

1. Maïs

Le maïs est largement cultivé dans tout le Sud de l'Ontario. Au cours des années 2004 à 2015, la superficie moyenne consacrée au maïs-grain était de 769 000 ha (1,9 million d'acres), avec un rendement moyen de 9,53 t/ha (152 bo/ac). Le maïs à ensilage destiné à l'alimentation animale occupe 118 000 ha (0,3 million d'acres). Le maïs-grain cultivé dans la province est destiné soit à l'alimentation animale (55 %), soit à des usages industriels (45 %).

Travail du sol

Pour produire du maïs en Ontario, il faut tenir compte de la texture du sol et du type de rotation des cultures. Parmi les facteurs qui pèsent dans le choix de la méthode de travail du sol, notons le risque d'érosion, la disponibilité du matériel et de la main-d'œuvre, et l'effet sur la santé du sol. Les sols sont généralement saturés au début du printemps, et il faut qu'ils s'assèchent rapidement pour permettre d'effectuer les semis assez tôt. Employé à bon escient, le travail du sol a pour effet de l'ameublir, ce qui lui permet de sécher plus rapidement au printemps. Il améliore également le drainage et réduit la couche de résidus, ce qui accroît la vitesse d'évaporation.

Pour assurer la conservation du sol et réduire son érosion dans les champs de maïs, il faut que la surface soit recouverte à 30 % de résidus de culture ou d'une culture couvre-sol, et ce, durant toute l'année.

Texture et drainage du sol

En Ontario, le travail du sol améliore peu le rendement sur les sols à texture grossière (sable, loam sableux et sable loameux) qui se drainent bien (classe « drainage rapide » ou « drainage bon »), même dans le cas de cultures qui laissent une importante couche de résidus, comme le maïs-grain ou les céréales. Par contre, sur les sols à texture lourde où le drainage est relativement lent, le travail du sol peut accélérer de

façon importante l'assèchement et le réchauffement du sol, ce qui permet de faire les semis assez tôt et d'obtenir une levée rapide et uniforme. Le tableau 1-1, *Comparaison des effets de deux méthodes de travail du sol sur le rendement du maïs-grain*, résume les résultats des recherches effectuées en Ontario sur le travail du sol dans les cultures de maïs après une récolte de maïs-grain ou de céréales; ces résultats ont été regroupés selon la texture du sol. Après une culture de céréales, de maïs-grain ou de soya sur des sols à texture moyenne ou fine, cette opération a permis des gains de rendement dans environ 70 % des cas avec une moyenne de 5 à 7 %.

Rotation des cultures

Un bon système de rotation des cultures peut remplacer un important effort de travail du sol. Le tableau 1-1 résume les résultats des recherches qui ont été effectuées en Ontario sur le travail du sol; ces résultats concernent des sols à texture moyenne ou fine et ont été regroupés selon la nature de la culture précédente. Voici ce qui a été généralement observé :

- Après des cultures fourragères, le travail du sol ne permet qu'un faible gain de rendement du maïs. L'inclusion de cultures fourragères dans la rotation améliore la structure du sol et l'ameublissement parfois assez pour permettre de ne pas le travailler.
- Dans les systèmes de semis direct, le gain de rendement relativement faible produit par le travail du sol après une culture de soya (plutôt qu'après des céréales ou du maïs-grain) s'explique en partie par les quantités moindres de résidus qui sont laissées sur place.
- En présence d'importantes quantités de résidus, le sol peut rester plus frais au début de la saison, ce qui retarde les semis, ralentit la croissance du maïs et réduit le potentiel de rendement. Après une culture de céréales ou de maïs-grain sur des sols à texture moyenne ou fine, le travail du sol s'est accompagné de gains de rendement du maïs dans 75 % des cas avec une moyenne de 5 à 9 %.

Autres facteurs en faveur du travail du sol

Outre l'accélération de l'assèchement, d'autres facteurs jouent en faveur du travail du sol pour les cultures de maïs :

- Meilleure uniformité du lit de semence, qui permet au semoir de donner des résultats plus réguliers et donne une levée plus égale;
- Incorporation de l'engrais ou du fumier épandu en surface, ce qui améliore la disponibilité ou l'absorption des éléments nutritifs;
- Élimination ou incorporation des résidus de mauvaises herbes ou de cultures susceptibles d'héberger des insectes nuisibles et de faciliter leur multiplication;
- Réduction du compactage du sol.

Méthode traditionnelle

La méthode traditionnelle de travail du sol en Ontario consiste à passer la charrue à socs à l'automne, puis à travailler superficiellement le sol au printemps, habituellement à l'aide d'un cultivateur ou d'un pulvérisateur tandem. La plupart du temps, le labour se fait à une profondeur de 15 cm (6 po), car si le sol est travaillé plus profondément, le sous-sol se mélange souvent au lit de semence, ce qui n'est pas souhaitable. Plus un champ est uniforme et nivelé après le labour d'automne, plus il est possible de réduire les coûts

du travail superficiel du sol et d'améliorer l'efficacité du semoir. La méthode traditionnelle ne laisse pas suffisamment de résidus à la surface du sol, lequel est donc davantage exposé à l'érosion éolienne et hydrique. Sur les terres présentant de nombreuses pentes, le simple fait de travailler le sol risque de provoquer le déplacement de grandes quantités de terre arable vers le bas.

Travail réduit du sol à l'automne

Le chisel, la défonceuse à disques et le pulvérisateur (tandem ou déporté) sont les outils de travail réduit du sol les plus couramment utilisés à l'automne en Ontario. Des essais menés en Ontario ces 20 dernières années ont démontré de façon générale que, pour la production de maïs, le passage des disques prépare mieux le sol et permet un meilleur rendement que le passage du chisel. Le tableau 1-2, *Effets des méthodes de travail du sol employées à l'automne sur le rendement du maïs-grain*, résume les résultats de ces essais.

Le travail avec un chisel pourvu de dents vrillées laisse parfois un sol mal nivelé, ce qui peut entraîner des coûts supplémentaires au moment des passages suivants, donner des lits de semence inégaux et provoquer à l'occasion un assèchement excessif. L'utilisation de socs bineurs sur la totalité ou sur une partie du chisel permet d'éviter certains de ces

Tableau 1-1 – Comparaison des effets de deux méthodes de travail du sol sur le rendement du maïs-grain

Comparaison	Type	Nombre de sites	Semis direct	Charrue à socs	Gain de rendement	Charrue à socs, gain:perte
Texture du sol ¹	Grossière	11	8,22 t/ha (131 bo/ac)	8,16 t/ha (130 bo/ac)	-0,9 %	45:55
	Moyenne	79	8,66 t/ha (138 bo/ac)	9,16 t/ha (146 bo/ac)	5,6 %	72:28
	Fine	42	8,60 t/ha (137 bo/ac)	9,16 t/ha (146 bo/ac)	6,5 %	71:29
Culture précédente ²	Cultures fourragères	13	8,84 t/ha (141 bo/ac)	8,91 t/ha (142 bo/ac)	0,7 %	54:46
	Soya	50	8,98 t/ha (143 bo/ac)	9,04 t/ha (144 bo/ac)	0,9 %	56:44
	Céréales (paille mise en balles)	75	9,23 t/ha (147 bo/ac)	9,60 t/ha (153 bo/ac)	4,1 %	71:29
	Maïs-grain	49	7,72 t/ha (123 bo/ac)	8,41 t/ha (134 bo/ac)	9,1 %	76:24

Source : Base de données Tillage Ontario, 2008 (www.tillageontario.com).

¹ Essais effectués après une culture de céréales (paille mise en balles) ou de maïs-grain (1982-2007).

² Essais effectués sur des sols à texture moyenne ou fine après diverses cultures (1982-2007).

problèmes. Cela vaut également pour l'ajout d'une barre niveleuse ou de herse à l'arrière du chisel, ou pour un travail superficiel du sol effectué au printemps. Ces méthodes devraient être envisagées pour tout travail réduit du sol à l'automne. Le fait de laisser une surface bien nivelée à l'automne permet de faire les semis par un seul passage au printemps (sans travail superficiel du sol). Cette technique permet de réduire le coût du travail du sol et d'améliorer la structure du sol. Souvent, à l'automne, le sol est laissé en mauvais état, si bien qu'au printemps, il faut effectuer plusieurs passages pour préparer le champ à recevoir les semences.

Le travail réduit du sol à l'automne devrait donner une surface suffisamment lisse pour limiter le travail superficiel du sol au printemps.

Travail du sol vertical

Le travail du sol vertical sert à réduire le compactage et l'effet de lissage pouvant être causé par la machinerie qui travaille la terre à l'horizontale. Beaucoup d'outils à cet effet visent à réduire les résidus en fragments plus petits et à les répartir, mais leur utilisation brise la structure du sol dans une certaine mesure et mélange les résidus à la surface au reste du sol (voir photo 1-1). Parmi les outils traditionnels de travail du sol vertical, on compte notamment les dents (paraboliques ou droites), généralement dépourvues de socs bineurs ou d'extensions, et les coutres droits ou ondulés qui sont parallèles au sens de la marche. En réalité, divers outils pour le travail du sol conviennent au travail du sol vertical, même s'ils comportent des disques légèrement concaves, des socs bineurs bas et de grandes herse qui travaillent davantage le sol, car ils respectent le principe de cette méthode, et ce, sans retourner ou lisser le sol de façon importante.



Photo 1-1 – Outils de travail du sol vertical qui brisent légèrement la structure du sol et le mélangent aux résidus

Voici les trois types d'usages pour lesquels les outils de travail du sol vertical sont les plus efficaces dans les champs de maïs :

- 1) Le travail superficiel du sol quand un travail réduit du sol a été effectué l'automne précédent;
- 2) La gestion des résidus en un seul passage et la préparation du lit de semence pour le maïs quand il y a moins de résidus (p. ex. après le soya ou après le blé d'automne lorsque la paille est retirée);
- 3) La gestion des résidus et travail superficiel du sol pour une rotation maïs et maïs quand on peut effectuer un travail du sol vertical une première fois à l'automne et une deuxième fois au printemps.

Travail réduit du sol au printemps

Le meilleur moyen de réduire l'érosion et les coûts des intrants consiste à ne pas travailler le sol à l'automne. Certains producteurs hésiteront peut-être à opter pour cette solution dans le cas de sols à texture fine où une culture de maïs ou de blé, par exemple, a laissé de grandes quantités de résidus. Par contre, après une culture de soya, le travail du sol à l'automne présente peu d'avantages dans la plupart des champs de l'Ontario. Le tableau 1-2, *Effets des méthodes de travail du sol employées à l'automne sur le rendement du maïs-grain*, montre que même dans un sol à texture fine, lorsque le maïs suit le soya dans la rotation, il suffit généralement de travailler le sol uniquement au printemps (deux passages de cultivateur). D'autres essais de démonstration effectués sur des sols à texture moyenne ou grossière ont mené à la même conclusion. Par l'expérience, les producteurs ont découvert que le travail réduit de sols non dérangés au printemps engendre de meilleurs résultats lorsqu'ils utilisent des dents à haut dégagement, des dents étroites ou des socs d'enterrage, ou passent un rouleau en même temps que le cultivateur.

Lorsque le maïs suit le soya, le surplus de maïs obtenu grâce au travail du sol à l'automne ne compense pas les coûts découlant de cette pratique.

Tableau 1-2 – Effets des méthodes de travail du sol employées à l'automne sur le rendement du maïs-grain

Les parcelles travaillées à la charrue à socs et au chisel ont été soumises à un travail superficiel au printemps; les parcelles travaillées uniquement au pulvérisateur tandem à l'automne ont été directement ensencées au printemps, sans travail superficiel du sol.

Endroit	Comté	Sol	Culture précédente	Nombre d'années	Méthode de travail du sol		
					Charrue à socs	Chisel	Uniquement le pulvérisateur tandem à l'automne
Alvinston	Lambton	Argile	Soya	3	5,96 t/ha (95 bo/ac)	5,39 t/ha (86 bo/ac)	5,71 t/ha (91 bo/ac)
Fingal	Elgin	Loam limono-argileux	Soya	3	9,97 t/ha (159 bo/ac)	9,66 t/ha (154 bo/ac)	9,66 t/ha (154 bo/ac)
Centralia	Huron	Loam limoneux	Blé (paille mise en balles)	3	9,16 t/ha (146 bo/ac)	8,72 t/ha (139 bo/ac)	8,84 t/ha (141 bo/ac)
Wyoming	Lambton	Loam limono-argileux	Blé (paille mise en balles)	3	9,97 t/ha (159 bo/ac)	9,72 t/ha (155 bo/ac)	9,85 t/ha (157 bo/ac)
				Moyenne	8,78 t/ha (140 bo/ac)	8,41 t/ha (134 bo/ac)	8,53 t/ha (136 bo/ac)

Source : T. Vyn, K. Janovicek, D. Hooker et G. Opuku, Université de Guelph.

Travail du sol par bandes superficiel à l'automne

La méthode de travail du sol d'automne limitée à des bandes étroites destinées à recevoir les rangs de maïs l'année suivante suscite énormément d'intérêt depuis quelques années. On prépare des bandes de sol en les ameublissant, en les décalant par rapport aux rangs précédents, en les débarrassant des résidus et souvent en les surélevant quelque peu, tout en laissant le reste du champ couvert de résidus de culture qui le protègent. Le printemps suivant, ces bandes sont plus sèches et moins denses, et se prêtent mieux au semis direct.

Le tableau 1-3, *Travail du sol par bandes superficiel à l'automne en vue d'une culture de maïs après du blé d'automne (paille retirée)*, résume les résultats d'une étude menée en Ontario qui compare l'emploi d'un outil de travail par bandes superficiel en profondeur Trans-till avec les systèmes traditionnel et de semis direct sur des chaumes de blé d'automne. Les données obtenues montrent que sur les sols à texture fine, le travail du sol par bandes superficiel à l'automne donnait généralement de meilleurs rendements que le semis direct. Le travail par bandes superficiel à l'automne n'a produit des rendements égaux à ceux du système traditionnel (charrue à socs) qu'à Wyoming. Des recherches menées par la suite ont corroboré les résultats qui apparaissent au tableau 1-3 : sur les sols à texture fine après une culture de blé, le travail du sol par bandes superficiel à l'automne donne généralement des rendements de maïs supérieurs à ceux du semis direct et égaux à ceux des méthodes traditionnelles.

Selon les recherches, sur des sols à texture moyenne ou après une culture de soya, les méthodes de travail du sol par bandes superficiel à l'automne ne produisent pas régulièrement de meilleurs rendements que le semis direct.

Tableau 1-3 – Travail du sol par bandes superficiel à l'automne en vue d'une culture de maïs après du blé d'automne (paille retirée)

Méthode de travail du sol	Humidité du sol au début de mai	Rendement	
		Sol à texture fine	Sol à texture moyenne
Charrue à socs à l'automne	23,3 %	9,97 t/ha (159 bo/ac)	9,22 t/ha (147 bo/ac)
Travail du sol par bandes en profondeur à l'automne	25,6 %	9,97 t/ha (159 bo/ac)	8,72 t/ha (139 bo/ac)
Semis direct	29,8 %	9,35 t/ha (149 bo/ac)	8,47 t/ha (135 bo/ac)

Source : T. J. Vyn, 1997, Université de Guelph.

Les mesures de taux d'humidité effectuées sur ces mêmes parcelles montraient généralement qu'au début du mois de mai, là où l'on avait travaillé le sol par bandes à l'automne, celui-ci était constamment plus sec que dans les parcelles de semis direct qui n'avaient pas été touchées (voir tableau 1-3). Les essais effectués côte à côte n'ont pas permis de démontrer la supériorité systématique du travail du sol par bandes superficiel à l'automne, mais cette méthode est souvent

plus avantageuse là où il y a de vastes superficies de sols mal drainés ou recouverts d'une épaisse couche de résidus; en effet, elle permet de hâter les semis, de rendre la levée plus uniforme et d'accélérer la croissance du maïs. Là où le travail du sol par bandes superficiel à l'automne donnait de moins bons résultats que les méthodes traditionnelles, le travail par bandes superficiel au printemps a permis d'accroître les rendements.

Le travail du sol par bandes superficiel permet également d'épandre les engrais par bandes alors que dans une culture en semis direct, l'application doit se faire à la volée. L'épandage d'engrais à l'aide de la méthode de travail du sol par bandes superficiel remplace aussi parfois l'application d'engrais de démarrage au semoir. L'épandage de phosphore et de potassium sur des sols travaillés par bandes à l'automne peut générer des rendements supérieurs à ceux de cultures en semis direct où un volume similaire d'engrais a été appliqué à la volée. Cependant, dans les méthodes de travail du sol par bandes superficiel, l'épandage de phosphore (P) et de potassium (K) par bandes à l'automne donnait généralement des rendements moins élevés que l'épandage au semoir, en particulier là où les teneurs en phosphore et en potassium étaient moyennes ou faibles.

Travail du sol par bandes superficiel au printemps

Le travail du sol par bandes superficiel au printemps permet de préparer des lits de semence à texture fine et sans résidus qui sont propices à l'utilisation d'un semoir à maïs. Cette méthode est utilisée la plupart du temps dans des sols à texture fine, mais peut parfois convenir à des sols à texture moyenne bien drainés. En général, elle est appliquée au maximum de 6 à 12 heures avant l'utilisation du semoir pour éviter que la zone de germination s'assèche trop. Cette méthode sert aussi à appliquer une partie ou la totalité des amendements d'azote (N), de phosphore et de potassium dont les cultures de maïs ont besoin. Pour éviter de brûler les semences ou les plantules avec l'engrais, on peut :

1. réduire la quantité d'engrais en suivant les doses sûres prescrites pour l'épandage en bandes au semoir qui figurent dans le tableau 9-22, *Doses maximales sûres des éléments nutritifs dans les engrais*, au chapitre 9;
2. répartir l'engrais dans toute la bande pour éviter qu'il soit plus concentré à certains endroits;

3. utiliser des engrais qui risquent moins d'entraîner des dommages par le sel ou l'ammoniac (p. ex. l'urée enrobée de polymère). En employant une méthode qui permet l'épandage d'engrais, on peut réduire le coût et la complexité du semoir à maïs traditionnel utilisé pour le travail de conservation du sol, notamment car la pression sur le semoir est réduite et les coutres, les tasse-résidus et les engrais secs ne sont plus nécessaires.

Sur le plan de la conservation des sols, le travail du sol par bandes superficiel au printemps a aussi l'avantage d'éliminer des bandes présentes à l'automne qui peuvent faire passer l'eau et être susceptibles à l'érosion, si elles se trouvent en haut et en bas d'une pente. De plus, il est possible de limiter encore plus l'érosion en utilisant un système de localisation GPS pour dessiner des bandes qui suivent le contour des champs en pente, que ce soit pour le travail du sol à l'automne ou au printemps (voir photo 1-2).

Travail du sol en profondeur

Avec l'accroissement de la charge par essieu des machines agricoles, et comme de façon générale les sols sont de plus en plus compactés, la méthode du travail en profondeur est de plus en plus employée. La raison qui est le plus souvent invoquée en faveur de cette méthode est que l'ameublissement des couches de sous-sol compacté et l'élimination des semelles de labour favorisent une croissance rapide et profonde des racines tout en améliorant le drainage. Cependant, en Ontario, les sous-sols qui sont ameublés par le travail en profondeur sont souvent compactés de nouveau au passage de la machinerie. De plus, comme cette opération détruit les pores naturels créés par les vers et les racines des cultures précédentes, les sols ainsi travaillés et sur lesquels passe la machinerie pourraient finalement être moins bien drainés et moins favorables à la croissance des racines.



Photo 1-2 – Travail du sol par bandes superficiel effectué à l'aide d'un GPS sur le contour du champ et qui permet de limiter l'érosion

En Ontario, le travail du sol en profondeur à la défonceuse à disques (30 à 35 cm ou 12 à 14 po) est maintenant beaucoup plus employé. Le tableau 1-4, *Effets de trois méthodes de travail du sol sur le rendement du maïs-grain*, résume les résultats d'une étude d'évaluation des gains de rendement obtenus avec cette méthode sur des sols de texture moyenne. Sur ces sols productifs, et en présence de peu de signes de compaction importante du sous-sol, les gains de rendement étaient peu importants et l'avantage économique était inexistant par rapport à une méthode de travail par bandes superficiel sur environ la moitié de la profondeur. Après une culture de blé, les méthodes de travail du sol à la défonceuse à disques et par bandes à l'automne ont donné des rendements supérieurs de 5 % à ceux du semis direct; cependant on obtenait un gain tout aussi important en effectuant à l'automne un travail du sol par bandes superficiel à une profondeur d'environ la moitié de celle obtenue avec la défonceuse à disques. Chez certains producteurs, le travail du sol en profondeur a donné de bons résultats dans des endroits mal drainés ou très compactés (p. ex. tournières). En Ontario, souvent, cette opération n'est nécessaire que dans les parties de champs ou dans les champs très mal drainés ou très compactés.

Tableau 1-4 – Effets de trois méthodes de travail du sol sur le rendement du maïs-grain

Les essais ont été effectués sur des sols à texture moyenne (loam ou loam limoneux) après des cultures de soya (quatre endroits) et de blé d'automne (huit endroits) (2002-2005).

Travail du sol	Soya	Blé
Défonceuse à disques à l'automne 30 à 35 cm (12 à 14 po)	9,73 t/ha (155 bo/ac)	9,73 t/ha (155 bo/ac)
Travail du sol par bandes superficiel à l'automne 15 à 20 cm (6 à 8 po)	9,48 t/ha (151 bo/ac)	9,73 t/ha (155 bo/ac)
Semis direct	9,54 t/ha (152 bo/ac)	9,29 t/ha (148 bo/ac)

Source : Base de données Tillage Ontario, 2008 (www.tillageontario.com).

Il semble également que le travail du sol par bandes superficiel permette de réduire la compaction du sol et d'améliorer le drainage au moyen du travail en profondeur. Dans certains cas, on suggère de travailler le sol à une profondeur pouvant atteindre 30 à 35 cm (12 à 14 po). Des chercheurs ont mis à l'essai cette méthode de travail du sol par bandes sur des sites voisins de Granton et Ridgetown. Le tableau 1-5, *Effets des méthodes de travail du sol sur les rendements du maïs cultivé après du blé d'automne*, montre qu'un ameublissement profond n'a apporté aucun gain de rendement, ou un gain qui ne compense pas les coûts

de cette opération. Le recours au travail du sol par bandes superficiel en vue d'un labour en profondeur a l'avantage d'éviter le passage de la machinerie sur les bandes jusqu'à la prochaine récolte, ce qui laisse au sol le temps de se stabiliser avant le prochain passage.

Tableau 1-5 – Effets des méthodes de travail du sol sur les rendements du maïs cultivé après du blé d'automne

Méthode de travail du sol	Granton (loam / loam argileux)	Ridgetown (loam argileux)
Charrue à socs à l'automne	11,35 t/ha (181 bo/ac)	7,78 t/ha (124 bo/ac)
Travail du sol par bandes en profondeur à l'automne 30 cm (14 po)	10,79 t/ha (172 bo/ac)	8,15 t/ha (130 bo/ac)
Semis direct (3 coutres)	10,73 t/ha (171 bo/ac)	7,65 t/ha (122 bo/ac)
Semis direct (tasse-résidus)	10,85 t/ha (173 bo/ac)	7,78 t/ha (124 bo/ac)

Source : T. Vyn, B. Deen, K. Janovicek, Université de Guelph, D. Young, Université de Guelph, campus de Ridgetown (1998-2000).

Semis direct

Dans les cultures en semis direct, il n'y a aucun travail du sol des lits de semence. Immédiatement avant le passage de l'ouvre-sillon, on ameublit le sol de façon superficielle sur une bande étroite avec un coutre ou des tasse-résidus montés sur le semoir. La production culturale par semis direct repose en partie sur l'utilisation efficace de nouvelles méthodes de gestion des champs (pouvant comprendre ou non de nouvelles techniques de production) qui compensent ce que procure le travail du sol en d'autres circonstances. Pour réussir une culture de maïs en semis direct, il est important de tenir compte des aspects suivants :

- Drainage du sol;
- Rotation des cultures;
- Gestion des résidus;
- Lutte contre les mauvaises herbes;
- Lutte contre les insectes et les maladies;
- Mise en place des engrais;
- Compactage du sol.

Drainage du sol

Dans les systèmes de semis direct, en l'absence d'un travail qui ameublit le sol et y incorpore les résidus, les champs s'assèchent moins vite au printemps. Cela peut

avoir pour effet de retarder les semis et même de réduire le nombre de jours disponibles pour la mise en terre. Dans de nombreux types de sols de l'Ontario, il faut un bon système de drainage si l'on veut avoir des chances raisonnables de mettre en terre une culture de maïs par semis direct dans un bon lit de semence et assez tôt pour que la croissance des racines se fasse rapidement et en profondeur. Il devient souvent évident pour les producteurs que le semis direct est très difficile à réussir dans les sols à texture fine en l'absence d'un réseau complet de drainage souterrain. Si le réseau de drainage est insuffisant dans ce type de sol, il faudra souvent effectuer un travail du sol sous une forme ou une autre à l'automne pour maximiser le potentiel de rendement.

Rotation des cultures

En Ontario, pour la culture du maïs, le semis direct produit généralement des rendements comparables à ceux des méthodes avec travail du sol après des cultures laissant peu de résidus comme le soya, les haricots secs comestibles et les plantes fourragères récoltées sous forme de foin ou d'ensilage préfané. L'accumulation de résidus en surface peut ralentir l'assèchement des sols ayant un drainage naturel relativement lent, ce qui empêche d'ensemencer assez tôt pour permettre une croissance racinaire rapide, précoce et profonde. Après une culture fourragère, la structure du sol se trouve améliorée et les vers de terre sont plus actifs, ce qui peut contribuer au succès de la production de maïs par semis direct.

Sur les sols à texture moyenne ou fine, après des cultures qui laissent de grandes quantités de résidus, la production de maïs par semis direct atteint difficilement un rendement optimal, même si les autres composantes de la production ont été prises en compte.

Après des cultures laissant beaucoup de résidus (p. ex. maïs-grain, céréales), si l'on décide de ne pas retirer ces derniers, il sera probablement nécessaire d'effectuer un certain travail du sol pour pouvoir semer tôt et maximiser le potentiel de rendement.

Gestion des résidus

Pour réduire les coûts du travail du sol, accroître le bénéfice net et améliorer la santé à long terme du sol, il faut faire des choix sur le meilleur mode de gestion des résidus de culture, notamment la paille de blé. Pour une culture de maïs par semis direct ou par travail réduit du sol après du blé, il faut débarrasser le champ de la paille. Le tableau 1-6, *Effets de différentes quantités de paille de blé sur le rendement du maïs en*

semis direct, indique les rendements de maïs obtenus au cours d'essais portant sur le travail du sol; trois différentes quantités de paille ont été laissées sur le champ, et le maïs a été semé sans travail du sol l'année suivante. Si l'on enlève la paille des champs de maïs, surtout après des cultures de blé à fort rendement et sur des sols à texture lourde, le semis direct est plus susceptible de donner un rendement égal à celui obtenu sur des sols travaillés à la charrue à socs à l'automne.

Tableau 1-6 – Effets de différentes quantités de paille de blé sur le rendement du maïs en semis direct

Méthode de travail du sol / quantité de paille ^{1,2}	Rendement
Semis direct, paille et chaume entièrement laissés sur place	9,16 t/ha (146 bo/ac)
Semis direct, paille en balles mais chaume laissé sur place	9,35 t/ha (149 bo/ac)
Semis direct, paille en balles et chaume coupé et enlevé	9,91 t/ha (158 bo/ac)
Charrue à socs, paille en balles mais chaume laissé sur place	9,97 t/ha (159 bo/ac)

Source : T. Vyn, G. Opuku et C. Swanton, Université de Guelph.

¹ Moyenne de 1994-1996, Wyoming (Ontario).

² Le chaume atteignait des hauteurs d'environ 20 à 30 cm (8 à 12 po), sauf dans les parcelles où il avait été coupé et enlevé.

Quand il est impossible d'ôter la paille, il faut impérativement l'étaler de manière uniforme, avec la paillette, pour que les méthodes de semis direct ou de travail réduit du sol donnent de bons résultats avec le maïs. Même lorsque la paille est laissée en andains groupés, il faut étaler la paillette aussi uniformément que possible pendant le moissonnage-battage. Lorsque le printemps est frais et pluvieux, les plaques épaisses de résidus de blé en décomposition empêchent le sol de se réchauffer, ralentissent la croissance, attirent les limaces et entraînent ainsi souvent des pertes de rendement, ce qu'un étalement uniforme aide à éviter.

L'incorporation de toute la paille peut être plus avantageuse que la pratique du travail réduit du sol. Sur les exploitations agricoles où le potentiel d'érosion est plus élevé, l'adoption d'une méthode de travail réduit du sol, même si elle oblige à retirer une partie de la paille, est probablement plus viable. Une autre solution est d'opter pour une méthode qui soumet les champs de blé à un léger travail du sol et qui incorpore partiellement la paille tout en laissant une bonne protection à la surface.

Des chercheurs ont étudié les effets des apports d'azote visant à accélérer la dégradation de la paille. Il ressort de ces travaux qu'après un épandage d'azote sur la paille de blé à l'automne, celle-ci ne se décomposait pas plus vite. En outre, au printemps suivant, les teneurs en azote du sol n'étaient pas plus élevées que dans les autres parcelles.

Lutte contre les mauvaises herbes

La lutte contre les mauvaises herbes est primordiale si l'on veut que le maïs donne un rendement optimal. Dans les cultures en semis direct, on devra parfois intensifier les efforts de lutte contre les mauvaises herbes vivaces et les nouvelles espèces apparues à la suite d'un changement dans les peuplements de plantes adventices. Les traitements de destruction chimique en présemis au printemps sont essentiels pour permettre à la culture de se développer sans subir la pression des mauvaises herbes pendant les premiers stades de croissance, qui sont décisifs.

Lutte contre les insectes et les maladies

Le travail du sol peut contribuer à lutter contre certains animaux nuisibles et certaines maladies, voire à les éliminer. Les mauvaises herbes, les repousses des cultures précédentes et certaines cultures couvre-sol laissées à la surface du sol en hiver et au début du printemps peuvent attirer les insectes nuisibles. Les mauvaises herbes basses telles que le céraïste vulgaire sont des sites de ponte idéaux pour les noctuelles ipsilon qui arrivent du Sud des États-Unis au début du printemps. Les pucerons qui envahissent les céréales peuvent transmettre les virus présents dans le blé spontané aux nouveaux plants de céréales. Si le maïs est semé dans une culture couvre-sol de seigle, il risque davantage d'être envahi par des légionnaires. Pour éviter les invasions d'animaux nuisibles, il faut prendre des mesures efficaces de lutte contre les mauvaises herbes et de gestion des cultures couvre-sol en appliquant de l'herbicide à l'automne et en travaillant le sol au début du printemps, au moins trois semaines avant les semis. Le travail du sol peut contribuer à réduire les populations de vers fil-de-fer et d'asticots, car il permet de les amener à la surface où ils sont exposés à leurs ennemis naturels. Il faut toutefois faire preuve de jugement : plusieurs passages sont nécessaires, et le résultat n'est pas garanti. Le travail du sol peut même augmenter le risque d'infestation d'une espèce nuisible en particulier, la mouche des légumineuses, si des mauvaises herbes, du fumier ou des cultures couvre-sol sont incorporés au sol peu de

temps avant les semis. L'incorporation doit avoir lieu au moins trois semaines avant les semis pour que les mouches adultes ne soient plus attirées par les végétaux en décomposition.

Certaines maladies ont davantage tendance à se développer lorsqu'on utilise un système de semis direct, puisque le travail du sol peut être d'un certain secours dans ce domaine. En effet, il permet au sol de se réchauffer et de s'assécher rapidement, ce qui réduit le risque de maladies des plantules. Plusieurs maladies responsables des pourritures de la tige peuvent également être évitées avec le travail du sol, même si, dans certains cas, c'est la rotation des cultures et le choix des hybrides qui contribuent le plus à les prévenir.

Pour en savoir plus sur les insectes nuisibles et les maladies qui touchent le maïs, lire le chapitre 15, *Insectes et animaux nuisibles aux grandes cultures*, et le chapitre 16, *Maladies des grandes cultures*.

Mise en place des engrais

Dans les champs soumis pendant longtemps au semis direct, il peut se produire une stratification des éléments nutritifs (concentration près de la surface du sol). La mise en place des engrais est d'autant plus importante que cette méthode ne permet pas d'incorporer ou de mélanger au sol les engrais secs.

D'après des études menées en Ontario et dans le Corn Belt des États-Unis, l'épandage de phosphore et de potassium sous forme d'engrais de démarrage en bande a eu des effets similaires au travail à la charrue à socs à l'automne sur le rendement des systèmes de semis direct, notamment là où les teneurs en potassium étaient moyennes ou faibles. Dans la méthode de semis direct, l'épandage de phosphore et de potassium en bandes au semoir a donné de meilleurs résultats que l'épandage de surface à la volée. Cependant, sur les sites peu fertiles, il peut être nécessaire de combiner l'épandage à la volée et au semoir en bandes pour maximiser les rendements obtenus par semis direct.

Dans les systèmes de semis direct, les sols sont plus frais et moins bien aérés, et la minéralisation de l'azote est souvent plus lente que dans les systèmes de travail du sol traditionnels. On compense souvent par l'épandage de 35 kg/ha (30 lb/ac) d'azote dans l'engrais de démarrage.

L'épandage en bandes latérales de 35 kg/ha (30 lb/ac) d'azote dans l'engrais de démarrage, effectué au semoir à maïs de semis direct, permet souvent de compenser la lenteur de la minéralisation de l'azote fréquemment observée dans les sols soumis à ce mode de culture.

Compactage du sol

La meilleure façon de prévenir le compactage du sol, c'est d'éviter de travailler le sol lorsqu'il est humide. Le compactage du sol est souvent invoqué comme l'une des raisons pour lesquelles le semis direct ne donne pas toujours un rendement aussi élevé que les méthodes traditionnelles de travail du sol. Pour améliorer les rendements du maïs cultivé avec les méthodes de travail réduit, on pourrait intégrer des cultures aux racines profondes à la rotation et ameublir davantage le sol plus profondément. Cela peut se faire sans déranger à outrance les résidus de culture à la surface et seulement dans les parties qui recevront les rangs de maïs l'année suivante (p. ex. avec un travail du sol par bandes superficiel).

De façon générale, la meilleure méthode de prévention du compactage profond (35 à 45 cm ou 15 à 18 po) consiste à réduire le nombre de passages ou à limiter, dans la mesure du possible, l'utilisation de machines ayant une forte charge par essieu (p. ex. voitures à grain). À cette fin, il est bon d'éviter le passage de la machinerie lorsque le sol est détrempé.

En modifiant la pression des pneus, on peut aussi réduire le compactage du sol dans la zone des racines, c'est-à-dire dans les 20 premiers cm (8 po). La réduction de la pression de gonflage permet de renforcer la flottation des pneus, ce qui peut atténuer leurs effets sur le sol, notamment sur les couches de surface. Pour ce faire, il faut :

1. savoir quelle est la charge par essieu de chaque pneu;
2. connaître les spécifications du fabricant pour chaque pneu;
3. réduire la pression de gonflage au niveau minimal acceptable en fonction des autres facteurs (vitesse, type de charge, roues jumelées, etc.), idéalement à 1 bar (14,5 lb/po²).

Rendement du semoir

Quelle que soit la méthode de travail du sol, il faut que le semoir ait un rendement optimal pour que l'on puisse maximiser le potentiel de rendement du maïs. Dans les systèmes de semis direct, le rendement du semoir et le choix du modèle sont particulièrement importants, car, en l'absence de travail du sol, les propriétés de la couverture de résidus et du sol près de la surface sont plus variables. Pour réduire la variabilité du peuplement et de la levée du maïs et accroître les rendements des cultures de semis direct, il faut donc veiller à ce que le matériel de semis soit bien entretenu et adapté à cette méthode.

Choix des hybrides

Évaluation de la maturité

La croissance du maïs est étroitement liée à la température, et ce, surtout entre les semis et l'apparition des soies. Contrairement au soya, la longueur du jour a peu d'effet sur la vitesse de croissance du maïs. Le système d'unités thermiques de croissance (UTC) utilisé en Ontario a été élaboré pour évaluer les effets de la température sur la croissance du maïs. On effectue ce calcul à partir des températures maximales et minimales quotidiennes, ce qui permet d'attribuer une cote numérique aux saisons de croissance, aux régions géographiques et aux hybrides de maïs. Grâce à ce système, les producteurs peuvent choisir les hybrides les plus susceptibles d'atteindre la maturité avant la première gelée meurtrière.

Unités thermiques de croissance de l'Ontario

Le calcul du nombre d'unités thermiques de croissance se fonde sur une date de début, une formule de calcul des UTC à partir des températures journalières et une date de fin. Depuis 2009, l'Ontario fixe la date de début du calcul des UTC au 1^{er} mai, quels que soient l'emplacement et les températures mesurées jusque-là. Pour le calcul, on établit un total journalier des UTC pendant une période de temps donnée, qui se termine lorsque les températures moyennes sont inférieures à 12 °C ou à la première occurrence d'une température de -2 °C. Le système des UTC et la carte actuellement utilisés (souvent appelés UTC-M1 en raison de la date de début du 1er mai) reposent sur des données recueillies entre 1971 et 2000. Les UTC en Ontario sont indiquées sur une carte à la figure 1-1, *Unités thermiques de croissance (UTC-M1) pour le maïs*.

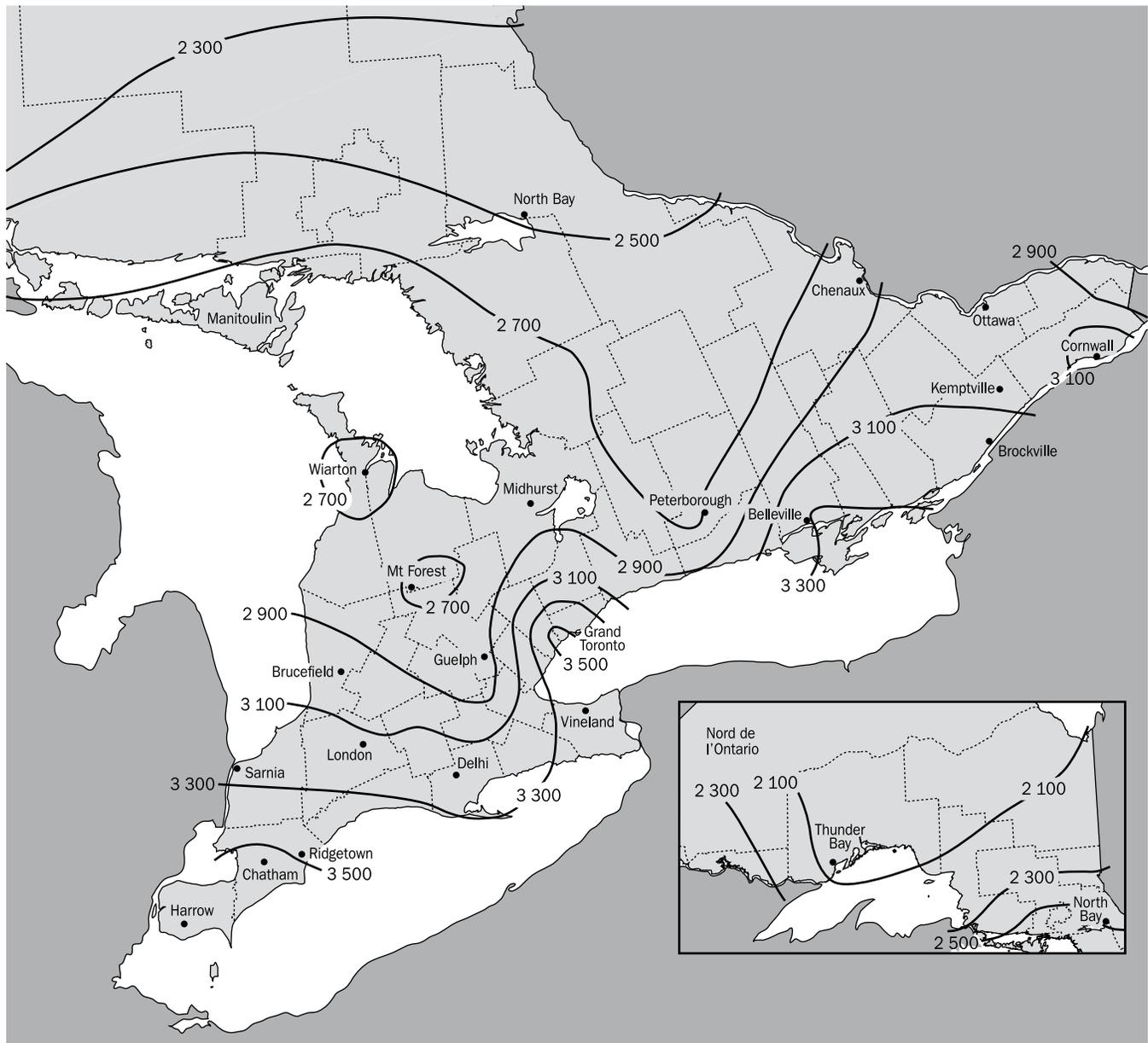


Figure 1-1 – Unités thermiques de croissance (UTC-M1) pour le maïs

Cette carte a été établie à partir des données météorologiques recueillies de 1971 à 2000, la date de début des calculs étant le 1^{er} mai dans toute la province. *Source* : Weather Innovations inc. (WIN).

Ailleurs qu'en Ontario, il existe d'autres systèmes de quantification de l'effet de la température sur la croissance du maïs et d'évaluation de la maturité des hybrides. Il est malheureusement impossible d'effectuer des conversions mathématiques d'un système à l'autre.

Les données qui figurent au tableau 1-7, *Équivalences approximatives entre trois systèmes de mesure de l'apport de chaleur pendant une saison de croissance*, permettent de faire des comparaisons raisonnables entre les différents systèmes.

Tableau 1-7 – Équivalences approximatives entre trois systèmes de mesure de l'apport de chaleur pendant une saison de croissance

Endroit	Unités thermiques de croissance de l'Ontario (UTC-M1)	Maturité relative du maïs (MRM)	Degrés-jours (base 10) (DJ)
Walkerton	2 759	84	2 000
Guelph	2 828	84	2 012
Ottawa	3 099	91	2 174
London	3 120	92	2 203
Simcoe	3 190	94	2 268
Belleville	3 369	98	2 353
Ridgetown	3 462	104	2 511
Harrow	3 702	111	2 673

La production de chaque feuille de maïs consomme environ 75 à 80 unités thermiques de croissance. S'il fait 30 °C le jour et 20 °C la nuit, il apparaît donc une nouvelle feuille tous les 2 ou 3 jours. De même, s'il fait 20 °C le jour et 10 °C la nuit, il apparaît une nouvelle feuille tous les 5 ou 6 jours.

Les producteurs qui consignent les maximums et les minimums journaliers peuvent se servir du tableau 10-4, *Accumulations quotidiennes d'unités thermiques de croissance en fonction des températures maximale et minimale*, pour calculer les UTC sur leur propre exploitation.

Choix des hybrides les plus rentables

Le choix de l'hybride est sans doute la décision de gestion qui a le plus d'influence sur la rentabilité de la culture. Depuis 50 ans, on ne cesse de voir apparaître sur le marché des hybrides de maïs au potentiel toujours plus élevé, qui ont amené des gains de rendement d'environ 1,5 % par an. Pour demeurer concurrentiels, les producteurs doivent régulièrement adopter de nouveaux hybrides. Le choix des hybrides devrait se faire selon quelques principes généraux, présentés ci-dessous. Par ailleurs, le choix final des hybrides pour une exploitation donnée doit être fait en consultation avec les représentants des fournisseurs de semences.

Maturité et unités thermiques de croissance

La maturité physiologique (point noir) se produit lorsque tous les grains ont atteint leur niveau maximal d'accumulation de matière sèche et que la plante ne fournit plus d'humidité ni d'éléments nutritifs. À partir des cotes d'unités thermiques de croissance, on peut sélectionner les hybrides qui parviendront à maturité avant la date normale de la première gelée de fin de saison. Pour connaître le total normal d'UTC dans une région donnée, voir la figure 1-1, *Unités thermiques de croissance (UTC-M1) pour le maïs*, ou consulter les dossiers de l'exploitation.

Rendement le plus élevé

Dans tout essai de rendement des hybrides, il peut y avoir un écart de rendement de 1,9 à 2,5 t/ha (30 à 40 bo/ac) entre les plus performants et les moins performants. On voit donc qu'il faut disposer d'une information fiable sur le potentiel de rendement et l'adaptabilité des hybrides. Les producteurs doivent avoir accès à plusieurs sources d'information, soit les résultats des essais publics de rendement, ceux des bandes d'essais (provenant du fournisseur de semences ou de l'association agricole) et ceux des comparaisons sur le terrain.

Chaque année, le Comité ontarien du maïs effectue dans toute la province des essais de rendement sur la majorité des hybrides offerts sur le marché. En général, ceux qui constituent une série donnée correspondant à une certaine fourchette d'unités thermiques de croissance sont mis à l'essai à trois ou quatre endroits. Les résultats se trouvent sur le site www.gocorn.net dans différents formats. Ces essais sont un bon reflet du potentiel de rendement, mais comme ils sont limités à quelques endroits, ils donnent peu d'indices sur la capacité d'adaptation des hybrides à des conditions très variables. Pour obtenir cette information, il faut s'en remettre aux résultats des bandes d'essai qui sont situées en un plus grand nombre d'endroits présentant une large gamme de conditions. Les fournisseurs de semences offrent un sommaire des résultats ainsi obtenus dans leurs guides de semences.

Bien des producteurs préfèrent constituer des bandes d'essai sur leur propre exploitation; ils peuvent ainsi y tester les nouveaux hybrides à fort potentiel de rendement en les comparant à ceux qui ont fait leurs preuves. Néanmoins, il faut garder à l'esprit que le choix d'un hybride doit se fonder sur des essais effectués à plusieurs endroits, même si c'est à

l'exploitation même. Avant de choisir des hybrides pour les cultiver sur une grande superficie, il faut consulter les résultats obtenus sur de nombreux sites (idéalement plus de 30) pendant deux saisons.

Pour sélectionner les hybrides, on peut commencer par définir deux groupes d'hybrides pour une exploitation agricole. Le premier groupe, appelé « nouveaux hybrides », comprend les nouveaux hybrides les plus prometteurs sur le marché. Il représente les hybrides qui sont cultivés sur une superficie relativement petite et dont le rendement est suivi de près sur une exploitation donnée, dans le cadre de bandes d'essais et d'essais publics de rendement. L'objectif est de déterminer rapidement quels sont les hybrides les plus performants du groupe pour les transférer au groupe des « hybrides éprouvés ». Ce second groupe représente les hybrides qui ont fait leurs preuves et qui sont cultivés sur une grande partie de la superficie consacrée au maïs d'une exploitation donnée. Les producteurs qui sauront prendre les meilleures décisions le plus rapidement en intégrant les nouveaux hybrides les plus performants à leur production verront leur avantage concurrentiel optimisé et leur rendement augmenter.

Les producteurs qui sauront prendre les meilleures décisions le plus rapidement en intégrant les nouveaux hybrides les plus performants à leur production verront leur avantage concurrentiel optimisé.

Classification des hybrides

On classe souvent les hybrides de maïs dans des catégories telles que les « chevaux de trait » ou les « chevaux de course », selon que leur nature est offensive ou défensive. Les « chevaux de course » (offensifs) sont ceux qui produisent des rendements supérieurs à la moyenne dans de bonnes conditions, mais inférieurs à la moyenne quand celles-ci se dégradent. Les « chevaux de trait » (défensifs) sont ceux qui offrent des rendements relativement constants indépendamment des conditions de croissance. Étant donné que la gestion localisée gagne en popularité, nombreux sont les producteurs qui optent pour des « chevaux de course » dans les zones les plus productives de leur champ, et pour des « chevaux de trait » là où l'état du sol et les conditions météorologiques sont moins favorables. Si l'on suit les tendances de l'industrie des semences, les hybrides seront de plus en plus définis selon leur capacité à cadrer avec certaines stratégies de gestion et certains

environnements. Les technologies d'agriculture de précision permettent de mieux déterminer dans quelle mesure les hybrides pourront exploiter les ressources d'un lieu précis de manière plus efficace.

Les producteurs devraient savoir qu'ils peuvent choisir les hybrides les mieux adaptés à leur stratégie, selon qu'elle est à faible ou à haut niveau d'intrants. Pour éviter certains des risques associés au choix des hybrides, il faut se renseigner sur leurs rendements antérieurs. Il est conseillé de choisir ceux qui se complètent et qui n'ont pas les mêmes points faibles. Par exemple, au moment de sélectionner deux hybrides de saison longue offrant un haut potentiel de rendement pour des semis précoces, il faut s'assurer qu'ils ne sont pas tous deux mal cotés pour ce qui est de la résistance aux maladies foliaires.

Résistance à la verse

Il faut rechercher des hybrides qui parviennent à maturité au bon moment et qui offrent un excellent potentiel de rendement. Mais il faut aussi sélectionner les hybrides en fonction de leur résistance à la verse. Cette caractéristique est particulièrement importante là où l'on risque un assèchement important. Si l'exploitation agricole possède des installations de séchage et qu'il est possible de récolter le maïs lorsque sa teneur en eau est relativement élevée (> 26 %), la résistance à la verse revêt une moins grande importance. Les caractéristiques liées à une meilleure résistance à la verse sont la résistance à la pourriture de la tige et aux brûlures des feuilles, la vigueur génétique de la tige (écorce épaisse), la faible hauteur du plant, la position basse des épis sur le plant et le fort pourcentage de plants sains en fin de saison. Par ailleurs, l'intégrité des plants et leur santé en fin de saison indiquent également que la récolte sera meilleure.

En ce qui concerne la résistance à la verse, l'un des progrès les plus remarquables a été l'introduction des hybrides Bt qui résistent à plusieurs ravageurs du maïs. Tous les producteurs qui utilisent des hybrides Bt doivent mettre en place un refuge contenant des plants de maïs qui ne sont pas génétiquement modifiés pour empêcher l'apparition d'une souche d'organisme nuisible résistante. Les producteurs peuvent désormais acheter des sacs contenant à la fois des semences Bt et des semences non-Bt, ce qui leur évite d'avoir à installer un refuge à part. Pour en savoir plus sur le maïs Bt, voir le chapitre 15, *Insectes et animaux nuisibles aux grandes cultures*, et visiter le site de la Coalition canadienne contre les ravageurs du maïs, au www.cornpest.ca.

Teneurs en eau à la récolte et coûts de séchage

Le choix des hybrides peut également dépendre des teneurs en eau souhaitées à la récolte. Lorsqu'on entrepose le maïs comme céréale à haute teneur en eau (p. ex. 28 %), on a la possibilité de maximiser les bénéfices en optant pour des hybrides de pleine saison très performants. Lorsque le maïs est séché lors de son entreposage, les producteurs doivent évaluer l'effet des fortes teneurs en eau à la récolte sur le bénéfice net. Par exemple, pour un hybride ayant un rendement de 0,31 t/ha (5 bo/ac) de plus qu'un autre, il faut comparer le gain net ainsi produit aux coûts supplémentaires de séchage. Les essais de rendement effectués par le Comité ontarien du maïs montrent que lorsqu'ils sont semés tôt, les hybrides sélectionnés selon les critères les plus exigeants (de pleine saison et extrêmement tardif) donnent souvent de meilleurs rendements que ceux qui parviennent à maturité plus rapidement (hybrides de saison plus courte), ce qui compense largement les coûts supplémentaires liés au séchage. Il faut évaluer le bénéfice net des hybrides après déduction des coûts de séchage. Selon ces coûts, bien souvent, un gain de rendement de 2 à 3 bo/ac compense largement une hausse de 1 % de la teneur en eau à la récolte.

Choix des hybrides destinés à l'ensilage

En ce qui concerne la production destinée spécifiquement à l'ensilage plante entière, on obtient généralement de meilleurs rendements avec des hybrides cotés de 100 à 200 UTC de plus que ceux qui sont destinés à la production de grain. Il faut sélectionner des hybrides à haut rendement pour l'ensilage et ayant une énergie digestible élevée. Il existe sur le marché des hybrides de maïs destinés uniquement à l'ensilage, et d'autres à double usage. Ces derniers permettent la récolte du grain, ce qui offre plus de possibilités au producteur lorsque le silo est plein. En l'absence de données indépendantes, il est très difficile de comparer les hybrides de maïs à ensilage offerts par les différents fournisseurs et de faire un choix. Il faut rechercher des hybrides ayant les meilleures cotes de rendement et de qualité pour l'ensilage. Il existe plusieurs modèles de comparaison de la valeur économique des hybrides de maïs à ensilage. Le modèle Milk 2006 de l'Université du Wisconsin comprend des calculs de « lait par acre » et de « lait par tonne » qui combinent les caractéristiques de rendement à l'ensilage, de digestibilité, de teneurs en fibres, en amidon et en

protéines brutes, et de potentiel de prise alimentaire. La quantité de « lait par tonne » est un indice de qualité, tandis que la quantité de « lait par acre » reflète à la fois le rendement et la qualité.

Passage à des hybrides à cycle plus court

Selon l'état du champ, il peut être nécessaire de retarder les semis et de choisir des hybrides qui arrivent plus rapidement à maturité. Dans ce cas, il faut tenir compte du potentiel de rendement des hybrides à cycle plus court, de leur poids spécifique, des coûts de séchage et des capacités de récolte en fin de saison.

Le maïs-grain atteint 90 % de son poids total lorsque la ligne d'amidon arrive à la moitié de la hauteur du grain, un stade que même les hybrides de pleine saison semés tard atteignent la plupart des années. Le passage à des hybrides à cycle plus court peut être une solution de rechange valable du point de vue du rendement en grain, dans la mesure où ils offrent au moins 90 % du rendement des hybrides de pleine saison. De façon générale, c'est la meilleure option dans les régions où la saison est plus longue.

Si on cultive des hybrides de pleine saison qui ont besoin de 3 000 UTC-M1, on peut passer à d'autres hybrides qui exigent de 100 à 150 UTC de moins sans trop sacrifier les rendements. Par contre, si l'on cultive des hybrides de pleine saison exigeant 2 800 UTC-M1 environ, il est probable que le passage à un autre hybride ayant besoin de 100 UTC de moins se soldera par une baisse de rendement de plus de 10 %.

Une étude à grande échelle effectuée dans tout le Nord du Corn Belt a permis de déterminer les dates optimales de passage aux hybrides autres que de pleine saison. Le tableau 1-8, *Dates recommandées pour cesser de semer des hybrides de pleine saison dans différentes zones d'unités thermiques de croissance*, résume quelques-unes des conclusions de cette étude. Les nombreuses données à long terme colligées lors de ces travaux reflètent les rendements des hybrides ayant différentes cotes de maturité ainsi que les déductions à faire pour tenir compte du poids spécifique et des coûts de séchage. La date de transition est celle à partir de laquelle les semis d'hybrides à cycle plus court produisent un meilleur bénéfice net que les hybrides de pleine saison (le bénéfice net est le produit brut moins les déductions à faire pour les coûts de séchage et le poids spécifique).

Tableau 1-8 – Dates recommandées pour cesser de semer des hybrides de pleine saison dans différentes zones d'unités thermiques de croissance

Zone d'unités thermiques de croissance (UTC-M1)	Date de transition
> 3 200	30 mai ou début de juin
2 800 à 3 200	20 au 25 mai
< 2 800	15 au 20 mai

Source : Adapté de R. Iragavarapu, *Basing Hybrid Maturity Switches on Long-Term Data*, Pioneer Hi-Bred Itée.

La culture d'hybrides ayant des dates de maturité différentes offre une certaine protection aussi bien contre les stress au moment de l'apparition des soies que contre les risques de fin de saison. Toutefois, on peut passer systématiquement à des hybrides à cycle plus court à partir du 30 mai ou du 1er juin dans le Sud-Ouest de l'Ontario (> 3 200 UTC-M1), à partir de la période du 20 au 25 mai dans les régions où l'on cultive des hybrides de mi-saison (2 800 à 3 200 UTC-M1) et à partir de la période du 15 au 20 mai dans les zones de culture de maïs à cycle encore plus court (< 2 800 UTC-M1).

La règle générale à observer est d'opter pour un hybride exigeant 100 UTC de moins pour chaque semaine de retard des semis à partir de la date limite prévue pour les hybrides de pleine saison.

Poids spécifique

Les poids spécifiques peuvent être plus faibles si les gelées de fin de saison surviennent avant la maturité du maïs semé tard (point noir). Au moment de choisir les hybrides destinés à être semés à la fin du printemps, il faut tenir compte du potentiel de poids spécifique. Le tableau 1-9, *Poids spécifique du maïs-grain et probabilités d'impuretés*, présente les probabilités d'impuretés dans un maïs de poids spécifique plus faible livré à un silo-élevateur ou à un utilisateur final.

D'une part, dans les exploitations où toute la production de maïs est utilisée à la ferme et donnée aux animaux, le poids spécifique peut n'avoir aucun effet, et il est parfois possible de s'en tenir aux hybrides de pleine saison pendant une plus grande partie de la saison de croissance. L'expérience acquise en 1992, en 2000 et en 2014, ainsi que les recherches menées ces mêmes années indiquent qu'il y a peu de corrélation, voire aucune, entre le poids spécifique et la valeur nutritive du maïs consommé par

Tableau 1-9 – Poids spécifique du maïs-grain et probabilités d'impuretés

À jour au printemps 2016. Les probabilités de perte peuvent varier considérablement selon l'année et l'endroit.

Grade	Poids spécifique minimal	Perte possible
1	68,0 kg/hl (55,6 lb/bo)	0,00 \$/t. c.
2	66,0 kg/hl (52,8 lb/bo)	0,00 \$/t. c.
3	64,1 kg/hl (51,4 lb/bo)	2,00 \$/t. c.
4	62,0 kg/hl (49,7 lb/bo)	6,00 \$/t. c.
5	58,0 kg/hl (46,5 lb/bo)	12,00 \$/t. c.

le bétail. D'autre part, les producteurs qui livrent tout leur maïs à des silos-élevateurs ou à des transformateurs peuvent être tentés par des hybrides à cycle plus court pour accroître les chances d'obtenir des poids spécifiques convenables à la récolte. Dans les zones à cycle plus court, si l'on craint que le passage à des hybrides à cycle plus court ne s'accompagne de pertes de rendement importantes, on peut envisager de s'en tenir aux hybrides de pleine saison, mais en choisissant ceux qui offrent des poids spécifiques plus élevés.

Récolte

La culture continue d'hybrides à haut rendement et à cycle plus long peut soulever certains problèmes de logistique à la récolte. Les champs ensemencés d'hybrides qui risquent d'arriver à maturité tardivement doivent être bien drainés et en mesure de supporter les charges imposées par le passage de la machinerie, ce qui facilitera la récolte si les conditions ne sont pas idéales en fin de saison. Il faut éviter de semer des hybrides à cycle plus long dans les régions de la province qui risquent le plus de recevoir de la neige en novembre. La neige qui couvre les plants de maïs adhère aux feuilles et aux spathes et rend la récolte impossible tant qu'elle n'a pas fondu. La neige qui couvre les plants de maïs adhère aux feuilles et aux spathes et empêche la récolte tant qu'elle n'a pas fondu.

Semis

Date de semis

En Ontario, on obtient habituellement les meilleurs rendements lorsqu'on sème le maïs à la fin du mois d'avril ou dans la première quinzaine de mai, parce

que l'on tire alors parti de toute la saison de croissance. Plus les semis sont précoces, plus la culture parvient à maturité tôt à l'automne, ce qui réduit le risque de dommages causés par une gelée automnale précoce ou par le mauvais temps au moment de la récolte. Le tableau 1-10, *Rendement en grain prévu selon les dates de semis*, illustre l'influence des dates de semis sur le rendement du maïs. Notons la chute rapide du rendement dans les zones où la saison est plus courte par rapport aux zones où la saison est plus longue, lorsque la date de semis est retardée.

Selon le nombre de jours nécessaires pour ensemercer toute la superficie consacrée à la culture du maïs, il faut généralement commencer les semis avant la date optimale. Les producteurs qui veulent devancer largement la date de semis optimale (entre les 15 et 25 avril) doivent garder à l'esprit que la température du sol doit être d'au moins 10 °C pour permettre la germination et la levée. Pour évaluer la température quotidienne moyenne, il faut faire une lecture vers 11 h 30 à l'aide d'un thermomètre de sol de 10 cm (4 po). Si le sol est à une température moyenne de 10 °C ou plus, qu'il est en bon état et que l'on prévoit des températures égales ou supérieures à la moyenne, il est possible de procéder à des semis précoces sur une partie de la superficie. De façon générale, après le 26 avril dans les zones recevant plus de 3 000 UTC-M1 et après le 1er mai dans les zones recevant moins de 3 000 UTC-M1, il est conseillé d'accorder moins d'importance à la température du sol et de semer quand l'humidité du sol le permet. Globalement, du point de vue du rendement, une avance de deux à trois semaines par rapport à la date optimale des semis représente moins de risques qu'un retard de deux à trois semaines.

Densité de peuplement

Les densités dont il est question ici sont les valeurs finales recommandées (voir tableau 1-11, *Densité de peuplement selon l'espacement des semences*). Puisque certaines semences ne lèvent pas, il faut prévoir des doses de semis un peu plus élevées. Lorsque les semis sont faits tôt dans la saison ou que le sol est encore froid, il faudrait calculer 10 % de plus que la densité de peuplement finale visée. Dès que le sol s'est réchauffé, il suffit de 5 % de plus.

Tableau 1-11 – Densité de peuplement selon l'espacement des semences

Nombre final de plants	Écartement des plants de maïs dans le même rang		
	Écartement des rangs : 51 cm (20 po)	Écartement des rangs : 76 cm (30 po)	Écartement des rangs : 91 cm (36 po)
54 300 plants/ha (22 000 plants/ac)	36 cm (14,3 po)	24 cm (9,5 po)	20 cm (7,9 po)
59 300 plants/ha (24 000 plants/ac)	33 cm (13,1 po)	22 cm (8,7 po)	18 cm (7,2 po)
64 200 plants/ha (26 000 plants/ac)	31 cm (12,1 po)	20 cm (8,1 po)	17 cm (6,7 po)
69 200 plants/ha (28 000 plants/ac)	29 cm (11,2 po)	19 cm (7,5 po)	16 cm (6,2 po)
74 100 plants/ha (30 000 plants/ac)	27 cm (10,5 po)	18 cm (7,0 po)	15 cm (5,8 po)
79 000 plants/ha (32 000 plants/ac)	25 cm (9,8 po)	17 cm (6,6 po)	14 cm (5,4 po)
84 000 plants/ha (34 000 plants/ac)	23 cm (9,2 po)	16 cm (6,1 po)	13 cm (5,1 po)
88 900 plants/ha (36 000 plants/ac)	22 cm (8,7 po)	15 cm (5,8 po)	12 cm (4,8 po)
93 800 plants/ha (38 000 plants/ac)	21 cm (8,3 po)	14 cm (5,5 po)	12 cm (4,6 po)
98 800 plants/ha (40 000 plants/ac)	20 cm (7,8 po)	13 cm (5,2 po)	11 cm (4,4 po)
Longueur de rang pour 1/1 000 d'acre	7,9 m (26,1 pi)	5,3 m (17,4 pi)	4,4 m (14,5 pi)

1 ha = 2,47 ac; 1 cm = 0,39 po

Tableau 1-10 – Rendement en grain prévu selon les dates de semis

Essais menés par le Comité ontarien du maïs entre 2006 et 2010. Toutes les données se rapportent à des cultures de maïs dont la densité de peuplement était de 74 000 plants/ha (30 000 plants/ac). Les rendements sont indexés sur une date de semis antérieure au 10 mai.

Endroit	10 juin	5 juin	30 mai	20 au 25 mai	20 mai	15 mai	Avant le 10 mai
Elora (< 2 800 UTC)	65	75	85	92	96	99	100
Exeter (2 800 à 3 200 UTC)	84	89	93	96	98	100	100
Ridgetown (> 3 200 UTC)	87	91	94	97	99	100	100

En Ontario, les cultures de maïs ont généralement de 69 200 à 88 900 plants/ha (28 000 à 36 000 plants/ac). Cette densité permet de maximiser l'interception de la lumière et peut mener à de bons rendements dans de nombreuses conditions de croissance différentes sans que la verse pose trop de difficultés. Au cours des dernières années, on a créé des hybrides qui tolèrent mieux les fortes densités de peuplement sans subir de verse ni souffrir d'infertilité aiguë. Lorsque des hybrides anciens et nouveaux sont cultivés côte à côte à des densités de peuplement très faibles, ils ont des rendements presque identiques. Cependant les nouveaux hybrides donnent de meilleurs rendements s'ils sont cultivés à des densités plus importantes. Ces améliorations découlent pour la plupart de la mise au point d'hybrides qui excellent à des densités de peuplement élevées. Certains des plus récents hybrides donnent un maximum de rendement économique à des densités allant de 79 000 à 98 800 plants/ha (32 000 à 40 000 plants/ac). Il est conseillé de consulter les données des fournisseurs de semences pour calculer la meilleure densité de peuplement pour l'hybride utilisé.

Dans les champs sujets à la sécheresse où la disponibilité de l'eau est le principal facteur limitant le rendement, le gain de rendement obtenu avec des taux de semis plus élevés ne permet pas toujours de couvrir les coûts qui en découlent. Dans de tels cas, la réduction des taux permet même parfois certaines économies. Si le potentiel de rendement grimpe, la densité de peuplement augmente aussi. En effet, d'après une étude, pour une augmentation de 0,94 t/ha (15 bo/ac) du potentiel de rendement d'un champ (ou d'une partie d'un champ), la densité de peuplement économiquement optimale augmente de 1 112 plants/ha (450 plants/ac).

En Ontario, on vise souvent des densités de peuplement finales moyennes plus élevées que dans le Midwest américain. Les champs les plus productifs devraient supporter des densités voisines des valeurs maximales pour l'hybride choisi. Dans les régions de la province où la saison de croissance est plus courte et où l'on cultive des hybrides de plus petite taille, on pourrait augmenter encore plus les densités de

peuplement pour maximiser l'interception de la lumière et optimiser les rendements. En général, c'est dans les régions de l'Ontario où la saison est plus longue (plus de 3 200 UTC-M1) que l'augmentation des densités a produit les gains de rendement les plus faibles.

Dans les champs de maïs destiné à l'ensilage, on recommande souvent des densités de peuplement plus élevées (de 10 %) que pour le maïs-grain. Toutefois, des recherches menées à l'Université Cornell vont à l'encontre de cette recommandation, indiquant que les peuplements de plus de 86 500 plants/ha (35 000 plants/ac) ne sont avantageux pour aucun des hybrides testés. Ces travaux montrent que plus les densités augmentent, plus la digestibilité de l'ensilage décroît. Cependant, les hybrides à ensilage présentent une diversité génétique, ce qui permet de penser que les densités de peuplement optimales peuvent varier de l'un à l'autre.

Profondeur de semis

En ce qui a trait à la profondeur des semis de maïs, la première règle à observer est de déposer la semence dans une couche humide (teneur en eau de 25 à 50 % ou proche de la capacité de rétention). Mais il y a également d'autres points à prendre en considération au moment de déterminer la profondeur des semis. S'ils sont superficiels (à moins de 3 cm [1,2 po] de profondeur), même dans un sol humide, il peut y avoir un mauvais positionnement du point végétatif et des premières racines coronales (voir photo 1-3). Dans certains cas, cela peut provoquer le syndrome de l'absence de racines et exposer davantage la semence aux dommages dus aux herbicides. Dans les sols à texture grossière qui s'assèchent rapidement en surface, les racines ont par ailleurs plus de mal à s'établir si les semences ont été enfouies peu profondément.

Pour obtenir une profondeur optimale des semis de maïs, il faut toujours déposer la semence dans une couche humide. Même si la profondeur de semis du semoir à maïs est réglée entre 4 et 5 cm (entre 1,6 et 2 po), il faut vérifier qu'aucune semence ne se trouve à une profondeur de moins de 3,8 cm (1,5 po).

Par contre, si les semences sont placées plus profondément, soit à une profondeur de 5,7 à 8,2 cm (2,25 à 3,25 po), surtout lorsque les sols sont froids au début de la saison des semis, la levée peut accuser un retard par rapport aux semis effectués à des profondeurs de 4 à 5 cm (1,6 à 2 po). Et qui dit levée tardive dit augmentation du risque d'infestations d'insectes et de maladies des plantules. Au fur et à mesure que la saison des semis avance et que les sols se réchauffent et s'assèchent, il faut veiller à ce que la semence de maïs soit mise en contact étroit avec un sol humide et placée à une profondeur de 5 cm (2 po). Lorsque les semis sont prolongés et dans les sols secs, il est souvent moins risqué d'enfouir la semence à une profondeur de 7,5 cm (3 po) pour la mettre en contact avec la terre humide que de semer trop près de la surface en espérant qu'il pleuvra.



Photo 1-3 – Levée inégale, résultat de l'enfouissement des semences à des profondeurs différentes

Sur le plan physiologique, une semence de maïs placée dans un sol humide à 3,8 cm (1,5 po) de profondeur aura un excellent rendement. Le problème, c'est que même avec un semoir à maïs réglé à une profondeur de 3,8 cm, certaines semences ne seront pas enfouies assez profondément pour donner une bonne levée si le rayonneur rebondit ou si le lit de semence est en mauvais état, inégal ou compacté à certains endroits. Voilà pourquoi on conseille de régler le semoir un peu plus profondément : pour éviter que des semences soient enfouies à moins de 3,8 cm (1,5 po).

Une fois la saison de croissance bien entamée, on peut mesurer la profondeur de semis. Pour ce faire, il faut extraire délicatement le plant, retirer les racines coronales et trouver le mésocotyle : il s'agit généralement d'une structure blanche et glabre qui va de la graine au collet. En mesurant la longueur du mésocotyle et en y ajoutant 1,9 cm (0,75 po), on obtient la profondeur de semis.

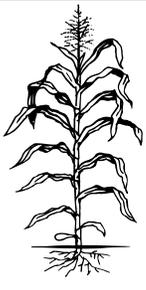
Croissance du maïs

Le tableau 1-12, *Stades végétatifs du maïs*, et le tableau 1-13, *Stades reproductifs du maïs*, décrivent les étapes de la croissance végétative et du cycle de reproduction.

Dates de fin de saison des UTC

La date de la fin de la saison de croissance est celle de la première gelée meurtrière (-2 °C), ou la date à laquelle la température journalière moyenne historique (normales calculées sur 30 ans) atteint moins de 12 °C. Pendant la période de 30 ans ayant servi au calcul des UTC, la saison se terminait environ 10 % du temps par l'occurrence d'une gelée meurtrière (-2 °C).

Tableau 1-12 – Stades végétatifs du maïs

Stade	VE	V1	V4	V6	V8	V12	VT
							
Collerettes	0	1	4	6	8	12	(variable)
Pointe des feuilles	1	3	7	10	11	15	(variable)
Feuille recourbée	0	2	6	8	10	14	(variable)
UTC nécessaires ¹	180	330	630	780	930	1 170	1 310
Date cible ²	16 mai	25 mai	11 juin	18 juin	26 juin	31 juin	18 juillet
Notes	<ul style="list-style-type: none"> • Levée. • Compter normalement 6 à 21 jours pour la levée. • Un rendement élevé nécessite une levée uniforme. • Une mauvaise germination peut être due à la présence de méloïdes, de vers fil-de-fer, de mouches des légumineuses, de carabes du maïs, de limaces ou de vers-gris noir. 	<ul style="list-style-type: none"> • Début de la période critique de lutte contre les mauvaises herbes. • Point végétatif sous terre. • Veiller à ce que l'herbicide choisi soit compatible avec le stade de la culture. 	<ul style="list-style-type: none"> • Début de l'épiaison. • Point végétatif sous terre. • Expansion des racines coronales qui remplaceront bientôt complètement les racines séminales. • Les risques de dommages occasionnés par les vers fil-de-fer et les altises sont maintenant écartés. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fin de la période critique de lutte contre les mauvaises herbes. • Les feuilles inférieures (1 à 4) s'assèchent et peuvent ne pas être visibles. • Le point végétatif se situe au niveau du sol ou au-dessus; les plants risquent de souffrir davantage du gel. • Les épis et les panicules dont la croissance est amorcée sont visibles à la dissection du plant. 	<ul style="list-style-type: none"> • Après ce stade, l'épandage d'azote en bandes latérales et le sarclage des entre-rangs risquent d'endommager les racines. • Début de l'élongation rapide de la tige. • Les risques de dommages par les limaces sont écartés. 	<ul style="list-style-type: none"> • La culture devient de plus en plus exposée à des pertes de rendement dues à la chaleur ou à la sécheresse. • Ce moment est déterminant pour la grosseur de l'épi et le nombre potentiel de grains. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sortie des panicules (floraison mâle). • La dissémination du pollen commence de 2 à 3 jours avant l'apparition des soies (floraison femelle). • La sécheresse et la chaleur ont pour effet de réduire la viabilité du pollen. • Faire le dépistage du puceron du maïs, de la chrysomèle des racines du maïs adulte et de la larve de cette espèce (qui provoque la courbure des tiges en col de cygne).

¹ Nombre approximatif d'UTC nécessaires pour atteindre les différents stades de croissance du maïs.

² Date estimative du début des différents stades phénologiques pour des accumulations à long terme d'UTC dans une région recevant en moyenne 2 800 UTC et où les semis sont prévus pour le 5 mai.

Tableau 1-13 – Stades reproductifs du maïs

LÉGENDE : S.O. = sans objet, les grains ne se forment qu'après la pollinisation.						
Stade R	R1 – Apparition des soies	R2 – Gonflement	R3 – Stade laiteux	R4 – Stade pâteux	R5 – Dent	R6 – Maturité
Description	Les soies sortent des spathe à la pointe de l'épi.	Les grains sont blancs, remplis d'un liquide transparent et nettement différenciés du reste de la rafle.	Les grains commencent à jaunir et le liquide qu'ils contiennent est blanc laiteux.	Le liquide laiteux à l'intérieur des grains épaissit et devient pâteux. Les contours des grains s'affermissent. Certaines dents apparaissent.	La majorité des grains sont dentés. Une couche dure d'amidon est très visible dans le haut du grain (ligne d'amidon).	Une couche dure d'amidon est très visible dans tout le grain. Un point noir se forme à la base du grain.
UTC nécessaires ¹	1 480	1 825	2 000	2 165	2 475	2 800
Date cible ²	20 juillet	3 août	11 août	18 août	1 ^{er} septembre	18 septembre
Teneur en eau du grain	S.O.	85 %	80 %	70 %	55 %	30 à 35 %
Notes	<ul style="list-style-type: none"> • La pollinisation dure 3 à 7 jours. • Les soies continuent de s'allonger jusqu'à leur fécondation. • À ce stade, le rendement peut être gravement compromis par des facteurs de stress environnemental. • Commencer le dépistage des insectes nuisibles de l'épi (ver de l'épi du maïs et légionnaire d'automne). 	<ul style="list-style-type: none"> • Les grains commencent à accumuler de la matière sèche. • Les éléments nutritifs commencent à migrer des feuilles et des tiges vers les épis. • Les feuilles inférieures peuvent rougir. 	<ul style="list-style-type: none"> • Période de remplissage rapide des grains. • La bonne santé des plants, le beau temps et la photosynthèse active favorisent la production de grains plus gros et d'un poids spécifique plus élevé. 	<ul style="list-style-type: none"> • La partie supérieure du grain commence à durcir. • Les gelées meurtrières peuvent causer des pertes de rendement de 25 à 40 %. • Commencer à mesurer l'incidence de la pourriture de l'épi. 	<ul style="list-style-type: none"> • La ligne d'amidon progresse vers la base du grain au fur et à mesure que la culture arrive à maturité. • Les teneurs en eau des plantes entières conviennent à l'ensilage. • Quand la ligne d'amidon parvient à la moitié de la hauteur du grain, le maïs a atteint 90 % de son rendement en grain. • Parcourir le champ à la recherche de signes de verse, d'affaissement des épis et de pourriture de la tige. Si de nombreux plants présentent ces signes, penser à récolter plus tôt. 	<ul style="list-style-type: none"> • Maturité physiologique. • Les grains ont atteint leur poids maximal en matière sèche. • Les grains doivent encore perdre de l'humidité pour être prêts au battage.

¹ Nombre approximatif d'UTC nécessaires pour atteindre les différents stades de croissance du maïs.

² Date estimative du début des différents stades phénologiques pour des accumulations à long terme d'UTC dans une région recevant en moyenne 2 800 UTC et où les semis sont prévus pour le 5 mai.

Stades de croissance foliaire

Il peut sembler facile de compter les feuilles d'un plant de maïs, mais certains facteurs peuvent être la source d'erreurs. Il est important de savoir à quelle méthode de décompte on fait référence sur les étiquettes de pesticides ou dans les autres données de production.

Au tableau 1-14, *Comparaison des stades de croissance*, on montre les données obtenues avec différentes méthodes de décompte des feuilles.

Tableau 1-14 – Comparaison des stades de croissance

Pointe des feuilles	Feuille recourbée	Collerette	Hauteur apparente	Hauteur réelle
3	2	1	5 à 6 cm	5 à 11 cm
5 à 6	4	3	9 à 17 cm	16 à 25 cm
7 à 8	6	4 à 5	18 à 33 cm	29 à 46 cm
9 à 10	8	5 à 6	36 à 54 cm	54 à 77 cm
12	10	8	58 à 85 cm	86 à 112 cm
14 à 15	12	10	99 à 114 cm	121 à 149 cm

Source : Publication 75F du MAAARO, *Guide de lutte contre les mauvaises herbes*.

Voici les différentes méthodes de décompte des feuilles :

- **Méthode de la pointe** : décompte de toutes les feuilles y compris de toute pointe qui sort du verticille au sommet du plant.
- **Méthode de la feuille recourbée** : décompte des feuilles entièrement déployées et recourbées seulement, la feuille suivante étant visible dans le verticille, mais dressée.
- **Méthode de la collerette** : très employée aux États-Unis, décompte des feuilles dont la collerette est visible. La collerette est la bande vert blanchâtre séparant le limbe de la feuille de sa gaine, qui s'enroule autour de la tige. On désigne les stades de croissance du maïs par les codes V1, V2, V3, etc., où V3 désigne un plant qui a trois collerettes visibles.

Uniformité de la levée

L'homogénéité de la profondeur de semis est un facteur primordial pour que la levée soit uniforme. Une levée inégale nuit au rendement de la culture, parce que la concurrence exercée par les plants plus gros ayant levé plus tôt réduit le potentiel de rendement des plants

plus petits qui ont levé plus tard. Les rendements peuvent diminuer de 5 % lorsque la levée de la moitié du peuplement est retardée de sept jours, et de 12 % lorsqu'elle est retardée de deux semaines. Le tableau 1-15, *Effets de l'écartement des plants et de la variabilité de la levée sur le rendement du maïs*, montre l'effet relatif de ces deux facteurs sur le rendement du maïs. Pour résumer :

- Si la levée d'un plant sur six (17 %) a un retard de deux stades foliaires (environ 12 jours), la perte globale de rendement est de 4 à 5 %.
- Si la levée d'un plant sur six a un retard de quatre stades foliaires (environ 21 jours), la perte globale de rendement est de 8 %.
- La variabilité de l'espacement dans les rangs (doublets et vides) n'avait pas d'effet notable sur l'importance des pertes de rendement liées au retard de la levée.

Cette étude souligne que le rendement des plants qui se trouvent à côté d'un plant dont la levée est en retard ne compense pas le rendement moindre du plant en retard.

Tableau 1-15 – Effets de l'écartement des plants et de la variabilité de la levée sur le rendement du maïs

Rendement exprimé en pourcentage du résultat obtenu avec un espacement et une levée uniformes.

Recherches effectuées à Elora et à Woodstock en 2000 et en 2001.

Écartement des plants	Retard de la levée		
	Uniforme	2 feuilles (1 plant sur 6)	4 feuilles (1 plant sur 6)
Uniforme	100 %	95 %	91 %
Doublets (33 % des plants)	99 %	95 %	90 %
Triplets (50 % des plants)	98 %	94 %	90 %

Source : Liu, Tollenaar, Stewart, Deen, Université de Guelph.

Uniformité de l'écartement

Il est largement admis que les plants de maïs doivent être uniformément espacés dans les rangs pour produire des rendements élevés. Cependant, un grand nombre d'études remettent en question l'idée selon laquelle l'accroissement de la variabilité de l'écartement des plants entraîne d'importantes pertes de rendement.

Les rendements relatifs indiqués au tableau 1-15 montrent que lorsque les plants ne sont pas espacés de manière uniforme, les plants qui ont plus d'espace

compensent ceux qui en ont moins. Dans cette étude, on a défini un doublet comme étant constitué de deux plants espacés d'environ 3 cm (1,33 po) à côté d'un vide d'environ 38 cm (15 po), et un triplet comme étant constitué de trois plants espacés de 3 cm à côté d'un vide de 58 cm (23 po). Par ailleurs, d'autres éléments ont été démontrés :

- Les pertes de rendement sont d'environ 1 % si deux plants sur six (33 %) sont regroupés sous forme de doublets.
- Les pertes sont d'environ 2 % si trois plants sur six (50 %) sont regroupés sous forme de triplets.
- Pour la même densité, un accroissement de 2,5 cm (1 po) de l'écart type de l'espacement du peuplement s'accompagne d'une perte de rendement de moins de 0,08 t/ha (1,3 bo/ac). Ces résultats concordent avec ceux de recherches antérieures menées en Ontario à la fin des années 1970 et au Wisconsin de 1999 à 2001.
- M. Bob Nielsen (Université Purdue, Indiana) signale qu'à partir d'un écart type de 5 cm (2 po), pour chaque accroissement de 2,5 cm (1 po) de cette valeur, les rendements diminuent de 160 kg/ha (2,5 bo/ac). L'accroissement de la variabilité de l'écartement pourrait donc s'accompagner de pertes de rendement significatives.
- Selon les résultats d'une enquête effectuée entre 1998 et 2000 sur 127 champs de production commerciale de maïs du Wisconsin avec une densité de peuplement moyenne de 73 500 plants/ha (29 750 plants/ac), l'écart type de l'écartement était en moyenne de 8,4 cm (3,33 po), et de moins de 11,7 cm (4,66 po) dans 95 % de ces mêmes champs.
- Les résultats de 24 essais menés parallèlement à l'étude du Wisconsin permettent de conclure que des pertes de rendement notables n'apparaissent que lorsque l'écart type des écartements dépasse 12 cm (4,75 po).

Ces résultats corroborent les conclusions des études effectuées en Ontario (voir tableau 1-15), qui montrent qu'un écartement inégal des plants n'a qu'un effet négligeable sur les rendements. De façon générale, à l'intérieur de la fourchette de variabilité présente dans la plupart des champs visés dans la province, la baisse de potentiel de rendement due à cette variabilité est probablement minime.

On considère souvent qu'un mauvais entretien du semoir ou un déplacement trop rapide de celui-ci lors des semis nuisent à l'uniformité de l'écartement dans les rangs. Des recherches menées en Illinois (voir

tableau 1-16, *Effets de la vitesse du semoir sur l'écart type par rapport à l'écartement voulu, la densité et le rendement du maïs*) montrent qu'avec des semoirs bien entretenus, la vitesse de déplacement élevée et les légères variations de l'écartement n'ont aucune influence sur le rendement.

Lorsqu'on évalue les densités de peuplement du maïs, l'uniformité de la levée et la croissance précoce sont plus importantes que l'uniformité de l'écartement.

Tableau 1-16 – Effets de la vitesse du semoir sur l'écart type par rapport à l'écartement voulu, la densité et le rendement du maïs

Moyenne de 11 essais effectués en Illinois de 1994 à 1996.

Vitesse d'avancement du semoir	Écart-type ¹	Nombre de plants	Rendement
5 km/h	7,3 cm (2,9 po)	67 290 plants/ha (27 231 plants/ac)	9,57 t/ha (152,5 bo/ac)
8 km/h	7,6 cm (3,0 po)	67 640 plants/ha (27 373 plants/ac)	9,55 t/ha (152,2 bo/ac)
11,3 km/h	8,2 cm (3,2 po)	66 700 plants/ha (26 996 plants/ac)	9,61 t/ha (153,1 bo/ac)

Source : E. Nafziger, Université de l'Illinois, et H. Brown.

¹ Dans un peuplement parfait où chaque plant est séparé de ses voisins d'exactly 18 cm (7,25 po), l'écart type est de zéro. Si l'écartement des plants varie en moyenne de 5 cm (2 po) en plus ou en moins par rapport à l'écartement voulu de 18 cm (7,25 po), l'écart type est de 5 cm (2 po).

Le rendement du maïs dépend généralement plus de l'uniformité et du moment de la levée ainsi que de la densité des peuplements que de l'uniformité de l'écartement des plants. L'entretien du semoir et le choix des accessoires (coutres, tasse-résidus) doivent viser une mise en place homogène des semis et la préparation du lit de semence en vue d'une levée rapide et uniforme. Il est important de s'assurer que le semoir est de niveau et que tous les disques, les jauges de profondeur et les roues plombeuses sont conformes aux normes, qu'ils sont alignés et qu'ils fonctionnent à la bonne profondeur ou à la bonne pression.

Les vérifications faites avant les semis peuvent également avoir une influence déterminante sur l'uniformité de la levée. Si le champ n'est pas

suffisamment nivelé, si des résidus forment des accumulations par endroits ou si le sol n'a pas été ameubli uniformément, même avec un semoir parfaitement réglé, la mise en place pourrait ne pas être homogène et le lit de semence, ne pas permettre une levée rapide et uniforme.

- Les plants qui lèvent tard et qui ont une ou deux feuilles de retard sur leurs voisins auront probablement un rendement inférieur à celui des peuplements ayant eu une levée uniforme, et peut-être même inférieur à celui des cultures semées plus tard mais ayant eu une levée uniforme.
- Des investissements relativement modestes en temps et en argent (ou les deux) consacrés aux réglages du semoir (installation de nouveaux disques ouvre-sillons, mise à niveau de l'appareil, ajustement des roues plumbeuses, réglage de la profondeur des semis) peuvent apporter une augmentation substantielle des rendements et des bénéfices.

Écartement des rangs

Rangs rapprochés

Des recherches menées par le passé ont montré que le rapprochement des rangs de maïs (38 à 60 cm [15 à 24 po] au lieu de 76 à 96 cm [30 à 38 po]) était plus avantageux sous des latitudes plus nordiques que dans les régions intermédiaires et méridionales du Corn Belt. La plupart des producteurs de l'Ontario qui ont opté pour la culture en rangs rapprochés visaient un écartement de 50 cm (20 po), et ils prévoyaient que le gain de rendement de 3 à 8 % qui en découlerait leur permettrait de financer la conversion des semoirs et des têtes. Toutefois, des études récemment effectuées en Ontario par l'Université de Guelph et Pioneer Hi-Bred Ltée ont montré que les écartements de 38 cm (15 po) ou de 50 cm (20 po) apportaient un gain de rendement minimal par rapport à l'écartement de 76 cm (30 po). Le principal facteur en faveur des rangs plus rapprochés est qu'ils permettent d'améliorer l'interception de la lumière. Il semble cependant qu'une fois que le feuillage est entièrement développé, l'interception totale de la lumière ne soit pas plus importante dans les rangs rapprochés que dans les rangs plus espacés. Si les rangs rapprochés semblent procurer un gain de rendement, c'est dû à la fermeture plus précoce du couvert végétal et à la meilleure interception de la lumière à la fin de juin et au début de juillet.

Aucune recherche n'a encore permis de trouver des hybrides qui seraient particulièrement bien adaptés à la culture en rangs rapprochés. L'augmentation des densités de peuplement s'est souvent traduite par des gains de rendement comparables à ceux obtenus avec des écartements traditionnels. Les améliorations du rendement peuvent être sporadiques et les facteurs pouvant justifier les coûts d'adaptation de la machinerie peuvent dépendre d'autres facteurs, comme la possibilité d'utiliser un semoir en rangs étroits pour d'autres cultures (p. ex. haricots secs comestibles), la superficie ensemencée et le coût des modifications effectuées. Dans les rangs rapprochés, il y a également des risques plus importants de pourriture de la tige.

Reprise des semis

Il n'existe pas de formule simple pour justifier les décisions de reprise des semis, et chaque cas doit être considéré individuellement. Avant de décider s'il faut reprendre les semis, il faut tenir compte de données telles que :

- la première date de semis;
- la densité de peuplement visée;
- le peuplement réel;
- l'uniformité de la taille des plants;
- l'uniformité de la distribution des plants;
- la date possible de la reprise des semis;
- le coût de la reprise des semis (p. ex. semences, fongicides, insecticides, carburant).

Il est possible d'évaluer la densité d'un peuplement réduit en comptant le nombre de plants sur une longueur de rang équivalente à un millième d'acre (voir tableau 1-11, *Densité de peuplement selon l'espacement des semences*). Il faut répéter cet exercice au moins cinq fois par zone de 10 ha (25 ac) dans des parties différentes du champ. Ensuite, il faut calculer la moyenne de ces échantillons, puis la multiplier par 1 000 pour connaître le nombre de plants par acre. Pour obtenir le nombre de plants par hectare, il faut multiplier le chiffre obtenu par 2,47.

Lors de l'évaluation de la densité de peuplement, il est important d'observer l'uniformité des plants, leur taille et leur distribution sur les rangs. Si le peuplement compte plusieurs vides de 30 à 90 cm (12 à 36 po), le rendement peut diminuer de 2 %. Si les vides sont plus longs, de 1,25 à 2 m (4 à 6 pi), il faut prévoir une baisse de rendement de 5 à 6 % par rapport à celui obtenu avec un peuplement uniforme. Plus les vides sont nombreux et longs sur les rangs, plus les rendements seront réduits.

Le tableau 1-17, *Rendement en grain prévu selon les densités de peuplement*, montre l'effet de la densité de peuplement sur le rendement final en grain. Les rendements sont établis en fonction de peuplements où l'uniformité de la taille et de la distribution des plants est normale. Les rendements correspondant à différentes densités de peuplement sont exprimés en pourcentage du rendement obtenu avec une densité de peuplement finale de 74 000 plants/ha (30 000 plants/ac) semés avant le 10 mai.

La décision de reprendre les semis dépend en grande partie de la disponibilité d'hybrides précoces offrant de bons rendements et des coûts de l'opération. Il faut vérifier si le programme d'utilisation des herbicides permet le passage au soya et, dans la négative, s'il faut procéder à une nouvelle pulvérisation d'herbicide pour le maïs. Il faut ensuite déterminer l'état du reste de la culture. Avant de reprendre les semis, il est essentiel de juger si les facteurs à l'origine du problème au départ sont encore présents (état du sol, maladie, insectes, lésions causées par les herbicides). Si le problème est dû aux insectes ou à la maladie, il faut prévoir les coûts d'un traitement à l'insecticide ou au fongicide.

Tableau 1-17 – Rendement en grain prévu selon les densités de peuplement

Les rendements sont indexés sur une densité de 30 000 plants/ha = 100.

Toutes les données se rapportent à du maïs semé au plus tard le 10 mai.

Les essais ont été menés par le Comité ontarien du maïs entre 2006 et 2010.

Densité de peuplement	Elora (< 2 800 UTC)	Exeter (2 800 à 3 200 UTC)	Ridgetown (> 3 200 UTC)
29 600 plants/ha (12 000 plants/ac)	78	91	97
44 400 plants/ha (18 000 plants/ac)	89	93	91
59 300 plants/ha (24 000 plants/ac)	96	97	97
74 100 plants/ha (30 000 plants/ac)	100	100	100
88 900 plants/ha (36 000 plants/ac)	103	102	101

Les données des recherches effectuées par le Comité ontarien du maïs ont servi à établir un outil d'aide à la décision en matière de reprise des semis (Replant Decision Aid), grâce auquel les producteurs peuvent savoir si la reprise des semis est justifiée selon les conditions de leur champ et le coût de l'opération. Cet outil se trouve sur le site www.gocorn.net.

Gestion de la fertilisation

Azote (N)

Comme le maïs réagit bien aux produits azotés, le sol doit absolument contenir une quantité suffisante d'azote assimilable pour que la culture soit rentable. Un excès d'azote constitue une dépense inutile et augmente les risques de pollution de l'eau souterraine par les nitrates, altère la qualité des eaux de surface et entraîne la production d'oxyde nitreux, un gaz à effet de serre. Par ailleurs, une quantité insuffisante d'azote entraîne une carence en azote.

La carence en azote se manifeste d'abord par le jaunissement des feuilles inférieures, qui apparaît à la pointe, puis progresse le long de la nervure principale (voir photo 1-4). Tôt ou tard, les parties jaunes brunissent et meurent.



Photo 1-4 – Carence en azote se manifestant d'abord sur les feuilles inférieures par le jaunissement de la pointe puis de la nervure principale

Chez les jeunes plants toutefois, des pertes de rendement possibles surviennent bien avant l'apparition des signes de carence, de sorte que le jaunissement n'est pas un indicateur fiable des besoins en engrais azotés.

Il existe deux méthodes pour déterminer les quantités d'azote optimales :

1. Mesure de la teneur du sol en azote des nitrates ($\text{NO}_3\text{-N}$);
2. Recommandations générales fondées sur le rendement attendu, le type de sol, la nature de la culture précédente, le nombre d'UTC de l'endroit, le prix de l'engrais azoté, le prix du maïs et le moment de l'application.

Les signes de carence en azote sont fréquents sur les feuilles inférieures au fur et à mesure que les plants approchent de la maturité, même si le sol contient une concentration d'azote compatible avec un rendement optimal.

Mesure de la teneur du sol en azote des nitrates ($\text{NO}_3\text{-N}$)

L'aptitude des sols à rendre l'azote biodisponible est très variable. La quantité d'azote des nitrates présente dans le sol au moment des semis, ou juste avant la formation des bandes latérales, est un bon indice de la capacité du sol à fournir de l'azote aux plantes. La mesure de la teneur en azote des nitrates au moyen des analyses de sol devrait permettre d'utiliser cet élément de façon plus efficace et plus rentable tout en réduisant le risque de contamination de l'eau souterraine par les nitrates.

Bon nombre des facteurs mentionnés dans les directives générales ont un effet sur la teneur du sol en nitrate; les recommandations concernant la mesure de la teneur du sol en azote des nitrates doivent donc être considérées comme distinctes des directives générales sur l'azote. Des recherches en cours visent à mettre au point les méthodes de prise en compte des résultats des analyses de sol sous forme d'ajustement des directives.

Moment de l'échantillonnage

Les recommandations relatives aux apports d'azote, fondées sur la mesure de la teneur du sol en azote des nitrates, ont été élaborées à partir d'échantillons prélevés dans les cinq jours qui précèdent ou suivent les semis. Cependant, il peut être difficile de faire des prélèvements à ce moment-là. En cette saison, les variations climatiques peuvent avoir une très grande influence sur les résultats des analyses de sol (voir section

Faire preuve de jugement). Pour ces raisons, on prélève de plus en plus souvent les échantillons lorsque le maïs a atteint une hauteur de 15 à 30 cm (6 à 12 po), avant l'épandage de l'azote en bandes latérales; cette méthode s'appelle l'analyse de l'azote des nitrates avant l'épandage en bandes latérales.

En reportant ainsi l'échantillonnage après la saison de pointe des semis, on a plus de temps pour effectuer l'échantillonnage et pour attendre les résultats du laboratoire. En outre, il est devenu évident que les recommandations qui se fondent sur des prélèvements effectués à cette date plus tardive ont davantage de valeur que celles qui sont fondées sur les prélèvements effectués au moment des semis. Cela est particulièrement vrai lorsque le système cultural comprend des sources d'azote organique comme du fumier ou des légumineuses. Les échantillons prélevés en juin selon la méthode de l'analyse de l'azote des nitrates avant l'épandage en bandes reflètent les concentrations de nitrates qui se sont minéralisés à partir de ces sources organiques, et ils reflètent mieux la quantité d'azote total assimilable ainsi que les besoins en engrais azoté.

Prélèvement des échantillons

Il faut prélever un autre échantillon de sol plus profond pour la mesure de l'azote des nitrates parce que ceux-ci sont plus mobiles que le phosphore et le potassium. Ce prélèvement doit être effectué à une profondeur de 30 cm (12 po). Il faut prélever toutes les carottes d'un champ donné à la même profondeur, et indiquer celle-ci sur la feuille de renseignements qui accompagne l'échantillon expédié au laboratoire.

Pour que l'échantillon soit représentatif du champ, il faut utiliser un schéma d'échantillonnage semblable à celui recommandé dans la section *Analyse de sol*, au chapitre 9, *Fertilité et éléments nutritifs*. Comme les variations de la teneur du sol en nitrate peuvent influencer fortement sur les recommandations relatives aux engrais azotés, il faut penser à prélever un plus grand nombre d'échantillons pour les nitrates que pour le phosphore ou le potassium.

Il faut prélever des échantillons distincts :

- des parties qui ont été gérées différemment dans le passé;
- des parties où le type de sol est nettement différent;
- des buttes et des dépressions.

Manipulation des échantillons

Il faut placer les carottes dans un seau de plastique propre, puis les écraser à la main et bien les mélanger. Il faut ensuite prendre environ 500 g (1 lb) de terre du seau et les placer dans un sac de plastique propre ou dans une boîte à échantillons.

Si les échantillons ne sont pas manipulés de façon appropriée, l'activité microbienne peut modifier rapidement leur teneur en nitrates. Par conséquent, il est essentiel de les refroidir ou de les congeler aussitôt que possible. Pour l'expédition, il faut les envelopper dans un matériau isolant qui les maintiendra au frais et les envoyer par service de messagerie pour qu'ils soient livrés au laboratoire sans délai.

Les échantillons peuvent aussi être séchés à l'air : il suffit de les étaler en une mince couche sur une pellicule de plastique propre en brisant toutes les grosses mottes. Après un ou deux jours, ils devraient être secs; ils pourront alors être expédiés sans autre mesure particulière. Il ne faut pas faire sécher les échantillons au four parce que la chaleur peut modifier leur teneur en nitrates.

Faire preuve de jugement

Il faut parfois corriger la quantité recommandée d'azote à épandre selon les résultats des analyses de la teneur du sol en azote des nitrates; en effet le test ne détecte pas l'azote du fumier épandu ou des légumineuses enfouies juste avant l'échantillonnage, qui n'a pas encore été converti en nitrates. Les résultats sont accompagnés d'explications sur le calcul de cette correction.

L'analyse de la teneur du sol en azote des nitrates n'a pas fait l'objet d'une évaluation adéquate dans les cas suivants :

- Enfouissement de légumineuses ou de fumier à la fin de l'été ou à l'automne;
- Parties où le type de sol est nettement différent;
- Utilisation de légumineuses dans un système de semis direct;
- Prélèvement des échantillons avant les semis et avant que le sol ne se soit suffisamment réchauffé (p. ex. milieu ou fin d'avril).

Dans ces cas, il faut donc faire preuve de jugement au moment d'analyser la teneur du sol en azote des nitrates.

Le tableau 1-18, *Directives relatives aux apports d'azote selon la quantité d'azote des nitrates au printemps*, et le tableau 1-19, *Directives relatives aux apports d'azote selon la quantité d'azote des nitrates avant l'épandage en bandes latérales*, montrent les suggestions pertinentes pour des échantillons de sol prélevés à une profondeur de 30 cm (12 po); ces quantités ont été calculées à partir d'un rapport coût de l'azote/prix du maïs de 5. Si ce rapport atteint 7 (c'est-à-dire que le prix de l'engrais azoté aurait monté ou que le prix du maïs aurait baissé), il faudrait réduire les doses indiquées dans ces tableaux de 20 kg/ha (18 lb/ac). Pour en savoir plus, voir la section *Ajustement selon le rapport de prix* à l'annexe B.

Tableau 1-18 – Directives relatives aux apports d'azote selon la quantité d'azote des nitrates au printemps (NO₃-N)

Facteurs de conversion : Pour convertir les kg/ha en ppm pour un échantillon prélevé à 30 cm (12 po), il faut diviser les kg/ha par 4. Par exemple, si la teneur en azote des nitrates d'un échantillon pris dans les 30 premiers centimètres (12 po) de sol est de 32 kg/ha, cela équivaut à : 32 kg/ha ÷ 4 = 8 ppm.

Azote des nitrates au printemps ¹ dans les 30 premiers cm (1 pi) de sol	Quantité d'azote réel suggérée
1 ppm	211 kg/ha
2 ppm	199 kg/ha
3 ppm	186 kg/ha
4 ppm	173 kg/ha
5 ppm	161 kg/ha
6 ppm	148 kg/ha
7 ppm	135 kg/ha
8 ppm	123 kg/ha
9 ppm	110 kg/ha
10 ppm	97 kg/ha
11 ppm	85 kg/ha
12 ppm	72 kg/ha
13 ppm	59 kg/ha
14 ppm	47 kg/ha
15 ppm	34 kg/ha
16 ppm	21 kg/ha
17 ppm	9 kg/ha
18 ppm	0 kg/ha
100 kg/ha = 90 lb/ac	

¹ Azote des nitrates au printemps : échantillons prélevés dans les cinq jours précédant ou suivant les semis.

Tableau 1-19 – Directives relatives aux apports d'azote selon la quantité d'azote des nitrates avant l'épandage en bandes latérales (NO₃-N)

Échantillons prélevés lorsque le maïs a atteint 15 à 30 cm (6 à 12 po) de hauteur (habituellement dans les deux premières semaines de juin).

Facteurs de conversion : Pour convertir les kg/ha en ppm pour un échantillon prélevé à 30 cm (12 po), il faut diviser les kg/ha par 4. Par exemple, si la teneur en azote des nitrates d'un échantillon pris dans les 30 premiers centimètres (12 po) de sol est de 32 kg/ha, cela équivaut à : 32 kg/ha ÷ 4 = 8 ppm.

Azote des nitrates avant épandage en bandes latérales dans les 30 premiers cm (1 pi) de sol	Rendement prévu					
	7,5 t/ha (120 bo/ac)	9,0 t/ha (143 bo/ac)	10,5 t/ha (167 bo/ac)	12,0 t/ha (191 bo/ac)	13,5 t/ha (215 bo/ac)	15,0 t/ha (239 bo/ac)
0 ppm	197 kg/ha	221 kg/ha	244 kg/ha	269 kg/ha	293 kg/ha	316 kg/ha
2,5 ppm	183 kg/ha	206 kg/ha	230 kg/ha	252 kg/ha	276 kg/ha	299 kg/ha
5 ppm	169 kg/ha	192 kg/ha	214 kg/ha	236 kg/ha	259 kg/ha	282 kg/ha
7,5 ppm	155 kg/ha	177 kg/ha	198 kg/ha	221 kg/ha	242 kg/ha	265 kg/ha
10 ppm	141 kg/ha	161 kg/ha	183 kg/ha	204 kg/ha	225 kg/ha	248 kg/ha
12,5 ppm	127 kg/ha	147 kg/ha	167 kg/ha	188 kg/ha	210 kg/ha	231 kg/ha
15 ppm	111 kg/ha	131 kg/ha	151 kg/ha	171 kg/ha	193 kg/ha	213 kg/ha
17,5 ppm	93 kg/ha	114 kg/ha	134 kg/ha	155 kg/ha	175 kg/ha	196 kg/ha
20 ppm	64 kg/ha	96 kg/ha	118 kg/ha	138 kg/ha	158 kg/ha	178 kg/ha
22,5 ppm	0	67 kg/ha	99 kg/ha	120 kg/ha	141 kg/ha	161 kg/ha
25 ppm	0	0	71 kg/ha	101 kg/ha	123 kg/ha	143 kg/ha
27,5 ppm	0	0	0	74 kg/ha	103 kg/ha	124 kg/ha
30 ppm	0	0	0	0	76 kg/ha	104 kg/ha
32,5 ppm	0	0	0	0	0	77 kg/ha
35 ppm	0	0	0	0	0	0

100 kg/ha = 90 lb/ac

Laboratoires

Voir à l'annexe C, *Laboratoires accrédités pour les analyses de sol en Ontario*, la liste des laboratoires habilités à mesurer la teneur en azote des nitrates des échantillons de sol.

Une version de cette feuille de calcul en unités de mesure impériales et des notes expliquant chaque partie se trouvent à l'annexe B, *Feuille de calcul des doses d'azote pour le maïs (unités métriques) et explications détaillées*.

Directives générales relatives à l'apport d'azote pour une culture de maïs (unités métriques)

Les chiffres figurant dans cette feuille de calcul sont fondés sur les résultats d'essais effectués de 1961 à 2004. Ils servent de base au calculateur d'azote (Nitrogen Calculator), un outil facile à utiliser qui se trouve sur le site www.gocorn.net. Les doses d'engrais calculées sont celles qui produisent le rendement économique le plus élevé lorsque la gestion est bonne ou supérieure à la moyenne. Les recherches montrent que des doses plus élevées permettent parfois d'accroître les rendements, mais généralement pas assez pour couvrir le prix de l'engrais supplémentaire.

Pour remplir la feuille de calcul, il faut utiliser les valeurs des tableaux.

A. Besoins de base en azote (choisir au tableau A)	_____
B. Ajustement en fonction du rendement (Rendement [t/ha] _____ x 13,6) =	+ _____
C. Ajustement selon le nombre d'unités thermiques Nombre d'UTC-M1 dans la région = _____ Moins - 2 800 Total = _____ x 0,041 =	+ _____
D. Ajustement selon la culture précédente (choisir au tableau D)	- _____
E. Ajustement selon le rapport de prix de l'azote et du maïs (choisir au tableau E)	- _____
F. Dose totale d'azote suggérée (A + B + C - D - E)	= _____
G. Soustraire l'azote appliqué au démarrage	- _____
H. Soustraire l'azote provenant du fumier ¹	- _____
I. Azote additionnel en présemis (F - G - H)	= _____
OU	
J. Azote additionnel en bandes latérales (si une quantité supplémentaire d'azote est appliquée en bandes latérales, multiplier la valeur I par le chiffre correspondant du tableau J)	= _____

¹ Les apports en azote provenant du fumier sont indiqués au chapitre 9, *Fertilité et éléments nutritifs*.

Tableau A. Besoins de base en azote (kg/ha)

Texture du sol	Besoins de base en azote	
	Sud-Ouest et Centre de l'Ontario	Est de l'Ontario*
Argile, argile lourde	53	1
Loam argileux	40	1
Loam	32	1
Sable loameux	46	19
Loam sableux	38	19
Sable	52	19
Argile sableuse, loam sablo-argileux	43	19
Loam limoneux	20	1
Loam limono-argileux	36	1
Argile limoneuse	49	1

* L'Est de l'Ontario comprend Frontenac, Renfrew et les comtés plus à l'est.

Tableau D. Ajustement selon la culture précédente

Culture précédente	Ajustement (kg/ha)
Maïs-grain	0
Maïs à ensilage	14
Céréales	12
Soya	30
Haricots secs comestibles	30
Trèfle en culture couvre-sol (enfoui)	82
Trèfle en culture couvre-sol (semis direct)	67
Fourrages vivaces	
Moins du tiers en légumineuses	0
Un tiers à un demi en légumineuses	55
Plus de la moitié en légumineuses	110

Tableau E. Ajustement selon le rapport de prix de l'azote et du maïs

Prix du maïs	Prix de l'azote (\$/kg)					
	1,00 \$	1,25 \$	1,50 \$	1,75 \$	2,00 \$	2,25 \$
120 \$/t	22	36	50	64	78	*
130 \$/t	18	31	44	57	70	82
140 \$/t	14	26	38	50	62	74
150 \$/t	11	22	34	45	56	67
160 \$/t	8	19	29	40	50	61
170 \$/t	6	16	26	35	45	55
180 \$/t	4	13	22	32	41	50
190 \$/t	2	11	19	28	37	46
200 \$/t	0	8	17	25	34	42
210 \$/t	*	6	14	22	30	38
220 \$/t	*	5	12	20	27	35
230 \$/t	*	3	10	17	25	32

* Pour ces rapports de prix, les ajustements n'ont pas été calculés.

Tableau J. Azote additionnel en bandes latérales – Ajustement en fonction de la période d'application (Sud-Ouest et Centre de l'Ontario seulement)

Texture du sol	Ajustement (kg/ha)
Argile, loam argileux, loam, loam limoneux, argile limoneuse, loam limono-argileux	0,8
Argile sableuse, loam sablo-argileux, loam sableux	0,9
Sable, sable loameux	1,0

Application de l'azote

La plus grande partie de l'azote doit être épanchée au printemps, en présemis, en prélevée ou en bandes latérales avant que le maïs n'atteigne 30 cm (12 po). Les épandages d'automne sont déconseillés parce qu'ils comportent un grand risque de pertes (lessivage, volatilisation, ruissellement, oxyde nitreux, etc.).

Une partie de l'azote peut être épanchée en bandes au moment des semis. Il est important de ne pas dépasser la dose sûre d'engrais à proximité des semences (voir tableau 9-22, *Doses maximales sûres des éléments nutritifs dans les engrais*, au chapitre 9). S'il faut appliquer des doses élevées d'azote au moment des semis, il faut le placer dans une bande distincte à plus de 10 cm (4 po) de la ligne de semences.

L'ammoniac anhydre injecté avec du matériel traditionnel doit être placé à au moins 15 cm (6 po) de profondeur. Dans le cas d'injections en présemis, les distributeurs ne doivent pas être espacés de plus de 50 cm (20 po). Si l'espacement est plus important, il est recommandé d'attendre quatre jours avant les semis pour éviter d'endommager les plantules.

Quand on utilise l'outillage approprié, on peut appliquer l'ammoniac avec un cultivateur ou un pulvérisateur à disques à une profondeur d'au moins 10 cm (4 po) en espaçant les distributeurs d'au plus 50 cm (20 po).

Prévention des pertes d'azote

Il existe trois grands facteurs qui contribuent aux pertes d'azote lorsque ce dernier est appliqué sous forme d'engrais :

1. La volatilisation, lorsqu'il s'agit d'urée appliquée en surface;
2. Le lessivage ou la dénitrification en début de saison, lorsque l'azote est appliqué sous forme de nitrate (NO_3);
3. La présence d'azote résiduel en fin de saison, lorsque l'apport est supérieur aux besoins en azote de la culture.

Pour réduire la volatilisation de l'urée, la méthode la plus courante consiste à incorporer ou à injecter l'engrais pour que les particules de sol capturent l'ammoniac qui pourrait se volatiliser. Généralement, il suffit de bien cultiver le champ ou d'effectuer un passage des disques (un passage) pour éliminer

pratiquement tous les risques de volatilisation de l'urée, s'il s'agit d'urée granulaire appliquée en surface. S'il s'agit d'une solution de NAU (28 % ou 32 %), le risque de volatilisation est moindre; d'ailleurs, dans la plupart des cas, un travail du sol peu profond, vertical par exemple, suffit pour éliminer presque entièrement le risque.

L'ajout d'additifs (comme le NBPT, une matière active) qui bloquent l'enzyme uréase peut aussi empêcher la volatilisation de l'urée pendant une longue période.

Les sols humides sont généralement à l'origine des risques de lessivage ou de dénitrification en début de saison. Il s'agit soit de sols sableux qui entraînent le lessivage de l'azote, soit de sols lourds aux conditions saturées qui entraînent la dénitrification de l'azote. Pour réduire ces deux formes de pertes, il faut diminuer la taille de la réserve en nitrates dans le sol avant que la culture n'en absorbe en trop grande quantité. Pour ce faire, on peut retarder l'application d'azote ou utiliser des engrais azotés à libération lente, par exemple des produits enrobés qui retardent physiquement la libération de l'azote, ou des additifs qui ralentissent sa conversion en nitrates.

Pour réduire les pertes d'azote en fin de saison, il faut appliquer des doses d'engrais azoté qui correspondent, à peu de chose près, aux besoins en azote de la culture, afin de réduire la teneur du sol en nitrates résiduels après la récolte.

Stratégies en matière d'azote

Pour une application d'azote réussie, il faut que les doses d'engrais azoté correspondent le plus possible à la différence nette entre l'apport en azote (p. ex. matière organique du sol, résidus de la culture précédente, fumier) et les besoins en azote de la culture. Selon les directives générales du MAAARO concernant l'azote (voir annexe B, *Feuille de calcul des doses d'azote pour le maïs (unités métriques) et explications détaillées*), il existe un grand nombre de facteurs qui permettent de prévoir, en moyenne, les besoins nets en azote dans un champ donné.

Voici d'autres facteurs qui peuvent aider les producteurs à déterminer chaque année l'apport et les besoins en azote :

1. Les précipitations entre le 10 avril et le 10 juin;
2. Le nombre d'UTC accumulées;
3. Le potentiel de rendement selon l'état du peuplement et le début de la croissance des plants;

4. L'imagerie (p. ex. l'indice de végétation par différence normalisée, ou IVDN, grâce auquel on peut définir la couleur et la taille de la culture, et mesurer son taux d'azote potentiel).

Au lieu d'appliquer systématiquement tout l'azote pendant la période des semis, il faut tenir compte des intrants saisonniers et des recommandations générales pour améliorer sa stratégie. En réduisant l'application d'azote pendant les semis, on peut mieux évaluer quelles sont les doses à appliquer pour le reste de l'apport en azote.

Le fractionnement des épandages d'azote, qui consiste à appliquer une partie de l'azote pendant les semis et le reste en bandes latérales (stade V5 ou postérieur), permet souvent de réduire la quantité totale d'azote requise et de gagner en rentabilité. Mais pour que cette stratégie soit vraiment utile, il ne suffit pas de séparer simplement la dose totale d'azote en deux applications : il faut évaluer minutieusement la dose à appliquer la deuxième fois. Des recherches menées par l'Université de Guelph et le MAAARO ont montré que lors de trois saisons de croissance toutes différentes les unes des autres, si l'on appliquait 111 kg/ha (100 lb/ac) d'azote pendant les semis, puis 56 kg/ha (50 lb/ac) en bandes latérales (stade V6), on obtenait une légère amélioration par rapport à une seule application de 168 kg/ha (150 ac) pendant la période de semis. En revanche, en appliquant 111 kg/ha (100 lb/ac) lors des semis, puis

en ajustant la dose d'azote à épandre en bandes latérales de 0 à 90 kg/ha (0 à 80 lb/ac) en fonction des indices saisonniers (p. ex. précipitations, teneur du sol en nitrates), on obtenait de biens meilleurs résultats.

Les épandeurs à haut dégagement, qui sont désormais plus répandus en Ontario, permettent d'épandre l'azote jusqu'à la floraison mâle, ce qui prolonge la période de collecte des indices saisonniers qui servent à déterminer les doses d'azote à appliquer, et réduit le risque que les plants de maïs soient trop hauts pour les épandeurs en bandes latérales tractés traditionnels. Des recherches effectuées dans le Corn Belt des États-Unis ont permis de redéfinir la quantité d'azote qui est absorbée par le plant après le stade VT, comme le montre la figure 1-2, *Absorption de l'azote à différents stades de croissance du maïs*. Il est clair que les plants de maïs ont besoin d'azote après l'apparition des soies. Toutefois, avant de procéder à une application tardive, il importe de prendre en compte les éléments suivants :

- Si de l'azote a déjà été appliqué et qu'il n'a pas disparu de la matrice du sol par lessivage ou dénitrification, il pourra alimenter les plants après l'apparition des soies.
- Jusqu'ici, très peu de recherches ont démontré que les épandages d'azote en bandes latérales effectués tardivement (entre le stade V10 et la floraison mâle) avaient un effet positif sur le rendement.

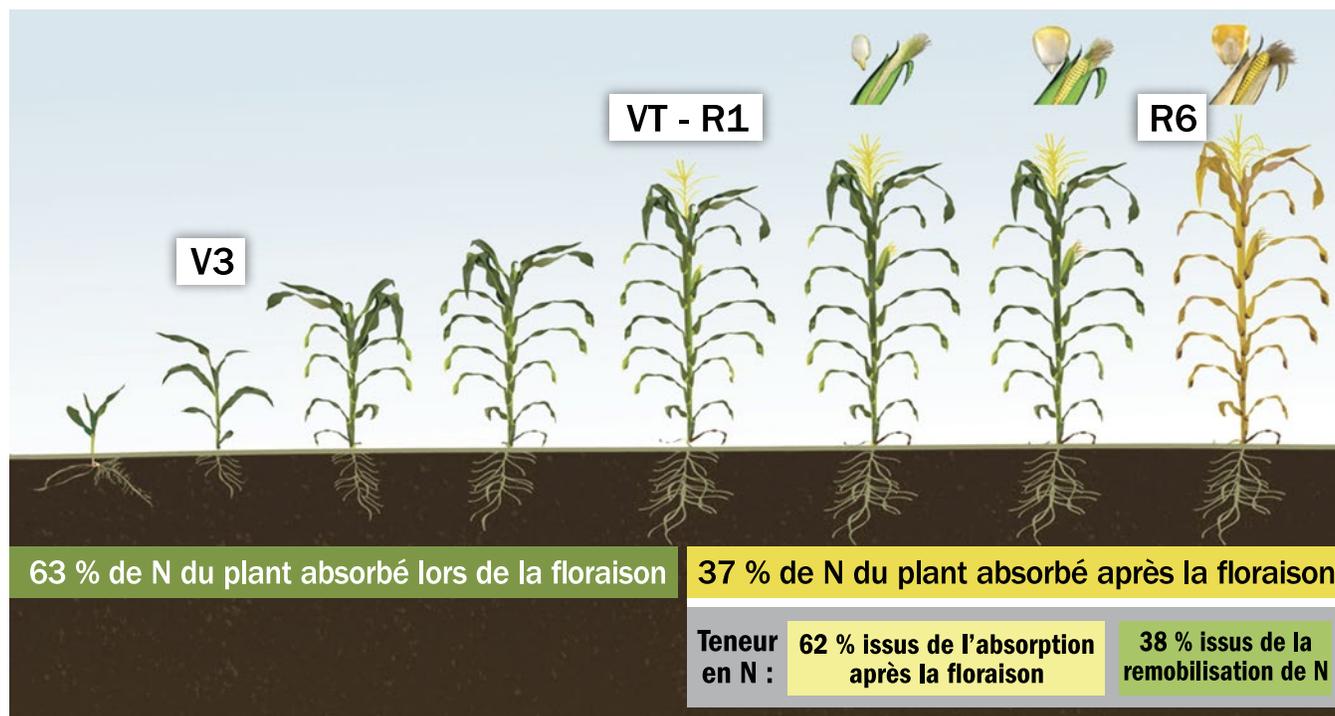


Figure 1-2 – Absorption de l'azote à différents stades de croissance du maïs (photo : DuPont Pioneer)

- Si, en fin de saison, l'azote est épandu en surface ou appliqué en bandes à une faible profondeur (< 5 cm), il se peut qu'il n'y ait pas assez de précipitations pour qu'il s'infilte dans la matrice du sol et soit absorbé par les racines du maïs.
- Si l'on décide de procéder à une application tardive, il faut épandre une dose adéquate d'azote pendant les semis pour que la culture puisse croître suffisamment jusqu'à la deuxième application (p. ex. entre 67 et 112 kg/ha [60 et 100 lb/ac]).

Phosphate et potasse

Il existe deux méthodes pour gérer le phosphore (P) et le potassium (K) : la méthode axée sur les concentrations convenables, et la méthode axée sur la modification (augmentation ou diminution) et le maintien de la fertilité du sol. Les directives du MAAARO qui figurent dans la présente section reposent sur la méthode axée sur les concentrations convenables. Pour en savoir plus sur ces deux méthodes et leurs effets en matière de phosphore et de potassium, voir le chapitre 9, *Fertilité et éléments nutritifs*.

Des concentrations suffisantes de phosphore et de potassium sont nécessaires à une croissance et à un rendement optimaux du maïs, même si ces éléments nutritifs ne produisent pas de résultats aussi évidents que l'azote. Une carence en phosphore ne produit pas de signes particuliers, bien que les plants touchés semblent rabougris et prennent parfois une teinte vert foncé ou violacée. La teinte violacée des feuilles peut aussi être un signe de stress occasionné par du temps frais ou de lésions des racines (voir photo 1-5). Les carences en potassium se manifestent d'abord par un jaunissement et un brunissement de la pointe des feuilles inférieures du plant, qui s'étend ensuite au pourtour (voir photo 1-6). Les rendements peuvent souffrir d'une carence en l'un ou l'autre de ces éléments nutritifs ou les deux, même en l'absence de tout signe visible.

Les directives pertinentes figurent au tableau 1-20, *Doses de phosphate (P_2O_5) recommandées pour le maïs*, et au tableau 1-21, *Doses de potasse (K_2O) recommandées pour le maïs*.



Photo 1-5 – Feuilles de plants de maïs violacées, résultat d'un stress causé le plus souvent par du temps frais ou des blessures aux racines. Cela peut signifier à l'occasion une carence en phosphore.

Tableau 1-20 – Doses de phosphate (P_2O_5) recommandées pour le maïs

D'après les analyses de sol reconnues par le MAAARO.

L'épandage d'éléments nutritifs est rentable lorsque l'accroissement de la valeur de la récolte créé par le gain de rendement ou de qualité dépasse le coût d'application de l'élément nutritif en question.

Si on utilise du fumier, il faut réduire les épandages d'engrais en fonction de la quantité et de la qualité du fumier (voir la section sur le fumier du chapitre 9).

LÉGENDE :

RE = réaction élevée RM = réaction moyenne
RF = réaction faible RTF = réaction très faible
RN = réaction nulle

Teneur en phosphore évaluée au bicarbonate de sodium	Quantité de phosphate à appliquer
0 à 3 ppm	110 kg/ha (RE)
4 à 5 ppm	100 kg/ha (RE)
6 à 7 ppm	90 kg/ha (RE)
8 à 9 ppm	70 kg/ha (RE)
10 à 12 ppm	50 kg/ha (RM)
13 à 15 ppm	20 kg/ha (RM)
16 à 20 ppm	20 kg/ha (RM)
21 à 30 ppm	20 kg/ha (RF)
31 à 60 ppm	0 (RTF)
61 ppm et plus	0 (RN) ¹

100 kg/ha = 90 lb/ac

¹ Quand la cote est « RN », l'application du phosphore sous forme d'engrais ou de fumier risque de réduire le rendement ou la qualité des cultures. Par exemple, des apports de phosphate peuvent entraîner des carences en zinc dans les sols pauvres en zinc et augmenter les risques de pollution de l'eau.



Photo 1-6 – Carence en potassium se manifestant d'abord sur les feuilles du bas par le jaunissement et le brunissement de la pointe puis du pourtour des feuilles

Tableau 1-21 – Doses de potasse (K_2O) recommandées pour le maïs

D'après les analyses de sol reconnues par le MAAARO.

L'épandage d'éléments nutritifs est rentable lorsque l'accroissement de la valeur de la récolte créé par le gain de rendement ou de qualité dépasse le coût d'application de l'élément nutritif en question.

Si on utilise du fumier, il faut réduire les épandages d'engrais en fonction de la quantité et de la qualité du fumier (voir la section sur le fumier du chapitre 9).

LÉGENDE :

RE = réaction élevée RM = réaction moyenne
RF = réaction faible RTF = réaction très faible
RN = réaction nulle

Teneur en potassium évaluée à l'acétate d'ammonium	Quantité de potasse à appliquer
0 à 15 ppm	170 kg/ha (RE)
16 à 30 ppm	160 kg/ha (RE)
31 à 45 ppm	140 kg/ha (RE)
46 à 60 ppm	110 kg/ha (RE)
61 à 80 ppm	80 kg/ha (RM)
81 à 100 ppm	50 kg/ha (RM)
101 à 120 ppm	30 kg/ha (RM)
121 à 150 ppm	0 (RF)
151 à 250 ppm	0 (RTF)
251 ppm et plus	0 (RN) ¹

100 kg/ha = 90 lb/ac

¹ Quand la cote est « RN », l'application de potasse sous forme d'engrais ou de fumier risque de réduire le rendement ou la qualité des cultures. Par exemple, l'épandage de potasse dans des sols pauvres en magnésium peut provoquer une carence en magnésium.

Pour plus d'information sur la lecture de ces tableaux ou en l'absence d'une analyse de sol reconnue par le MAAARO, voir la section *Directives relatives aux engrais* du chapitre 9, *Fertilité et éléments nutritifs*.

Lorsque les analyses de sol indiquent une carence importante en phosphore et en potassium, la plus grande partie de ces éléments nutritifs peut être épandue à la volée et incorporée au sol, à l'automne ou au printemps. Si les analyses de sol montrent une carence modérée ou faible de l'un ou de l'autre de ces éléments, il faut épandre un engrais contenant de l'azote (de préférence sous forme ammoniacale) et du phosphore, ou bien de l'azote, du phosphore et du potassium comme engrais de démarrage au moment des semis. Tout le phosphore et une partie du potassium peuvent être épandus en bandes, à 5 cm (2 po) à côté des semences et à 5 cm (2 po) sous celles-ci (voir tableau 9-22, *Doses maximales sûres des éléments nutritifs dans les engrais*, au chapitre 9, *Fertilité et éléments nutritifs*).

Fertilisation au moment du semis

Des essais sur le terrain menés pendant plusieurs années ont montré qu'une application de 10 à 15 kg/ha (9 à 13 lb/ac) de P_2O_5 au moment du semis procure de meilleurs rendements qu'un épandage en bandes latérales de 20 kg/ha (18 lb/ac) de P_2O_5 . Si l'analyse de sol montre des teneurs de 13 à 45 ppm pour le phosphore, il est probable qu'une application avec les semis sera plus profitable qu'un épandage en bandes latérales. Lorsque l'analyse montre une teneur en phosphore inférieure à 13 ppm, l'application de 10 à 15 kg/ha (9 à 13 lb/ac) de P_2O_5 avec les semis peut aussi être bénéfique, mais elle ne saurait remplacer un apport supplémentaire de phosphore par un épandage en bandes latérales ou à la volée.

Les engrais qui accompagnent les semences et qui contiennent de l'azote (sous forme ammoniacale) doivent avoir une faible teneur en sel et ne contenir ni urée, ni phosphate diammonique. De plus, ils doivent être épandus uniformément, faute de quoi ils peuvent être toxiques pour les semences en germination. L'application de plus de 15 kg/ha (13 lb/ac) de P_2O_5 au moment du semis dans des rangs de 75 cm (30 po) de largeur est déconseillée.

Doses maximales sûres d'éléments fertilisants

Une culture de maïs recevant trop d'engrais risque de souffrir d'un excès de sels ou d'ammoniac (voir photo 1-7). Plus l'engrais est concentré et plus il est proche de la semence, plus les risques de dommages sont grands et plus la dose maximale sûre est faible. Les doses maximales sûres à observer sont indiquées au tableau 9-22. Même à ces doses, il peut se produire de légères baisses de rendement et un faible ralentissement de la croissance si la culture est soumise à des conditions météorologiques difficiles.



Photo 1-7 – Les engrais peuvent causer la brûlure des racines séminales, ce qui retarde la croissance jusqu'à ce que les racines coronales se développent. Il en résulte une levée inégale.

Phosphore (P) : épandage en bandes ou à la volée

Pour la même quantité de phosphore, l'épandage en bandes est plus susceptible de produire des gains de rendement du maïs profitables que l'épandage à la volée. Un examen des résultats d'essais effectués en Ontario a montré qu'après un épandage de 50 à 70 kg/ha (45 à 62 lb/ac) de P_2O_5 sur une bande de 5 x 5 cm (2 x 2 po), les gains moyens de rendement étaient trois fois supérieurs à ceux obtenus avec un épandage de phosphore à la volée. Seul l'épandage de phosphore en bandes à raison de 50 à 70 kg/ha (P_2O_5) produisait des gains de rendement qui, en moyenne, étaient profitables.

Le tableau 1-22 montre le rendement moyen du maïs-grain et l'augmentation des profits résultant d'un épandage de phosphate à la volée et en bandes de 2 x 2 po.

Tableau 1-22 – Rendement moyen du maïs-grain et augmentation des profits résultant d'un épandage de phosphate à la volée et en bandes

Taux d'épandage moyen de P_2O_5 : 60 kg/ha (entre 50 et 70 kg/ha)

Les profits ont été calculés à partir d'un prix de vente du maïs de 177 \$/t. c. (4,50 \$/bo) et d'un prix de phosphate monoammonique de 1,43 \$/kg (0,65 \$/lb) de P_2O_5 .

Méthode d'épandage	Gain de rendement	Augmentation des profits
À la volée	0,22 t/ha (3,5 bo/ac)	-47 \$/ha (-19 \$/ac)
En bandes	0,61 t/ha (9,7 bo/ac)	22 \$/ha (9 \$/ac)

Source : Essais du MAAARO effectués entre 2012 et 2014.

Potassium (K) : épandage en bandes ou à la volée

L'ajout de potassium dans les engrais de démarrage peut mener à des gains de rendement du maïs profitables, surtout lorsque les teneurs en potassium sont inférieures à 90 ppm. Le tableau 1-23, *Effet des épandages de potassium à la volée et de diverses options concernant les engrais de démarrage sur le rendement du maïs*, montre les résultats d'essais effectués en Ontario pour évaluer les effets de l'application de divers types d'engrais de démarrage sur le rendement du maïs. Là où les teneurs du sol en potassium étaient inférieures à 90 ppm et où aucun épandage de potassium à la volée n'était effectué, l'épandage d'un mélange de phosphate monoammonique-potasse dans une bande de 5 x 5 cm (2 x 2 po) entraînait un gain de rendement important du maïs. Dans les mêmes conditions, le placement des semences dans des engrais liquides contenant également une petite quantité de potassium produisait des rendements plus élevés que là où on n'utilisait aucun engrais de démarrage ou un engrais de démarrage ne contenant que du phosphore. Sur ces sols à faible teneur en potassium, lorsque cet élément nutritif était épandu à la volée avant les semis (automne ou printemps), l'épandage de potassium à la volée entraînait un gain de rendement notable, et l'importance du gain apporté par les engrais de démarrage était réduite.

De façon générale les résultats indiquent que sur les sols à faible teneur en potassium, l'épandage à la volée est préférable. Cependant, si le régime d'exploitation entre en ligne de compte et s'il est risqué d'épandre à la volée des quantités importantes de potassium pour améliorer les teneurs du sol, le producteur qui est en mesure d'épandre des mélanges secs d'engrais en bandes (phosphore et potassium) peut obtenir des rendements équivalents à ceux que généreraient les autres options.

Sur les sols plus riches en potassium, les gains de rendement créés par toute forme d'épandage de cet élément sont beaucoup moins importants. L'ajout de potassium dans une bande peut amener un gain de rendement, mais l'application de plus fortes doses de potassium dans la bande de 5 x 5 cm (2 x 2 po) ne présente en général qu'un avantage marginal par rapport à l'épandage de quantités moindres dans la raie de semis.

Si le potassium est épandu à la volée avant les semis de maïs, soit à l'automne soit au printemps, le besoin de potassium dans l'engrais de démarrage devient nettement moindre, à moins que les teneurs mesurées soient faibles (RÉ) (inférieures à 61 ppm). Dans ce cas, il est probablement rentable d'effectuer des épandages à la volée pour accroître la fertilité du sol et des épandages en bandes pour répondre aux besoins immédiats de la culture.

Tableau 1-23 – Effet des épandages de potassium à la volée et de diverses options concernant les engrais de démarrage sur le rendement du maïs

6-24-6, épandage de 47 l/ha (5 gal/ac); phosphore (P) et potassium (K), épandage de 35 à 62 kg/ha (31 à 55 lb/ac) de P₂O₅ et de K₂O, les deux en mélange.

Dans le groupe de teneurs de moins de 90, les moyennes des valeurs mesurées étaient de 71 ppm de K et de 21 ppm de P.

Dans le groupe de teneurs de plus de 90, les moyennes des valeurs mesurées étaient de 122 ppm de K et de 27 ppm de P.

Teneur de K dans le sol	Engrais de démarrage	Aucun épandage de K à la volée	Épandage de K à la volée
< 90	Aucun	7,6 t/ha (120 bo/ac)	9,8 t/ha (156 bo/ac)
	6-24-6 (liquide, dans la raie de semis)	8,7 t/ha (139 bo/ac)	9,9 t/ha (158 bo/ac)
	P et K (secs, dans une bande de 2 x 2 po)	10,4 t/ha (168 bo/ac)	10,5 t/ha (166 bo/ac)
> 90	Aucun	11,0 t/ha (176 bo/ac)	11,7 t/ha (186 bo/ac)
	6-24-6 (liquide, dans la raie de semis)	11,7 t/ha (186 bo/ac)	12,0 t/ha (192 bo/ac)
	P et K (secs, dans une bande de 2 x 2 po)	10,9 t/ha (190 bo/ac)	12,2 t/ha (195 bo/ac)

Source : Essais du MAAARO effectués entre 2012 et 2014.

Lorsqu'on dissocie l'application du phosphore de celle du potassium, et qu'on effectue un épandage en bandes pour le premier et un épandage à la volée pour le second, on obtient généralement de meilleurs résultats que lorsqu'on épand les deux éléments en même temps et selon la même méthode.

Éléments nutritifs secondaires et oligo-éléments

Magnésium

Bien que le magnésium soit abondant dans la plupart des sols en Ontario, des carences peuvent se produire dans les sols sableux ou acides. Le premier signe est l'apparition de bandes jaunes sur les feuilles inférieures (voir photo 1-8). À mesure que la carence s'accroît, les feuilles supérieures peuvent également présenter des bandes jaunes tandis que les feuilles inférieures deviennent rouge violacé.

La chaux dolomitique est une excellente source de magnésium là où il faut de la chaux agricole pour corriger l'acidité du sol. Il faut également l'employer sur tous les sols ayant une teneur en magnésium inférieure à 100 ppm. Pour en savoir plus, voir la section *Acidité du sol et chaulage* du chapitre 9, *Fertilité et éléments nutritifs*.

Les sols qui n'ont pas besoin de chaux ont rarement besoin de magnésium. Un apport en magnésium n'est recommandé que si l'analyse de sol montre une teneur inférieure à 20 ppm. Sur ces sols, le magnésium peut être appliqué sous forme de sulfate ou, si une application de potassium s'avère également nécessaire, sous forme de sulfate de potasse et de magnésium. On recommande d'appliquer 30 kg de magnésium hydrosoluble par hectare (27 lb/ac).

Une surdose de potassium peut amener des carences en magnésium; il est donc important de surveiller attentivement la teneur du sol en potassium et de s'en tenir aux doses de potasse recommandées dans les rapports d'analyses reconnues par le MAAARO.



Photo 1-8 – Carence en magnésium qui se manifeste d’abord par des bandes jaunes sur les feuilles du bas, qui peuvent devenir rouge violacé à mesure que la carence s’accroît

Soufre

On a rarement observé de carence en soufre dans les cultures de maïs du Sud de l’Ontario. En revanche, au cours des 20 dernières années, les dépôts de soufre provenant de l’atmosphère n’ont cessé de diminuer, si bien que la plupart des régions de la province où l’on cultive du maïs ne reçoivent plus assez de soufre sous forme de précipitations acides. Comme les pénuries de soufre surviennent de plus en plus souvent sur les sols à texture légère, l’ajout de soufre aux engrais épandus à la volée ou en bandes est plus fréquent. On recommande généralement d’ajouter à l’engrais entre 10 et 20 kg/ha (9 et 18 lb/ac) de soufre sous forme de sulfate.

Zinc

Il arrive que des cultures de maïs en Ontario aient des carences en zinc. Bien que les signes visibles sur les feuilles soient le meilleur indice de ce type de problème, une analyse de sol n’en demeure pas moins utile (voir photo 1-9). Une carence en zinc se manifeste habituellement sous la forme d’une large bande blanche près de la base des jeunes feuilles de maïs. Si elle est grave, l’ensemble de la feuille dans le verticille blanchit (on parle alors de « bourgeon blanc »). À moins que la carence ne soit très marquée, il ne faut pas s’attendre à une réponse visible de la culture à un apport en zinc.

Lorsqu’un apport en zinc est nécessaire, celui-ci peut être mélangé aux engrais et appliqué à raison de 4 à 14 kg/ha (3,5 à 12,5 lb/ac). La dose la plus élevée devrait suffire pour trois ans. Si on applique le zinc en bandes au semis, il ne faut pas dépasser 4 kg/ha (3,5 lb/ac). L’apport de zinc peut aussi se faire par pulvérisation



Photo 1-9 – Carence en zinc prenant la forme d’une large bande blanche près de la base de la feuille chez les jeunes plants

foliaire à raison de 60 g/100 l (0,6 lb/100 gal) de solution. Pour ce faire, on conseille d’utiliser un agent mouillant et de poursuivre la pulvérisation jusqu’à ce que les feuilles soient bien mouillées.

Manganèse

Les carences en manganèse sont rares dans le maïs, bien qu’on en ait signalé quelques cas sur des terres noires à pH élevé dans le Sud-Ouest de l’Ontario. Le maïs est beaucoup plus tolérant aux faibles concentrations de manganèse que le soya ou les céréales. Dans le maïs, une carence en manganèse se manifeste par une teinte vert olive des feuilles, parfois accompagnée de rayures à peine perceptibles. Les pulvérisations foliaires de manganèse sont le moyen le plus efficace pallier une carence.

Aussitôt que la carence est détectée, il faut la corriger en pulvérisant sur le feuillage 2 kg/ha (1,8 lb/ac) de manganèse, que l’on obtient en mélangeant 8 kg/ha (7 lb/ac) de sulfate de manganèse et 200 l (53 gal) d’eau. Il est recommandé d’ajouter un mouillant-adhésif à la bouillie. En cas de carence prononcée, une deuxième pulvérisation peut être souhaitable. Avant d’appliquer les oligo-éléments, il faut bien nettoyer le réservoir du pulvérisateur si celui-ci a servi à l’épandage d’herbicides.

Autres oligo-éléments

Les autres oligo-éléments sont peu susceptibles de donner lieu à des carences dans le maïs en Ontario. Certains d’entre eux, dont le bore, peuvent être toxiques s’ils sont appliqués sur le maïs, particulièrement en épandage en bandes ou à même l’engrais de démarrage (Pop-up ou autre).

Analyse des tissus végétaux

Dans le cas du maïs, le stade de croissance le plus propice à l'échantillonnage des tissus végétaux varie selon l'élément nutritif visé. Pour la plupart des éléments, il vaut mieux prélever les échantillons dans le tiers central de la feuille opposée à l'épi, au moment de l'apparition des soies. Pour le phosphore et le zinc, il est conseillé d'échantillonner le plant en entier lorsque cinq ou six feuilles sont visibles. Pour connaître les concentrations normales des différents éléments nutritifs, voir le tableau 1-24, *Interprétation des résultats d'analyse des tissus végétaux pour le maïs*.

Si l'échantillonnage est effectué à un autre moment que celui décrit ci-dessus, il faut prélever dans les zones carencées et dans des zones saines du champ pour permettre des comparaisons. Pour les plants qui ont six feuilles ou moins, il faut prélever l'ensemble de la partie hors du sol. Pour les plants situés entre le stade V7 et celui de l'apparition des soies, il faut prélever la plus jeune feuille entièrement développée. À l'échantillon de tissu végétal, il faut joindre un échantillon de sol prélevé au même endroit et en même temps.

Tableau 1-24 – Interprétation des résultats d'analyse des tissus végétaux pour le maïs

LÉGENDE : — = aucune donnée disponible

Élément nutritif	Concentration critique ¹	Concentration normale maximale ²
Jeunes plants de maïs (cinq à six feuilles)		
Phosphore	0,35 %	0,70 %
Zinc	20,0 ppm	70,0 ppm
Apparition des soies (tiers central de la feuille opposée à l'épi)		
Azote (N)	2,5 %	3,5 %
Phosphore (P)	0,28 %	0,50 %
Potassium (K)	1,2 %	2,5 %
Calcium (Ca)	—	1,5 %
Magnésium (Mg)	0,10 %	0,60 %
Soufre (S)	0,14 %	—
Bore (B)	2,0 ppm	25,0 ppm
Cuivre (Cu)	2,0 ppm	20,0 ppm
Manganèse (Mn)	15,0 ppm	150,0 ppm
Zinc (Zn)	20,0 ppm	70,0 ppm

¹ Prévoir une baisse de rendement due à une carence en un élément nutritif donné lorsque la concentration de ce dernier tombe au niveau critique ou sous celui-ci.

² Les concentrations normales maximales sont plus que suffisantes, mais ne causent pas nécessairement de toxicité.

Fertilisation foliaire

Dans le maïs, les pulvérisations foliaires d'éléments nutritifs donnent généralement peu de résultats et elles endommagent les feuilles, sauf si elles sont fractionnées en de multiples petites doses. L'exception à cette règle est la correction de certaines carences en oligo-éléments, mais même dans ce cas, il est souvent plus économique d'appliquer l'élément nutritif au sol.

Récolte et entreposage

Récolte du maïs

La maturité physiologique (point noir) se produit lorsque la teneur en eau du grain s'élève entre 31 et 33 %. Passé ce stade, aucune matière sèche ne s'y ajoute. Le maïs-grain récolté à des teneurs en eau supérieures à 28 % est souvent considérablement endommagé, ce qui rend sa commercialisation plus difficile. Les marchés de grain de haute qualité alimentaire peuvent exiger que le maïs soit récolté à des teneurs en eau aussi basses que 20 à 22 %.

Il faut évaluer s'il est réellement avantageux de retarder la récolte dans l'espoir d'abaisser les coûts de séchage et d'améliorer la qualité des échantillons, compte tenu des risques accrus de verse, d'affaissement des épis et de temps pluvieux. Pour déterminer s'il faut devancer les dates de récolte dans le but de prévenir les pertes à la récolte, il est conseillé d'inspecter les champs et de vérifier la qualité des tiges. Lorsque celles-ci laissent à désirer, le premier gros vent ou la première pluie violente risque de causer des pertes à la récolte considérables. Il est également important que la tête de la récolteuse fonctionne adéquatement au moment de récolter du maïs dont la tige est peu vigoureuse. Il faut que la vitesse de la tête soit compatible avec la vitesse au sol pour améliorer la circulation des tiges à travers les plaques dépanouilleuses et les rouleaux preneurs. Il est conseillé de les rapprocher au besoin.

L'action de la moissonneuse-batteuse peut nuire à la qualité du grain pour les raisons suivantes :

- Vitesse de rotation du cylindre trop élevée;
- Ouverture du contre-batteur insuffisante;
- Fourrures trop nombreuses sur le contre-batteur;
- Défaut de parallélisme du contre-batteur et du cylindre.
- Quand le maïs a gelé avant d'arriver à maturité, l'expérience montre que le meilleur moyen de maintenir la qualité du grain est de faire fonctionner le cylindre à la vitesse la plus basse possible.

Voici des indications générales pour l'évaluation des pertes à la récolte dues à l'action de la moissonneuse-batteuse :

- Des pertes de 22 grains/m² (2 grains/pi²) équivalent à environ 0,06 t/ha (1 bo/ac);
- Une perte d'un épi de taille moyenne par 1/100 d'acre (6,4 m² [21 pi²]) équivaut à une baisse de rendement de 0,06 t/ha (1 bo/ac).

Si les pertes occasionnées par la moissonneuse-batteuse dépassent 0,16 t/ha (2,5 bo/ac), il faut effectuer les réglages pertinents.

Récolte et entreposage du maïs à ensilage

Voir la section *Ensilage préfané et ensilage de maïs* du chapitre 3, *Cultures fourragères*.

Entreposage du maïs

Séchage et entreposage du maïs

Trois grands types de séchoirs sont utilisés dans les exploitations agricoles :

- Cellules sèches;
- Séchoirs discontinus;
- Séchoirs continus.

Aucun système de séchage en particulier n'est supérieur aux autres. Le choix d'un séchoir à grain dépend des caractéristiques recherchées : capacité de séchage, qualité du grain, efficacité énergétique ou de séchage (BTU/volume d'eau retirée), facilité d'utilisation, main-d'œuvre nécessaire au fonctionnement, possibilité de sécher différents types de cultures, besoin d'entretien et coût d'investissements.

Tous les séchoirs font passer de l'air « sec » sur le grain pour faire évaporer l'humidité qu'il contient et l'évacuer. Cet air de séchage est chauffé, ce qui réduit son humidité relative et accroît ainsi son pouvoir de séchage. On peut sécher du grain humide à des températures plus élevées sans l'endommager parce que l'évaporation de l'humidité le refroidit. Au fur et à mesure que le grain s'assèche, il s'approche de la température de l'air de séchage. Par conséquent, plus il demeure longtemps en contact avec l'air chauffé, plus il devient sec et chaud.

Le grain de maïs sèche à mesure que l'humidité qu'il renferme s'évapore à sa périphérie. La plus grande partie de l'humidité contenue dans le grain est évacuée par la base de celui-ci. Les premiers pourcentages d'humidité sont faciles à éliminer avec relativement peu d'énergie. Les derniers pourcentages se trouvent plus profondément dans le grain. Au fur et à mesure que la périphérie s'assèche, l'humidité doit donc sortir du centre. Or, ce mouvement vers la périphérie du grain n'est pas aussi rapide que l'évaporation produite par le passage de l'air sec sur sa surface; il faut donc davantage d'énergie pour éliminer les derniers pourcentages d'humidité.

Températures de séchage

On peut sécher le maïs à différentes températures, mais celles-ci ne doivent pas dépasser les valeurs indiquées au tableau 1-25, *Températures maximales de l'air suggérées pour le séchage du maïs destiné à diverses utilisations*. Le maximum recommandé dépend de plusieurs facteurs, dont l'utilisation finale du grain, sa teneur en eau initiale, le type de grain et le modèle de séchoir.

Tableau 1-25 – Températures maximales de l'air suggérées pour le séchage du maïs destiné à diverses utilisations

Utilisation	Température maximale de séchage (°C)
Maïs de semence	45
Fécule de maïs	70
Usages industriels, aliments pour non-ruminants	90
Aliments pour bovins	120

Le pouvoir germinatif est détruit lorsque la température réelle du grain dépasse environ 50 °C, et sa valeur nutritive est réduite lorsqu'il atteint 90 à 100 °C.

Qualité du grain

Pour réduire le fendillement dû au stress, il faut sortir le grain chaud du séchoir, le laisser reposer un moment avant de le soumettre à un débit d'air minimal de 6,5 l/sec/m³ (0,5 pi³/min/bo). Le fendillement des grains dû au stress et les autres dommages physiques qu'ils subissent dépendent de la vitesse d'élimination de l'eau, de leur température maximale ainsi que de leur vitesse de refroidissement après le séchage.

En plus de maintenir la qualité du grain, l'utilisation d'un système d'aération à l'air sec ou d'aération à l'air frais peut augmenter la capacité de fonctionnement du système de séchage. De nombreux producteurs ontariens pratiquent l'aération à l'air frais, qui consiste à retirer le maïs du séchoir pour le placer dans une cellule de stockage où il subit un refroidissement progressif. Ainsi, le maïs chaud est ajouté de façon continue sur la cellule de stockage final où il refroidit lentement.

Séchage à l'air ambiant

Le séchage du maïs à l'air ambiant est possible presque partout dans le Sud de l'Ontario. Cette méthode convient bien aux exploitations d'élevage où l'on souhaite produire un maïs de haute qualité qui est exempt de fissures dues au stress. Une bonne gestion du système de séchage à l'air ambiant est une condition essentielle à l'obtention de bons résultats.

Exigences minimales pour le séchage à l'air ambiant

- Aménager un faux fond entièrement perforé dans la cellule de stockage.
- Nivelier la surface du grain dans toute la cellule de stockage.
- Assurer un débit d'air d'au moins 26 l/sec/m³ (2 pi³/min/bu), ou plus de préférence.
- Récolter le maïs lorsqu'il contient au plus 25 % d'humidité.
- Nettoyer le grain afin de le débarrasser des morceaux de rafles et des particules fines.
- Mesurer précisément la teneur en eau du maïs dans la cellule de stockage.
- Bien lire la température de l'air et l'humidité relative à l'extérieur.
- Bien connaître la teneur en eau à l'équilibre du maïs.
- Après avoir rempli la cellule de stockage, retirer un peu de grain du centre (par la vis de déchargement). (Le mieux est de retirer quelques chargements de la cellule. Cela crée un couloir vertical de chute et élimine la colonne de particules fines qui a pu s'accumuler au centre. Nettoyer le grain retiré avant de le remettre dans la cellule de stockage. Même si les chargements sont replacés immédiatement dans la cellule sans nettoyage, ils offrent moins de résistance au passage de l'air que si on ne les avait pas enlevés.)
- Installer un interrupteur de commande du ventilateur.

Quand faire fonctionner le ventilateur

On ne fait pas fonctionner le ventilateur tout à fait de la même façon pour sécher le maïs à l'air ambiant que pour sécher d'autres cultures.

- Une fois que la cellule de stockage est assez remplie pour maintenir en place le faux fond perforé, on peut mettre le ventilateur en marche.
- Il faut le faire fonctionner sans interruption pendant les trois premières semaines après le remplissage de la cellule, ou tant que le premier front de séchage n'a pas atteint la surface du grain.
- Le premier front de séchage a atteint la surface du grain lorsqu'il y a une baisse notable de la teneur en eau du maïs à cet endroit.
- Avant cela, le niveau d'humidité du maïs qui se trouve devant ce front reste le même qu'à la récolte et peut même augmenter légèrement par rapport au maïs sous-jacent.
- Si on éteint le ventilateur pendant une période prolongée au début du processus de séchage, on risque de stopper définitivement la progression du front de séchage, qui peut ne plus reprendre sa progression même après la remise en marche du ventilateur; le maïs qui se trouve au-delà sera donc exposé à la détérioration.
- Une fois que le premier front de séchage a atteint la surface du grain, il faut commencer à gérer le fonctionnement du ventilateur à l'aide du tableau 1-26, *Teneur en eau à l'équilibre du maïs exposé à l'air*.
- On peut laisser le ventilateur en marche tant que les conditions extérieures permettent le séchage du maïs le plus humide de la cellule. Il peut arriver que cette méthode mène à un léger accroissement de la teneur en eau du maïs situé au fond de la cellule; cependant ce phénomène contribue en fait à assécher l'air, qui assèche lui-même davantage les couches situées au-dessus.

Beau temps, mauvais temps, le ventilateur doit fonctionner tant que le premier front de séchage n'a pas atteint la surface du grain.

Parfois, le maïs n'atteint pas la teneur en eau souhaitée avant les grands froids. Le séchage à l'air ambiant à des températures inférieures au point de congélation est très lent et inefficace.

Par conséquent, on peut être obligé d'attendre le début du printemps pour éliminer les derniers pourcentages d'humidité. Certains éleveurs ne terminent jamais le séchage du maïs destiné au fourrage après l'hiver parce qu'il se transforme et s'entrepose bien à des teneurs en eau plus élevées.

Tableau 1-26 – Teneur en eau à l'équilibre du maïs exposé à l'air

Température (°C)	Humidité relative (% à l'état humide)				
	50 %	60 %	70 %	80 %	90 %
0	13,7	15,1	16,6	18,4	21,3
5	13,1	14,4	15,9	17,8	20,7
10	12,5	13,8	15,4	17,3	20,2
15	11,9	13,3	14,9	16,8	19,8
20	11,5	12,8	14,4	16,4	19,4
25	11,0	12,4	14,0	16,0	19,0

Il existe des humidistats qui permettent un pré réglage du taux d'humidité relative auquel le ventilateur sera mis en marche. Les cellules de stockage pourvues de dispositifs de brassage afficheront des taux d'humidité relativement uniformes.

Le grain ayant une teneur en eau de plus de 25 % peut encore être séché à l'air ambiant. Pour ce faire, il faut remplir partiellement la cellule de stockage de façon à assurer un débit d'air de 52 à 78 l/sec/m³ (4 à 6 pi³/min/bo). Les producteurs ayant besoin de maïs qui sera consommé comme fourrage à la fin du mois de septembre peuvent récolter les tournières et entreposer ce grain dans la cellule de stockage. Les températures douces de la fin de septembre, conjuguées à un débit d'air plus élevé, permettront un séchage en quelques semaines.

Teneur en eau à l'équilibre

Des chercheurs ont mis au point des tableaux qui indiquent la teneur en eau finale du maïs selon la température et l'humidité relative de l'air (voir tableau 1-26, *Teneur en eau à l'équilibre du maïs exposé à l'air*). Par exemple, pour connaître la teneur en eau à l'équilibre de maïs exposé à l'air extérieur

à 10 °C et à 70 % d'humidité relative, il suffit de trouver l'intersection de la rangée et de la colonne correspondantes dans le tableau. La valeur indiquée à cet endroit (15,4 %) est la teneur en eau à l'équilibre du maïs.

Autres problèmes liés aux cultures

Insectes et maladies

La figure 1-3, *Calendrier de dépistage des ennemis du maïs*, indique quels sont les insectes et les maladies qui peuvent être à l'origine des signes observés dans le champ. Les descriptions de chacun des insectes, animaux nuisibles et maladies et des stratégies de dépistage et de lutte se trouvent au chapitre 15, *Insectes et animaux nuisibles aux grandes cultures*, et au chapitre 16, *Maladies des grandes cultures*.

Application de fongicides et moment de l'application

Au cours des 10 dernières années, le recours aux fongicides s'est considérablement accru. La plupart des applications ont lieu au stade VT (formation des panicules ou apparition des soies); si elles ont lieu plus tôt (p. ex. au stade de 8 à 10 feuilles), elles sont généralement moins efficaces. L'application d'un fongicide doit reposer sur le dépistage et la présence d'une maladie. Il faut choisir le produit qui correspond le mieux à la maladie, et l'épandre au bon moment. Par exemple, pour lutter contre la moisissure de l'épi et réduire les mycotoxines, il faut recourir à certains fongicides et les épandre à un moment précis, tandis que pour lutter contre les maladies foliaires, il faut recourir à d'autres fongicides et les épandre à un autre moment.

En règle générale, lorsqu'il s'agit d'évaluer si l'application d'un fongicide sera rentable ou non, les deux facteurs qui pèsent le plus dans la balance sont le prix de l'application (coût du produit et de l'opération) et le prix du maïs. Mais d'autres facteurs entrent aussi en ligne de compte, notamment :

- La pression exercée par les maladies;
- La culture précédente;
- Les précipitations;
- La vulnérabilité des hybrides aux maladies.

Pour en savoir plus sur l'utilisation des fongicides, voir la section à ce sujet au chapitre 16.

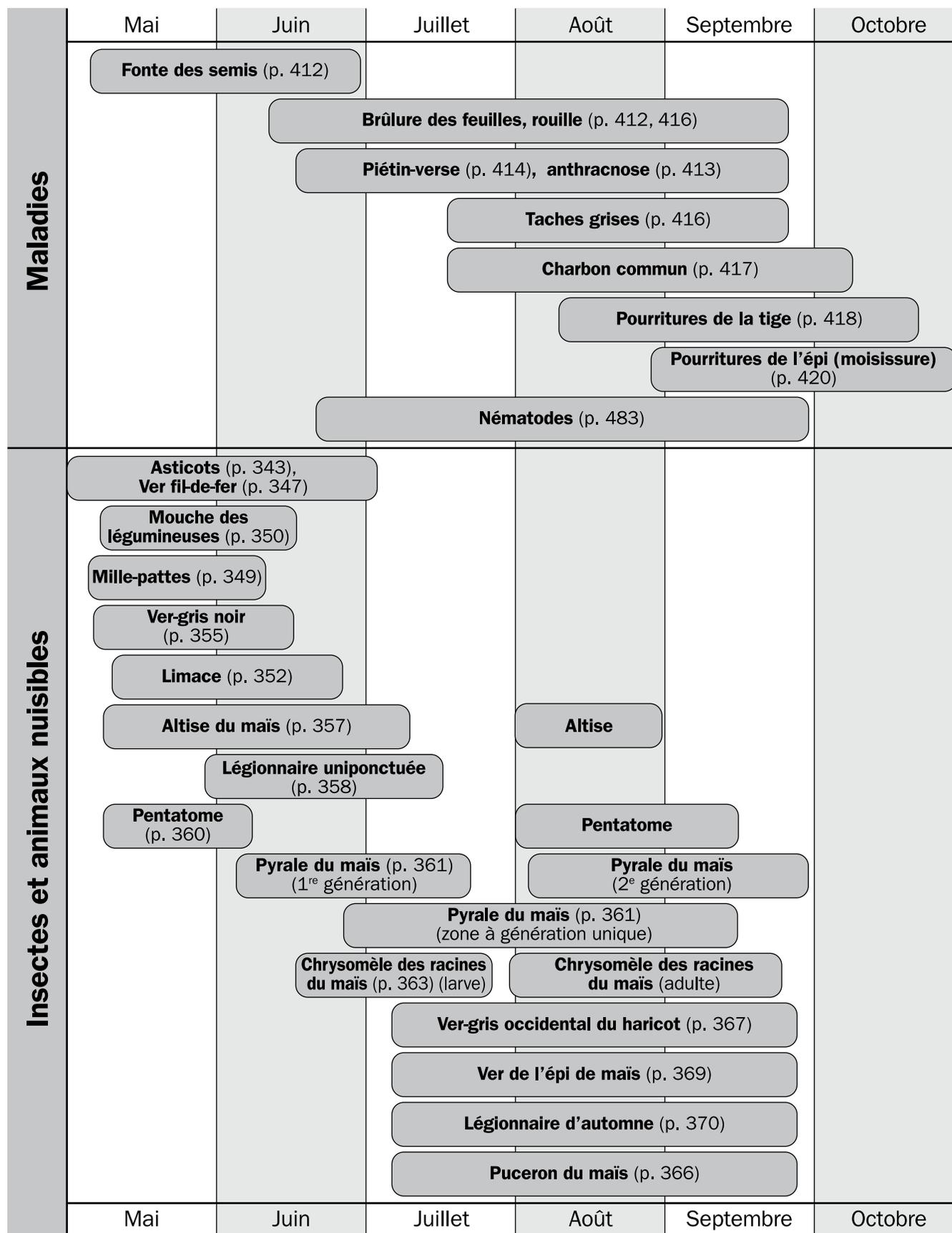


Figure 1-3 – Calendrier de dépistage des ennemis du maïs

Froid

Froid en début de saison

Les dommages causés par le gel en mai ou en juin ont généralement peu de conséquences, pourvu que le point végétatif soit encore sous la surface du sol, ce qui est le cas jusqu'à ce que le jeune plant ait plus ou moins six feuilles (stade V6). Sur les plants plus avancés ou lorsque les dommages sont plus graves, il faut fendre les tiges pour voir si le point végétatif a été endommagé. Cette vérification prend un certain temps, puisqu'il faudra probablement attendre trois à cinq jours après l'épisode de gel pour évaluer avec précision l'ampleur des dégâts et vérifier si les points végétatifs sont sains (blancs jaunâtres et fermes) ou constater la reprise de la croissance foliaire.

Les tissus foliaires gelés se décolorent et prennent une couleur de paille plusieurs jours après la gelée. Dans certains cas, ils peuvent former un « nœud » qui nuit à l'expansion des tissus non endommagés situés plus bas dans le verticille (voir photo 1-10). Des producteurs ont essayé de faucher leur champ gelé pour couper les nœuds et aider les plants à se remettre, mais des études ont montré que les plants se rétablissent aussi rapidement et ont le même rendement quand on n'y touche pas.



Photo 1-10 – Maïs endommagé par le gel à la mi-juin. Les plants plus petits peuvent s'en remettre, mais la croissance des plants plus vieux peut être limitée par les tissus détruits par le gel.

Si la météo prévoit un risque de gel, il faut penser à retarder le sarclage des entre-rangs, l'épandage de l'azote en bandes latérales ou les applications d'herbicides jusqu'à ce que les températures se radoucissent. Tout ce qui dérange la surface permet à de plus grandes quantités d'air de pénétrer dans le sol et isole les plants de maïs de la chaleur contenue dans la masse du sol, ce qui augmente les risques de dommages causés par le gel. De la même façon, les résidus de culture et les mauvaises herbes agissent comme une barrière au transfert de la chaleur du sol vers les plants de maïs. Par ailleurs, les sols secs sont plus propices aux dommages causés par le gel parce qu'ils retiennent moins bien la chaleur le jour, ce qui réduit la quantité de chaleur pouvant être transférée aux plants de maïs et protège ceux-ci pendant la nuit.

Froid en fin de saison

Au stade du remplissage des grains en août et en septembre, le froid peut causer des baisses de rendement et de qualité dont l'ampleur dépend du stade phénologique du maïs et des températures enregistrées.

Lorsque les températures tombent à 0 °C, le gel endommage d'abord les feuilles, ce qui interrompt la photosynthèse, ralentit le remplissage des grains et nuit souvent à la vigueur de la tige. Toutefois, tant que la température de l'air ne tombe pas sous les 2 °C, les tissus de la tige restent viables et les éléments qui la constituent sont donc mobilisés pour remplir l'épi autant que possible. Par contre, si les températures chutent sous les -2 °C, les feuilles et la tige peuvent être endommagées, ce qui met un terme à la fois à la photosynthèse et à la remobilisation des éléments nutritifs. Le remplissage des grains prend fin, et le point noir apparaît. Le tableau 1-27, *Risques estimatifs de baisse du rendement et de la qualité du maïs-grain associés aux dommages causés par le gel en fin de saison*, montre les répercussions possibles des dégâts provoqués par le gel.

En général, le début de l'apparition de la dent est le moment crucial à partir duquel le gel peut endommager les feuilles de maïs sans qu'il y ait de grandes répercussions sur le rendement en grain. Ce stade se caractérise par l'apparition de petites indentations dans la couronne du grain, à tout le moins dans la partie inférieure de la rafle.

Tableau 1-27 – Risques estimatifs de baisse du rendement et de la qualité du maïs-grain associés aux dommages causés par le gel en fin de saison

Ce tableau sert de guide. Les différences entre hybrides, la vigueur d'ensemble du plant au moment du gel et les températures subséquentes ont toutes une influence sur le rendement en grain et la qualité de celui-ci.

Stade de croissance de la culture	Dommages causés par le gel	Perte de rendement en grain estimative	Problèmes de qualité du grain
Mi-pâteux	Plant au complet	40 %	Graves
Mi-pâteux	Feuilles seulement	25 %	Graves
Début de l'apparition de la dent	Plant au complet	25 %	Moyens
Début de l'apparition de la dent	Feuilles seulement	15 %	Moyens
Ligne d'amidon 1/2	Plant au complet	10 %	Mineurs
Ligne d'amidon 1/2	Feuilles seulement	0 à 5 %	Inexistants

Même en l'absence de dommages causés par le gel, plusieurs nuits froides d'affilée peuvent compromettre le remplissage des grains. Dans une étude menée à l'Université de Guelph, M. Thys Tollenaar a constaté qu'après des nuits où les températures étaient tombées à 2 °C, la photosynthèse et la vitesse de remplissage des grains avaient diminué de 50 %. Toutefois, au retour de températures plus clémentes, les mêmes plants avaient repris leur activité et affichaient des taux de croissance comparables à ceux des plants qui n'avaient jamais été exposés au froid. Tant que le maïs n'a pas été gravement endommagé par le gel, le remplissage des grains devrait se poursuivre après le retour des températures normales.

Dans certains cas, les dommages causés par le froid obligent à récolter le maïs comme ensilage et non sous forme de grain. Mais le gel pose également d'importants problèmes pour le maïs à ensilage. Le maïs à ensilage qui a gelé avant que la ligne d'amidon n'atteigne la moitié de la hauteur du grain (ligne d'amidon 1/2) risque de contenir trop d'humidité pour se prêter à l'ensilage. Idéalement, dans ce cas, il faut retarder la récolte de maïs jusqu'à ce que le plant entier atteigne la teneur en eau souhaitée pour l'ensilage.

Stress dû à la chaleur

Le stress dû à la chaleur est différent de celui dû à la sécheresse (voir photo 1-13). Le maïs peut habituellement tolérer des températures atteignant 38 °C avant de subir des dommages, dans la mesure où il n'est pas en même temps soumis à la sécheresse. La sensibilité à la température et à la sécheresse varie d'un hybride à l'autre. Ceux qui tolèrent bien la sécheresse peuvent donner des rendements décevants, et ils ne constituent pas un bon choix pour les saisons normales.

Grêle

Les plants de maïs endommagés par la grêle peuvent présenter une réduction de la surface foliaire, des meurtrissures des épis et des tiges et, dans les cas graves, des bris de tiges (voir photo 1-11). Ces lésions peuvent aussi constituer une porte d'entrée pour des maladies comme le charbon. Les pertes de rendement ainsi causées dépendent du stade de la culture au moment où la grêle survient et de l'ampleur de la défoliation. Elles sont plus importantes lorsque le maïs est défolié durant la floraison mâle. Dans le cas des plants plus jeunes, la grêle peut retarder leur croissance et leur développement, mais elle ne cause généralement que des pertes de rendement mineures. La défoliation des plants qui sont presque à maturité cause en général des pertes de rendement peu importantes. Voir le tableau 1-28, *Pourcentage estimatif de pertes de rendement du maïs-grain après une défoliation à divers stades de croissance*, pour évaluer les conséquences possibles de la grêle.



Photo 1-11 – Les pertes de rendement les plus grandes attribuables à la grêle surviennent lorsque le maïs est défolié durant la floraison mâle

Tableau 1-28 – Pourcentage estimatif de pertes de rendement du maïs-grain après une défoliation à divers stades de croissance

Stade de croissance ¹	Défoliation																			
	10 %	15 %	20 %	25 %	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %	65 %	70 %	75 %	80 %	85 %	90 %	95 %	100 %	
7 feuilles	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	4	4	5	5	6	7	8	9	9	
9 feuilles	0	0	0	1	1	2	2	3	4	5	6	6	7	7	9	10	11	12	13	
11 feuilles	0	0	1	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	18	20	22	
13 feuilles	0	1	1	2	3	4	6	8	10	11	13	15	17	19	22	25	28	31	34	
15 feuilles	1	1	2	3	5	7	9	12	15	17	20	23	26	30	34	38	42	46	51	
17 feuilles	2	3	4	5	7	9	13	17	21	24	28	32	37	43	48	53	59	65	72	
18 feuilles	2	3	5	7	9	11	15	19	24	28	33	38	44	50	56	62	69	76	84	
19 à 21 feuilles	3	4	6	8	11	14	18	22	27	32	38	43	51	57	64	71	79	87	96	
Floraison mâle	3	5	7	9	13	17	21	26	31	36	42	48	55	62	68	75	83	91	100	
Floraison femelle	3	5	7	9	12	16	20	24	29	34	39	45	51	58	65	72	80	88	97	
Brunissement des soies	2	4	6	8	11	15	18	22	27	31	36	41	47	54	60	66	74	81	90	
Pré-gonflement	2	3	5	7	10	13	16	20	24	28	32	37	43	49	54	60	66	73	81	
Gonflement	2	3	5	7	10	13	16	19	22	26	30	34	39	45	50	55	60	66	73	
Début laiteux	2	3	4	6	8	11	14	17	20	24	28	32	36	41	45	50	55	60	66	
Laiteux	1	2	3	5	7	9	12	15	18	21	24	28	32	37	41	45	49	54	59	
Fin laiteux	1	2	3	4	6	8	10	12	15	18	21	24	28	32	35	38	42	46	50	
Pâteux mou	1	1	2	2	4	6	8	10	12	14	17	20	23	26	29	32	35	38	41	
Début de l'apparition de la dent	0	0	1	1	2	3	5	7	9	11	13	15	18	21	23	25	27	29	32	
Dent formée	0	0	0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Maturité	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Tableau adapté d'un document intitulé *Corn Loss Instruction* (rév. 1994) de National Crop Insurance Services et reproduit avec l'autorisation de cet organisme.

¹ Déterminé selon la méthode de la feuille recourbée (c.-à-d. 40 à 50 % de la feuille sortie du verticille et pointe de la feuille orientée au-dessous de l'horizontale).

Inondation

L'inondation du sol impose un stress aux plants en privant leurs racines d'oxygène. Les plants les plus jeunes meurent s'ils sont submergés pendant plus de cinq jours, particulièrement si le temps est doux. Si la température de l'air est élevée, la mort des plants peut survenir en quelques jours seulement parce que leur métabolisme est très actif, de sorte que leurs racines ont besoin de grandes quantités d'oxygène. Si le temps est plus frais, les plants submergés peuvent survivre pendant une semaine maximum. Après le stade de 8 feuilles, ils peuvent tolérer une submersion de plus de huit jours, mais ils peuvent alors devenir plus susceptibles à la maladie (mildiou à sommité déformée), et leur croissance racinaire peut être ralentie pendant la durée de l'inondation (voir photo 1-12). Les pertes de rendement dues aux inondations sont plus graves si les plants sont submergés immédiatement avant ou pendant les floraisons mâle (formation des panicules) et femelle (apparition des soies). Lorsque les plants sont aux stades végétatifs de 10 à 16 feuilles ou de remplissage des grains, l'inondation nuit peu au rendement.

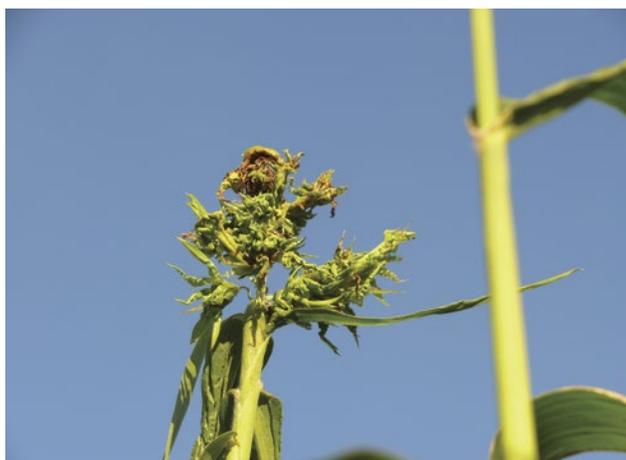


Photo 1-12 – Le mildiou à sommité déformée est une maladie qui touche les plants de maïs submergés après le stade de 8 feuilles

Sécheresse

Pendant la saison de croissance, les cultures de maïs ont besoin d'environ 50 cm (20 po) d'eau pour produire des rendements élevés. Il peut s'agir de l'eau emmagasinée dans le sol, des précipitations ou de l'eau d'irrigation.

Le manque d'eau fait flétrir les feuilles, qui prennent une teinte grisâtre (voir photo 1-13). C'est entre le moment de la formation des panicules et celui de l'apparition des soies que le maïs souffre le plus de la sécheresse et que celle-ci peut occasionner des pertes de rendement si un autre stress est présent. Pendant les stades végétatifs qui suivent (V8 à V14), la sécheresse peut en fait être bénéfique aux plants puisqu'elle force les racines à s'enfoncer rapidement dans le sol. Par contre, si elle survient pendant l'apparition des soies, la période de sécheresse peut nuire à la pollinisation et empêcher les soies d'apparaître; si elle survient après le stade de l'apparition des soies, elle peut nuire au remplissage des grains.



Photo 1-13 – La carence en eau (ou stress dû à la sécheresse) est la plus néfaste quand elle survient du stade de la formation des panicules et à celui de l'apparition des soies

Domages causés par les oiseaux

Les oiseaux peuvent endommager les plantules au moment de la levée. Toutefois, les dommages les plus graves sont ceux qui touchent les grains en août et en septembre (voir photo 1-14). Les oiseaux mangent les grains à même la rafle et causent des pertes de rendement directes; les lésions subies par les grains peuvent ensuite constituer une porte d'entrée pour les moisissures. Les oiseaux peuvent aussi endommager les épis en cherchant des insectes qui s'en nourrissent, comme le ver-gris occidental du haricot. Il est facile de confondre les dommages produits par les oiseaux avec les lésions infligées aux plantules par le ver-gris noir ou celles causées aux épis causés par les sauterelles. On

peut employer plusieurs techniques simultanément pour réduire de tels dommages, comme des bruiteurs, des canons au propane, des détonations, une sirène de marque Phoenix ainsi que des enregistrements de cris d'oiseaux en détresse, et on en modifie fréquemment les réglages ou les sources sonores. Si les oiseaux ou les animaux sauvages causent des dégâts importants, il faut communiquer avec le ministère des Richesses naturelles et des Forêts pour connaître les méthodes de lutte possibles.



Photo 1-14 – Dommages attribuables aux oiseaux sur un épi de maïs