

SORGHO SUCRÉ

GUIDE DE PRODUCTION



Janvier 2018

La réalisation du présent guide de production est soutenue financièrement par Agriculture et Agroalimentaire Canada et le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, par le biais de l'entente Canada-Québec Cultivons l'avenir 2.

Cultivons l'avenir 2
Une initiative fédérale-provinciale-territoriale

Canada 

Québec 

GUIDE DE PRODUCTION DU SORGHO SUCRÉ AU QUÉBEC

AUTEURS

Pierre Bélanger, agr., Bélanger Agro-Consultant inc.
Olivier Lalonde, agr., M.Sc., Consultant
Marie-Noëlle Thivierge, agr., Ph.D., Agriculture et Agroalimentaire Canada
Anne Vanasse, agr., Ph.D., Université Laval



CONTACT

Centre de recherche sur les grains
740, chemin Trudeau, Saint-Mathieu-de-Beloeil (Québec) CANADA, J3G 0E2
Téléphone : 450 464-2715
Télécopieur : 450 464-8767
www.cerom.qc.ca

REMERCIEMENTS

Stéphane Beaulieu, CÉROM
Isabelle Matteau, M.Sc. Environnement, CÉROM
Snizhana Olishevskaya, Ph.D., CÉROM

CRÉDIT PHOTOGRAPHIES Marie-Noëlle Thivierge, agr., Ph.D., Agriculture et Agroalimentaire Canada

Avant-propos

Depuis 2010, le Réseau des plantes bio-industrielles du Québec (RPBQ) travaille activement à l'étude et à la documentation du potentiel agronomique qu'offre le Québec pour la production de nouvelles cultures utilisées comme intrants dans la conception de bioproduits industriels variés. Son but est de valider l'adaptation d'un certain nombre d'espèces et de cultivars prometteurs en recueillant des informations sur leurs performances agronomiques en fonction de différents sites représentatifs des conditions pédoclimatiques agricoles québécoises. Pour ce faire, le RPBQ a collaboré avec des entreprises agricoles et des fermes expérimentales publiques et privées afin de mettre à l'essai plus de 62 cultivars confondus de 11 cultures agricoles.

Parmi les espèces retenues par le RPBQ pour effectuer des essais d'adaptabilité et de performance agronomique, on retrouve le sorgho sucré. Bien que le sorgho fût d'abord cultivé pour produire du sucre, de nouvelles variétés fourragères ont fait leur apparition dans les années 1950 suite à une demande pour des cultures résistantes aux sécheresses et aux températures élevées caractéristiques du Midwest américain. Depuis le début des années 1990, les producteurs agricoles du Québec peuvent se procurer différents types de cultivars/hybrides de sorgho adaptés aux régions tempérées et pouvant s'intégrer à divers systèmes culturaux.

Le sorgho est considéré comme une culture à double vocation : la production de bioéthanol et la production de fourrage sucré. En effet, certaines variétés font office de fourrage de qualité pour l'alimentation animale alors que d'autres, dans une optique de bioproduits industriels, représentent une filière alternative au maïs pour la production de bioéthanol. Le sorgho sucré a fait l'objet de nombreux travaux de recherche dans les dernières années, dont plusieurs au Québec.

Ce guide de production s'adresse aux conseillers et aux producteurs agricoles qui désirent se lancer dans la production du sorgho sucré au Québec. Il présente l'ensemble des bonnes pratiques agronomiques à adopter.

Table des matières

Avant-propos	ii
Présentation du sorgho	1
Sorgho sucré.....	1
Sorgho fourrager, herbe du Soudan et hybride sorgho-Soudan	2
Implantation	3
Choix du site	3
Choix des cultivars/hybrides	3
Semis	4
Fertilisation.....	7
Azote	7
Phosphore et potassium	8
Phytoprotection.....	9
Gestion des mauvaises herbes	9
Avant le semis	9
En post-levée	9
Gestion des insectes ravageurs	10
Ravageur des tiges	10
Ravageurs des semis	10
Gestion des maladies	11
Anthracnose [<i>Colletotrichumgraminicola</i>]	11
Dessèchement [<i>Exserohilumturcicum</i>]	12
Méthodes de récolte et entreposage	13
Marché de l'éthanol	13
Marché du fourrage	13
Rendements.....	14
Budgets de production	15
Budget sorgho sucré à l'hectare pour le marché de l'éthanol	15
Budget sorgho sucré à l'hectare en silo-couloir pour le marché de l'alimentation d'animaux d'élevage	15
Références	16
ANNEXE 1. BUDGET DU SORGHO SUCRÉ À L'HECTARE POUR LE MARCHÉ DE L'ÉTHANOL	18
ANNEXE 2. BUDGET DU SORGHO SUCRÉ EN SILO-COULOIR POUR LE MARCHÉ DE L'ALIMENTATION D'ANIMAUX D'ÉLEVAGE	19

Présentation du sorgho

Le sorgho [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] est une graminée annuelle de climat chaud d'origine africaine. Comme la majorité des espèces ayant un métabolisme en C₄, le sorgho fait une gestion très efficace des ressources solaires et hydriques². Une épaisse couche de cire protège ses feuilles contre les pertes d'eau. En conditions de stress hydrique, ses feuilles se plient au lieu de rouler comme celles du maïs. Les fleurs du sorgho s'auto-pollinisent à près de 95%. Contrairement au maïs, les fleurs mâles et femelles du sorgho se retrouvent au sommet de sa tige sous une panicule, ce qui rend la tige plus susceptible à la verse sous les conditions climatiques québécoises.

Le sorgho est plus efficace que le maïs dans le prélèvement de l'azote^{19,20}, ce qui pourrait être dû à sa plus grande proportion de racines fines (<0,5 mm de diamètre)²⁰ et à la capacité de son système racinaire à libérer des composés qui ralentissent la transformation de l'azote dans le sol (i.e. inhibiteurs de nitrification)¹⁷. Utilisé comme engrais vert en complément du sous-solage, le système racinaire du sorgho semble aussi lui conférer un avantage important dans l'amélioration des propriétés physiques du sol²¹.

Sorgho sucré



Appelé la canne à sucre du Nord, le sorgho sucré peut être utilisé autant comme fourrage pour les ruminants que pour la production de biocarburant. Toute la biomasse aérienne du sorgho sucré est récoltée. Il produit une sève riche en sucres solubles. Certains cultivars/hybrides très productifs et pouvant atteindre une hauteur de 4,5 mètres suscitent particulièrement l'intérêt de l'industrie pour la production d'éthanol. En effet, le sucre issu de la sève peut être fermenté en éthanol, qu'on dit de première génération. De plus, après extraction de la sève sucrée, la biomasse résiduelle riche en cellulose peut aussi être transformée en éthanol, dit de seconde génération.

Sorgho fourrager, herbe du Soudan et hybride sorgho-Soudan

Le sorgho fourrager, l'herbe de Soudan et le sorgho-Soudan sont différents types de sorgho destinés à la production de fourrage. Chacun présente des distinctions en lien avec leur régime de récolte et leur utilisation.

De nouveaux cultivars/hybrides de sorgho à nervures brunes (BMR pour *brown midrib*) arrivent depuis peu sur le marché. Ces derniers sont destinés au marché du fourrage et auraient une meilleure digestibilité et des valeurs énergétiques équivalentes au maïs ensilage. Toutefois, ils sont plus sensibles à la verse, car l'amélioration de la fibre s'est faite au détriment du contenu en lignine de la tige. Ils produisent aussi moins de talles, ce qui peut contribuer à réduire leur productivité^{11,15}.

Aux États-Unis, la production de sorgho fourrager est concentrée dans les régions où le maïs ensilage n'offre pas de rendement satisfaisant, en raison de températures trop élevées et de précipitations trop faibles et/ou irrégulières (i.e. Kansas, Texas, Nebraska). La production est toutefois limitée vers le Nord, car les cultivars/hybrides sont trop tardifs pour atteindre un rendement équivalent à celui du maïs ensilage.

Implantation

Choix du site

Bien qu'il y ait des cultivars/hybrides adaptés aux régions tempérées, le sorgho est une plante de climat chaud qui exige un minimum de chaleur pour bien s'implanter. Les essais réalisés au Québec ces dernières années tendent à démontrer qu'il faut au moins 2300 unités thermiques maïs (UTM) pour cultiver le sorgho.

Le sorgho préfère les sols légers ayant un drainage naturel efficace en surface et en profondeur¹⁴. Ces sols se réchauffent rapidement au printemps, favorisant une germination rapide de la culture et, par conséquent, une meilleure compétition face aux mauvaises herbes. Le sorgho tolère bien le manque d'eau. À ce titre, il exige 50 % moins d'eau que le maïs par unité de biomasse produite⁹. Bien que le sorgho tolère des sols dont le pH varie entre 5,0 et 8,5¹⁶, les rendements seront optimisés à un pH neutre.

Dans les régions plus chaudes (c.-à-d. plus de 2600 UTM), le sorgho peut être cultivé sur des sols à texture plus fine, comme un loam argileux, pour autant que ces sols soient bien structurés, égouttés et drainés¹⁶. L'incidence de verse du sorgho semble toutefois plus élevée sur des sols plus lourds que sur des sols plus légers¹¹.

Peu importe la région, il faut éviter les champs ayant une problématique de mauvaises herbes de type graminées annuelles. En effet, la gestion de ces graminées peut s'avérer difficile en l'absence d'herbicide homologué pour les éliminer. À ce sujet, il est préférable d'éviter les apports de fumier au printemps, qui peuvent compliquer la répression des graminées annuelles. Des détails supplémentaires sont présentés aux sections **Fertilisation** et **Gestion des mauvaises herbes**.

Choix des cultivars/hybrides

Au Canada, il y a peu de superficies cultivées en sorgho. Dès lors, la diversité des cultivars/hybrides est faible. Néanmoins, l'entreprise ontarienne AERC inc.² développe une gamme d'hybrides adaptés aux conditions tempérées du Canada. Ces derniers sont commercialisés par Semences MILO. Il est aussi possible de s'approvisionner aux États-Unis, où l'on retrouve une grande diversité de cultivars et non des hybrides (TABLEAU 1).

TABEAU 1. CARACTÉRISTIQUES AGRONOMIQUES DE DIVERS CULTIVARS ET HYBRIDES DE SORGHO

Cultivars (ou hybrides)	Maturité ^{4,5,11} (jours)	Résistance à <i>Colletotrichum</i> <i>graminicola</i> ⁵	Resistance à <i>Exserohilum</i> <i>turnicum</i> ⁵	Origine ^{2,5}
CSSH-45	120	Nd	Nd	Ontario
Dale	130	R	Nd	Mississippi
Della	124	R	Nd	Virginie
KN Morris	128	Nd	Nd	Kentucky
M81E	145	R	Nd	Mississippi
Orange	120	Nd	Nd	I
Simon	110	S	S	I
Sugardrip	117	S	S	I
Top 76-6	148	R	Nd	Mississippi/Géorgie
Umbrella	122	S	S	I

R = Résistant, S = Sensible, Nd = non documenté, I = inconnu

Semis

Contrairement au maïs, les plantules de sorgho ne tolèrent pas le gel. Ainsi, il est important d'effectuer le semis de manière à ce que l'émergence des plantules survienne après que le risque de gel soit passé, période qui varie entre la mi-mai et le début juin selon les régions. La température du sol à une profondeur de 2,5 cm (1 po) doit être idéalement de 12 °C pour effectuer le semis⁵. Il n'y a pas d'avantage à semer trop tôt, car le sorgho ne sera pas compétitif par rapport aux mauvaises herbes de type C₃. Il est important que le semis soit effectué avant la mi-juin, car les cultivars/hybrides adaptés à nos régions doivent être récoltés après le stade floraison pour le marché de l'éthanol (90 à 110 jours de croissance) ou au stade pâteux des grains pour l'ensilage (110 à 130 jours de croissance).

Comme la semence du sorgho est relativement petite, la préparation du lit de semences est similaire à celle faite pour les plantes fourragères, soit une base ferme, mais friable en surface. La base ferme favorise l'uniformité de la profondeur du semis et une bonne capillarité du sol. La surface friable du sol favorise un bon contact sol-semence. À ce titre, il est préférable de ne pas travailler le sol en profondeur avant le semis. Si tel est le cas, un rouleau crénelé, et non plat, peut être passé avant et après le semis, afin d'obtenir des conditions de semis et de germination favorables au sorgho.

Au Québec, le sorgho sucré est généralement cultivé à un espacement de 18 cm (7 pouces) entre les rangs et à un taux de semis variant entre 10 et 15 kg/ha^{8,18}. On utilise un semoir à céréales et le taux de semis doit être ajusté en fonction du pourcentage de germination de la semence, afin d'obtenir une population d'environ 40 plants/m². Cet espacement permet à l'entre-rang de se fermer plus rapidement et à la culture d'être un peu plus compétitive face aux mauvaises herbes. Le semis doit se faire à une profondeur de 2 à 2,5 cm (ou 3/4 po à 1 po).

Il y a encore de l'incertitude quant au bon taux de semis et au bon espacement de l'entre-rang à adopter dans le cas du sorgho sucré utilisé comme fourrage (sorgho sucré fourrager). Le sorgho sucré fourrager peut être semé à un écartement de 18, 38 ou 76 cm selon la disponibilité des équipements de semis et de récolte. Selon les essais du RPBQ, le fait de le cultiver à un espacement de 76 cm et à de plus faibles populations fait en sorte que les plants produisent plus de talles¹¹, et à priori plus de feuilles. Comme il y a plus de protéines dans les feuilles que dans les tiges, cet espacement pourrait être préférable pour le fourrage. Cependant, le plus grand nombre de tiges par plant ne compense pas la plus faible population par unité de surface. Le rendement demeure donc plus faible qu'à un écartement plus serré (TABLEAU 2).

Le TABLEAU 2 présente les principaux résultats d'un essai réalisé au CÉROM à Saint-Mathieu-de-Beloeil en 2015 sur le taux de semis et l'écartement du sorgho sucré¹¹. Les rendements maximums ont été obtenus lorsque le semis a été effectué avec un semoir à céréales ayant un espacement de 18 cm entre les rangs. Des rendements similaires, bien que légèrement inférieurs, ont été obtenus avec un écartement d'environ 38 cm. Toutefois, l'incidence de verse était significativement plus élevée avec un espacement de 18 cm qu'avec des espacements de 38 cm ou de 76 cm. Le rendement a diminué en moyenne de 25 % avec un espacement de 76 cm, par rapport aux espacements de 18 cm ou de 38 cm¹¹. D'autres essais effectués sur le sorgho sucré fourrager à différents sites au Québec et au Canada ont été mis en place avec un taux de semis de 15 kg/ha avec un espacement entre les

rangs de 18 cm³. Bien qu'aux États-Unis, l'espacement entre les rangs soit généralement de 76 cm, il semble qu'au Québec, le sorgho soit ensemencé à des taux variant entre 10 et 15 kg/ha, avec des espacements de 18 cm et à une profondeur de 2 à 2,5 cm (3/4 po à 1 po).

TABLEAU 2. HAUTEUR, VERSE ET RENDEMENT EN MATIÈRE SÈCHE (MS) DU SORGHO SUCRÉ EN FONCTION DE L'ENTRE-RANG

Entre-rang (cm)	Hauteur de la culture (cm)	Verse (1-9)	Rendement (kg MS/ha)
18	373	2,6 a	21 206 a
38	391	2,0 b	20 576 a
76	385	2,0 b	15 226 b

*Différentes lettres pour une même variable indiquent une différence significative à $p < 0,05$.

Fertilisation

Azote

Les recommandations d'engrais azotés varient en fonction du marché visé, qui influencera à son tour le stade de récolte de la culture. La fertilisation azotée peut être plus élevée pour la production de fourrage, mais plus faible pour la production d'éthanol (TABLEAU 3). Comme le sorgho devient particulièrement sensible à la verse à partir du stade anthèse (floraison), la dose d'azote doit être ajustée en fonction de cet aspect.

Pour le marché de l'éthanol, la fertilisation azotée optimale pour favoriser une grande production de sucres varie entre 80 et 90 kg N/ha¹⁸. La dose d'azote appliquée peut varier selon le précédent cultural, la fertilité des sols et la région climatique. De plus, la dose d'azote économiquement optimale, qui tient compte du prix de vente de la biomasse et du prix d'achat de l'azote, n'a pas été déterminée. On peut fractionner l'application d'azote, ce qui permet de réduire le risque que l'azote soit prélevé par les mauvaises herbes, particulièrement les graminées annuelles. Pour le sorgho sucré destiné à la production de fourrages, la recommandation de fertilisation azotée peut varier entre 105 et 130 kg N/ha^{7,18}.

TABLEAU 3. DOSE D'AZOTE À APPLIQUER EN FONCTION DU MARCHÉ

Marché	Dose d'azote (kg/ha)	Fractionnement	
Éthanol	80-90	50 % pré-semis incorporé	50 % stade quatre feuilles
Fourrage	105-130	50 % pré-semis incorporé	50 % stade quatre feuilles

Des données québécoises¹⁸ indiquent que le sorgho sucré donne des rendements plus élevés en biomasse, en sucres solubles et en éthanol lorsque fertilisé avec 80 kg/ha de nitrate d'ammonium calcique (CAN) qu'avec un lisier de porc ou de vache laitière apportant 80 kg d'azote total. Il est donc recommandé, pour la fertilisation du sorgho, d'ajuster les doses d'application des amendements organiques en fonction de l'azote disponible et non en fonction de l'azote total.

De nombreuses observations terrain (RPBQ) laissent croire qu'il est préférable d'éviter les champs où il y a eu apport de fumier solide au printemps. Ce type d'amendement augmente l'incidence de verse en fin de saison en raison d'une minéralisation élevée de l'azote. De plus, un fumier frais rend la gestion des graminées annuelles difficile, étant donné qu'il n'y a pas encore d'herbicide homologué contre celles-ci.

Si l'application de lisier s'effectue à l'automne précédant le semis, l'apport en azote ne doit pas excéder 50 % de la dose recommandée. Dans un tel cas, le second 50 % doit être appliqué au stade quatre feuilles, afin de ne pas favoriser les mauvaises herbes en début de saison de croissance. Par contre, si les doses sont assez élevées (130 kg N/ha) et que le champ ne présente pas de problématique de mauvaises herbes, il est possible de fractionner l'application d'azote avec un apport de lisier à l'automne et des applications d'engrais azoté au semis et au stade quatre feuilles.

Phosphore et potassium

La fertilisation proposée en phosphate (P_2O_5) et en potassium (K_2O) doit suivre les grilles de recommandations du CRAAQ pour les cultures de sorgho-soudan (CRAAQ, 2010)². Elle doit être ajustée selon l'analyse de sol et sera appliquée et incorporée en totalité avant le semis.

Phytoprotection

Gestion des mauvaises herbes

Dans la culture de sorgho, la gestion des mauvaises herbes est primordiale. En effet, le sorgho est lent à émerger et peut prendre du temps avant d'atteindre le stade quatre feuilles. C'est seulement après avoir atteint ce stade que la culture croît plus rapidement et devient plus compétitive.

Le choix du site est le premier facteur à considérer afin de mettre toutes les chances de son côté. Les champs ayant une problématique de graminées annuelles sont donc à éviter. Il est possible d'effectuer un semis direct sur un retour de cultures annuelles ayant peu de résidus au sol, de sorte qu'on ne retarde pas le réchauffement du sol et du même coup le semis. Le semis direct permet d'éviter de stimuler la germination des graminées annuelles.

Avant le semis

Considérant que le semis se réalise au plus tôt dans la dernière semaine de mai pour les régions du sud du Québec, la culture du sorgho se prête bien à la technique du faux-semis. Une période latente de deux semaines entre les interventions mécaniques contribue à réprimer les mauvaises herbes¹³. Si la destruction est mécanique, chaque passage d'outil aratoire doit obligatoirement être moins profond ou équivalent au précédent, afin d'éviter la remontée et la germination de nouvelles graines. La destruction chimique des plantules, plutôt que mécanique, est une autre avenue possible. Un herbicide non sélectif limite le brassage du sol, qui contribue à la germination de nouvelles graines de mauvaises herbes issues de la banque du sol¹³.

En post-levée

Au besoin, un traitement herbicide en post-levée permettra de réprimer les dicotylédones annuelles (ou feuilles larges annuelles). Il faut utiliser un herbicide homologué et consulter l'étiquette de l'herbicide pour connaître les modalités d'applications, disponible via le site [Sage pesticides](#). Les produits Peak, Pardner et Basagran Forte sont homologués contre certaines mauvaises herbes annuelles à feuilles larges dans la culture du sorgho.

Gestion des insectes ravageurs

Le contrôle des insectes ravageurs n'est pas un enjeu majeur pour le sorgho sucré. Il est la cible des mêmes insectes ravageurs que le maïs-grain, mais de manière moins importante⁶. Son niveau de tolérance pour la majorité des insectes défoliateurs est très élevé. Par contre, les ravageurs qui s'attaquent à la tige contribuent à augmenter l'incidence de verse de la culture. Selon le degré de verse et de l'enchevêtrement des tiges au sol, la récolte pourrait alors se complexifier.

Ravageur des tiges

Le principal ravageur des tiges observé dans le sud du Québec est la pyrale du maïs (*Ostrinia nubilalis* Hbn.). Sa larve est connue pour creuser des galeries dans les tiges des plantes. Les tiges, ainsi affaiblies, cassent facilement lors de vents plus ou moins forts. Elles s'affaissent sur d'autres tiges, qui deviennent à leur tour plus sensibles à la verse. L'importance de la verse va ultimement influencer le degré de difficulté de la récolte. Bien que les moyens de lutte développés dans les cultures de maïs sucré puissent être utiles pour le sorgho, tels que l'utilisation de parasitoïdes (trichogrammes), il est important de tenir compte du coût de ces méthodes biologiques de contrôle.

Ravageurs des semis

Le dépistage permet de révéler la présence de vers fil-de-fer, de tipules des prairies, de diverses espèces de vers-gris, de vers blancs et de mouches des semis. Ces ravageurs sont généralement occasionnels et les dommages causés justifient rarement une intervention. Le [Guide des ravageurs de sol en grandes cultures](#) est l'outil idéal pour identifier facilement les organismes s'attaquant aux grandes cultures en début de saison de croissance. Il fournit également les informations nécessaires pour établir une stratégie de gestion intégrée des ravageurs de sol en grandes cultures.

Gestion des maladies

Depuis une dizaine d'années, la majorité des cultivars/hybrides de sorgho commercialement disponibles sont résistants aux principales maladies. Des taches foliaires peuvent être observées, mais elles sont sans grandes conséquences. Les deux principales maladies sont l'antracnose [*Colletotrichum graminicola*¹] et le dessèchement [*Exserohilum turcicum*¹]. Le TABLEAU 1 présente la résistance des cultivars/hybrides commercialement disponibles et évalués au Québec.

Antracnose [*Colletotrichum graminicola*]

Tout comme chez le maïs, *C. graminicola* provoque deux types de symptôme distincts, soit la phase brûlure des feuilles et la phase pourriture des tiges. La phase brûlure des feuilles se manifeste d'abord sous la forme de petites taches ovales imbibées d'eau, qui peuvent se réunir et couvrir la feuille entière. La pourriture des tiges peut aussi causer la mort de la partie supérieure de la plante. L'infection peut survenir à tout moment au cours de la saison de végétation, mais elle est plus fréquente après la floraison. Les symptômes de la pourriture des tiges débutent par des stries brun foncé à noires sur la tige. Ces stries s'élargissent pour prendre une forme ovale jusqu'à couvrir l'ensemble de l'entre-nœud. La tige est alors affaiblie et la plante est plus sujette à la verse.

C. graminicola survit sur les résidus de culture infestés et sur les semences. Le champignon infecte les plantes par les racines ou les tiges. Les spores sont transportées jusqu'aux feuilles et tiges par les éclaboussures de pluie et les blessures peuvent servir de points d'entrée. L'antracnose est favorisée par temps pluvieux et humide, en monoculture et dans un système de travail réduit ou minimal du sol.

Bien que l'antracnose ait rarement causé suffisamment de dégâts par le passé pour justifier une intervention, la maladie prend de l'expansion au Canada. Différents moyens peuvent être employés pour réduire l'incidence de cette maladie: l'élimination des résidus de culture infestés par une rotation avec des cultures non-hôtes; l'enfouissement des résidus par le labour lorsque la rotation n'est pas possible; l'utilisation de cultivars ou d'hybrides résistants; et l'utilisation d'une semence saine.

Dessèchement [Exserohilum turcicum]

E. turcicum figure parmi les maladies foliaires du maïs et autres cultures apparentées les plus dévastatrices au Canada. À l'instar d'autres maladies foliaires, *E. turcicum* peut prédisposer les plantes infectées à la pourriture de la tige. En général, les lésions vert-grisâtre se manifestent d'abord dans les feuilles inférieures. Longues et elliptiques, elles peuvent fusionner et tuer la feuille entière. Les lésions se manifestent souvent sous forme de cercles concentriques donnant l'aspect d'une cible à la tache.

Les spores sont produites dans les lésions et peuvent infecter à nouveau l'hôte et ainsi provoquer le cycle secondaire de la maladie. Au sud-ouest de l'Ontario et au sud du Québec, *E. turcicum* survit l'hiver dans les débris de culture infestés. Au printemps, le vent transporte aussi des spores en provenance des États-Unis. La maladie se manifeste plus gravement lors de périodes prolongées de temps frais et humide (rosées abondantes), dans des systèmes de travail réduit ou minimal du sol et en l'absence de rotation avec des cultures non-hôtes.

Il est donc possible de limiter l'apparition de la maladie en début de saison en utilisant une rotation adéquate des cultures ou en enfouissant les débris de culture par le labour lorsque la rotation n'est pas possible.

Méthodes de récolte et entreposage

Marché de l'éthanol

L'avantage du sorgho sucré pour la production d'éthanol repose sur sa richesse en sucres facilement fermentescibles. La récolte peut commencer dès le stade anthèse (90 à 110 jours de croissance) et se poursuivre jusqu'avant un gel mortel, stade où la teneur en sucres solubles dans la sève est maximale. Après un gel mortel, jusqu'à 25 %¹² de la concentration maximale en sucres peut être perdue en moins de 7 jours.

Selon la méthode de récolte utilisée, les sucres dans la sève peuvent se dégrader rapidement, réduisant ainsi la valeur commerciale. Afin de préserver l'intégrité des sucres, il faut préserver l'intégrité des tiges. Une bonne préservation des tiges limite la dégradation des sucres pour une période pouvant aller jusqu'à 14 jours après la fauche⁸. Durant cette période, la biomasse peut être déplacée vers une bioraffinerie afin d'y être convertie en éthanol.

Le jour de la fauche, les tiges doivent être coupées à 10 cm du sol (4 po) et placées en andains. Les tiges ne doivent pas être conditionnées. Elles pourront néanmoins être laissées au champ pour une période maximale de 24 heures, afin de réduire légèrement leur taux d'humidité. Selon des observations sur le terrain, lorsque le temps entre la fauche et la récolte est trop long (c.-à-d. 2 à 4 jours), l'humidité élevée de la biomasse contribue à son propre affaissement dans l'andain. Ceci a pour effet de réduire la quantité de matériel pouvant être récoltée par la machinerie et, du même coup, les rendements. Après cette période de 24 heures, les tiges peuvent être pressées en balles rondes. Il ne faut pas utiliser de *rotocut* sur la presse ni de presses à balles carrées. Pour une meilleure tenue des balles, il est préférable d'utiliser des filets plutôt que de la corde. Comme le sorgho sera rapidement converti, il n'est pas nécessaire d'enrober les balles. Les fourragères rotatives (de type Klaus) seront plus efficaces pour récolter du matériel versé.

Marché du fourrage

Les cultivars/hybrides adaptés à nos régions doivent être récoltés après le stade pâteux des grains pour l'ensilage (110 à 130 jours de croissance). Avant ce stade, le taux d'humidité sera trop élevé et l'ensilage risquerait de geler durant l'hiver si l'entreposage était effectué dans des boudins (*Ag-Bag*). Étant donné le taux élevé d'humidité du matériel, il est préférable de le conserver dans des silos-couloirs (*bunker*). L'utilisation de silos verticaux est à proscrire.

Rendements

Au Québec, le potentiel de rendement en biomasse sèche du sorgho, sucré ou fourrager, varie en fonction des UTM, de l'hybride cultivé et des conditions de sol. Le TABLEAU 4 présente la performance agronomique des différents cultivars et hybrides de sorgho sucré évalués en 2015 sur les fermes expérimentales de l'Université Laval, à Saint-Augustin-de-Desmaures (2507-2766 UTM)⁴, et du CÉROM, à Saint-Mathieu-de-Beloeil (3027-3286 UTM)⁴. Ces résultats expriment l'importance des UTM sur le rendement moyen en matière sèche, les régions plus chaudes étant favorisées. Toutefois, la texture du sol influence le risque de verse. Il y a aussi des cultivars/hybrides qui sont plus sensibles que d'autres à la verse et ce ne sont pas nécessairement les plus productifs ou les plus grands (TABLEAU 4). Noter que le taux de matière sèche du sorgho à la récolte (en moyenne entre 25 et 28 %) est légèrement inférieur à celui du maïs (généralement d'environ 30 %).

TABLEAU 4. PERFORMANCE AGRONOMIQUE DU SORGHO SUCRÉ À SAINT-AUGUSTIN-DE-DESMAURES ET À SAINT-MATHIEU-DE-BELOEIL (2015)

Cultivar (Hybride)	Hauteur (cm)	Verse (0-9)	Brix (%)	Matière sèche (%)	Rendement (kg MS/ha)
Saint-Augustin-de-Desmaures					
(CSSH 122)	275 bc*	0	16,1 a	26,7 b	12810 b
(CSSH 144)	205 d	0	14,7 ab	29,8 a	12080 b
Dale	-	-	-	-	-
Della	313 b	0	11,9 c	23,6 c	16028 b
KN Morris	282 bc	0	11,2 cd	20,7 d	12602 b
Orange	267 c	0	11,8 c	21,8 cd	13881 b
Simon	258 c	0	13,8 b	23,5 c	13184 b
Sugar Drip	-	-	-	-	-
T6	354 a	0	9,7 d	25,7 b	21942 a
Moyenne	279	0	12,7	24,5	14647
Saint-Mathieu-de-Beloeil					
Dale	293 bc	3,0 bcd	12,5 abcd	22,3 bc	12005 c
Della	293 bc	4,5 ab	12,2 bcd	23,0 bc	19203 bc
KN Morris	303 bc	2,8 bcd	12,9 abc	24,3 abc	25983 ab
Orange	290 bc	3,8 bc	14,8 a	24,0 abc	22037 bc
Simon	280 bc	4,8 ab	14,5 ab	25,0 ab	20496 bc
Sugar Drip	277 bc	1,8 cd	12,0 bcd	21,3 bc	14470 c
T6	450 a	1,5 d	10,0 d	28,0 a	35057 a
Umbrella	270 c	6,0 a	13,6 abc	20,3 c	20107 bc
Moyenne	307	3,5	12,8	23,5	21170

* Les différentes lettres entre les traitements indiquent une différence significative à $p < 0,05$; les comparaisons doivent être effectuées à l'intérieur d'une même variable.

Brix : indication du pourcentage (%) de sucres solubles; L'intensité de la verse (0-9) est de nulle (0) à totale (9).

Budgets de production

Budget sorgho sucré à l'hectare pour le marché de l'éthanol

Un budget de production du sorgho sucré pour le marché de l'éthanol a été développé à partir de données d'essais réalisés au Québec ces dernières années (ANNEXE 1). Pour un rendement moyen de 43 t/ha à 28 % de matière sèche (12 t MS/ha), le total des débours est de 895 \$/ha ou de 21 \$/tonne de biomasse humide. La marge des produits sur les débours est de 717 \$/ha dans l'optique où le prix de vente du sorgho sucré est basé sur 133 \$/t MS, soit le prix pour le maïs ensilage donné par le système collectif d'assurance récolte en 2017¹⁰.

Budget sorgho sucré à l'hectare en silo-couloir pour le marché de l'alimentation d'animaux d'élevage

Un budget de production du sorgho sucré pour la filière agroalimentaire a été développé à partir de données d'essais réalisés au Québec ces dernières années (ANNEXE 2). Pour un rendement moyen de 43 t/ha à 28 % de matière sèche (12 t MS/ha), le total des débours est de 867 \$/ha ou de 20 \$/tonne de biomasse humide. La marge des produits sur les débours est de 744 \$/ha dans l'optique où le prix de vente du sorgho sucré est basé sur 133 \$/t MS, soit le prix pour le maïs ensilage donné par le système collectif d'assurance récolte en 2017¹⁰.

Références

1. Agriculture et Agroalimentaire Canada. 2006. Profil de la culture du maïs de grande culture au Canada. 63 pages. http://publications.gc.ca/site/archivee-archived.html?url=http://publications.gc.ca/collections/collection_2009/agr/A118-10-13-2006F.pdf (page consultée le 29 novembre 2016).
2. AERC (Agriculture Environmental Renewal Canada). Canadian sweet sorghum hybrid. <http://aerc.yolasite.com/> (page consultée le 23 novembre 2016).
3. Alix, H., Tremblay, G.F., Seguin, P. et al. 2017. Le sorgho et le millet perlé sucrés comme alternatives potentielles au maïs fourrager au Canada. CRAAQ. Journée d'information scientifique sur les bovins laitiers et les plantes fourragères. 5 pages. <https://www.agrireseau.net/documents/95256/le-sorgho-et-le-millet-perle-sucres-comme-alternatives-potentielles-au-mais-fourrager-au-canada?s=378&p=185&r=> (page consultée le 23 mars 2018).
4. Atlas agroclimatique du Québec. 2013. Moyenne du cumul des unités thermiques maïs (UTM). http://www.agrometeo.org/pdf/MOY_Long_1979_2008.pdf (page consultée le 1^{er} décembre 2016).
5. Bitzer, M.J. 1997. Production of sweet sorghum for syrup in Kentucky. University of Kentucky, Cooperative Extension Service, Bulletin AGR-122. 4 pages.
6. Butin, D.G. 2012. Grain sorghum insect pests and their management. University of Georgia, Cooperative Extension Bulletin 1283. 8 pages.
7. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ). 2010. Guide de référence en fertilisation. 2^{ème} édition. CRAAQ, Québec.
8. Crépeau, M., Khelifi, M., Vanasse, A., Bertrand, A., Aider, M., Seguin, P. 2017. Impact of storage time on the juice and sugars extracted from chopped and whole stalk sweet pearl millet and sweet sorghum biomass. *Bioenerg. Res.* 10:74-85. doi:10.1007/s12155-016-9777-4.
9. Dante, R.A., Cristofolletti, P.T., Gerhardt, I.R. 2010. Engineering advantages, challenges and status of sugarcane and other sugar-based biomass resources. p. 87-103. Dans : P.N. Mascia, J. Scheffran et J.M. Widholm (éd.), *Plant biotechnology for sustainable production of energy and co-products*. Springer, New York.
10. Financière Agricole du Québec. Assurance récolte, prix unitaires 2017. <https://www.fadq.qc.ca/fileadmin/fr/statistiques/assurance-recolte/prix-unitaires-2017.pdf> (page consultée le 3 mars 2018).

11. Lalonde, O., Ghyslain, T., Lavoie, J.M., Vanasse, A. 2015. Mesure de la verse, du rendement et de la teneur en sucre du sorgho sucré en fonction de l'écartement et du taux de semis. RPBQ. Données publiées.
12. Lalonde, O., Bertrand, A., Tremblay, G.F., Brégar, A., Séguin, P., Vanasse, A. 2015. Mesure de la teneur en sucre du sorgho sucré en fonction du temps. RPBQ. Données publiées.
13. Leblanc, M., Cloutier, D. 1996. Effet de la technique du faux-semis sur la levée des adventices annuelles. Ann. Assoc. Nat. Prot. Pl. 10:29-34.
14. Mask, P.L., Morris, W.C. 1991. Sweet sorghum culture and syrup production. Alabama Cooperative Extension System (ACES), publication ANR-625. <http://www.aces.edu/pubs/docs/A/ANR-0625/ANR-0625.pdf> (page consultée le 29 mars 2018).
15. Pederson, J.F., Vogel, K.P., Funnell, D.L. 2005. Impact of reduced lignin on plant fitness. Crop Sci. 45:812-819.
16. Smith, C.W., Frederiksen, R.A. 2000. Sorghum: Origin, history, technology, and production. John Wiley and Sons, New York. 840 pages.
17. Subbarao, G.V., Nakahara, K., Ishikawa, T., Ono, H., Yoshida, M., Yoshihashi, T., et al. 2013. Biological nitrification inhibition (BNI) activity in sorghum and its characterization. Plant Soil 366:243–259. doi:10.1007/s11104-012-1419-9
18. Thivierge, M.-N., Chantigny, M.H., Bélanger, G., Seguin, P., Bertrand, A., Vanasse, A. 2015a. Response to nitrogen of sweet pearl millet and sweet sorghum grown for ethanol in eastern Canada. Bioenerg. Res. 8:807-820. doi:10.1007/s12155-014-9558-x
19. Thivierge, M.-N., Chantigny, M.H., Seguin, P., Vanasse, A. 2015b. Sweet pearl millet and sweet sorghum have high nitrogen uptake efficiency under cool and wet climate. Nutr. Cycl. Agroecosyst. 102:195-208. doi:10.1007/s10705-015-9689-2
20. Thivierge, M.-N., Angers, D.A., Chantigny, M.H., Seguin, P., Vanasse, A. 2016. Root traits and carbon input in field-grown sweet pearl millet, sweet sorghum, and grain corn. Agron. J. 108:459-471. doi:10.2134/agronj2015.0291
21. Weill, A. 2012. Amélioration des sols (engrais verts, décompactage, rotation). CETAB+. Colloque sur la pomme de terre 2012. Lévis, P.Q., 23 nov. 2012. http://www.cetab.org/system/files/publications/2012-11-23_colloque_patates7.pdf

ANNEXE 1. BUDGET DU SORGHO SUCRÉ À L'HECTARE POUR LE MARCHÉ DE L'ÉTHANOL

BUDGET SORGHO SUCRÉ ÉNERGIE 2018 L'HECTARE						
Réalisé par Guy Beauregard et Olivier Lalonde, agronomes						2015-03-27
ITEM	QTÉ	PRIX	UNITÉ	COÛTS	DÉBOURS	LE VÔTRE
A- PRODUITS				TOTAUX		
Ensilage 28 % m.s. (t) (1)	43	37,24 \$	1	1 596,00 \$	1 596,00 \$	-----
Agri-investissement	1 532 \$	1,0%		15,32 \$	15,32 \$	-----
Total				1 611,32 \$	1 611,32 \$	-----
B- DÉBOURS						
1- Approvisionnements:						
Semence (kg/ha)	10	160 \$	25	64,00 \$	64,00 \$	-----
Fertilisation (80-50-75) (2)						
0-0-60 (kg/ha)	125	695 \$	1000	86,88 \$	86,88 \$	-----
18-46-0 (kg/ha)	110	804 \$	1000	88,44 \$	88,44 \$	-----
27,5-0-0 (kg/ha)	220	648 \$	1000	142,56 \$	142,56 \$	-----
Pierre à chaux calcique (t)	0,5	40,80 \$	1	20,40 \$	20,40 \$	-----
Herbicide:						
PARDNER (l)	1	191,11 \$	8	23,89 \$	23,89 \$	-----
Total approvisionnements				426,16 \$	426,16 \$	-----
2- OPÉRATIONS CULTURALES (3)				À FORFAIT	Coûts variables	
Charrue semi-portée (loam)				93,87 \$	49,52 \$	-----
Cultivateur (1 er passage)				21,06 \$	10,40 \$	-----
Cultivateur (2 ième passage)				17,38 \$	8,22 \$	-----
Épandage engrais min. (tracteur seul)		2	fois	11,76 \$	5,12 \$	-----
Semoir à céréales				43,36 \$	19,14 \$	-----
Rouleau		1	fois	15,37 \$	5,98 \$	-----
Pulvérisateur remorqué- 60 pi.		1	fois	10,32 \$	4,52 \$	-----
Faucheuse à disques		1	fois	31,89 \$	16,09 \$	-----
Presse balles rondes (20 balles/h)		6,6		33,89 \$	17,87 \$	-----
Chargeur frontal (30 balles/h)		6,6		16,30 \$	8,05 \$	-----
Transport- plateforme 9 m			6,6	21,43 \$	10,22 \$	-----
Déchargeur frontal (40 balles/h)			6,6	12,23 \$	6,04 \$	-----
Transport au point de vente (3)			6,6	92,31 \$	92,31 \$	-----
Total opérations culturales sans système de guidage				421,17 \$	253,47 \$	-----
3- AUTRES FRAIS						
Assur-récolte collec. 85 %		- \$	0,0%	- \$	- \$	-----
Main-d'œuvre salarié (h)		5	18,00 \$		90,00 \$	-----
Location de terre (ha)	10 000 \$	3%		300,00 \$	- \$	-----
Entretien terre & taxes foncières			mois	67,00 \$	92,50 \$	-----
Intérêts ouverture crédit	862 \$	5,0%	9	32,33 \$	32,33 \$	-----
Total				399,33 \$	214,83 \$	-----
TOTAL DES DÉBOURS (B)				1 246,66 \$	894,46 \$	-----
C- MARGE PRODUITS SUR DÉBOURS (A-B)				364,66 \$	716,86 \$	-----
D- DÉBOURS LA TONNE	Moyenne:	24,98 \$		29,09 \$	20,87 \$	-----

- (1) Basé sur 133 \$ la tonne de matière sèche du maïs ensilage du système collectif d'assurance récolte en 2017;
- (2) Fertilisation : engrais minéral fractionné 50 %/50 % au semis et au tallage;
- (3) Les coûts moyens des opérations culturales sont calculés à partir du feuillet « Machinerie, coûts d'utilisation et taux à forfait suggérés », Agdex 740/825, CRAAQ, août 2014. Le coût du carburant diesel est à 1,00 \$ le litre.

**ANNEXE 2. BUDGET DU SORGHO SUCRÉ EN SILO-COULOIR POUR LE MARCHÉ DE
L'ALIMENTATION D'ANIMAUX D'ÉLEVAGE**

BUDGET SORGHO SUCRÉ 2018 L'HECTARE SILO-COULOIR						
Réalisé par Guy Beauregard et Olivier Lalonde, agronomes						2015-03-27
ITEM	QTÉ	PRIX	UNITÉ	COÛTS	DÉBOURS	LE VÔTRE
A- PRODUITS				TOTAUX		
Ensilage 28 % m.s. (t) (1)	43	37,24 \$	1	1 596,00 \$	1 596,00 \$	-----
Agri-investissement	1 532 \$	1,0%		15,32 \$	15,32 \$	-----
Total				1 611,32 \$	1 611,32 \$	-----
B- DÉBOURS						
1- Approvisionnements:						
Semence (kg/ha)	10	160 \$	25	64,00 \$	64,00 \$	-----
Fertilisation (80-50-75) (2)						
Lisier ferme automne (m³)	35	Automne (56-81-56)		- \$	- \$	-----
0-0-60 (kg/ha)	40	695 \$	1000	27,80 \$	27,80 \$	-----
46-0-0 (kg/ha)	117	675 \$	1000		78,98 \$	-----
27,5-0-0 (kg/ha)	182	648 \$	1000	117,94 \$	117,94 \$	-----
Pierre à chaux calcique (t)	0,5	40,80 \$	1	20,40 \$	20,40 \$	-----
Herbicide:						
PARDNER (l)	1	191,11 \$	8	23,89 \$	23,89 \$	-----
Total approvisionnement				254,02 \$	333,00 \$	-----
2- OPÉRATIONS CULTURALES (3)				À FORFAIT	Coûts variables	
Charrue semi-portée (loam)				93,87 \$	49,52 \$	-----
Brassage & chargement (m³)		35	0,45 \$	30,45 \$	15,75 \$	-----
Épandage (m³)		35	1,57 \$	109,20 \$	54,95 \$	-----
Cultivateur (1 ^{er} passage)				21,06 \$	10,40 \$	-----
Cultivateur (2 ^{ième} passage)				17,38 \$	8,22 \$	-----
Épandage engrais min. (tracteur seul)		2	fois	11,76 \$	5,12 \$	-----
Semoir à céréales				43,36 \$	19,14 \$	-----
Pulvérisateur remorqué- 60 pi.		1	fois	10,32 \$	4,52 \$	-----
Faucheuse à disques		1	fois	31,89 \$	16,09 \$	-----
Fourragère tractée		1	fois	72,43 \$	38,25 \$	-----
Wagons 3-19 pi. - 2 chargements/h			1	86,87 \$	50,19 \$	-----
Souffleur			1	34,23 \$	16,37 \$	-----
Total opérations culturales sans système de guidage				562,82 \$	288,52 \$	-----
3- ENTREPOSAGE-MARKETING						
Silo-couloir	42,9	1,10 \$	1	171,00 \$	47,14 \$	-----
4- AUTRES FRAIS						
Assur-récolte collec. 85 %	17,6	110 \$	1,3%	21,45 \$	21,45 \$	-----
Main-d'œuvre salarié (h)		5	18,00 \$		90,00 \$	-----
Location de terre (ha)	6 000 \$	3%		180,00 \$	- \$	-----
Entretien terre & taxes foncières			mois	40,20 \$	55,50 \$	-----
Intérêts ouverture crédit	836 \$	5,0%	9	31,34 \$	31,34 \$	-----
Total				272,99 \$	198,29 \$	-----
TOTAL DES DÉBOURS (B)				1 260,83 \$	866,95 \$	-----
C- MARGE PRODUITS SUR DÉBOURS (A-B)				350,49 \$	744,37 \$	-----
D- DÉBOURS LA TONNE	Moyenne:	24,82 \$		29,42 \$	20,23 \$	-----

- (1) Basé sur 133 \$ la tonne de matière sèche du maïs ensilage du système collectif d'assurance récolte en 2017;
- (2) Fertilisation : lisier d'automne et engrais minéral fractionné 50 %/50 % au semis et au tallage;
- (3) Les coûts moyens des opérations culturales sont calculés à partir du feuillet « Machinerie, coûts d'utilisation et taux à forfait suggérés », Agdex 740/825, CRAAQ, août 2014. Le coût du carburant diesel est à 1,00 \$ le litre.