



Agence canadienne
d'inspection des aliments

Canadian Food
Inspection Agency

Document de biologie

BIO1994-11

La biologie de *Zea mays* L. (Maïs)

**Cahier parallèle aux *Critères d'évaluation du risque environnemental associé
aux végétaux à caractères nouveaux (Dir 94-08)***

(also published in English)

Novembre 1994

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 - La biologie de <i>Z. mays</i>	4
B1. Description générale, culture et utilisation agricole	4
B2. Centres d'origine de l'espèce	6
B3. Résumé de l'écologie de <i>Z. mays</i> et de ses espèces ancestrales	6
Partie C - Espèces voisines de <i>Z. mays</i>	7
C1. Hybridation interspécifique/intergénérique	7
C2. Risque d'introgession génétique de <i>Z. mays</i> vers les espèces voisines	7
C3. Répartition de <i>Z. mays</i> et des espèces voisines au Canada	7
C4. Résumé de l'écologie des espèces apparentées à <i>Z. mays</i>	8
Partie D - Interactions possibles entre <i>Z. mays</i> et d'autres organismes	8
Tableau 1. Interactions possibles de <i>Z. mays</i> avec d'autres organismes vivants pendant son cycle de vie.	8
Partie E - Remerciements	10
Partie F - Bibliographie	10

Partie A - Généralités

A1. Contexte

Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) réglemente depuis 1988 les essais au champ, au Canada, de végétaux à caractères nouveaux (VCN) utilisés en agriculture et en horticulture. Le VCN est une variété ou un génotype de végétal possédant des caractéristiques qui ne sont ni familières ni essentiellement équivalentes à celles que l'on trouve dans les populations distinctes et stables d'une espèce cultivée au Canada, et qui ont été volontairement sélectionnées, créées ou introduites dans une population de cette espèce par une modification génétique particulière.

La familiarité équivaut à la connaissance des caractéristiques d'une espèce végétale et de l'expérience des utilisations de cette espèce au Canada.

L'équivalence essentielle est l'équivalence d'un caractère nouveau, à l'intérieur d'une espèce végétale particulière, quant à son utilisation particulière et à sa sûreté pour l'environnement et la santé humaine, aux caractères de cette même espèce déjà utilisée et jugée sûre au Canada sur la base d'arguments scientifiques solides.

Les VCN peuvent être des produits issus de la technologie de l'ADN recombinant ou obtenus par les méthodes classiques de sélection. Ils doivent être soumis à des essais au champ réglementés si leurs caractères nouveaux risquent de soulever des préoccupations. Il arrive en effet que ces caractères, leur utilisation ou leur présence dans certaines espèces végétales soient jugés : 1) peu familiers par rapport aux produits déjà sur le marché; 2) essentiellement différents des types végétaux semblables familiers, déjà utilisés et considérés comme sûrs.

Avant d'autoriser la dissémination d'un VCN en milieu ouvert, il faut effectuer une évaluation du risque environnemental. La Directive 94-08 (Dir94-08), « *Critères d'évaluation du risque environnemental associé aux végétaux à caractères nouveaux* », définit 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 de *Zea mays* L., sur ses centres d'origine, sur les espèces apparentées, et sur le risque d'introgession génétique de *Z. mays* L. vers ces espèces. Ce cahier fournit également des précisions sur les organismes avec lesquels *Z. mays* 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 d'établir 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 de *Z. mays* ne visent que les végétaux non modifiés appartenant à cette espèce. En effet, si la plante est modifiée, les nouveaux caractères peuvent amener de nouvelles caractéristiques biologiques qui risquent d'avoir un impact sur l'environnement en cas de dissémination en milieu ouvert.

Partie B - La biologie de *Z. mays*

B1. Description générale, culture et utilisation agricole

Zea est un genre appartenant à la famille des *graminées* (*Poacées*). Le maïs (*Z. mays* L.) est une plante annuelle monoïque de grande taille, à gaines se recouvrant les unes les autres et à limbes développées nettement distiques. Les plantes possèdent des épillets mâles en grappes spiciformes réunis sur une panicule terminale étalée et des inflorescences femelles insérées à l'aisselle des feuilles, dans lesquelles les épillets sont alignés en rangées (8 à 16) d'environ 30 épillets chacune, et sont portés sur un rachis presque ligneux épaissi. L'ensemble de la structure (épi) est enveloppée dans de nombreuses bractées foliacées développées (spathes), et une masse de longs stigmates s'échappent au sommet des spathes en une touffe de filaments (soies) (Hitchcock et Chase, 1971).

Tout le pollen provient de l'inflorescence mâle, et les ovules entièrement de l'inflorescence femelle. La pollinisation s'effectue par le vent, bien que l'auto-pollinisation et la pollinisation croisée soient possibles. En général la viabilité du pollen est de 10 à 30 minutes, mais elle peut être plus longue lorsque les conditions sont favorables (Coe *et al.*, 1988).

Il semblerait que le téosinte (*Z. mexicana*) soit l'ancêtre du maïs cultivé et que l'introduction de ce dernier dans l'ancien monde remonte au XVI^e siècle. Le maïs est cultivé dans le monde entier et constitue l'alimentation de base d'une importante proportion de l'humanité. On n'a signalé aucune toxine indigène importante associée au genre *Zea* (International Food Biotechnology Council, 1990).

Culture et utilisation. Les indigènes d'Amérique du Nord, incluant le Canada, cultivent le maïs depuis des milliers d'années. L'ère moderne de la production de maïs hybride au Canada a été amorcée aux États-Unis où les recherches menées au début du siècle ont montré que le maïs hybride pouvait avoir un rendement supérieur aux variétés à fécondation libre (Sprague et Eberhart, 1977). Au Canada, dans les années 30 et 40, les variétés issues d'hybrides ont, petit à petit, remplacé les types obtenus par fécondation libre. Le maïs (blé d'Inde) est surtout cultivé en Ontario et au Québec. Les agriculteurs doivent se réapprovisionner chaque année en semences hybrides.

Le semis s'effectue lorsque le sol est chaud (-10°C), en général entre le début et le milieu de mai

dans le sud de l'Ontario (OMAF, 1994) et au Québec (MAPAQ, 1984). Pour obtenir un rendement optimal, il suffit de choisir l'hybride en fonction de sa précocité et de sa densité de peuplement. En outre, on épand en général des engrais azotés de source exogène et on recommande l'application de mesures de lutte contre les mauvaises herbes et les insectes. Le choix du bon hybride pour la région maïsicole prévue permettra à la culture d'atteindre la maturité avant que la gelée ne vienne interrompre son développement à la fin de la saison; les hybrides sont répartis en catégories selon le nombre d'« unités thermiques » nécessaires pour atteindre la maturité. Au Canada, il existe des cartes qui indiquent les unités thermiques pour les régions maïsicoles (OMAF, 1994; MAPAQ, 1984). Donc, un hybride créé pour une région recevant un certain nombre d'unités thermiques n'atteindra pas la maturité dans des régions en recevant moins (régions plus froides). Les pratiques culturales classiques du maïs dénudent le sol qui devient donc sensible à l'érosion par le vent et par l'eau; de plus en plus, on cultive le maïs sans travail du sol afin de réduire la perte de sol. Pour de plus amples informations sur certaines pratiques culturales, veuillez communiquer avec les autorités agricoles provinciales appropriées.

En 1993, la culture du maïs en Amérique du Nord couvrait plus de 24 millions d'hectares. On y cultive surtout le maïs jaune denté, qui est une denrée servant largement à l'alimentation des animaux domestiques, sous forme de grains ou d'ensilage. Le reste de la culture est exporté ou transformé par broyage humide ou à sec pour l'obtention de produits comme du sirop de maïs à teneur élevée en fructose, de l'amidon, de l'huile, du gruau de maïs et de la farine. Ces produits sont largement utilisés dans l'industrie alimentaire; par exemple, l'amidon de maïs sert de matière première à un ensemble de produits transformés, et dans les processus de fabrication industrielle. Depuis le début des années 80, un volume important de grains a aussi servi à la production d'éthanol- carburant. Les sous-produits de ces procédés sont souvent utilisés dans les aliments destinés aux animaux. Pour une analyse plus complète des utilisations du maïs, il faut consulter Watson (1988).

Production d'hybrides. La production de semences hybrides exige la création et l'entretien de lignées autofécondées et des croisements ultérieurs contrôlés qui produiront les semences commerciales. L'autofécondation est essentielle pour l'obtention de plants autofécondés alors que la pollinisation croisée contrôlée est obligatoire pour la production de semences hybrides. Des mécanismes ont été élaborés pour s'assurer que l'on adopte la bonne forme de pollinisation pour chaque procédé et pour empêcher la contamination génétique des stocks de semences (Wych, 1988).

Dans les pépinières de sélection, les épis réceptifs sont encapuchonnés afin de protéger les soies d'une pollinisation non désirée. Le pollen est recueilli dans des sacs recouvrant les panicules. Des pollinisations manuelles contrôlées sont ensuite effectuées en exposant l'épi sur le parent femelle sélectionné puis en le recouvrant du sac qui contient le pollen provenant du parent mâle sélectionné.

La semence du sélectionneur ou la semence de fondation est obtenue à partir d'une semence autofécondée après la huitième ou la neuvième génération d'autofécondation. Un taux élevé

d'auto-pollinisation est assuré par ensemencement de parcelles se trouvant à au moins 200 mètres de toute autre source de pollen.

La production de semences hybrides est obtenue en semant par rangs alternés, des parents autofécondés mâles et femelles (par ex., un rang de plants mâles pour quatre rangs de plants femelles). Il faut le même isolement que pour les semences de fondation. L'écimage pratiqué avant la libération du pollen ou l'utilisation de femelles à fleurs mâles stériles sont des moyens pour prévenir l'autopollinisation du parent femelle.

La conformité génétique des plants autofécondés et des hybrides est surveillée et assurée par la culture de lots de semence représentatifs et par un tri en laboratoire à l'aide de critères comme les profils des isozymes.

B2. Centres d'origine de l'espèce

Il est généralement admis que le téosinte (*Z. mexicana*) est l'ancêtre du maïs, bien que les chercheurs ne s'accordent pas tous sur le fait qu'elle en soit l'ancêtre direct (c'est-à-dire que le maïs est une version domestiquée du téosinte) (Galinat, 1988).

Le téosinte est une graminées sauvage ancienne présente au Mexique et au Guatemala qui comprend différentes races, différentes espèces et différents types de ports; la classification taxonomique est encore un sujet de polémique. Selon Doebley et Iltis (1980) et Iltis et Doebley (1980), les téosintes annuels comptent deux sous-espèces de *Z. mays* L : la sous-espèce *mexicana* (comprenant les races Chalco, Central Plateau et Nobogame) et la sous-espèce *parviglumis* [variété *parviglumis* (race Balsas) et la variété *huehuetenangensis* (race Huehuetenangro)] et l'espèce *Z. luxurians* (race Guatemala). Les formes vivaces de Jalisco (Mexique) sont séparées en deux autres espèces selon la ploïdie, soit *Z. perennis* et *Z. diploperennis*.

B3. Résumé de l'écologie de *Z. mays* et de ses espèces ancestrales

Au cours de sa domestication à partir du téosinte, le maïs a gagné de nombreux attributs importants sur le plan agronomique, mais il a perdu la capacité de survivre à l'état sauvage. Sa domestication est telle que les grains ne peuvent tomber de l'épi et se disséminer sans l'intervention de l'homme. Les grains de maïs sont peu résistants au froid, en particulier dans les parties nord de son aire de répartition. Les plants croissent parfois dans des champs non cultivés, en bordure des routes ou spontanément dans les cultures l'année qui suit une récolte de maïs, mais ce dernier est incapable de se reproduire de façon soutenue s'il n'est pas cultivé, et il n'envahit pas les habitats naturels (Gould, 1968). Certaines espèces de *Zea* sont des plantes sauvages qui survivent bien en Amérique centrale, mais elles ne présentent aucune tendance marquée à devenir une mauvaise herbe (Galinat, 1988).

Partie C - Espèces voisines de *Z. mays*

C1. Hybridation interspécifique/intergénérique

Le maïs et d'autres espèces et sous-espèces de téosinte sont sexuellement compatibles et peuvent produire des hybrides fertiles (Wilkes, 1977). Les espèces voisines de *Zea* sont limitées sur le plan géographique et ne se trouvent qu'au Mexique et au Guatemala. Le genre le plus proche est *Tripsacum*, qui comprend onze espèces, largement réparties entre le 42°N et le 24°S de latitude (de Wet *et al.*, 1981). Il existe trois espèces aux États-Unis, dont deux, *Tripsacum floridanum* et *Tripsacum lanceolatum*, sont confinées dans les états les plus méridionaux des États-Unis. Seule *Tripsacum dactyloides* a une aire de répartition incluant la ceinture du maïs du nord des États-Unis (Gould, 1968).

C2. Risque d'introgession génétique de *Z. mays* vers les espèces voisines

Suite à un examen des documents publiés avant 1980, on pourrait conclure qu'il existe un flux génique constant entre le maïs et le téosinte, et que *Z. mays* spp. *mexicana* (téosinte se comportant comme une mauvaise herbe) est un hybride des deux sous-espèces, et qu'elle agit comme pont génétique entre les deux (de Wet et Harlan, 1972; de Wet, 1975; Galinat, 1973).

Toutefois, cette hypothèse a été réévaluée par des techniques de cartographie génique qui n'ont pas réussi à montrer une introgression récente entre le maïs et le téosinte (Smith *et al.*, 1985). De plus, *Z. mays* ssp. *mexicana* ne semble pas être un hybride des formes sauvage et cultivée de *Zea*; elle ne sert donc probablement pas de pont génétique, les similarités physiques étant attribuables à une adaptation parallèle au même habitat (Doebley, 1984).

Il est prouvé qu'il y a un flux génique très restreint entre les sous-espèces de *Zea*, mais il se produit, semble-t-il, surtout du téosinte vers le maïs (Doebley *et al.*, 1987).

Tripsacum et *Zea* possèdent un nombre différent de chromosomes ($n = 9$ contre $n = 10$). Des croisements entre *Z. mays* et *T. dactyloides* sont possibles, mais seulement à la suite d'une intervention humaine et, même dans ce cas, seulement avec beaucoup de difficulté; de plus, les descendants sont souvent stériles ou génétiquement instables (Manglesdorf, 1974). Le processus de transfert du matériel génétique de *Tripsacum* dans le maïs est difficile sur le plan technique. De plus, le taux de transmission du seul chromosome de *Tripsacum* dans le génome du maïs est tellement faible et le taux d'enjambement chez l'hybride maïs-*Tripsacum* tellement réduit, qu'ils excluent pratiquement l'utilisation générale du matériel génétique de *Tripsacum* introduit expérimentalement pour l'amélioration du maïs (Galinat, 1988).

C3. Répartition de *Z. mays* et des espèces voisines au Canada

Parmi les espèces de *Zea*, seule *Z. mays* est courante au Canada et elle est connue seulement pour sa culture (Gould, 1968). *T. dactyloides* est une espèce présente du Massachusetts au Michigan

(Hitchcock et Chase, 1971), mais sa présence n'a pas été signalée au Canada.

C4. Résumé de l'écologie des espèces apparentées à *Z. mays*

À l'exception possible de *T. dactyloides*, il n'y a pas d'espèce apparentée à *Z. mays* au Canada. *T. dactyloides* n'est pas une mauvaise herbe, elle n'envahit pas les habitats naturels et il est très peu probable qu'elle produise des hybrides fertiles avec le maïs cultivé *Z. mays*. *T. dactyloides* n'est pas considéré comme un végétal nuisible.

En l'absence d'espèces sexuellement compatibles apparentées à *Z. mays* au Canada, il n'y a pas possibilité de flux génique interspécifique .

Partie D - Interactions possibles entre *Z. mays* 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. Interactions possibles de *Z. mays* avec d'autres organismes vivants pendant son cycle de vie.

<u>Autre organisme</u> (Nom commun)	<u>Type d'interaction avec <i>Z. mays</i></u> (Pathogène; Symbiote ou organisme utile; Consommateur; Transfert de gènes)
<i>Colletotrichum graminicola</i> Anthracnose	Pathogène
<i>Erwinia stewartii</i> nielle bactérienne	Pathogène
<i>Fusarium</i> spp. Pourriture fusarienne	Pathogène
<i>Gibberella zeae</i> Fusariose de l'épi et de la tige	Pathogène
<i>Pseudomonas syringae</i> Tache bactérienne	Pathogène
<i>Puccinia sorghi</i> Rouille du maïs	Pathogène
<i>Pythium</i> spp. Piétin	Pathogène

<i>Rhizoctonia</i> spp. Rhizoctone	Pathogène
<i>Setosphaeria turcicum</i> Helminthosporiose du nord du maïs	Pathogène
<i>Sphacelotheca reliana</i> Charbon des inflorescences	Pathogène
<i>Ustilago maydis</i> Charbon	Pathogène
<i>Agrotis ipsilon</i> Noctuelle ipsilon	Consommateur
<i>Chaetocnema pulicaria</i> Altise du maïs	Consommateur
<i>Delia patura</i> Mouche des semis	Consommateur
<i>Diabrotica</i> spp. Chrysomèle (des racines du maïs)	Consommateur
<i>Elaterid</i> spp. Ver fil de fer	Consommateur
<i>Heliothis zea</i> Ver de l'épi de maïs	Consommateur
<i>Nitidulid</i> spp. Nitidule	Consommateur
<i>Ostrinia nubilalis</i> Pyrale du maïs	Consommateur
<i>Papaipema nebris</i> Foreuse des tiges	Consommateur
<i>Pseudaletia unipuncta</i> Légionnaire uniponctué	Consommateur
<i>Rhopalosiphum maidis</i> Puceron du maïs	Consommateur
Oiseaux p. ex., corneilles	Consommateur

Animaux brouteurs p. ex., cerf, raton laveur	Consommateur
Insectes terricoles	Symbiote ou organisme utile; Consommateur
Insectes utiles	Symbiote ou organisme utile
Microbes du sol	Symbiote ou organisme utile; Consommateur
Vers de terre	Symbiote ou organisme utile; Consommateur
Autres <i>Z. mays</i>	Transfert de gènes

Partie E - Remerciements

Ce document a été rédigé en collaboration avec l'Association canadienne du commerce des semences.

Partie F - Bibliographie

de Wet, J.N.J. (1975) Evolutionary dynamics of cereal domestication. *Bulletin of the Torrey Botany Club* 102: 307-312.

de Wet, J.M.J. and Harlan, J.R. (1972) The origin of maize: the tripartite hypothesis. *Euphytica* 1: 271-279.

de Wet, J.M.J., Timothy, D.H., Hilu, K.W. and G.B. Fletch (1981) Systematics of South American *Tripsicum* (Graminae). *American Journal of Botany* 68: 269-276.

Coe, E.H.Jr., Nueffer, M.G. and D.A. Hoisington (1988). The genetics of maize. In G.F Sprague and J.W. Dudley, Eds. *Corn and corn improvement*. Agronomy Monographs No.18; pp. 81-236. American Society of Agronomy: Madison, Wisconsin.

Doebley, J.F. and H.H. Iltis (1980). Taxonomy of *Zea* (Graminae). I. Subspecific classification with key to taxa. *American Journal of Botany* 67: 986-983.

Doebley, J.F. (1984) Maize introgression into teosinte- a reappraisal. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 71: 1100-1112.

Doebley, J., Goodman, M.M. and C.W. Struber (1987). Patterns of isozyme variation between maize and Mexican annual teosinte. *Economic Botany* 41: 234-246.

Galinat, W.C. (1973) Preserve Guatemalan teosinte, a recent link in corn's evolution. *Science* 180: 323.

Galinat, W.C. (1988) The origin of corn. In G.F Sprague and J.W. Dudley, Eds. *Corn and corn improvement. Agronomy Monographs No.18*; pp. 1-31. American Society of Agronomy: Madison, Wisconsin.

Gould, F.W. (1968) *Grass systematics* p.1-382. McGraw Hill; N.Y.

International Food Biotechnology Council (1990). *Biotechnologies and food: assuring the safety of foods produced by genetic modification. Regulatory Toxicology and Pharmacology* 12: S1-S196.

Hitchcock, A.S. and A. Chase (1971). *Manual of the grasses of the United States Volume 2.* p. 790-796. Dover Publications: N.Y.

Iltis, H.H. and J.F. Doebley (1980). Taxonomy of *Zea* (Graminae). II. Subspecific categories in the *Zea mays* complex and a generic synopsis. *American Journal of Botany* 67: 994-1004.

Manglesdorf, P.C (1974) *Corn; its origin, evolution and improvement.* p. 1-262. Harvard University Press; Cambridge, Massachusetts.

MAPAQ (Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec). 1984. Agdex 111/20, 200-A, chemin Sainte-Foy, Québec G1R 4X6

OMAF (Ontario Ministry of Agriculture and Food). 1994. *Field Crop Recommendations. Publication 296.* Queen's Printer for Ontario, Toronto, Ontario.

Smith, J.S.C., Goodman, M.M. and C.W. Struber (1985) Relationships between maize and teosinte of Mexico and Guatemala: numerical data analysis of allozyme data. *Economic Botany* 39: 12-24.

Sprague, G.F. and S.A. Eberhart. 1977. *Corn Breeding* pp. 312-313 IN *Corn and Corn Improvement. Agronomy Monographs No. 18.* American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.

Watson, S.A. (1988). *Corn marketing, processing and utilization.* In G.F Sprague and J.W. Dudley, Eds. *Corn and Corn Improvement. Agronomy Monographs No.18*; pp. 881- 934. American Society of Agronomy: Madison, Wisconsin.

Wilkes, H.G. (1977). Hybridization of maize and teosinte, in Mexico and Guatemala and the improvement of maize. *Economic Botany* 31: 254-293.

Wych, R.D. (1988) Production of hybrid seed corn. In G.F Sprague and J.W. Dudley, Eds. Corn and Corn Improvement. Agronomy Monographs No.18; pp. 565-605. American Society of Agronomy: Madison, Wisconsin.