 10 à 20 endroits pendant trois ans. Selon les résultats des essais d'enregistrement, les groupes administratifs, comme le comité de recommandation des Prairies pour le blé, le seigle et le triticale (CRPBST), appuieront ou non la demande d'enregistrement de la variété soumise par le sélectionneur. Dès que l'enregistrement d'un cultivar est approuvé, on distribue la semence de l'obteneur aux producteurs de semences qui la multiplieront. La semence de l'obteneur est multipliée jusqu'au stade des semences Fondation dont on tirera les semences enregistrées et/ou certifiées destinées à la production commerciale (anonyme, 1994).

### **B3.0 Biologie de la reproduction de *Triticum turgidum* ssp. *durum***

Le blé dur comprend surtout des espèces autogames. Durant la floraison, les fleurs demeurent généralement fermées (fleurs cléistogames), et les trois anthères éclatent et libèrent le pollen (anthèse). Les fleurs peuvent aussi s'ouvrir avant la libération du pollen. Selon deVries (1971), les fleurs de blé demeurent ouvertes de 8 à 60 minutes selon le génotype et les conditions du milieu. Après la déhiscence des anthères, de 5 à 7 p. 100 du pollen est libéré sur le stigmate, de 9 à 12 p. 100 demeure dans l'anthère et le reste est dispersé. Le pollen de blé demeure généralement viable pendant 15 à 30 minutes. La floraison peut durer de trois à six jours, selon les conditions météorologiques. Elle débute habituellement juste au-dessus du centre de l'épi, puis se poursuit en s'étendant vers l'apex et la base de l'épi. Les fleurs non fécondées s'ouvrent habituellement, exposant le stigmate réceptif au pollen étranger. La durée de réceptivité du stigmate de blé dépend de la variété et des conditions du milieu, mais se situe entre 6 à 13 jours (deVries, 1971). Une fois fécondée, l'ovaire grossit rapidement. Deux à trois semaines après la fécondation, l'embryon est physiologiquement fonctionnel et peut produire une nouvelle plantule (Bozzini, 1988).

Très peu de rapports portent sur l'évaluation du taux de croisement éloigné chez le blé dur. Le taux de croisement distant parmi les espèces principalement autogames peut atteindre jusqu'à 10 p. 100 et varie selon les populations, les génotypes et les diverses conditions du milieu (Jain, 1975). Ainsi, les populations de graminées ayant un taux de croisement éloigné inférieur à 1 p. 100 ont affiché un taux de 6,7 p. 100 certaines années (Adams et Allard, 1982). Harrington (1932) a mesuré ce taux; même s'il affirme que celui-ci ne dépasse pas 1,1 p. 100, certains ont rapporté des taux de 5 p. 100 (Bozzini, 1988). Pour le blé hexaploïde, le taux de croisement hétérogène moyen fluctue de 0 à 6,7 p. 100 selon le cultivar (Martin, 1990; Hucl, 1996; Hucl et Matus-Cadiz, 2001). Pour le blé de printemps hexaploïde, Hucl (1996) a démontré que les cultivars affichant les plus hauts taux de croisement éloigné tendaient à avoir un plus haut taux d'ouverture des épillets à l'anthèse. Cela pourrait aussi s'appliquer au blé dur. En ce qui concerne celui-ci, le taux de croisement distant dépend aussi des conditions du milieu. Ainsi,

l'humidité favorise l'autofécondation, alors que la sécheresse accentue la pollinisation croisée (Bozzini, 1988).

#### **B4.0 Lieux d'origine du blé dur**

Les blés sauvages tétraploïdes sont largement répandus au Proche-Orient, où les humains ont commencé à les récolter dans la nature (Bozzini, 1988). Comparativement aux blés diploïdes, leurs grands épis et leurs gros grains les rendaient beaucoup plus intéressants pour la domestication. On croit que le blé dur provient des territoires actuels de la Turquie, de la Syrie, de l'Iraq et de l'Iran (Feldman, 2001). Le blé dur est allotétraploïde (deux génomes : AABB), comptant au total 28 chromosomes ( $2n=4x=28$ ), contenant le complément diploïde complet des chromosomes de chacune des espèces souches. Comme telle, chaque paire de chromosomes du génome A a une paire de chromosomes homéologues dans le génome B, à laquelle elle est étroitement apparentée. Toutefois, durant la méiose, l'appariement des chromosomes est limité aux chromosomes homologues par l'activité génétique de gènes inhibiteurs. Les chercheurs ont identifié un certain nombre de gènes inhibiteurs, mais le gène *Ph1* situé sur le long bras du chromosome 5B est considéré comme le gène inhibiteur critique (Wall et coll., 1971).

Les analyses cytologiques et moléculaires laissent croire que les sous-espèces de *T. turgidum* seraient issues de l'hybridation naturelle de *Triticum monococcum* L. subsp. *boeoticum* (Boiss.) (synonyme : *Triticum urartu* : AA) avec une espèce de blé diploïde inconnue contenant le génome B (Feldman, 1976). Selon Kimber et Sears (1987), une ou plusieurs des cinq espèces diploïdes de la section *Sitopsis* du genre *Triticum* pourraient avoir fourni le génome B aux blés polyplloïdes. D'après l'analyse moléculaire, le génome de *T. speltoides* s'apparente plus au génome B du blé dur et du blé tendre (Talbert et coll., 1995; Khlestkina et Salina, 2001). En outre, l'analyse de l'ADN des chloroplastes montre que *T. speltoides* est probablement le donneur maternel du blé dur (Wang et coll., 1997). Le résultat de cette hybridation naturelle est l'amidonner sauvage (*Triticum turgidum* ssp. *dicocoides* (Korn.) Thell) qui a été domestiqué plus tard sous la forme du blé amidonnier (*Triticum turgidum* ssp. *dicocum* (Schrank) Thell), qui s'est répandu du Proche-Orient jusqu'aux grandes régions productrices de la Méditerranée et du Moyen-Orient, y compris en Égypte et en Éthiopie (Bozzini, 1988). Des milliers d'années de culture et de sélection ont abouti à la formidable variabilité des blés tétraploïdes issus de l'amidonner sauvage. Un certain nombre de sous-espèces ont donc été caractérisées, principalement d'après les caractères morphologiques (van Slageren, 1994) : *T. turgidum* ssp. *paleocolchicum*, *T. turgidum* ssp. *polonicum*, *T. turgidum* ssp. *turanicum*, *T. turgidum* ssp. *carthlicum*, *T. turgidum* ssp. *turgidum* et *T. turgidum* ssp. *durum*. Parmi tous les blés tétraploïdes cultivés, *T. turgidum* ssp. *durum* est de loin le plus important.

#### **B5.0 Blé dur cultivé devenu mauvaise herbe spontanée**

Par mauvaise herbe, on entend toute plante qui pousse là où on ne la veut pas. On trouve parfois des cultivars de blé dur commerciaux dans des champs incultes et sur le bord des routes (Thomas et coll., 1996). Ces occurrences sont habituellement dues à la levée de grains tombés durant la récolte ou le transport. Les plants qui poussent dans ces milieux ne durent pas et sont habituellement éliminés au moment de la tonte, de la culture et/ou de l'application d'herbicides.

Les plants de blé dur peuvent aussi pousser spontanément dans les champs une fois la culture récoltée. Ces plants sont généralement éliminés de la culture subséquente pendant les travaux aratoires ou la pulvérisation d'herbicides contre les graminées. Le blé dur n'a jamais été considéré comme étant une espèce nuisible envahissante.

## **Partie C. Espèces étroitement apparentées à *Triticum turgidum* ssp. *durum***

### **C1.0 Hybridation des espèces et des genres**

Il importe de comprendre le développement possible des hybrides issus de croisements interspécifiques et intergénériques entre la culture et les espèces apparentées, lorsque l'on évalue l'impact environnemental possible de la dissémination en milieu ouvert de *T. turgidum* ssp. *durum* génétiquement modifié. Le développement d'hybrides pourrait entraîner l'introgession de caractères nouveaux chez les espèces apparentées, ce qui perturberait l'écosystème et accentuerait la nuisibilité de ces espèces.

Le blé dur et *T. turgidum* ssp. *paleocolchicum*, *T. turgidum* ssp. *polonicum*, *T. turgidum* ssp. *turanicum*, *T. turgidum* ssp. *carthlicum* et *T. turgidum* ssp. *turgidum* sont sexuellement compatibles et produisent des hybrides fertiles. Bien que l'hybridation entre le blé dur et les espèces apparentées puisse survenir, on ne connaît pas d'espèces sauvages de *Triticum* en Amérique du Nord. Kimber et Sears (1987) se sont penchés sur l'hybridation au sein du genre *Triticum*.

### **C2.0 Possibilité d'introgession de gènes de *Triticum turgidum* ssp. *durum* dans les espèces apparentées**

En Amérique du Nord, les espèces les plus étroitement apparentées au blé dur sont celles du genre *Aegilops*. L'égilope cylindrique (*Aegilops cylindrica* Host) est nuisible dans les cultures de blé d'hiver hexaploïde; aux États-Unis, son aire de distribution s'étend vers le nord aussi loin que dans les États de Washington, du Montana et de l'Idaho. Parmi les autres espèces d'*Aegilops* considérées comme étant des mauvaises herbes en Californie, citons *Ae. geniculata*, *Ae. ovata* et *Ae. triuncialis*. *Ae. cylindrica* est plus étroitement apparentée à *T. aestivum* (blé tendre panifiable) qu'à *T. turgidum* ssp. *durum*, car elle contient le génome D présent dans *T. aestivum*. Le blé dur ne contient pas le génome D de *Triticum*. Prazak (2001) a signalé l'hybridation entre *Ae. cylindrica* et *T. turgidum* ssp. *durum*, mais celle-ci a donné des descendants stériles. On a aussi rapporté une hybridation naturelle entre *Ae. triuncialis* et *T. turgidum* ssp. *durum* en Turquie (Mamedov et coll., 1996), mais ceci n'a pas été confirmé.

Les blés hexaploïdes et tétraploïdes ont fait l'objet de recherches considérables fondées sur des croisements interspécifiques et intergénériques (Sharma et Gill, 1983). Toutefois, ces travaux ont peu d'importance en milieu naturel, car seulement quelques espèces apparentées au blé sont indigènes au Canada. La stabilité du génome du blé dur est due aux gènes (*Ph1* et autres) qui limitent l'appariement des chromosomes aux chromosomes homologues. De plus, des techniques de laboratoire, comme la pollinisation manuelle, le sauvetage des embryons et le doublement artificiel des chromosomes au moyen d'inhibiteurs de la méiose, sont nécessaires pour obtenir des descendants fertiles. Ainsi, en laboratoire, on a pu obtenir des hybrides entre *T. turgidum* ssp.

*durum* et *Ae. cylindrica*, *Ae. triuncialis*, *Ae. crassa* et *Ae. ovata* (Knobloch, 1968; Arzani et coll., 2000; Benavente et coll., 2001; Prazak, 2001).

Au Canada, la mauvaise herbe apparentée la plus commune est le chiendent (*Agropyron repens*), qui est présent dans tous les territoires et provinces (Crompton et coll., 1988). Il s'agit d'une graminée pérenne nuisible, fréquente dans les régions agricoles, en particulier dans les prairies, les champs cultivés, les jardins, les bords de route et les terrains vagues (Frankton et Mulligan, 1993; Alex et Switzer, 1976). Tsitsin (1940) a signalé des hybrides issus du blé dur et de *A. repens*, mais cette information est sujette à caution. En laboratoire, on a hybridé du blé tétraploïde avec d'autres espèces d'*Agropyron*, notamment *A. repens*, *A. elongatum* et *A. intermedium* (Knobloch, 1968; Schulz-Schaeffer, 1969). Selon Schulz-Schaeffer (1969), les chromosomes du genre *Triticum* ne s'apparient pas habituellement avec ceux d'*Agropyron*, ce qui laisse supposer que le flux génique naturel entre les deux genres est peu probable. De plus, on n'a pas signalé la présence d'hybrides ou d'espèces naturelles issues de l'hybridation de *T. turgidum* ssp. *durum* avec le genre *Agropyron* (Knott, 1960). Parmi les autres espèces indigènes nuisibles apparentées en Amérique du Nord, citons *A. bakeri* (y compris *A. trachycaulum*, agropyre à chaumes rudes), *Hordeum californicum*, *Hordeum jubatum* (orge agréable), *Elymus angustus* (y compris *Leymus angustus*, élyme étroite), *E. canadensis* (élyme du Canada) et *E. virginicus* (élyme de Virginie). On n'a rapporté qu'une seule fois la production en laboratoire d'un hybride issu de *A. trachycaulum* et de *Triticum turgidum* ssp. *durum* (Knobloch, 1968). En outre, aucune mention d'un hybride naturel n'est faite dans les ouvrages scientifiques. On n'a pas non plus signalé d'hybrides naturels entre *Triticum turgidum* ssp. *durum* et *H. californicum*, *H. jubatum*, *E. angustus*, *E. canadensis* et *E. virginicus*.

Une combinaison intergénérique bien connue impliquant le blé est le triticales (Lukaszewski et Gustafson, 1987), qui est issu d'un croisement et d'amphidiploïdie entre le blé et le seigle (*Secale cereale* L.). Généralement, on obtient le triticales à partir du blé dur, même si l'on se sert aussi du blé hexaploïde (Bozzini, 1988). On n'a jamais signalé l'emploi de triticales comme pont pour l'hybridation avec d'autres espèces de graminées sauvages.

### **C3.0 Occurrence des espèces apparentées à *T. turgidum* ssp. *durum* au Canada**

Il n'existe aucune espèce sauvage du genre *Triticum* au Canada (Feldman, 1976). Parmi les espèces les plus étroitement apparentées, seule l'espèce indigène *Agropyron repens* y est répandue. Knobloch (1968) a mentionné des rapports au sujet d'hybrides issus de *T. turgidum* ssp. *durum* et de *A. repens*, de *A. elongatum* et de *A. intermedium*. Toutefois, de tels hybrides sont difficiles à reproduire et exigent une pollinisation manuelle, un sauvetage des embryons et un doublement des chromosomes pour survivre et produire des descendants viables.

Bien que présent dans les cultures de blé d'hiver aux États-Unis, l'espèce nuisible apparentée *Aegilops cylindrica* n'a pas été signalée au Canada. Toutefois, les populations nuisibles de *Ae. cylindrica* se trouvant à étroite proximité de la frontière canadienne (États de Washington et de l'Idaho), cette espèce est actuellement classée parmi les mauvaises herbes nuisibles en Colombie-Britannique et figure sur la liste des mauvaises herbes nuisibles (*Noxious Weed List*) de la *B.C. Weed Control Act*. Toutefois, *Ae. cylindrica* n'est mentionnée ni dans *Les mauvaises*

*herbes du Canada* (Frankton et Mulligan, 1993), ni dans *Weeds of Ontario* (Alex et Switzer, 1976).

Les espèces suivantes sont apparentées au blé de la tribu des Triticées. Selon Knobloch (1968), elles pourraient produire artificiellement des hybrides avec le blé dur.

*Agropyron intermedium* (Host) Beauv. - **agropyre intermédiaire** (naturalisé/cultivé)  
*Agropyron elongatum* (Host) Beauv. - **agropyre élevé** (cultivé/naturalisé)  
*Agropyron dasystachyum* (Hook.) Scribn. - **agropyre du Nord** (cultivé/naturalisé)  
*Agropyron trachycaulum* (Link) Malte. - **agropyre à chaumes rudes** (cultivé/naturalisé)  
*Agropyron trichophorum* – **agropyre pubescent** (cultivé/naturalisé)  
*Agropyron cristatum* (L.) Gaertn. - **agropyre à crête** (cultivé/naturalisé)  
*Leymus arenarius* (L.) Hochst (*Elymus arenarius* L.) - **élyme des sables** (naturalisée)  
*Leymus mollis* Trin (*Elymus mollis* Trin) - **élyme molle ou élyme des sables** (indigène)

Toutes ces espèces sont présentes au Canada sous forme naturalisée et cultivée et, dans certains cas, sont exploitées comme cultures fourragères. Elles sont adaptées aux conditions canadiennes et reconnues comme colonisant les habitats perturbés, comme les champs incultes et les bords de route. Comme les chromosomes de *Agropyron* et de *Triticum* ne s'apparient pas aisément, si jamais un tel appariement se concrétisait (Schulz-Schaeffer, 1969), il est improbable que des hybrides fertiles puissent se développer dans la nature entre le blé dur et ces espèces apparentées.

#### **C4.0 Sommaire de l'écologie des espèces apparentées à *Triticum turgidum* ssp. *durum***

*Ae. cylindrica* et *A. repens* sont des espèces nuisibles apparentées au blé dur. Les deux espèces sont indigènes en Amérique du Nord, mais seulement *A. repens* l'est au Canada. *Ae. cylindrica* figure dans la liste provinciale des mauvaises herbes nuisibles de la Colombie-Britannique, ce qui aide à en limiter la propagation au Canada. L'espèce *A. repens* est aussi répertoriée comme mauvaise herbe nuisible principale dans *l'Arrêté sur les graines de mauvaises herbes* (1986) et est une graminée nuisible dans toutes les régions agricoles canadiennes. Toutefois, il s'agit d'une espèce relativement facile à combattre dans les cultures au moyen d'herbicides sélectifs.

#### **Partie D - Interactions possibles de *Triticum turgidum* ssp. *durum* avec d'autres formes de vie durant son cycle biologique en milieu naturel**

Le tableau 1 vise à guider les demandeurs dans l'analyse des impacts possibles de la dissémination d'un VCN sur les organismes non visés. Il ne s'agit pas d'exiger des données comparant le VCN à *T. turgidum* ssp. *durum* non modifié pour toutes les interactions. Selon le caractère nouveau, les demandeurs peuvent décider de soumettre les données pour seulement quelques-unes des interactions. Toutefois, leur décision de ne pas fournir de renseignements sur les autres interactions doit reposer sur des arguments scientifiques valables. Par exemple, le demandeur peut décider de ne pas fournir d'information sur le potentiel d'invasion du VCN comme mauvaise herbe, s'il peut clairement démontrer que le caractère nouveau n'influera ni indirectement, ni directement sur les caractères liés à la reproduction et à la survie de

*T. turgidum* ssp. *durum*. En cas d'impact majeur du VCN sur une autre forme de vie (organisme visé ou non), il faudrait peut-être tenir compte des impacts secondaires.

**Tableau 1. Exemples d'interactions possibles entre *T. turgidum* ssp. *durum* et d'autres formes de vie durant son cycle biologique en milieu naturel**

« X » indique le type d'interaction entre les organismes énumérés et *T. turgidum* ssp. *durum* (les exigences concernant la présentation de renseignements peuvent être ignorées sur présentation d'arguments scientifiques valables).

Autres formes de vie	Agent pathogène	Symbiote ou org. bénéfique	Consommateur	Flux génique
Rouille (rouille des feuilles : <i>Puccinia recondita</i> f. sp. <i>tritici</i> )	X			
Rouille de la tige : <i>Puccinia graminis</i> f. sp. <i>tritici</i> )				
Charbon nu ( <i>Ustilago tritici</i> )	X			
Fusariose de l'épi ( <i>Fusarium graminearum</i> )				
<i>Fusarium culmorum</i>	X			
<i>Fusarium avenaceum</i> )				
Taches des feuilles ( <i>Pyrenophora tritici-repentis</i> )				
<i>Septoria tritici</i>	X			
<i>Septoria nodorum</i> [aussi responsable de la tache des glumes]				
<i>Cochliobolus sativus</i> [aussi responsable du point noir])				
Piétin des racines (piétin commun : <i>Cochliobolus sativus</i> )				
Piétin-échaudage : <i>Gaeumannomyces graminis</i>	X			
Piétin fusarien : <i>Fusarium</i> spp.)				
Blanc ( <i>Erysiphe graminis</i> )	X			
Glume noire ( <i>Xanthomonas translucens</i> f. sp. <i>undulosa</i> )	X			
Ergot ( <i>Claviceps purpurea</i> )	X			
Carie ( <i>Tilletia caries</i> )	X			
Mouche de Hesse ( <i>Mayetiola destructor</i> )			X	
Puceron russe du blé ( <i>Diuraphis noxia</i> )			X	
Cécidomyie du blé ( <i>Sitodiplosis mosellana</i> )			X	
Criquets ( <i>Melanoplus sanguinipes</i> , <i>Melanoplus bivittatus</i> , <i>Melanoplus packardii</i> )			X	
Cèphe du blé ( <i>Cephus cinctus</i> )			X	
Microorganismes bénéfiques terricoles		X		
Insectes bénéfiques et vers de terre		X		
Autres plants de <i>Triticum turgidum</i> ssp. <i>durum</i>				X

## Partie E - Bibliographie

- Adams W.T. et R.W. Allard. 1982. « Mating system variation in *Festuca microstachys* ». *Evolution*, 35:591-595.
- Alex J.F. et C.M. Switzer. 1976. *Ontario Weeds*. Publication 505 du ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation de l'Ontario. 200 p.
- Anonyme. 1994. *Règlements et procédures pour la production de culture de semences pédigrées*. Association canadienne des producteurs de semences. *Circulaire 6-94*. Ottawa (Ontario). 97 p.
- Anonyme. *Arrêté de 1986 sur les semences de mauvaises herbes. Loi sur les semences* (Canada).
- Arzani A., M.M. Poursiahbidi et A. Rezaei. 2000. « Influences of durum wheat and *Aegilops* genotypes on production of amphihaploid plants ». *Iran Agric Res.*, 19: 49-62.
- Benavente E., K. Alix, J.C. Dusautoir, J. Orellana et J.L. David. 2001. « Early evolution of the chromosomal structure of *Triticum turgidum* - *Aegilops ovata* amphiploids carrying and lacking the Ph1 gene. » *Theor Appl Genet.*, 103 : 1123-1128.
- Bozzini A. 1988. « Origin, distribution, and production of durum wheat in the world. » Dans Fabriani G. et C. Lintas (éd). *Durum: Chemistry and Technology*. AACCC (Minnesota), États-Unis. p. 1-16.
- Clarke, F.R., J.M. Clarke et R.E. Knox. « Inheritance of stem solidness in eight durum wheat crosses. » *Can. J. Plant Sci./Revue canadienne de phytotechnie*, 82: 661-664.
- Clarke, J.M., W.A. Norvell, F.R. Clarke et T.W. Buckley. 2002. « Concentration of cadmium and other elements in the grain of near-isogenic durum lines. » *Can. J. Plant Sci./Revue canadienne de phytotechnie*, 82:27-33.
- Clarke, J.M., T.N. McCaig, R.M. DePauw, R.E. Knox, N.P. Ames, F.R. Clarke, M.R. Fernandez, B.A. Marchylo et J.E. Dexter. 2005. « Commander Durum Wheat. » *Can. J. Plant Sci./Revue canadienne de phytotechnie*, 85: 901-904.
- Crompton C.W., J. McNeill, A.E. Stahevitch et W.A. Wojtas. 1988. *Preliminary Inventory of Canadian Weeds*. Bulletin technique 1988-9E. Agriculture et Agroalimentaire Canada.
- DeVries, A.P. 1971. « Flowering Biology of Wheat, Particularly in View of Hybrid Seed Production - A Review ». *Euphytica*, 20:152-170.
- Donmez, E., R.G. Sears, J.P. Shroyer et G.M. Paulsen. 2000. « Evaluation of Winter Durum Wheat for Kansas. » Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service. Publication N° 00-172-S.
- Feldman, M. 2001. « Origin of Cultivated Wheat ». Dans Bonjean A.P. et W.J. Angus (éd.) *The World Wheat Book: a history of wheat breeding*. Intercept Limited, Andover, Angleterre, p 3-58.
- Feldman, M. 1976. « Taxonomic Classification and Names of Wild, Primitive, Cultivated, and Modern Cultivated Wheats ». Dans : Simmonds, N.W. (éd.), *Evolution of Crop Plants*. Longman, Londre. p 120-128.
- Frankton, C. et G.A. Mulligan. 1993. *Les mauvaises herbes du Canada*. Publication 948 d'Agriculture Canada. 217 p.
- Harrington, J.B. 1932. « Natural outcrossing in wheat, oats, and barley at Saskatoon, Saskatchewan ». *Scientific Agric.*, 12: 470-483.
- Hucl, P. et M. Matus-Cadiz. 2001. « Isolation distances for minimizing outcrossing in spring wheat. » *Crop Sci.*, 41:1348-1351.

- Hucl, P. 1996. « Out-crossing Rates for Ten Canadian Spring Wheat Cultivars ». *Can. J. Plant Sci./Revue canadienne de phytotechnie*, 76:423-427.
- International Grains Council. 2002. *World Grains Statistics*. p 13-17.
- Jain, S.K. 1975. « Population structure and the effects of breeding system ». Dans : Frankel, O.H. et J.G. Hawkes (éd.), *Crop Genetic Resources for Today and Tomorrow*. Cambridge Univ. Press. p. 15-36.
- Khlestkina, E.K. et E.A. Salina. 2001. « Genome-specific markers of tetraploid wheats and their putative diploid progenitor species ». *Plant Breeding*, 120: 227-232.
- Kimber, G. et E.R. Sears. 1987. « Evolution in the Genus *Triticum* and the Origin of Cultivated Wheat ». Dans : Heyne, E.G. (éd), *Wheat and Wheat Improvement*. American Society of Agronomy, Madison (WI). P. 31.
- Knobloch, I.W. 1968. *A Checklist of Crosses in The Graminae*. Department of Botany and Plant Pathology, Michigan State University, East Lansing (Michigan), États-Unis. p. 47-52.
- Knott, D.R. 1960. « The Inheritance of Rust Resistance. VI. The Transfer of Stem Rust Resistance from *Agropyron elongatum* to Common Wheat ». *Can. J. Plant Sci./Revue canadienne de phytotechnie*, 41:109-123.
- Knox, R.E., J.M. Clarke et R.M. DePauw. 2000. « Dicamba and growth condition effects on doubled haploid production in durum wheat crossed with maize ». *Plant Breeding*, 119: 289-298.
- Lamb, R., R. McKenzie, I. Wise, P. Barker, M. Smith et O. Olfert. 2000. « Resistance to wheat midge, *Sitodiplosis mosellana* (Diptera: *Cecidomyiidae*), in spring wheat (*Gramineae*). » *Can. Entomol.* 132:591-95.
- Lamb, R., M. Smith, I. Wise, P. Clarke et J. Clarke. 2001. « Oviposition deterrence to *Sitodiplosis mosellana* (Diptera: *Cecidomyiidae*):a source of resistance for durum wheat (*Gramineae*).» *Can. Entomol.* 133:579-91.
- Lersten, N.R. 1987. « Morphology and Anatomy of the Wheat Plant. » Dans : Heyne, E.G. (éd), *Wheat and Wheat Improvement*. American Society of Agronomy, Madison (WI). p 33-75.
- Lukaszewski, A.J. et J.P. Gustafson. 1987. « Cytogenetics of Triticale ». Dans : Janick, J. (éd), *Plant Breeding Reviews*, Vol. 5., AVI Publishing, New York. p 41-94.
- Mamedov, J., N. Zencirci, Z. Kaya, Y. Anikster et W.T. Adams. 1996. « Diversity of *Aegilops* in Azerbaijan. » Proceedings of international symposium on *in situ* conservation of plant genetic diversity, Antalya (Turquie), du 4 au 8 novembre 1996. p. 189-193.
- Martin, T.J. 1990. « Out-crossing in Twelve Hard Red Winter Wheat Cultivars. » *Crop Sci*, 30:59-62.
- Prazak, R. 2001. « Cross direction for successful production of F1 hybrids between *Triticum* and *Aegilops* species. » *Plant Breeding Seed Sci.*, 45: 83-86.
- Schilling, A.S., A.O. Abaye, C.A. Griffey, D.E. Branna, M.M. Alleya et T.H. Pridgena. 2003. « Adaptation and Performance of Winter Durum Wheat in Virginia. » *Agron J.*, 95: 642-651.
- Schulz-Schaeffer, J. 1969. « The *Triticum* x *Agropyron* hybridization project at Montana State University », Wheat Information Service, N° 30. p. 26-29.
- Schulz-Schaeffer, J. 1972. « An approach toward the development of hybrid intermediate wheatgrass, *Agropyron intermedium* (Host) Beauv. » *J. Plant Breed.*, 67: 202-220.
- Schulz-Schaeffer, J. et B. Friebe. 1992. « Karyological characterization of a partial amphiploid, *Triticum turgidum* L. var. *durum* x *Agropyron intermedium* (Host) P.B. » *Euphytica*, 62: 83-88.

- Sharma, H. et B.S. Gill. 1983. « Current status of wide hybridization in wheat. » *Euphytica*, 32: 17- 31.
- Talbert, L.E., N.K. Blake, E.W. Storlie et M. Lavin. 1995. « Variability in wheat based on low-copy DNA sequence comparisons. » *Genome*, 38: 951-957.
- Thomas. A.G., R.F. Wise, B.L. Frick et L. Juras. 1996. « Saskatchewan weed survey of cereal, oilseed and pulse crops in 1995 ». *Weed survey series*, publication 96-1. Agriculture et Agroalimentaire Canada, Centre de recherches de Saskatoon, Saskatoon, Canada.
- Tsitsin, N.V. 1940. « Distant hybridization-the chief method of breeding. » *Breeding and Seed Growing*, 10: 4-7.
- van Slageren, M.W. 1994. *Wild wheats: a monograph of Aegilops L. and Amblyopyrum (Jaub. & Spach) Eig (Poaceae)*. Wageningen Agriculture University Papers, 1994(7).
- Wall, AM, R. Ripley et M.D. Gale. 1971. « The position of a locus on chromosome 5B of *Triticum aestivum* affecting homoeologous meiotic pairing ». *Genet Res.*, 18: 329-339.
- Wang, G.Z., N.T. Miyashita et K. Tsunewaki. 1997. « Plasmon analyses of *Triticum* (wheat) and *Aegilops*: PCR-single-strand conformational polymorphism (PCR-SSCP) analyses of organellar DNA. » *PNAS.*, 94: 14570-14577.
- Zorunko, V.I., V.M. Pylnev et A.V. Ageeva. 1996. « Spontaneous hybridization and its relation to the nature of flowering in winter durum wheat ». *Nauchnoe obespechenie agropromyshlennogo kompleksa*. p. 57-61.