



Agence canadienne
d'inspection des aliments

Canadian Food
Inspection Agency

Document de biologie

BIO1999-01

La biologie du *Triticum aestivum* L. (blé)

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

(also published in English)

Janvier 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

Partie A - Généralités	3
A1. Contexte	3
A2. Portée	3
Partie B - Biologie du <i>T. aestivum</i>	4
B1. Description générale, culture et utilisation	4
B2. Aperçu des méthodes d'amélioration et de culture du blé	6
B3. Biologie de la reproduction du <i>T. aestivum</i>	7
B4. Centres d'origine de l'espèce	8
B5. Le blé cultivé, comme mauvaise herbe spontanée	8
Partie C - Espèces voisines du <i>T. aestivum</i>	8
C1. Hybridation interspécifique et intergénérique	8
C2. Risque d'introgession génétique depuis le <i>T. aestivum</i> vers les espèces voisines	9
C3. Présence au Canada d'espèces apparentées au <i>T. aestivum</i>	10
C4. Aperçu de l'écologie des espèces apparentées au <i>T. aestivum</i>	11
Partie D - Interactions possibles entre le <i>T. aestivum</i> et d'autres organismes	12
Tableau 1. Exemples d'interactions possibles du <i>T. aestivum</i> avec d'autres organismes durant son cycle vital, en milieu naturel.	12
Partie E - Remerciements	14
Partie F - Bibliographie	14

Partie A - Généralités

A1. Contexte

L'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA) réglemente les essais au champ de végétaux à caractères nouveaux (VCN) utilisés en agriculture et en horticulture au Canada. Un VCN est une variété ou un génotype de végétal possédant des caractères qui ne sont pas familiers, ni essentiellement équivalents à ceux présents dans les populations distinctes et stables d'une espèce cultivée, et qui ont été volontairement sélectionnés, créés ou introduits dans une population de cette espèce dans le cadre d'une modification particulière du génome. La « familiarité » d'une espèce végétale équivaut à la connaissance de ses caractères et à l'expérience de son utilisation au Canada. L'« équivalence essentielle » est l'équivalence d'un caractère nouveau d'une espèce végétale donnée, quant à son utilisation, à sa sûreté et à son effet sur l'environnement et la santé humaine, par rapport aux caractères de cette même espèce déjà utilisés et généralement jugés sûrs au Canada, selon un raisonnement scientifique rigoureux.

Un VCN peut être issu d'une méthode de sélection classique ou d'autres méthodes telle la technologie de l'ADN recombinant. Il doit être soumis à des essais au champ réglementés si : (1) le VCN est peu familier par rapport aux produits déjà sur le marché; (2) le ou les caractères nouveaux sont essentiellement différents des caractères correspondants présents chez des types végétaux semblables familiers, déjà utilisés et considérés comme sûrs.

Avant que la dissémination en milieu ouvert d'un VCN soit autorisée, une évaluation du risque environnemental doit être effectuée. La directive 94-08 (Dir94-08), *Critères d'évaluation du risque environnemental associé aux végétaux à caractères nouveaux*, décrit les critères et les renseignements sur lesquels doit être fondée cette évaluation, pour que la sécurité de l'environnement soit garantie même si la dissémination se fait en milieu ouvert.

A2. Portée

Le présent document est un cahier parallèle à la Dir94-08 et fournit des renseignements de base sur la biologie du *Triticum aestivum* L., sur ses centres d'origine, sur les espèces voisines et sur le risque d'introgession génétique du *T. aestivum* vers ces espèces. Il présente enfin des précisions sur les organismes avec lesquels le *T. aestivum* peut avoir des interactions.

Le présent cahier, portant sur une seule espèce, servira de guide pour l'obtention de certains renseignements exigés dans la partie D de la Dir94-08. Il permettra notamment de déterminer si les nouveaux produits géniques du VCN induisent chez celui-ci des interactions différentes ou modifiées avec d'autres espèces. Ces interactions pourraient faire du VCN une mauvaise herbe agricole, ou une plante envahissant les milieux naturels ou nuisant de quelque autre façon à l'environnement.

Les conclusions tirées dans le présent document au sujet de la biologie du *T. aestivum* ne visent

que les végétaux non modifiés appartenant à cette espèce.

Partie B - Biologie du *T. aestivum*

B1. Description générale, culture et utilisation

Le genre *Triticum* appartient à la famille des Graminées, ou Poacées. Parmi toutes les espèces de blé cultivées, le *T. aestivum*, ou blé commun, est la plus importante sur le plan économique.

Selon Lersten (1987), le *T. aestivum* est une graminée annuelle ou annuelle hivernale, de hauteur moyenne. Les feuilles ont un limbe plane, et l'inflorescence est un épi terminal, à fleurs parfaites. L'état végétatif de la plante se caractérise par la présence d'un plateau de tallage, dont les bourgeons axillaires se transforment en tiges feuillées. Les tiges, appelées chaumes, possèdent cinq à sept nœuds ainsi que trois ou quatre feuilles véritables. La feuille la plus haute, ou dernière feuille, sous-tend l'inflorescence. Chaque chaume produit un épi composé, dont les ramifications sont les épillets. Les épillets sont portés par le rachis, ou axe principal de l'épi, et séparés par de courts entre-nœuds. Chaque épillet est un axe reproducteur condensé, sous-tendu par deux bractées stériles appelées glumes. Les glumes enveloppent les deux à cinq fleurs, portées chacune par un court pédicelle appelé rachéole. La fleur possède trois étamines se terminant chacune par une grande anthère; le pistil comprend un seul ovaire, un seul ovule et deux styles se terminant chacun par un stigmate plumeux et ramifié.

Le *T. aestivum* est hexaploïde (AABBDD), possédant en tout 42 chromosomes ($2n = 42$, soit six fois sept chromosomes). Le nombre haploïde de base est sept, puisque le nombre chromosomique des autres espèces de blé est également un multiple de ce nombre. Les cultivars de blé modernes sont soit tétraploïdes (blé dur, AABB), soit hexaploïdes (blé commun et blé club, AABBDD).

Le blé tire probablement son origine d'une forme sauvage de l'espèce diploïde appelée engrain (*T. monococcum* sensu lato), dans une région délimitée par l'Iran, l'Iraq, la Syrie et la Turquie (Feldman, 1976). La première espèce tétraploïde, le *T. turgidum*, est le résultat d'une hybridation avec amphidiploïdisation, entre le *T. monococcum* et le *T. searsii*; la première espèce a fourni le génome A, et la seconde, le génome B. La domestication de ce blé tétraploïde (AABB) a donné l'amidonnier, qui est à l'origine des cultivars modernes de blé dur. Les cultivars hexaploïdes sont issus d'une hybridation avec amphidiploïdisation, entre le *T. turgidum*, tétraploïde, et le *T. tauschii*, diploïde (DD). La nouvelle espèce résultant de ce processus, appelée *T. aestivum*, dispose donc d'une garniture génétique AABBDD.

La culture du blé a débuté avec la domestication de l'engrain et de l'amidonnier sauvages (Cook et Veseth, 1991). Les premiers efforts d'amélioration portant sur ces espèces ont probablement donné des blés dont l'épi ne s'égrenait pas sur pied, ce qui facilitait la récolte. De plus, les premiers agriculteurs ont dû privilégier les sujets à grains nus, plus faciles à battre. Du point de vue de l'adaptation, les blés hexaploïdes convenaient à la culture en climat frais, grâce aux

caractères de rusticité fournis par le génome D. On a aussi adapté la plante à divers milieux de culture, en sélectionnant les sujets selon leur comportement de floraison. Ainsi, le blé de printemps est semé dans les régions à hiver rigoureux et arrive à fleurir la même année en produisant au bout d'environ 90 jours. Le blé d'hiver pour sa part, doit être exposé au froid (c'est-à-dire « vernalisé ») pour pouvoir ensuite produire. Il est semé en automne et récolte le printemps suivant. D'autres variétés ont été créées pour les climats secs, par l'introduction de caractères produisant des plantes de petite taille, qui exigent moins d'eau et donnent quand même un bon rendement. Enfin, dans le cas des cultivars modernes, on a recherché une résistance à diverses maladies (rouilles, charbons, etc.), un accroissement du rendement grainier, ou une amélioration de la qualité du grain (protéines et amidon).

Le blé est une céréale importante en termes d'exportation et de consommation intérieure dans de nombreux pays du monde. En 1995, plus de 40 millions d'hectares ont été consacrés à la culture du blé en Amérique du Nord, dont un peu moins du tiers (11,4 millions d'hectares) au Canada. Ce grain est principalement destiné à la minoterie. La farine, selon le type de blé, sert à la fabrication de divers produits. Celle du blé roux vitreux est utilisée en boulangerie, tandis que celle du blé roux tendre est utilisée en pâtisserie et en biscuiterie (gâteaux, craquelins, biscuits, muffins et pâtisseries diverses). La farine du blé blanc (tendre ou vitreux) sert à la fabrication des nouilles orientales; celle de blé blanc vitreux est également utilisée pour faire les tortillas, tandis que celle de blé blanc tendre a de nombreux usages, dont la fabrication de gâteaux, craquelins, biscuits, muffins et pâtisseries diverses. Le blé dur sert principalement à la fabrication de semoule, matière première des pâtes alimentaires. On distingue donc quatre grandes catégories de blé commun : le blé roux vitreux d'hiver, le blé roux vitreux de printemps, le blé tendre roux et le blé blanc. Le blé dur constitue une cinquième catégorie commerciale. De plus il existe d'autres catégories telles que celles des blés utilitaires et des blés de force supplémentaire.

Les méthodes commerciales d'ensemencement et de récolte varient selon le type de blé. Dans le cas du blé d'hiver, comme la vernalisation est nécessaire, les semis doivent avoir lieu en septembre ou en octobre, afin que les plants puissent lever et se développer suffisamment avant le début de l'hiver. Durant la saison froide, les plants restent à l'état dormant. Avec les premières chaleurs du printemps, ils reprennent leur croissance et passent à un stade reproductif, l'épiaison. Dans la plupart des régions d'Amérique du Nord, la récolte peut commencer vers la mi-juillet. Dans le cas du blé de printemps, les plants ne requièrent aucun stade de dormance, et environ 90 jours s'écoulent du semis à la récolte. En Amérique du Nord, ce type de blé est généralement semé en avril ou en mai et récolté en août ou en septembre.

Le *T. aestivum* est une céréale de climat tempéré. La température minimale de germination des graines se situe entre 3 et 4°C. La floraison débute lorsque la température dépasse 14°C. En Amérique du Nord, le blé peut être cultivé jusqu'à environ 50° de latitude. Au Canada, les principales régions productrices se trouvent dans les provinces des Prairies (Manitoba, Saskatchewan et Alberta), mais il en existe aussi dans les provinces de l'est. La plus grande partie du blé cultivé dans les Prairies est du blé de printemps, tandis que les provinces de l'est produisent plutôt du blé d'hiver. Le blé est le grain le plus consommé par les humains, mais une

quantité appréciable de blé utilitaire de haut rendement et de blé roux vitreux d'hiver sert à l'alimentation du bétail.

B2. Aperçu des méthodes d'amélioration et de culture du blé

Les programmes modernes d'amélioration du blé portent avant tout sur les propriétés culturales de la plante et sur la qualité du grain. Les propriétés culturales comprennent la rusticité hivernale, la tolérance à la sécheresse, la résistance aux maladies et aux insectes, la résistance à la verse et à l'égrenage, la hauteur des plants, le rendement grainier et l'aptitude à la récolte, tandis que la qualité du grain comprend des caractères tels que la forme, la couleur, le poids spécifique, la concentration et la nature des protéines, la concentration et la nature des amidons et la performance de la farine (Knott, 1987).

La plupart des variétés de blé cultivées en Amérique du Nord sont des lignées pures, obtenues par autofécondation. La mise au point d'une nouvelle variété commence par la production d'un hybride F1. Les sélectionneurs effectuent donc chaque année de nombreux croisements, cherchant ainsi à transférer certains caractères entre lignées généalogiques et entre cultivars. La génération F2, obtenue par autofécondation de la F1, affiche un vaste éventail de variations génétiques à partir des génotypes parentaux. La sélection de sujets intéressants débute dès la génération F2 et se poursuit pendant au moins deux autres générations, jusqu'à ce que les sujets produisent une descendance génétiquement uniforme. À ce stade, survenant généralement à la F6, la sélection peut débiter pour les caractères complexes tels que le rendement et la qualité du grain. De plus, une fois que la lignée est suffisamment uniforme, on recueille des données de performance dans de petites parcelles d'essai, en vue de choisir les lignées qui justifient une sélection plus poussée. Fait à noter, l'amélioration est un processus plus rapide dans le cas du blé de printemps que dans celui du blé d'hiver. En effet, comme le blé de printemps n'a pas besoin d'être vernalisé, le sélectionneur peut obtenir deux à trois générations par année soit en travaillant en serre ou dans les champs en tirant parti d'une région australe, par exemple, la Californie ou l'Arizona, ou d'une région, telle la Nouvelle-Zélande, où la saison de production alterne avec la nôtre.

À partir des données de performance obtenues en petites parcelles, les lignées sont sélectionnées en vue des essais de pré-enregistrement, qui doivent être effectués dans 10 à 20 localités, sur trois années. Les résultats de ces essais permettent de déterminer si la lignée mérite d'être enregistrée à titre de cultivar nouveau. Selon ces résultats, certains groupes administratifs, comme le Comité de recommandation des inscriptions au catalogue du grain des Prairies, décident d'appuyer ou non la demande d'enregistrement. Une fois l'enregistrement approuvé, la semence du sélectionneur est distribuée aux producteurs de semence qui se chargent de la multiplier et d'obtenir ainsi la semence de fondation. C'est à partir de cette dernière que sont produites commercialement les semences enregistrées et certifiées (Anonyme, 1994). En pareil cas, les producteurs de semences ont recours à des systèmes d'androstérilité et de rétablissement de la fertilité, ou à des gamétocides chimiques, pour produire commercialement des semences F1. Plusieurs blés d'hiver hybrides ont été commercialisés aux États-Unis et s'y cultivent sur une

superficiée limitée. Aucun blé de printemps hybride n'est encore disponible sur le marché.

Dans les systèmes agricoles courants, le *T. aestivum* est généralement semé en rotation avec d'autres cultures, afin de prévenir l'accumulation de pathogènes, d'insectes et de mauvaises herbes. Dans l'Ouest canadien, plusieurs cultures peuvent être employées à cette fin, dont l'orge, le canola et le lin, en fonction du type de sol, des pratiques culturales, etc.

B3. Biologie de la reproduction du *T. aestivum*

Le *T. aestivum* ne se reproduit que dans un contexte agricole, puisque les graines de cette espèce doivent être récoltées et ressemées par l'être humain. Le blé est une espèce surtout autogame. En général, le taux d'allogamie peut atteindre 10 % ou même davantage chez les espèces autogames et varie selon les populations, les génotypes et les conditions écologiques (Jain, 1975). Par exemple, des populations de graminées dont le taux normal d'allogamie était inférieur à 1 % ont affiché certaines années un taux allant jusqu'à 6,7 % (Adams et Allard, 1982). Hucl (1996) a constaté que le taux d'allogamie de dix cultivars canadiens de blé de printemps variait selon le génotype mais était toujours inférieur à 9 %. L'allogamie tend à être la plus fréquente chez les cultivars dont le pollen réagit peu aux colorants, dont l'épi est effilé aux extrémités et dont les épillets sont le plus ouverts au moment de l'anthèse. Martin (1990) a observé un taux d'allogamie de 0,1 à 5,6 % chez des cultivars de blé d'hiver et en a conclu que le port semi-nain de ces cultivars n'avait pas d'incidence sur leur taux d'allogamie.

Dans le cadre de programmes d'amélioration du blé, l'isolement des plants de blé sélectionnés lors de la multiplication des semences peut se faire au moyen de sacs de papier sulfurisé ou de cellophane ou des tubes de dialyse. Une distance de trois mètres constitue un isolement suffisant pour prévenir l'allogamie pour la production des semences de fondation au Canada (Anonyme, 1964).

DeVries (1971) a constaté que les fleurs du blé demeurent ouvertes pendant 8 à 60 minutes, selon le génotype et les conditions écologiques. Au moment de la déhiscence des anthères, 5 à 7 % du pollen tombe sur le stigmate, 9 à 12 % reste dans l'anthère, et le reste est dispersé. Le pollen demeure ensuite viable pendant 15 à 30 minutes. Une fois libérés, les grains de pollen se dessèchent, et leur fixation aux ramifications du stigmate est assurée par une brève force électrostatique suivie de l'absorption d'eau par les grains de pollen à travers des ouvertures de la cuticule du stigmate (Heslop-Harrison, 1979). Ce processus permet en outre au tube pollinique de s'allonger, ce qui facilite la fécondation. Chez le blé, la période de réceptivité du stigmate dépend de la variété et des conditions écologiques mais se situe généralement entre 6 et 13 jours. La croissance du tube pollinique débute généralement une ou deux heures après la pollinisation, puis la fécondation survient 30 à 40 heures plus tard (deVries, 1971). Cependant, les graines de pollen peuvent germer peu de temps après leur contact avec la surface du stigmate et le blé peut être fécondé dans moins d'une heure (communication personnelle, George Fedak, 1999). Le premier épillet à fleurir se situe généralement dans le tiers médian de l'épi, habituellement près de la limite supérieure de ce tiers. La floraison progresse assez rapidement vers le sommet de l'épi et

un peu plus lentement vers sa base. Les fleurs primaires de l'épillet s'ouvrent les premières, puis les secondaires, et ainsi de suite. Chez le blé, les étamines sont plus petites et produisent moins de pollen (1000 à 3800 grains de pollen par anthère, soit 450 000 par plant) que chez les autres graminées céréalières. Selon de Vries (1971), ce nombre est de 4 millions chez le seigle (*Secale cereale* L.) et de 18 millions chez le maïs (*Zea mays* L.).

B4. Centres d'origine de l'espèce

L'origine du blé est difficile à préciser à cause de la diversité des opinions taxonomiques. Cependant, Feldman (1976) et la plupart des chercheurs estiment que les cultivars de blé modernes sont issus de l'engrain (*T. monococcum* ssp. *urartu*) et de l'amidonnier (*T. turgidum*). L'engrain sauvage est apparu dans le sud-est de la Turquie, où il croît encore aujourd'hui. L'amidonnier sauvage a une répartition semblable, qui s'étend cependant aux régions méditerranéennes du Proche-Orient. Les deux espèces poussent d'ailleurs souvent ensemble. Les divers cultivars du blé dur sont issus de l'amidonnier cultivé, tandis que le blé commun, hexaploïde, est issu d'une hybridation entre l'amidonnier et une espèce diploïde, le *T. tauschii*, qui a fourni au blé commun son génome D. On croit que le *T. tauschii* est originaire du nord de la Mésopotamie, ce qui expliquerait les gènes de rusticité associés au génome D.

B5. Le blé cultivé, comme mauvaise herbe spontanée

La domestication du blé moderne a amené l'apparition de caractères qui étaient utiles aux premiers agriculteurs tout en empêchant les nouvelles races de blé de survivre à l'état sauvage. En effet, ces agriculteurs ont privilégié les sujets dont l'épi ne s'égrenait pas sur pied, ce qui facilitait la récolte. Ils pouvaient ainsi récolter les épis chargés de grains, plutôt que de ramasser les grains au sol. Par contre, ce caractère défavorise les plantes sur le plan de la compétition avec les autres espèces, qui sont capables de disséminer leurs graines plus efficacement. De même, les blés à grain nu étaient plus faciles à battre que ceux à grains vêtus, mais ces graines étaient plus sensibles aux conditions écologiques extrêmes.

Malgré ces désavantages écologiques, les cultivars de blé modernes sont parfois observés dans des champs non cultivés ou au bord de chemins. Ces plants, généralement issus de graines échappées pendant leur récolte ou leur transport, ne persistent pas et sont habituellement éliminés par le fauchage, par le travail du sol ou par l'application d'herbicides. De même, des plants spontanés de blé peuvent apparaître dans les cultures faisant suite à une culture de blé. Ces plants sont généralement éliminés par le travail du sol ou par l'application d'herbicides.

Le génie génétique permet aujourd'hui d'augmenter constamment le rendement du blé et la qualité du grain tout en diminuant la capacité du blé à survivre à l'état sauvage. D'ailleurs, le blé est cultivé depuis des siècles et on n'a relevé aucun cas où cette plante serait devenue envahissante au point d'être nuisible.

Partie C - Espèces voisines du *T. aestivum*

C1. Hybridation interspécifique et intergénérique

En examinant l'impact environnemental que pourrait avoir la dissémination en milieu ouvert du *T. aestivum* génétiquement modifié, il est important de comprendre le risque d'hybridation interspécifique ou même intergénérique entre cette espèce et les espèces voisines. La production d'hybrides peut entraîner l'introgression de caractères nouveaux chez ces espèces et ainsi avoir les répercussions suivantes :

- ▶ l'espèce voisine peut se comporter davantage comme une mauvaise herbe;
- ▶ un caractère nouveau, risquant de perturber l'écosystème, peut être introduit chez l'espèce voisine.

Comme le blé est une plante essentiellement autogame, son hybridation naturelle avec des espèces ou des genres apparentés a rarement été observée. L'hybridation entre les espèces du genre *Triticum* a fait l'objet d'un article de synthèse par Kimber et Sears (1987). Il s'avère que l'hybridation entre le blé cultivé et les espèces voisines est possible mais il n'existe aucune espèce sauvage de *Triticum* en Amérique du Nord.

De nombreux croisements de type classique ont été réalisés avec succès à l'intérieur du groupe d'espèces ayant une constitution génétique apparentée à celle du *T. aestivum*. Ainsi, l'hybridation est possible entre tous les taxons hexaploïdes (*T. aestivum* ssp. *vulgare*, *T. compactum*, *T. sphaerococcum*, *T. vavilovii*, *T. macha* et *T. spelta*, dont les génomes sont essentiellement identiques (Körber-Grohne, 1988)). Chez le *T. aestivum*, la stabilité du génome hexaploïde est attribuable à des gènes, notamment celui du locus Ph1, qui empêchent l'appariement des chromosomes homologues. Par conséquent, la neutralisation du locus Ph1 est un outil important pour les sélectionneurs qui effectuent des croisements interspécifiques et intergénériques. La neutralisation peut être accomplie en utilisant des mutants tels que Ph3a et Ph3b.

Un cas bien connu d'hybridation intergénérique est le triticales (Lukaszewski et Gustafson, 1987), plante issue d'un croisement avec amphidiploïdisation entre le blé et le seigle (*S. cereale* L.). On ne signale cependant aucun cas où le triticales aurait servi de pont pour l'hybridation avec des graminées sauvages.

De plus, le blé a fait l'objet de travaux importants en matière de croisements éloignés (Sharma et Gill, 1983), mais la plupart de ces travaux sont sans conséquence pour les milieux naturels au Canada, puisque peu de ces espèces sont indigènes et que l'obtention d'une descendance fertile exige souvent des techniques comme la récupération d'embryons, la pollinisation manuelle et l'androstérilité.

C2. Risque d'introgression génétique depuis le *T. aestivum* vers les espèces voisines

Parmi les genres de graminées qui renferment des espèces poussant en Amérique du Nord, le plus étroitement apparenté au blé est le genre *Aegilops*. L'*Ae. cylindrica* ne pousse qu'aux États-Unis où sa répartition atteint le Washington, le Montana et l'Idaho. Cependant, l'*Ae. cylindrica* ne constitue une mauvaise herbe que dans les cultures de blé d'hiver, Zemetra *et al.* (1996) ont passé en revue la question de l'hybridation de cette espèce avec le blé cultivé et ont conclu que cette hybridation risque peu de produire une nouvelle espèce de mauvaise herbe, en raison du taux élevé de stérilité chez les hybrides. Les sujets fertiles issus d'un tel croisement sont de plus phénotypiquement très semblables au blé, en raison de pertes chromosomiques importantes survenant dans le génome C de l'*Ae. cylindrica*. Il existe d'autres espèces du genre *Aegilops* reconnues comme étant des mauvaises herbes en Californie tel l'*Ae. crassa*, l'*Ae. geniculata*, l'*Ae. ovata* et l'*Ae. triuncialis*. Aucun cas d'hybridation entre le blé et ces espèces n'est rapporté.

Au Canada, la mauvaise herbe apparentée au blé la plus commune est le chiendent (*Agropyron repens*) présent dans les dix provinces et les deux territoires (Crompton *et al.*, 1988). Cette graminée vivace est commune dans les régions agricoles, particulièrement dans les prairies, les champs cultivés, les jardins, les bords de chemin et les lieux incultes (Frankton et Mulligan, 1974; Alex et Switzer, 1992). De rares cas d'hybridation entre le blé et le chiendent sont rapportés dans la revue des croisements publiée par Knobloch (1968), cependant ces mentions ne sont pas récentes et discutables.

On sait que le blé peut s'hybrider avec d'autres espèces du genre *Agropyron* (Mujeeb-Kazi, 1995). Des hybrides entre le *T. aestivum* et l'*A. intermedium* ont été observés en Russie, où on a même réussi à obtenir des sujets fertiles (Tsvelev, 1984). Smith (1942) a également réussi à obtenir de tels hybrides fertiles, à plusieurs reprises, par pollinisation manuelle. Ces hybrides présentent un intérêt au Canada, puisque l'*A. intermedium* est utilisé pour l'amélioration des grands pâturages de l'Ouest canadien, où l'espèce pousse également à l'état adventice.

Par ailleurs, des hybrides complexes ont été obtenus entre le blé et plusieurs autres espèces d'*Agropyron*, dont l'*A. curvifolium*, l'*A. distichum* et l'*A. junceum*. Il s'agissait dans tous les cas d'allofécondations dirigées, réalisées en serre. Aucun hybride naturel n'a jamais été signalé (Knott, 1960). En plus des croisements susmentionnés avec l'*A. intermedium*, Smith (1942) a effectué des pollinisations artificielles entre le blé et de nombreuses espèces de graminées et a réussi à obtenir des hybrides fertiles dans le cas de l'*A. cristatum*, de l'*A. elongatum* et de l'*A. trichophorum*.

De plus, des hybrides ont été obtenus entre le blé et certaines espèces voisines natives d'Amérique du Nord ayant des caractères semblables aux mauvaises herbes tel l'*A. bakeri* (y compris *A. trachycaulum*, Agropyre à Baker), l'*Hordeum californicum*, l'*H. jubatum* (herbe à queue d'écureuil), l'*Elymus angustus* (y compris *Leymus angustus*, Élyme d'Altaï), l'*E. canadensis* (Élyme du Canada) et l'*E. virginicus* (Élyme du Virginie). Cependant, ces résultats ont été

obtenus avec l'utilisation de méthode artificielle et il n'y a aucun cas d'hybride naturel rapporté (communication personnelle, George Fedak, 1999).

La possibilité de flux génétique interspécifique ou intergénérique au champ entre le blé et d'autres espèces de la tribu des Triticées est improbable in Canada. Cependant, le fait qu'un grand nombre de cas d'hybridation aient été signalés doit être pris en considération lorsqu'on évalue le risque d'introgession de caractères « nouveaux » depuis le blé transgénique vers les plantes sauvages apparentées.

C3. Présence au Canada d'espèces apparentées au *T. aestivum*

Il n'y a aucune espèce sauvage de *Triticum* au Canada (Feldman, 1976). Parmi les genres étroitement apparentés, seul le genre *Agropyron* compte une espèce indigène répandue au Canada, l'*A. repens*. Bien que de l'hybridation entre le blé et le chiendent ait été rapportée dans la revue des croisements publiée par Knobloch (1968), de tels hybrides se sont avérés très difficile à obtenir par pollinisation manuelle.

L'*Ae. cylindrica* est apparenté au blé et pousse comme mauvaise herbe dans les cultures de blé d'hiver des États-Unis, mais l'espèce n'est pas signalée au Canada. Cependant, comme certaines populations de cette mauvaise herbe sont situées à proximité de la frontière canadienne dans le Washington et l'Idaho, l'espèce figure dans la liste officielle des mauvaises herbes nuisibles de la Colombie-Britannique, aux termes de la loi du contrôle des mauvaises herbes (*Weed Control Act*) de cette province. L'espèce n'est pas mentionnée dans la publication de Frankton et Mulligan (1974), sur les mauvaises herbes du Canada, ni dans celle d'Alex et Switzer (1992), sur les mauvaises herbes de l'Ontario.

Les espèces qui suivent sont apparentées au blé et font partie de la tribu des Triticées; Knobloch (1968) mentionne qu'elles peuvent s'hybrider avec le blé. Elles sont présentes au Canada à titre de plantes naturalisées ou cultivées et servent à la production de fourrage spécialisé ou à la stabilisation des sols. Ces graminées sont adaptées aux conditions canadiennes, et on sait qu'elles peuvent coloniser les milieux perturbés tels que les champs incultes et le bord des chemins. Il est cependant fort improbable que des hybrides entre le blé et ces espèces voisines soient produits en milieu naturel.

E. dahuricus Turcz. ex Griseb. in Ledeb / **élyme dahurien** (introduit et cultivé)

E. junceus Fisch. / **élyme de Russie** (cultivé et naturalisé)

L. arenarius (L.) Hochst (*E. arenarius* L.) / **élyme des sables** (naturalisé)

L. mollis Trin (*Elymus mollis* Trin) / **élyme des sables américaine** (indigène)

A. intermedium (Host) Beauv. / **agropyre intermédiaire** (naturalisé et cultivé)

A. trichophorum (Link) Richter / **agropyre pubescent** (cultivé et naturalisé)

A. elongatum (Host) Beauv. / **agropyre élevé** (cultivé et naturalisé)

A. cristatum (L.) Gaertn. / **agropyre à crête** (cultivé et naturalisé)

C4. Aperçu de l'écologie des espèces apparentées au *T. aestivum*

L'*Ae. cylindrica* et l'*A. repens* sont des mauvaises herbes apparentées au *T. aestivum*. Les deux sont indigènes de l'Amérique du Nord, mais seul l'*A. repens* est indigène du Canada.

L'*Ae. cylindrica* constitue une mauvaise herbe nuisible des cultures de blé d'hiver aux États-Unis, mais il n'est pas considéré comme un problème pour le blé de printemps, principal type cultivé au Canada (Briggle et Curtis, 1987). L'*Ae. cylindrica* a été inclus dans la liste officielle des mauvaises herbes nuisibles de la Colombie-Britannique afin de prévenir son introduction au Canada.

L'*A. repens* est une « mauvaise herbe principale » aux termes de l'*Arrêté sur les graines de mauvaises herbes* de 1986 et constitue une graminée nuisible dans toutes les régions agricoles du Canada. La plante est relativement facile à détruire au moyen d'herbicides sélectifs, dans les cultures autres que le blé. Il est possible d'obtenir des hybrides entre le blé et diverses espèces du genre *Agropyron*, mais on n'a signalé aucun cas où une telle hybridation serait survenue naturellement ou aurait produit des espèces dérivées (Knott, 1960).

Partie D - Interactions possibles entre le *T. aestivum* et d'autres organismes

Les renseignements du tableau 1 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 1. Exemples d'interactions possibles du *T. aestivum* avec d'autres organismes durant son cycle vital, en milieu naturel.

<u>Autre organisme</u>	<u>Type d'interaction avec <i>T. aestivum</i></u> (Pathogène; Symbiote ou organisme utile; Consommateur; Transfert de gène)
<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>atrofaciens</i> Bactériose des glumes	Pathogène
<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>translucens</i> Glume noire	Pathogène
<i>Erwinia rhamptolici</i> Semence rose	Pathogène
<i>Corynebacterium tritici</i> Brûlure bactérienne de l'épi	Pathogène

<i>Colletotrichum graminicola</i> Anthracnose	Pathogène
<i>Ascochyta tritici</i> (incluant <i>A. sorghi</i>) Tache ascochytiqye	Pathogène
<i>Cephalosporium gramineum</i> Strie céphalosporienne	Pathogène
<i>Tilletia caries</i> Carie commune	Pathogène
<i>Bipolaris sorokinia</i> (incluant <i>Helminthosporium sativum</i>) Pourriture sèche	Pathogène
<i>Sclerophthora macrospora</i> Mildiou	Pathogène
<i>Tilletia controversa</i> Carie naine	Pathogène
<i>Pseudocerosporella herpotrichoides</i> Piétin-verse	Pathogène
<i>Puccinia</i> spp. Rouille	Pathogène
<i>Monographella nivalis</i> (incluant <i>Calonectria nivalis</i>) Moisissure nivéale rose	Pathogène
<i>Leptosphaeria herpotrichoides</i> Tache auréolée	Pathogène
<i>Sclerotinia borealis</i> Moisissure nivéale	Pathogène
<i>Erysiphe graminis</i> Oïdium	Pathogène
<i>Septoria</i> spp. Tache septorienne	Pathogène
<i>Typhula</i> spp. Moisissure nivéale tachetée	Pathogène

<i>Gaeumannomyces graminis</i> Piétin-échaudage	Pathogène
<i>Pyrenophora trichostoma</i> Tache auréolée	Pathogène
<i>Heterodera avenae</i> Kyste des racines	Consommateur
<i>Subanguina radicola</i> Tumeur des racines	Consommateur
<i>Meloidogyne</i> spp. Nodosité	Consommateur
<i>Paratrichodorus</i> spp. Racine tronquée	Consommateur
<i>Pratylenchus</i> spp. Nécrose des racines	Consommateur
<i>Mayetiola destructor</i> Mouche de Hesse	Consommateur
<i>Cécidomyie</i>	Consommateur
<i>Diuraphis noxia</i> Puceron russe du blé	Consommateur
Insectes utiles	Symbiote ou organisme utile
Microbes du sol	Symbiote ou organisme utile
Vers de terre	Symbiote ou organisme utile
Insectes du sol	Symbiote ou organisme utile
Autres <i>T. aestivum</i>	Transfer de gènes

Partie E - Remerciements

Le présent document a été rédigé en collaboration avec la Cyanamid Crop Protection et Agriculture et Agroalimentaire Canada. Nous remercions en particulier S. Darbyshire (AAC-CRECO) pour l'information fournie et l'examen du document.

Partie F - Bibliographie

- Adams, W.T. and Allard, R.W. 1982. Mating system variation in *Festuca microstachys*. *Evolution* 35:591-595.
- Alex, J.F., et C.M. Switzer. 1992. Les mauvaises herbes de l'Ontario. Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, Publication 505F. 308 pp.
- Anonyme. 1994. Règlements et procédures pour la production de semences pédigrées. Association canadienne des producteurs de semences, Circulaire 6-94. Ottawa (Ont.). 97 pp.
- Arrêté sur les graines de mauvaises herbes. 1986. Arrêté pris en vertu de la Loi relative aux semences du Canada.
- Briggle, L.W. and Curtis, B.C. 1987. Wheat Worldwide. In: Heyne, E.G. (ed.). *Wheat and Wheat Improvement*. American Society of Agronomy, Madison, WI. pp 1-31.
- Burns, J.W. 1996. Overview of the Jointed Goatgrass Problem. Proceedings of the Pacific Northwest Jointed Goatgrass Conference. Pocatello, ID.
- Crompton, C.W., McNeill, J., Stahevitch, A.E., and Wojtas, W.A. 1988. Preliminary Inventory of Canadian Weeds, Technical Bulletin 1988-9E, Agriculture and Agri-Food Canada.
- Cook, R.J. and Veseth, R.J. 1991. *Wheat Health Management*. The American Phytopathological Society, St. Paul, MN.
- deVries, A.P. 1971. Flowering Biology of Wheat, Particularly in View of Hybrid Seed Production - A Review. *Euphytica* 20:152-170.
- Falk, D.E. and Kasha, K.J. 1981. Comparison of the Crossability of Rye (*Secale cereale*) and *Hordeum bulbosum* onto Wheat (*Triticum aestivum*). *Can. J. Genet. Cytol.* 23:81-88.
- Feldman, M. 1976. Taxonomic Classification and Names of Wild, Primitive, Cultivated, and Modern Cultivated Wheats. *Wheats*. In: Simmonds, N.W. (ed.), *Evolution of Crop Plants*. Longman, London. pp 120-128.
- Frankton, C., et Mulligan, G.A. 1974. Les mauvaises herbes du Canada. Agriculture Canada, Publication 948. 218 pages.
- Jain, S.K. 1975. Population structure and the effects of breeding system. In: Frankel, O.H. & Hawkes, J.G. (eds.) *Crop Genetic Resources for Today and Tomorrow*. Cambridge Univ. Press. pp. 15-36.

- Heslop-Harrison, J. 1979. An Interpretation of the Hydrodynamics of Pollen. *Am. J. Bot.* 66:737-743.
- Hucl, P. 1996. Out-crossing Rates for Ten Canadian Spring Wheat Cultivars. *Canadian Journal of Plant Science* 76:423-427.
- Kimber, G. and Sears, E.R. 1987. Evolution in the Genus *Triticum* and the Origin of Cultivated Wheat. In: Heyne, E.G. (ed.). *Wheat and Wheat Improvement*. American Society of Agronomy, Madison, WI. pp-31.
- Knobloch, I.W. 1968. A Checklist of Crosses in the Graminae. Department of Botany and Plant Pathology, Michigan State University, East Lansing, Michigan, U.S.A. pp 47-52.
- Knott, D.R. 1960. The Inheritance of Rust Resistance. VI. The Transfer of Stem Rust Resistance from *Agropyron elongatum* to Common Wheat. *Canadian Journal of Plant Science.* 41:109-123.
- Knott, D.R. 1987. The Application of Breed Procedures to Wheat. In: Heyne, E.G. (ed.). *Wheat and Wheat Improvement*. American Society of Agronomy. Madison, WI pp 419-427.
- Körber-Grohne, 1988. *Nutzpflanzen in Deutschland - Kulturgeschichte und Biologie*. Theiss Verlag, Stuttgart, Allemagne.
- Lersten, N.R. 1987. Morphology and Anatomy of the Wheat Plant. In: Heyne, E.G. (ed.). *Wheat and Wheat Improvement*. American Society of Agronomy, Madison, WI. pp 33-75.
- Lukaszewski, A.J. and Gustafson, J.P. 1987. Cytogenetics of Triticale. In: Janick, J. (ed.). *Plant Breeding Reviews*, Vol. 5., AVI Publishing, New York. pp 41-94.
- Martin, T.J. 1990. Out-crossing in Twelve Hard Red Winter Wheat Cultivars. *Crop Science* 30:59-62.
- Mujeeb-Kazi, A. 1995. Wheat Wide Crosses. CIMMYT Wheat Fact Sheets.
- Sharma, H. and Gill, B.S. 1983. Current status of wide hybridization in wheat. *Euphytica* 32:17-31.
- Smith, D.C. 1942. Intergeneric Hybridization of Cereals and Other Grasses. *Journal of Agricultural Research* 64(1):33-45
- Tsvelev, N.N. 1984. Grasses of the Soviet Union. Part 1. Fedorov, A. (ed.), A.A. Balkema, Rotterdam. pp 298.
- Zemetra, R. 1996. The Genetics of Jointed Goatgrass and Goatgrass x Wheat Hybrids.

Proceedings of Pacific Northwest Jointed Goatgrass Conference, Pocatello, ID.