

RÉSEAU DES PLANTES BIO-INDUSTRIELLES Rapport final 2019-2020



14 février 2020

Rédaction du rapport

Snizhana Olishevska, Ph.D.

Coordonnatrice du Réseau des plantes bio-industrielles du Québec, Centre de recherche sur les grains (CÉROM) inc.

Coordonnatrice de l'atelier des graminées pérennes

Huguette Martel, agr.

Conseillère en plantes fourragères et plantes pérennes à des fins bio-industrielles, MAPAQ-Estrie

Coordonnateur de l'atelier des saules à croissance rapide :

Michel Labrecque, Professeur

Institut de recherche en biologie végétale (IRBV)

Collaborateurs

Philippe Seguin, Professeur

Université McGill

Caroline Halde, Professeure

Université Laval

Julie Lajeunesse, Chercheuse

Agriculture et Agroalimentaire Canada

Céline Georlette, Chercheuse

Centre de développement bioalimentaire du Québec Inc.

Marjolaine Bernier-Leduc, agr.

MAPAQ-Gaspésie

Alice Chagnon

Conseillère en développement des entreprises agroalimentaires, Centre local de développement Abitibi

Robert Langlois, Contremaître

Pépinière municipale, Ville de Boisbriand

Roger Samson, Directeur

R.E.A.P.-Canada

Antoine Dionne, M. Sc.

Laboratoire d'expertise et de diagnostic en phytoprotection, MAPAQ

Alexis Latraverse, M. Sc.

Professionnel de recherche en entomologie, CEROM

Responsable du Centre de recherche

Gabriela Martinez, Directrice générale, Centre de recherche sur les grains inc. CÉROM

Centre de recherche sur les grains inc. CÉROM

740, chemin Trudeau, Saint-Mathieu-de-Beloeil, QC, CANADA, J3G 0E2

Tél. : 450 464-2715

Télec. : 450 464-8767

www.cerom.qc.ca

Le rapport peut être cité comme suit : Olishevska S. 2020. Rapport final des activités 2019-2020 du Réseau des Plantes Bio-industrielles du Québec. CÉROM. Saint-Mathieu-de-Beloeil. 73 pages.

La réalisation des activités du RPBQ présentées dans ce rapport est soutenue financièrement par le Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ)

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	5
Objectif	6
Matériel et Méthodes	6
Sites d'études et choix des cultivars	6
Atelier des saules à croissance rapide	6
Atelier des graminées pérennes	7
Panic érigé	7
Miscanthus géant	10
Site de Stratford	10
Protocole expérimental de la saison 2019-2020	11
Entretien des sites	12
Fertilisation	12
Contrôle des mauvaises herbes	14
Chaulage	16
Site de Stratford	17
RÉSULTATS DE LA SAISON DE CROISSANCE 2019	18
Atelier des graminées pérennes	18
Miscanthus géant : comparaison du rendement en fonction de la période de récolte	18
Maladies fongiques et ravageurs du panic érigé	21
Dépistage de <i>Tilletia maclaganii</i> sur le panic érigé	21
Détection de Cécidomyies du panic érigé	24
Panic érigé	26
Semis 2011 et 2012	26
Site de Stratford	30
Nouvelles sélections de panic érigé mises à l'essai	32
Semis 2015	32
Semis 2016	36
Atelier saule à croissance rapide	40

Dépistage des ravageurs du saule	40
Dépistage des maladies fongiques du saule	48
PUBLICATION ET TRANSFERT DE CONNAISSANCES DU RPBQ	55
AVANCEMENT DANS LE DÉVELOPPEMENT DE LA CHAÎNE DE VALEUR POUR LES PLANTES BIO-INDUSTRIELLES	56
Biomatériaux	56
Mise en forme des composites à matrice biosourcée issus de PE et de MG	57
Panneaux isolants	59
Développement de produits thermomoulés recyclables et biodégradables	59
Biocarburants	60
Bioproduits (biochar et vinaigre de bois) issus de la pyrolyse de PE	61
Produits chimiques biosourcés à haute valeur ajoutée	63
CONCLUSION	67
RÉFÉRENCES	68

INTRODUCTION

Selon le mandat que le MAPAQ a confié au CÉROM en 2010, le Réseau des plantes bio-industrielles du Québec (RPBQ) en collaboration avec des producteurs, des sélectionneurs, des chercheurs et des conseillers agricoles travaille activement sur l'étude et la documentation du potentiel agronomique de nouvelles cultures telles que le panic érigé (PE), le miscanthus géant (MG) et le saule à croissance rapide (SCR) utilisées comme intrants dans la conception de bioproduits industriels variés.

Ces cultures présentent un avantage certain en raison de leur longévité de production (10-25 ans) [1-6], de leur rendement (10-25 tonne ha⁻¹ an⁻¹) [1-3, 5, 6], de leur fort potentiel énergétique (20 MJ/kg) [1, 7] et de la séquestration de carbone [6, 8-10] en réduisant les émissions de gaz à effet de serre (GES).

Contrairement aux cultures annuelles, le SCR et les graminées pérennes requièrent peu d'intrants et d'intervention pour leur établissement, leur croissance et leur entretien [5, 6, 11-13].

De plus, ces cultures peuvent être exploitées avec des approches plus respectueuses de l'environnement. Leur culture n'implique pas la destruction des forêts indigènes donc amoindrissent les effets négatifs sévères sur la séquestration du carbone [14] et la biodiversité [6, 15, 16]. En outre, ces plantes sont résilientes aux stress abiotique et biotique. Elles possèdent une grande adaptabilité aux différents types de sol et aux climats de diverses zones pédoclimatiques y compris les terres agricoles marginales et abandonnées [3, 5, 7].

Considérant ces divers avantages économiques et environnementaux, le SCR et les graminées pérennes, telles que le PE et le MG, présentent des voies de valorisation prometteuses dans la bioraffinerie et dans les biomatériaux, en plus de présenter des débouchés à haute valeur ajoutée et durables dans le temps.

Ce rapport final résume les activités du RPBQ pour la saison 2019-2020 et présente des perspectives de développement du marché potentiel pour les plantes bio-industrielles mentionnées ci-haut.

Objectif

L'objectif principal de cette étude consiste à poursuivre l'évaluation agronomique, le dépistage des ravageurs et des maladies fongiques des graminées pérennes et de saule à croissance rapide sur les cinq sites expérimentaux ainsi qu'une ferme commerciale.

Matériel et Méthodes

Sites d'études et choix des cultivars

Atelier des saules à croissance rapide

Trois cultivars de *Salix miyabeana* SX61, SX64 et SX67, *Salix viminalis* 5027 et *Salix dasyclados* SV1 ont été choisis pour cette étude (Tableau 1).

Tableau 1. Caractéristiques de divers cultivars de SCR.

Cultivar	Espèce	Origine	Fournisseur
SV1	<i>Salix dasyclados</i> Wimm.	Europe-Asie	Ministère des Richesses naturelles et des Forêts, ON
SV5027	<i>Salix viminalis</i> L.	Europe	Ministère des forêts, de la Faune et des Parcs, QC
SX61	<i>Salix miyabeana</i> Seeman	Asie	Université de Toronto, ON
SX64	<i>Salix miyabeana</i> Seeman	Asie	Université de Toronto, ON
SX67	<i>Salix miyabeana</i> Seeman	Asie	Université de Toronto, ON

En 2011, huit sites ayant un climat différent avaient été sélectionnés à travers le Québec afin de comparer le rendement de divers cultivars de SCR ayant un cycle de récolte de 3 ans vs un cycle de récolte de 2 ans. Pour plusieurs raisons, les sites de St-Lambert et d'Alma ont dû être abandonnés au cours des dernières années et ne font désormais plus partie de cette étude. Ainsi, le tableau 2 présente seulement la description des sites actuels et des organismes responsables de chaque site.

Tableau 2. Caractéristiques des sites d'études de SCR.

Sites	UTM	Type de sol	Région	Organisme partenaire
La Pocatière	2100	argileux	Bas-Saint-Laurent	CDBQ
Saint-Siméon	1950	loam-sableux	Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine	Ferme Bourdages, MAPAQ,
Champneuf, Abitibi	1726	argileux	Morandière	Cellule d'Aménagement des Coteaux, Centre local de développement Abitibi
Ville de Boisbriand	2800	loam- argileux-sableux	Basses-Laurentides	Pépinière municipale
Saint-Mathieu-de-Beloil	2800	loam-argileux	Montérégie	CÉROM

Atelier des graminées pérennes

Panic érigé

Cinq sites expérimentaux représentant différentes zones pédoclimatiques du Québec (Tableau 3) ont été choisis afin d'évaluer les aspects agronomiques de différents cultivars commerciaux (de type *Upland* et *Lowland*) ainsi que des nouvelles sélections du PE en fonction de la variabilité génétique (Tableau 4 et 5). Les semences de cultivars commerciaux et les nouvelles lignées du PE ont été fournis par REAP-Canada (Sainte-Anne-de-Bellevue, QC).

Tableau 3. Caractéristiques de divers sites d'études de graminées pérennes.

Sites	UTM	Type de sol	Région	Organisme
Normandin (NOR)	1823	loam-argileux	Saguenay–Lac-Saint-Jean	AAC
La Pocatière (LAP)	2123	argileux	Bas-Saint-Laurent	CDBQ
Saint-Augustin-de-Desmaures (AUG)	2404	loam à loam argileux	Capitale-Nationale	Université Laval
Sainte-Anne-de-Bellevue (SAB)	2935	loam-sableux	Montréal	Université McGill
Saint-Mathieu-de-Beloil (SMB)	2930	loam-argileux	Montérégie	CÉROM

Tableau 4. Origine de cultivars commerciaux de panic érigé ensemencés entre 2011 et 2016.

Cultivar	Écotype	Site d'origine	Année de commercialisation	Latitude (°N)	Référence
Cave-in-Rock (CIR)	Intermédiaire	Southern Illinois, US	1958	37	[17-19]
Carthage	Upland	North Carolina, US	2006	ND	[17, 19]
Dacotah	Upland	Southern North Dakota, US	1989	46	[17-19]
Forestburg	Upland	South Dakota, US	1987	44	[17-19]
Nebraska 28	Upland	Nebraska, US	1935	42	[17-19]
Shelter	Upland	Central West Virginia	1986	ND	[17, 19]
Southlow	Upland	Southern Michigan, US	2003	42	[19]
Summer	Upland	Nebraska, US	1953	41	[17, 18]
Sunburst	Upland	South Dakota, US	1998	43	[17, 18]
Shawnee	Upland	Dérivé de CIR, Nebraska, US	1996	40	[17]
Alamo	Lowland	Southern Texas, US	1978	ND	[17, 19]
BoMaster	Lowland	ND	2006	ND	[17]
Kanlow	Lowland	Northern Oklahoma, US	1963	ND	[17, 19]
High Tide	Intermédiaire	Northeastern Maryland, US	2007	ND	[17, 19]

ND – non disponible

Des écotypes *Lowland* de PE proviennent de plaines inondables et d'autres zones sujettes à l'inondation, alors que les écotypes *Upland* proviennent des zones plus sèches [17]. Les cultivars de type *Lowland*, développés dans des conditions de plaines inondables, se distinguent des types *Upland* par leur maturité plus tardive. Ils sont généralement plus hauts et plus résistants à la rouille causée par *Puccinia* spp. [17], étant peu rustiques, ils sont très sensibles aux conditions hivernales du Québec malgré une très grande productivité [2].

Les cultivars les plus hâtifs, de type *Lowland* (c.-à-d. Alamo, Kanlow et BoMaster ayant été mis à l'essai au Québec par le RPBQ en 2011 n'ont pas survécu à l'hiver. À cet égard, ils ont été retirés de la liste de cultivars de PE implantés en 2012. Afin de confirmer les résultats obtenus en 2011, les 8 cultivars de type *Upland*, CIR, trois autres cultivars de type *Upland* soit Summer, Shelter, Carthage (Tableau 4 et 5) ainsi que deux nouvelles sélections dérivées de CIR (CIR-II et CIR-Early-II) ont été ensemencés sur les mêmes cinq sites expérimentaux (NOR, LAP, AUG, SMB, SAB) en 2012.

Tableau 5. Cultivars et nouvelles sélections de panic érigé semés sur les 5 sites expérimentaux.

Implantation 2011	Implantation 2012	Implantation 2015	Implantation 2016
Cave-in-Rock	Cave-in-Rock	Cave-in-Rock	Cave-in-Rock
Blue Jacket	Blue Jacket	Summer	Summer
Forestburg	Forestburg	Sunburst	Sunburst
Shawnee	Shawnee	Blue Jacket	RC Blue Jacket-VI
Southlow	Southlow	RC Blue Jacket-V	RC Tecumseh-VI
Sunburst	Sunburst	RC CIR-V	RC CIR-VI
Tecumseh	Tecumseh	RC CIRE-IV	RC CIRE-IV
Dacotah	Dacotah	RC HT-II x CIR-III	RC HT-II x CIR-III
Nebraska	Summer	RC Tecumseh-V	RC CIR-III x HT-II
Alamo*	Shelter	High Tide – III (HT-III)	RC CIRE-IV x BJ-V
BoMaster*	Carthage		
Kanlow*	CIR-II CIRE-II		

*cultivars de type *Lowland* qui ont gelé après le premier hiver

De nouvelles sélections de PE issus d'hybridations (Tableau 6) provenant de REAP-Canada, ont été ensemencées sur un site à SMB en 2015 seulement, de même que sur deux sites soit SMB et à La Pocatière (Tableau 5) en 2016. L'amélioration génétique a été faite en faisant la sélection phénotypique restreinte récurrente (SPRR) chez les plantes individuelles en pépinière de PE [20].

Tableau 6. Nouvelles sélections de PE issus d'hybridations développés par REAP-Canada.

Dérivés de Cave-in-Rock (CIR)	Dérivé de Cave-in-Rock Early	Dérivés de Sunburst	Dérivés de Summer	Croisements	Dérivé de High Tide
CIR-II	CIRE-II	Blue Jacket	Tecumseh	High Tide-II et CIR-III	High Tide-III
RC CIR-V	RC CIRE-IV	RC Blue Jacket-V	RC Tecumseh-V	CIR-III et High Tide-II	
RC CIR-VI		RC Blue Jacket-VI	RC Tecumseh-VI	Cave-in-Rock Early -IV et Blue Jacket-V	

Les caractères désirés de ces nouvelles sélections sont une germination plus rapide, assurant ainsi une plus grande compétition contre les mauvaises herbes, une plus grande productivité, surtout pour les sols dont l'éégouttement est déficient, et une meilleure adaptation aux conditions climatiques estivales humides, prémisses pour une plus grande tolérance aux maladies foliaires fongiques.

Au Québec, le cultivar le plus largement cultivé est le Cave-in-Rock (CIR), il est donc considéré comme cultivar témoin dans les essais 2011-2012 et pour certaines sélections dans les essais 2015-2016.

Miscanthus géant

Pour le Miscanthus géant (MG), deux hybrides soit Nagara et Europe ont été implantés en 2011 sur tous les cinq sites expérimentaux (NOR, LAP, AUG, SMB, SAB).

L'hybride Nagara a été acheté auprès de New Energy Farm en Ontario, tandis que l'hybride Europe a été importée des Pays-Bas.

Comparé à l'hybride Nagara, l'hybride Europe a eu beaucoup de difficulté à s'implanter dû à un bris de la chaîne de froid. Au site NOR, les deux hybrides de MG n'ont pas résisté aux conditions hivernales. Au site LAP, une fonte prononcée de la neige suivit d'un important gel durant l'hiver 2012-2013 a grandement affectée la survie hivernale du MG, faisant chuter sa population à zéro en 2014 [21]. Les sites NOR et LAP ont donc été exclus de la suite de l'analyse.

Au site SMB, le taux de survie moyen de l'hybride Europe est passé de 30% à 25% entre 2012 et 2013. Les plants ayant survécus ont repris de la vigueur avec les années, mais ont toujours présenté un retard par rapport à l'hybride Nagara [21]. Ainsi, la comparaison du rendement de deux hybrides de MG ne peut être faite.

Site de Stratford

Pour cette étude, plusieurs espèces de graminées pérennes telles que le PE (*Panicum virgatum*), la Spartine pectinée (*Spartina pectinata*), le Barbon de Gérard (*Andropogon gerardii*), l'Alpiste roseau (*Phalaris arundinacea*) et le Miscanthus géant (*Miscanthus giganteus*), ont été sélectionnées (Tableau 7). Elles ont été implantées sur deux sites (Lac et Hydro) avec trois répétitions dans une ferme commerciale (Ferme Des Appalaches) à Stratford en 2010.

Tableau 7. Cultivars de graminées pérennes semés à Stratford en 2010.

Panic érigé	Miscanthus géant (MG)	Spartine pectinée (SP)	Barbon de Gérard (BG)	Alpiste roseau (AR)
Cave-in-Rock	Europe	Pennsylvania	Southlow	Venture
Blue Jacket		Red River	Niagara	Marathon
Summer				
Sunburst				
Tecumseh				

Puisque le rendement de l'AR a atteint un plateau en 2016 et qu'il a commencé à diminuer, cette culture a été retirée de l'étude en 2017.

Protocole expérimental de la saison 2019-2020

Les protocoles des ateliers de graminées pérennes et de saule à croissance rapide ont été élaborés par la coordonnatrice du RPBQ, Mme Olishkevsk, suite à une discussion avec Mme Martel (MAPAQ, Estrie), responsable de l'atelier graminées pérennes, ainsi que M. Labrecque, responsable de l'atelier saule à croissance rapide. Ces protocoles ont été transmis dans leur version finale aux responsables de chaque site en mai 2019.

L'atteinte du rendement maximale a été observée au cours des dernières années pour le PE ensemencés en 2011 et 2012 sur les 5 sites expérimentaux ainsi que pour d'autres espèces de graminées pérennes (AR, PE, SP, BG) implantées à Stratford en 2010.

Suite à une rencontre du comité du suivi du RPBQ, il a été recommandé d'effectuer la récolte de biomasse de ces parcelles seulement une fois aux deux ans. La poursuite de la prise de rendement aux deux ans permettra de détecter le début de la baisse de rendement et ainsi, permettra une évaluation plus précoce de la propagation de maladies fongiques telle que le charbon de tête qui commence à apparaître après quatre ou cinq ans de production de la culture. Les prises de hauteurs, de recouvrement et autres observations se poursuivra à chaque année. Ainsi, la récolte de la biomasse de PE a été prévue seulement pour la nouvelle sélection semée en 2015 et 2016 aux sites SMB et LAP (Tableau 6).

Le protocole de l'atelier des graminées pérennes 2019-2020 inclus aussi la récolte de MG à l'automne et au printemps afin de mieux documenter les pertes associées à ces deux périodes de récoltes et d'en comparer les rendements. Ce volet du projet concerne les sites SMB, SAB et AUG, où le miscanthus a survécu.

Le protocole de l'atelier saule à croissance rapide inclut la gestion des parcelles (l'analyse du sol et la fertilisation), le dépistage des maladies fongiques et des ravageurs des saules. Il n'y a pas de recepage des saules en 2019 de prévu. Par contre, l'année prochaine, en 2020, la biomasse de tous les quatre blocs sera récoltée, soit deux blocs d'un cycle de récolte de 2 ans et deux blocs d'un cycle de récolte de 3 ans.

Tout au long de la saison, les protocoles établis ont été accompagnés d'un appui agronomique aux équipes sur le terrain assuré par la coordonnatrice du RPBQ et aidée des responsables des sites, Mme Martel (MAPAQ-Estrie) et M. Labrecque (IRBV), ainsi que de M. Latraverse (CÉROM) pour le volet entomologie.

Entretien des sites

Fertilisation

L'application d'engrais minéral a été réalisée en fonction des analyses de sol de chaque site expérimental selon les recommandations décrites dans les guides de production des cultures [2, 5] et selon la grille de référence pour «Prairie/entretien» du Guide de référence en fertilisation [22].

Graminées pérennes

La fertilisation a été effectuée en fin mai-début juin, en début de croissance du PE et du MG, selon le protocole développé par la coordonnatrice du RPBQ en collaboration avec Mme Martel, agronome du MAPAQ en Estrie (Tableau 8 et 9).

Tableau 8. Recommandations d'application d'engrais sur les parcelles de panic érigé et de miscanthus géant.

Espèce	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Panic érigé	60 kg/ha	<u>Si l'analyse de sol indique :</u>	<u>Si analyse de sol indique:</u>
Miscanthus géant	70 kg/ha	>250 kg/ha : 0 31-250 kg/ha : 25 kg/ha <10-30 kg/ha : 30 kg/ha	>250 kg/ha : 0 200 -250 kg/ha : 30 kg/ha <200 kg/ha : 50 kg/ha

Tableau 9. Fertilisation réalisée sur les parcelles de graminées pérennes en 2019.

Site	Azote, unité ou kg/ha	Phosphore, unité ou kg/ha	Potassium, unité ou kg/ha	Date d'application
SAB	60	25	100	7 mai 2019
LAP	60	20	0	15 mai 2019
NOR	60	12,5	0	19 juin 2019
AUG	60	20	25	3 juin 2019
SMB	60	25	0	31 mai 2019
STRA	60	25	0	4 juin 2019

Saule à croissance rapide

À la mi-mai 2019, l'azote en quantité équivalente de 100 kg/ha sous forme urée (46-0-0) a été appliqué seulement sur les parcelles de saule à croissance rapide (SCR) qui ont été recepées en 2018 (Tableau 10) selon le protocole développé par la coordonnatrice du RPBQ en collaboration avec M. Labrecque, Professeur, IRBV.

Tableau 10. Quantité d'urée (46-0-0) appliquée pour la fertilisation du saule en 2019*.

Site	Quantité d'urée pour les deux blocs recepés en 2018, kg	Par parcelle, kg
Boisbriand	14,00	1,122
La Morandière	24,45	1,304
La Pocatière	14,00	1,174
St-Siméon	14,67	1,467
Beloil	20,54	1,174

*les calculs ont été faits selon la dimension des parcelles et des blocs

L'analyse du sol des parcelles de SCR effectuée au printemps 2019 est présentée dans le Tableau 11.

Tableau 11. Analyses de sol de SCR de cinq sites expérimentaux effectuées en 2019.

Site	Organisme	Date	CEC (meq/100 g)	pH eau	pH tampon	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Ca (kg/ha)	Mg (kg/ha)	Type de sol
Abitibi	Cellule d'aménagement des coteaux	28 juin 2019	25,5	5,3	6,1	24	411	3707	1178	Argileux
Boisbriand	Ville de Boisbriand	21 mai 2019	21,5	6,7	7,1	11	204	5534	1360	Loam-Argileux-Sableux
La Pocatière	CDBQ	2 mai 2019	25,8	5,7	6,6	75	566	5691	1073	Argileux
Saint-Siméon	Ferme R.Bourdages	5 juin 2019	18,3	5,1	6	41	195	1947	103	Loam-Sableux
Beloil	CEROM	4 avril 2018	22,8	6,9	7,3	33	683	6057	1793	Loam-Argileux

Contrôle des mauvaises herbes

Saules à croissance rapide

Grâce à une répression efficace des mauvaises herbes dans les parcelles de SCR au cours de première saison suivant la plantation, aucun traitement herbicide n'a été nécessaire en 2019. Le sarclage mécanique autour des parcelles a été fait deux fois pendant la saison afin d'assurer un bon contrôle des mauvaises herbes.

Graminées pérennes

Plusieurs types d'herbicides ont été utilisés durant les deux dernières années (Tableau 12) afin de contrôler les mauvaises herbes dans les parcelles des graminées pérennes.

Tableau 12. Herbicides appliqués en 2018-2019 pour contrôler les mauvaises herbes des graminées pérennes.

Nom commercial des herbicides	Ingrédient actif	Dose	Mauvaises herbes	SMB		SAB		AUG		LAP		NOR		Stratford	
				2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019
Roundup/Transorb	glyphosate	2,5 L/ha	vivaces et	-	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	-
			mauvaises herbes hâtives	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
Buctril M	bromoxynil	1 L/ha	mauvaises herbes à feuilles larges	+	-	+	+	-	-	+	-	-	+	-	+
2,4-D amine 600	diméthylamine	700 ml/ha	prêle	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Premium 3-way	2,4-D Mecoprop, Dicamba/ diméthylamine	5,5 L/ha	pissenlit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
Refine SG	thifensulfuron-méthyle / tribénuron-méthyle	25 g/ha	chénopode et d'autres adventices de feuilles larges	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
Pixxaro+MCPA	halauxifen, fluroxypyr,	Pixxaro : 300 ml/ha	pissenlit et mauvaises herbes à feuilles larges*	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
	2-méthyl-4-chlorophenoxyacetic acid	MCPA : 600 g e.a./L													

* sur le site de Stratford, Pixxaro+MCPA a été appliqué pour contrôler les mauvaises herbes à feuilles larges; le pissenlit n'a pas été détecté.

Le BUCTRIL M est le seul herbicide homologué pour les années de production de PE [2]. Par contre, son utilisation lors de l'année d'implantation n'est pas recommandée. Des observations et suivis sur le terrain ont permis d'établir qu'une application de glyphosate est possible pour contrôler les vivaces avant le début de la croissance du panic érigé [2]. Ainsi, en 2018 – 2019, le glyphosate (2,5 L/ha) a été utilisé pour réprimer les vivaces et les mauvaises herbes hâtives; et Buctril M (1 L/ha) a été appliqué pour réprimer les mauvaises herbes à feuilles larges. Vu que la fenêtre d'application du glyphosate est restreinte, à savoir avant le débouillage du PE et après le début de croissance des mauvaises herbes, seulement deux sites (AUG et NOR) ont réussi à l'appliquer en 2018 et deux autres (SMB et LAP) l'ont utilisé en 2019. Tous les sites, à l'exception de AUG, ont utilisé le Buctril M, soit en 2018 ou en 2019 afin de réprimer les MH à feuilles larges après l'émergence du PE (Tableau 12).

En 2018 et 2019, deux produits ont été appliqués avec succès pour contrôler le pissenlit dans les parcelles de PE soit Premium 3-way (5,5 L/ha) sur le site de NOR et le Pixxaro (300 ml/ha) en mélange avec MCPA ester (600 g e.a./L), sur le site de SMB. Le Refine SG (25 g/ha) a été utilisé sur le site de NOR en 2018 pour contrôler le chénopode et d'autres adventices de feuilles larges.

Comme au printemps 2019, nous avons observé de la prêle sur les parcelles de PE implanté en 2016 sur le site de SMB, l'application de 2,4-D amine 600 (700 ml/ha) a été effectuée après le débouillage du PE pour réprimer cette mauvaises herbes (Tableau 12). Ce produit a été efficace et aucun effet phytotoxique sur le PE n'a été observé.

Les résultats obtenus ont permis de faire les conclusions suivantes :

- Une application plus fréquente d'herbicide est nécessaire dans les régions nordiques, comme le site de NOR, possiblement dû à une croissance moins importante et donc moins compétitive du panic érigé.
- La présence d'une mauvaise herbe comme le chénopode ne correspond pas ce qu'on observe dans les champs des fermes commerciales.
- Le Pixxaro + MCPA, présentement en voie d'homologation, sera un outil supplémentaire pour le contrôle du pissenlit
- Le glyphosate est le seul outil disponible pour le contrôle des graminées vivaces.

Chaulage

Graminées pérennes

Selon le protocole établi pour les graminées pérennes, une application de chaux était nécessaire afin de maintenir un pH > 6,2. D'après l'analyse de sol effectuée en 2018, seulement deux sites, celui de Stratford et de NOR, nécessitaient une application de chaux, puisque le pH du sol était inférieur à 6,2. La chaux calcique (CaCO₃) a été appliquée en quantité nécessaire sur les parcelles de toutes les cultures selon les recommandations du guide de référence en fertilisation du CRAAQ [22] soit le 28 octobre 2019 pour le site de NOR et le 29 octobre pour les sites Lac et Hydro de Stratford (Tableau 13).

Le pH du sol des parcelles du PE du site de NOR et des parcelles de BG, SP et MG du site Hydro à Stratford était plus acide que le pH du sol des quatre cultures du site Lac de Stratford. Les sols au Lac-Saint-Jean ont tendance à avoir des pH acides, maximum aux alentours de 6.2 et 6.4. Peut-être, une deuxième application sera nécessaire pour augmenter le pH jusqu'à 6,5. Une analyse de sol au printemps 2020 est prévue pour prendre la bonne décision.

Tableau 13. Application de chaux sur les sites de Stratford et de Normandin.

Parcelles de culture	pH eau			Date d'application de la chaux	
	Stratford site Lac	Stratford site Hydro	Normandin	Stratford	Normandin
Panic érigé (PE)	6,1	5,9	5,9	29 octobre 2019	28 octobre 2019
Barbon de Gérard (BG)	6,0	5,8	–	29 octobre 2019	–
Spartine pectinée (SP)	6,3	6,0	–	29 octobre 2019	–
Miscanthus géant (MG)	6,2	5,7	–	29 octobre 2019	–

«—» les cultures BG, SP, MG ne font pas l'objet de l'étude sur le site de NOR

Site de Stratford

À cause de l'effet du vent qui affecte le rendement de la partie gauche d'une parcelle de MG (Figure 1), il a été recommandé de ne pas prendre en considération les données de récolte de MG à l'automne 2018 et au printemps 2019 pour comparer la perte associée à ces deux périodes de récolte.

Afin de limiter l'impact de l'effet de bordure occasionné par le vent sur les résultats des rendements et limiter le plus possible le changement des cordes déjà installées, un changement de dispositif d'échantillonnage a été proposé lors de la visite des parcelles de Stratford du 23 août 2019 (Figure 2).

Par conséquent, les résultats de récolte à l'automne 2019 vs printemps 2020 à Stratford seront présentés dans le rapport d'étape de 2020.



Figure 1. Miscanthus géant à Stratford.

*Bordure occasionnée par le vent (encadré blanc)

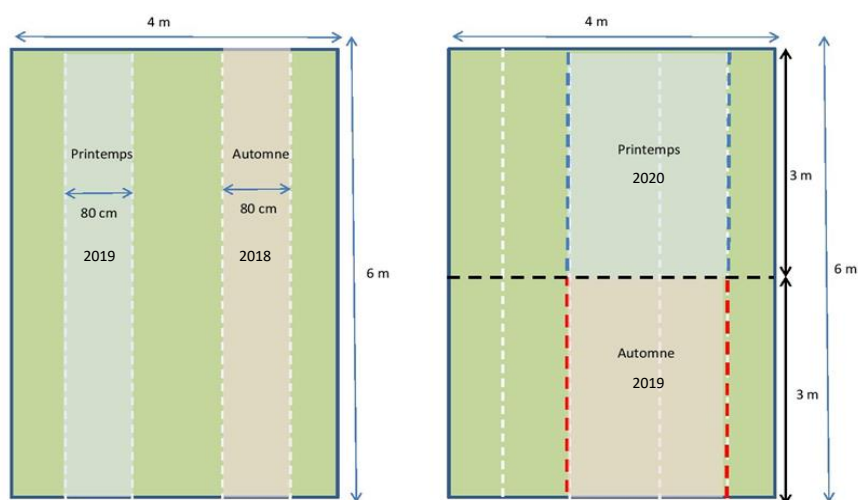


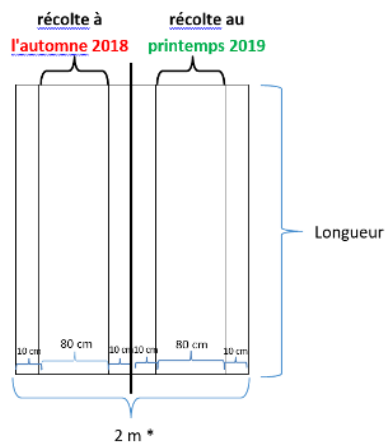
Figure 2. Schéma de récolte du Miscanthus géant à Stratford.

RÉSULTATS DE LA SAISON DE CROISSANCE 2019

Atelier des graminées pérennes

Miscanthus géant : comparaison du rendement en fonction de la période de récolte

Comme la récolte dans des conditions commerciales se fait au printemps, il devient pertinent d'étudier la perte de biomasse associée à cette période de récolte. Ainsi, lors de la rencontre des membres de l'Atelier graminées pérennes du 13 février 2018, une récolte différenciée entre l'automne et le printemps a été mise en place sur les sites d'AUG, SMB et SAB à partir de 2018 afin de comparer la différence de rendement du MG selon la saison de la récolte (Figure 3). La méthode de récolte est décrite plus en détail dans le protocole des activités des graminées pérennes durant la saison 2018-2019.



*La section de 10 cm de chaque côté de la bande récoltée de 80 cm varie en fonction de la largeur de la parcelle.

Figure 3. Schéma de récolte du Miscanthus géant en 2018-2019.

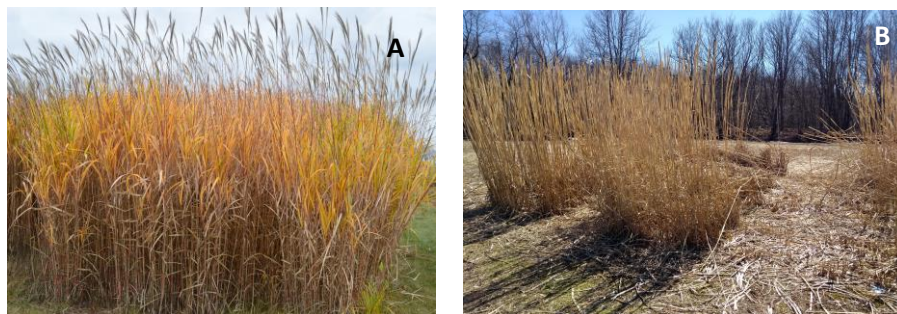


Figure 4. Les parcelles de Miscanthus géant avant la récolte à l'automne 2018 (A) et au printemps 2019 (B).

Tel que prévu, le haut des tiges du MG a été cassé durant la période hivernales de 2018-2019 (Figure 4). À AUG, la verse a été plus importante, pour l'hybride Nagara (Figure 4 B).

Selon l'échelle du 0 à 9, le degré de verse de MG hybride Nagara à AUG a été le plus élevé par rapport à d'autres sites d'étude. Il a été évalué entre 7 et 8 selon le réplica (Tableau 14).

Tableau 14. Comparaison de verse de biomasse de miscanthus géant pendant deux saisons.

Site d'étude	Verse (l'échelle de 0 à 9)			
	Automne 2018		Printemps 2019	
	Europe*	Nagara*	Europe*	Nagara*
AUG	0, 0, 0, 1	0, 1, 1, 3	1, 1, 3, 1	7, 7, 8, 8
SMB	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 3, 1, 1	0, 0, 2, 0
SAB	0, 0, 0, 0	3, 3, 1, 2	1, 1, 2, 2	1, 3, 0, 1

* les quatre chiffres présentent les résultats de verse de biomasse de quatre répliques

Les recommandations suivantes ont été établies par Mme Olishavska, coordonnatrice du RPBQ et Mme Martel, MAPAQ-Estrie, afin d'améliorer la méthode de récolte manuelle pour obtenir des résultats les plus précis :

- ✓ Couper les tiges entourant la bande à récolter et les enlever de la zone de travail. Certaines de ces tiges qui auront pliées et seront versées dans la bande à récolter, doivent être sorties du site.
- ✓ Les tiges qui poussent à l'intérieur de 80 cm, mais qui ont été versées soit à gauche ou à droite (à l'extérieur de 80 cm) doivent être récoltées.
- ✓ Les tiges qui sont cassées, versées au sol en dessous de 10 cm ne doivent pas être récoltées, car la machinerie ne pourrait pas les récolter dans des conditions normales.
- ✓ Ne pas récolter les tiges qui poussent à l'extérieur de 80 cm, et qui ont versées vers la zone de récolte (80 cm).
- ✓ Les tiges devraient être coupées 10 cm au-dessus de terre ce qui correspond à la récolte par la machinerie.

Les résultats de récolte obtenus à l'automne 2018 et au printemps 2019, nous ont permis de comparer la perte en rendement de biomasse de MG associée à ces deux saisons. La baisse de rendement occasionnée par la période hivernale est très élevée. Elle variait entre 41% et 59% selon le site d'étude et l'hybride de MG (Figure 5, Tableau 15).

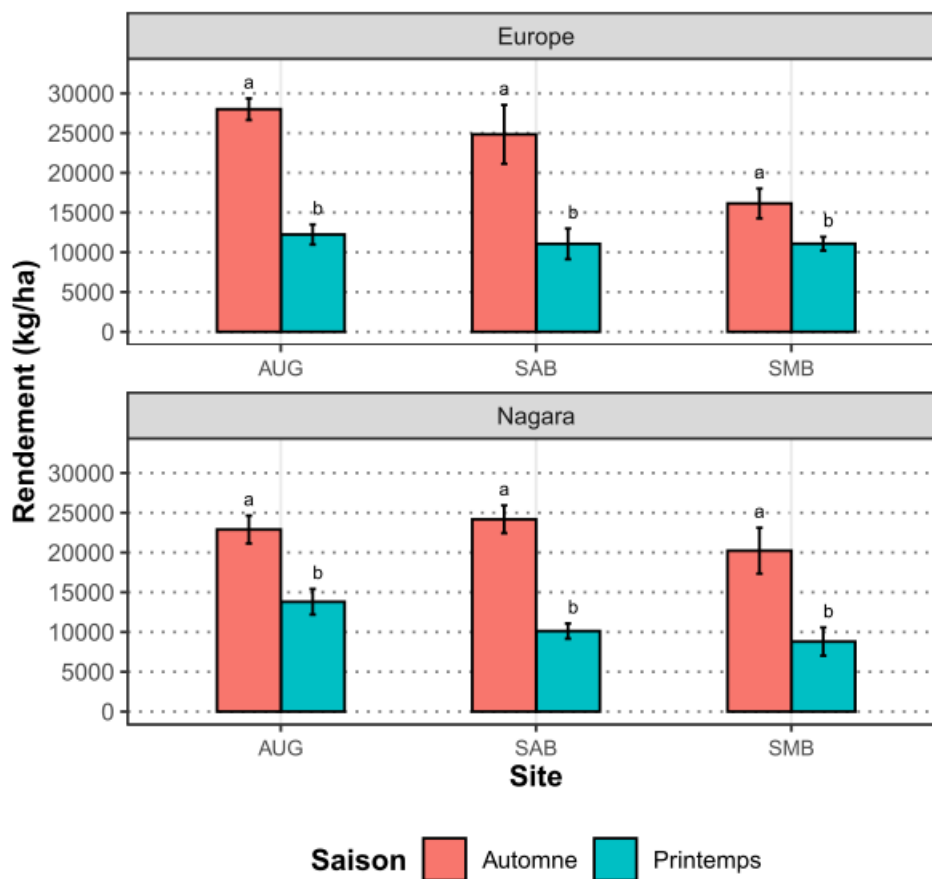


Figure 5. Comparaison du rendement moyen de deux hybrides de Miscanthus géant pendant deux saisons de récoltes en fonction des sites.

Tableau 15. Comparaison du rendement moyen de deux hybrides de Miscanthus géant en fonction du site et la perte associée pendant deux saisons de récoltes.

Hybride	Europe			Nagara		
	Récolte à l'automne, t/ha	Récolte au printemps, t/ha	Perte, %	Récolte à l'automne, t/ha	Récolte au printemps, t/ha	Perte, %
AUG	27,9±1,3	12,2±1,2	56	22,9±1,7	13,8±1,6	40
SAB	24,8±3,7	11,0±1,9	56	24,2±1,7	10,1±0,9	58
SMB	16,1±1,8	11,1±0,8	31	20,2±2,8	8,8±1,7	56

Cette forte baisse de rendement d'une récolte de printemps rend cette période beaucoup moins pertinente. D'autres cycles de récolte (automne vs printemps) sont nécessaires afin de confirmer les résultats obtenus. Si les résultats se confirment, l'utilisations potentielle du MG destinée à la transformation devra tenir compte d'une récolte réalisée qu'à l'automne avec les problématiques de conservation de la biomasse associés à cette période de récolte.

Maladies fongiques et ravageurs du panic érigé

Dépistage de *Tilletia maclaganii* sur le panic érigé

Le dépistage des inflorescences de PE infectés par *Tilletia maclaganii* a été effectué sur tous les sites expérimentaux selon le protocole développé au début de la saison par Mme Olishavska et Mme Martel. Des inflorescences infectées ont été observées à SAB, SMB et à AUG sur tous les cultivars du PE sauf Carthage et Summer (Figure 6, Tableau 16).



Figure 6. Inflorescences de Cave-in-Rock-II infectées par *Tilletia maclaganii*
(Semis de PE en 2012 à SAB)

©PHOTO : Snizhana Olishavska, CÉROM

Le plus grand nombre d'inflorescences infectés (36 – 38) a été détecté sur les parcelles de cultivars Dacotah et Tecumseh implantés au site de AUG en 2011, de même que sur les parcelles de cultivar Shelter implanté à SAB en 2012. La plantation du PE 2012 à SAB présente 9 cultivars infectés par *T. maclaganii*, tandis que sur la plantation du PE 2011 seulement deux cultivars ont été infectés par le charbon de tête. Dans la même zone pédoclimatique (2930 UTM), à SMB, il n'y avait qu'une inflorescence infectée d'un seul cultivar Tecumseh de PE implanté en 2011 (Tableau 16).

Tableau 16. Nombre total d'inflorescence de panic érigé infecté par *Tilletia maclaganii*.

Cultivar Site et année de semis	AUG		SAB		SMB	
	2011	2012	2011	2012	2011	2012
Cave-in-Rock	0	0	0	1	0	0
Blue Jacket	0	1	0	0	0	0
Forestburg	0	1	1	15	0	0
Nebraska	0	0	1	0	0	0
Shawnee	0	8	0	0	0	0
Southlow	1	0	0	6	0	0
Sunburst	0	0	0	3	0	0
Tecumseh	37	6	0	20	1	0
Dacotah	38	0	0	2	0	0
CIR-II*	–	0	–	26	–	0
CIRE-II*	–	0	–	12	–	0
Carthage*	–	0	–	0	–	0
Shelter*	–	0	–	36	–	0
Summer*	–	0	–	0	–	0

*les cultivars de PE implantés seulement en 2012

En 2018, les symptômes reliés au charbon de tête ont été observés seulement à SAB sur les parcelles du PE 2012 de cultivars Tecumseh, Dacotah, Shelter, CIR-II et CIRE-II.

Malgré le fait que le nombre d'inflorescences affectés ait augmenté de façon appréciable depuis le début des observations, le pourcentage d'inflorescences infectées par parcelle demeure quand même faible puisque chaque parcelle contient des milliers d'inflorescences.

Il est important de noter que sur les parcelles de PE implanté en 2011 et en 2012 à LAP et à NOR, dans les zones plus froides (2123 UTM et 1823 UTM), aucun cultivar n'a manifesté de symptômes reliés au charbon de tête, ce qui nous a permis de suggérer que la région géographique semble avoir un impact sur le développement de la maladie.

Aux États-Unis, les cultivars Cave-in-Rock, Shelter et Shawnee ont aussi démontré une sensibilité au charbon de tête. La maladie a été détectée en Iowa en 2002 [23], puis dans les états de New York et de la Pennsylvanie en 2011 [24], et plus récemment, en 2019, en Indiana [25] et au Texas [26].

L'infection de PE par *T. maclaganii* altère la physiologie du PE, provoquant un rabougrissement des tiges, une floraison prématurée (3-4 semaines avant les plantes saines) et le remplacement des graines par des spores fongiques [24, 27]. À date, très peu est connu sur le cycle de vie de ce champignon. Les chercheurs supposent que l'infection du PE se passe par les semences qui sont déjà contaminées. En outre, *T. maclaganii* peut survivre dans le sol sous forme de téliospores qui infectent les plantes par les racines et poussent de façon systémique jusqu'à la floraison, moment auquel tous les grains de la plante infectée sont remplacés par des téliospores [28]. Les téliospores peuvent survivre dans le sol pendant trois ans [23]. Elles infectent principalement les cultivars sensibles, comme Cave-in-Rock, puis elles se multiplient en grand nombre dans la panicule et se dispersent par le vent [23]. Des observations des champs au Canada (QC, ON) [1, 2] et aux États-Unis (IA, IN, NY, TX, PA) [23-26] ont permis de conclure que l'infection peut prendre jusqu'à 4 ans afin que les symptômes liés au charbon de tête apparaissent.

Des études aux États-Unis ont démontré que la réduction du rendement du Cave-in-Rock, causé par le charbon de tête, peut atteindre 40% [28, 29]. Ceci est dû à un fleuissement prématurément (aux États-Unis en mi-juin) à la hauteur de 1 m [23], tandis que la hauteur de plantes saines peut atteindre 3 mètres [28]. De plus, les plantes infectées par le charbon de tête ne peuvent pas produire de graines pendant plusieurs années [23]. Par contre, au Québec, aucune perte de rendement à cause de *T. maclaganii* n'a été répertoriée jusqu'au présent.

La diversité génétique limitée et la densité plus élevée de PE dans les champs cultivés peuvent provoquer la prédominance de champignons pathogènes spécifiques qui ne sont pas connus dans les prairies [28]. Les pratiques de contrôle efficaces sont difficiles à déterminer. Les fongicides peuvent être utilisés comme traitement des semences afin de réduire le taux d'infection dans les champs, mais ils ne sont pas encore homologués au Canada. Cependant, le traitement des semences par un fongicide n'est pas 100% efficace et peut retarder l'apparition des symptômes de la maladie [1]. La plantation dans le champ d'un mélange de divers cultivars qui sont plus résistants à *T. maclaganii* ainsi que la rotation des cultures une fois tous les 5 ans pourront aider à réduire l'accumulation des spores dans les champs et réduire le risque de pertes de biomasse associée au charbon de tête [1, 23, 28].

Détection de Cécidomyies du panic érigé

En septembre-octobre 2019, sur la plantation du PE 2015 et 2016 à SMB, on a observé quelques inflorescences plus petites que la normale de certains cultivars : RC-CIR-V, RC-CIR- VI, Summer, CIR (Figures 7 et 8). À cette période de l'année, il est anormal d'observer des tiges courtes, ce qui suggérait une infection. Afin de confirmer cette hypothèse, cinq échantillons (les tiges longues et les tiges courtes) ont été envoyés au Laboratoire d'expertise et de diagnostic en phytoprotection du MAPAQ le 9 octobre 2019 afin d'identifier l'agent pathogène.



Figure 7. Inflorescences affectées (A) et non affectées (B) de cultivar RC CIR-VI du PE implanté en 2016.

©PHOTO : Snizhana Olishavska, CÉROM

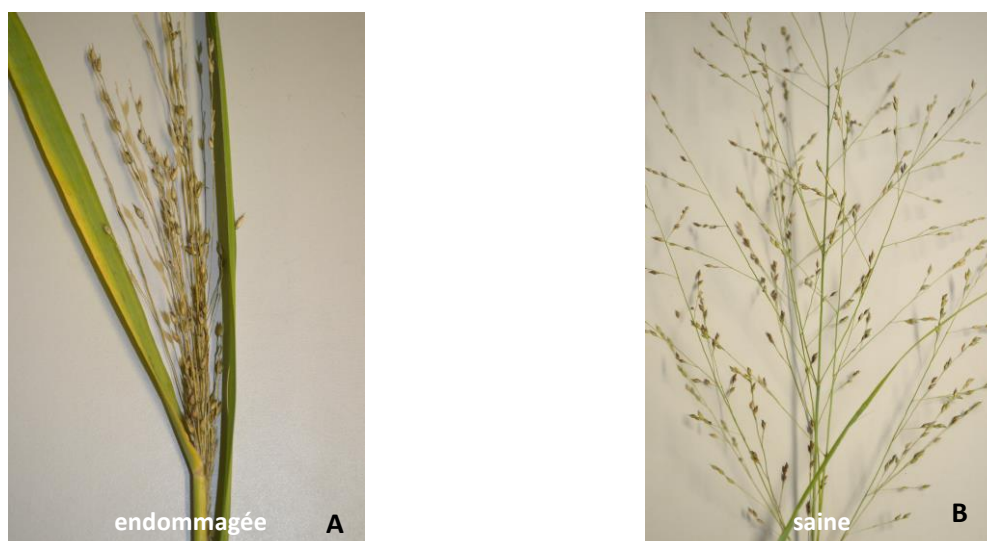


Figure 8. Inflorescences affectées (A) et non affectées (B) de cultivar RC CIR-V du PE implanté en 2015.

©PHOTO : Snizhana Olishavska, CÉROM

Une coupe longitudinale d'une tige de PE a permis de détecter des larves orange de 4 mm (Figures 9 A-C) appartenant à l'espèce *Chilophaga virgati* (Diptera: Cecidomyiidae). Ces larves possèdent des cuticules réticulées, de grands stigmates arrondis et le dernier segment abdominal muni de deux projections caudales triangulaires.

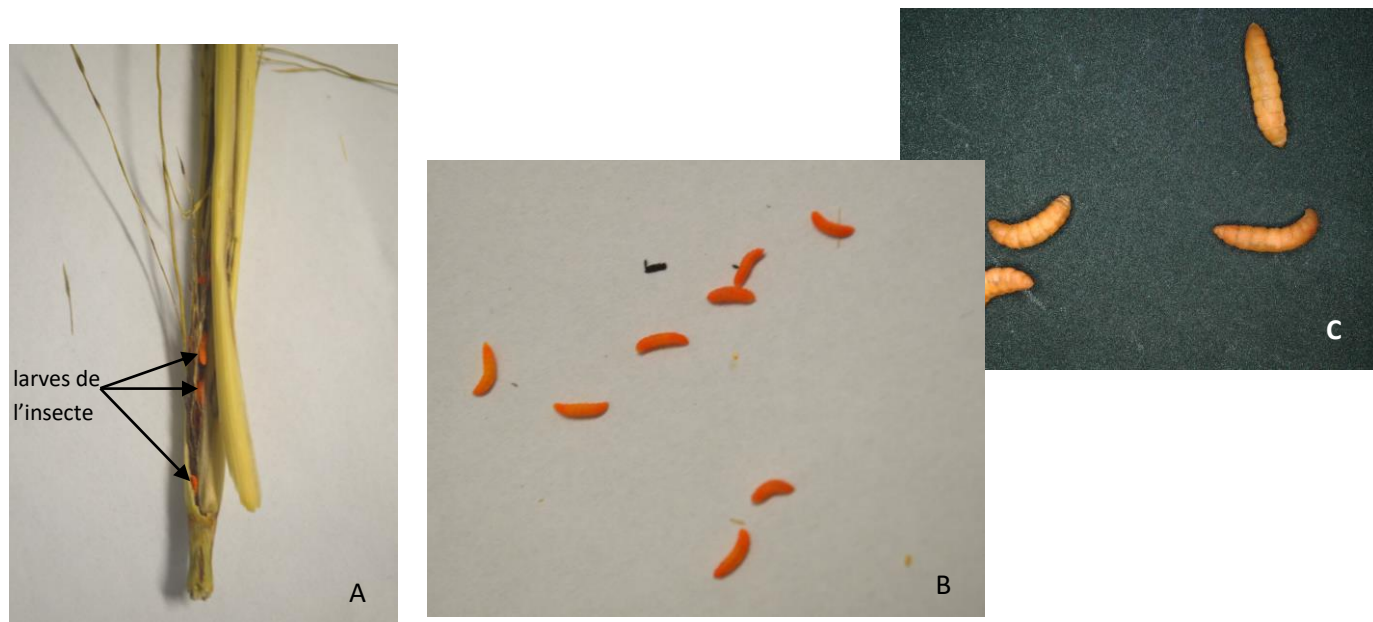


Figure 9. Larves de *Chilophaga virgati* (Diptera: Cecidomyiidae).

©PHOTO : Sébastien Boquel, CÉROM

Cette espèce a été aussi détectée sur les parcelles de PE de REAP-Canada en octobre en 2016.

Cette espèce a été répertoriée pour la première fois aux États-Unis à Brookings, South Dakota, en 2018 [29-31]. L'infestation de la plante par les larves a été observée dans le pédoncule, et l'inflorescence n'a jamais émergé. La cécidomyie du PE a eu un impact négatif sur le rendement de la biomasse et des graines.

Le suivi de cet insecte est nécessaire au cours des prochaines années afin d'évaluer sa propagation, son intensité et son impact sur les rendements.

Panic érigé

Compte tenu que tous les cultivars de PE ensemencés en 2011 et 2012 sur les 5 sites expérimentaux ainsi que d'autres espèces de graminées pérennes (AR, PE, SP, BG) implantées à Stratford en 2010 ont déjà atteint leur rendement maximal, la récolte de la biomasse n'a pas été effectuée en 2019. Par contre, la verse, la maturité et la hauteur de ces plantes ont été évaluées.

Tous les cultivars étaient matures lors de la prise des données à la fin d'octobre.

La verse a beaucoup varié entre les 4 réplicas d'un même cultivar, ce qui est rendu la comparaison entre cultivars d'une même espèce basée sur ce paramètre difficile.

Donc, ce rapport présente la comparaison de la hauteur de divers cultivars de graminées pérennes semés en 2010 à Stratford et en 2011-2016 sur les 5 sites expérimentaux.

Le rendement, la largeur des feuilles et la maturité des grains ont été évalués seulement pour les nouvelles lignées développées par REAP-Canada, les essais qui ont été mis en place en 2015 à SMB et en 2016 à LAP et à SMB.

Semis 2011 et 2012

Hauteur

La hauteur moyenne (2015-2019) de divers cultivars du PE semés en 2011 et en 2012 est présentée dans le Tableau 17 et les Figures 10-11. Les nouvelles lignées CIR-II et CIRE-II sont significativement plus hautes (193,7 et 195,6 cm) que leur témoin Cave-in-Rock (185,2 cm) et les plus hautes parmi tous les cultivars utilisés dans cette étude, à l'exception de Shawnee (dérivé de CIR) et de CIR (environ 185 cm). La nouvelle lignée Blue Jacket est significativement plus haute (175,1–181,4 cm) que son témoin Sunburst (environ 165 cm). La hauteur de Tecumseh est aussi significativement plus élevée (178,2 cm) que celle de son témoin Summer (170,4 cm). La hauteur plus basse a été observée chez les cultivars Forestburg (155,3 cm), Nebraska (157,9 cm) et Dacotah (133 cm).

Il est important de noter que la hauteur moyenne de tous les cultivars a varié selon le site d'étude, la plus basse étant observée à Normandin (130 cm), région présentant une saison agronomique plus courte (Figures 12 et 13). Le microclimat présent au site à AUG semble favoriser la croissance de PE, tel que démontré par une hauteur de presque 200 cm (Figures 12 et 13). La hauteur moyenne du PE

à LAP varie entre 165 et 178 cm. Dans les sites de SMB et de SAB la hauteur de PE varie 178-188 cm (Figures 12 et 13).

Tableau 17. Hauteur moyenne (2015-2019) de divers cultivars du panic érigé.

Cultivar	Hauteur, cm	
	Semis 2011	Semis 2012
Blue Jacket	175,1±2,3 ^{CD}	181,4±2,4 ^{DE}
Cave-in-Rock (CIR)	181,5±3,2 ^{AB}	185,2±2,1 ^{BCD}
CIR-II	–	193,7±3,9 ^A
CIRE-II	–	195,6±2,9 ^A
Shawnee	178,1±3,3 ^{BC}	186,8±2,7 ^{BC}
Shelter	–	181,6±2,7 ^{CDE}
Southlow	179,8±2,6 ^{BC}	179,2±2,1 ^E
Summer	–	170,4±3,1 ^F
Sunburst	165,7±2,4 ^E	167,3±2,3 ^F
Tecumseh	172,4±2,8 ^D	178,2±3,4 ^E
Carthage	–	189,8±1,8 ^{AB}
Forestburg	155,3±2,4 ^F	155,3±2,3 ^G
Nebraska	157,9±2,3 ^F	–
Dacotah	136,1±6,5 ^G	133,2±5,9 ^H
Alamo	178,9±2,6 ^{ABC}	–
BoMaster	183,2±9,6 ^{ABCD}	–
Kanlow	194,3±3,4 ^A	–

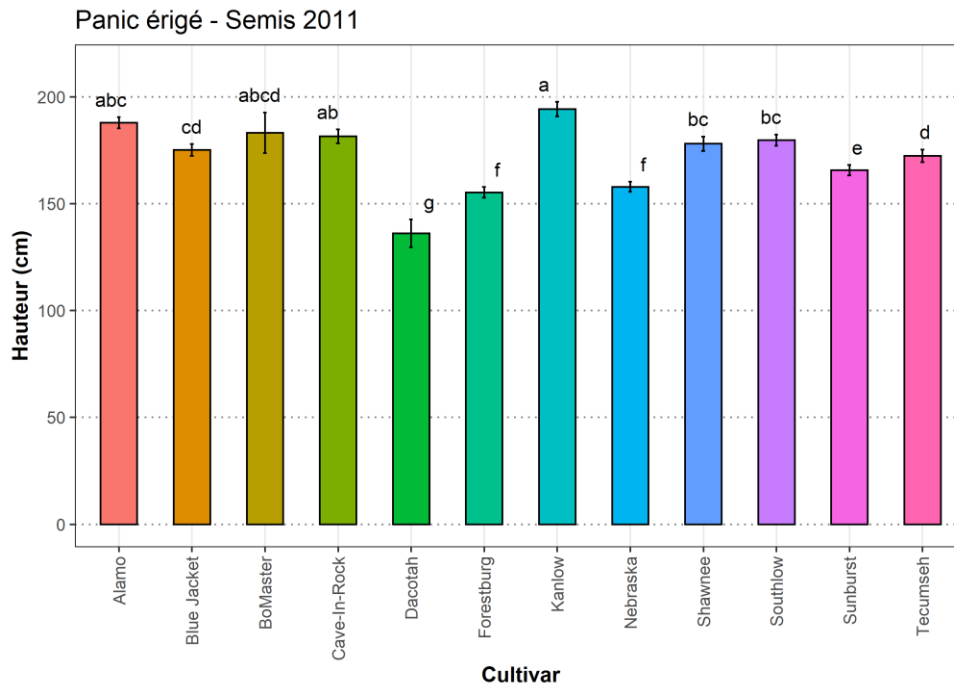


Figure 10. Hauteur moyenne (2015-2019) de divers cultivars du panic érigé semés en 2011 (les sites confondus).

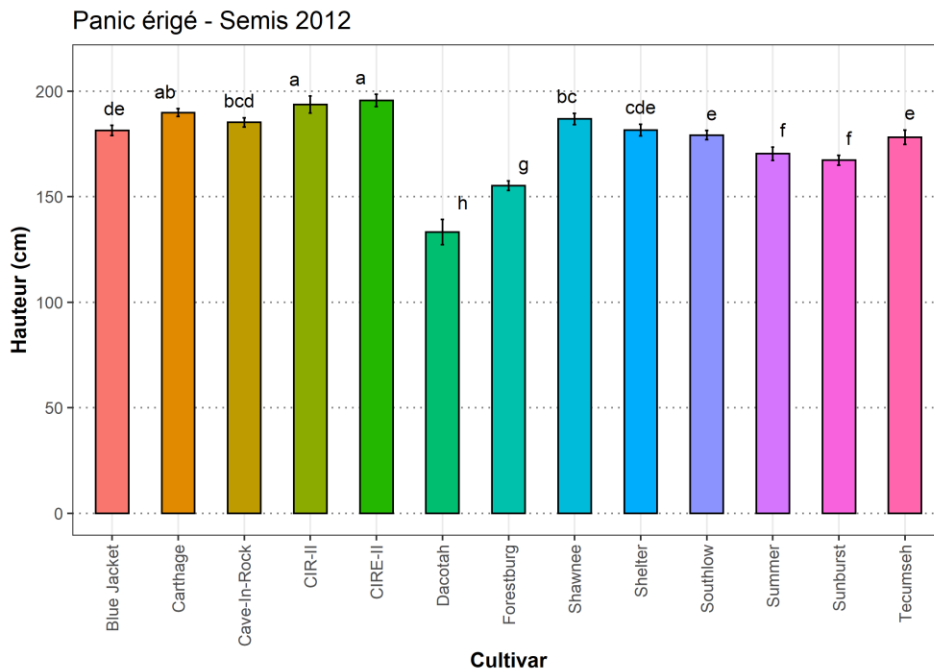


Figure 11. Hauteur moyenne (2015-2019) de divers cultivars du panic érigé semés en 2012 (les sites confondus).

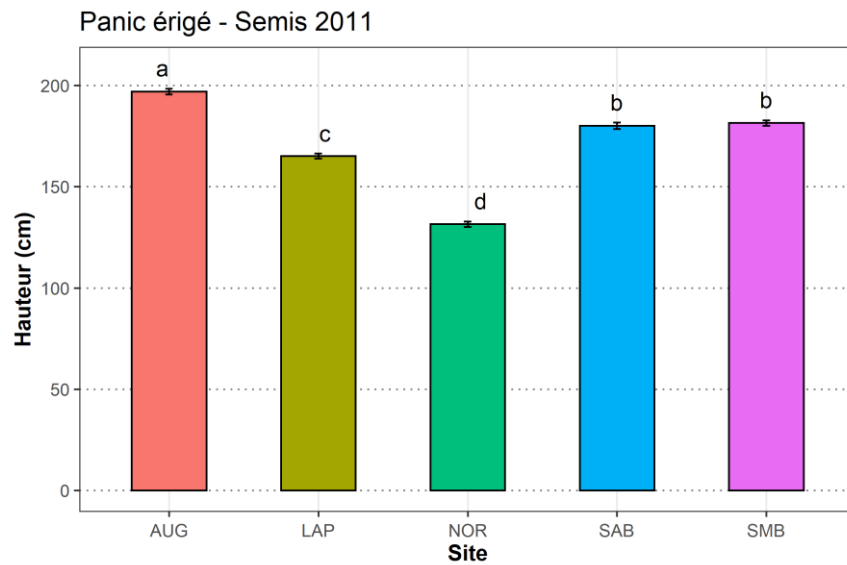


Figure 12. Hauteur moyenne (2015-2019) de panic érigé (semis 2011) en fonction du site (les cultivars confondus).

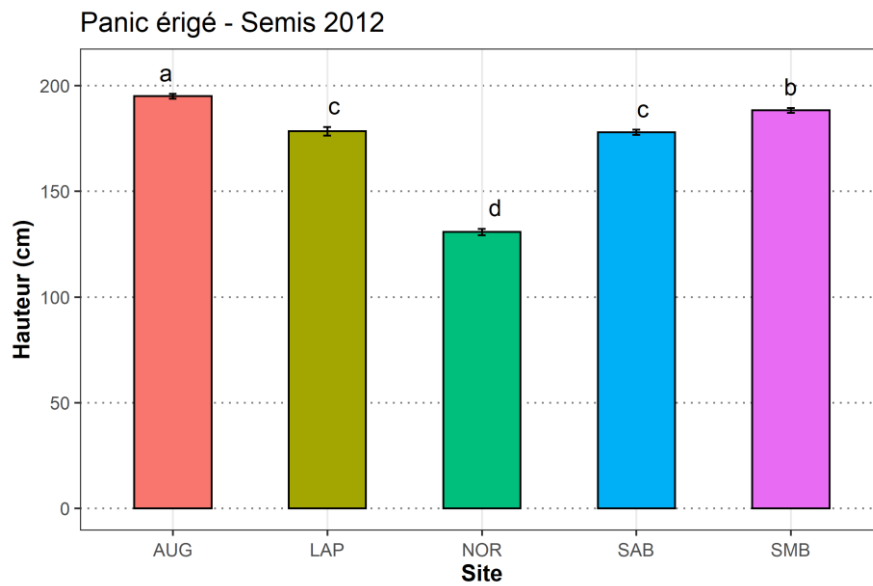


Figure 13. Hauteur moyenne (2015-2019) de panic érigé (semis 2012) en fonction du site (les cultivars confondus).

Site de Stratford

Hauteur

La hauteur de toutes les graminées pérennes semées à Stratford en 2010 a été 20 cm plus basse en 2015-2016 par rapport aux trois dernières années (Tableau 18).

La hauteur moyenne sur 5 ans d'étude nous a permis de conclure qu'il n'y avait pas de différence significative de la hauteur (environ 200 cm) entre les deux cultivars de Barbon de Gérard (BG) ainsi qu'entre trois cultivars de panic érigé (PE) soit Blue Jacket, Summer et Tecumseh (Figure 14 A et 15). Le cultivar Pennsylvania de spartine pectinée (SP) a été significativement plus haut que Red River (Figure 14 B). Parmi les cinq cultivars de PE, Cave-in-Rock a été le plus haut ayant 190,3 cm, tandis que Sunburst n'a atteint que 168,2 cm (Tableau 18 et Figure 15).

Tableau 18. Hauteur moyenne (2015-2019) de graminées pérennes implantées en 2010 à Stratford.

Cultivars	Sommaire de 5 ans	Hauteur, cm				
		2019	2018	2017	2016	2015
Panic érigé						
Blue Jacket	177,8±2,8 ^B	187,1±1,2 ^B	189,3±0,9 ^B	187,5±4,2 ^B	162,6±5,2 ^B	162,6±5,2 ^B
Cave-in-Rock	190,3±3,5 ^A	203,8±1,8 ^A	204,9±1,9 ^A	196,8±2,8 ^A	173,0±8,2 ^A	173,0±8,2 ^A
Summer	179,8±2,5 ^B	190,4±3,0 ^B	186,1±4,8 ^B	187,7±3,6 ^B	167,4±4,0 ^B	167,4±4,0 ^B
Sunburst	168,2±2,9 ^C	182,4±2,1 ^C	179,9±2,0 ^C	172,6±4,9 ^C	153,1±5,5 ^C	153,1±5,5 ^C
Tecumseh	181,2±2,8 ^B	192,8±2,3 ^B	188,8±3,7 ^B	188,1±3,2 ^B	167,7±6,2 ^B	167,7±6,2 ^B
Barbon de Gérard						
Niagara	195,7±2,9 ^A	202,3±2,7 ^A	206,9±3,3 ^A	210,9±2,1 ^A	179,1±4,7 ^A	179,1±4,7 ^A
Sowthlow	200,3±2,9 ^A	204,3±2,6 ^A	198,3±2,7 ^A	215,8±4,2 ^A	191,4±8,0 ^A	191,4±8,0 ^A
Spartine pectinée						
Pennsylvania	204,6±3,6 ^A	209,1±4,4 ^A	206,6±5,1 ^A	214,9±7,3 ^A	196,1±10,8 ^A	196,2±10,8 ^A
Red River	197,3±3,5 ^B	199,5±4,8 ^B	200,9±3,8 ^B	213,6±5,4 ^B	186,6±8,9 ^B	186,6±8,9 ^B

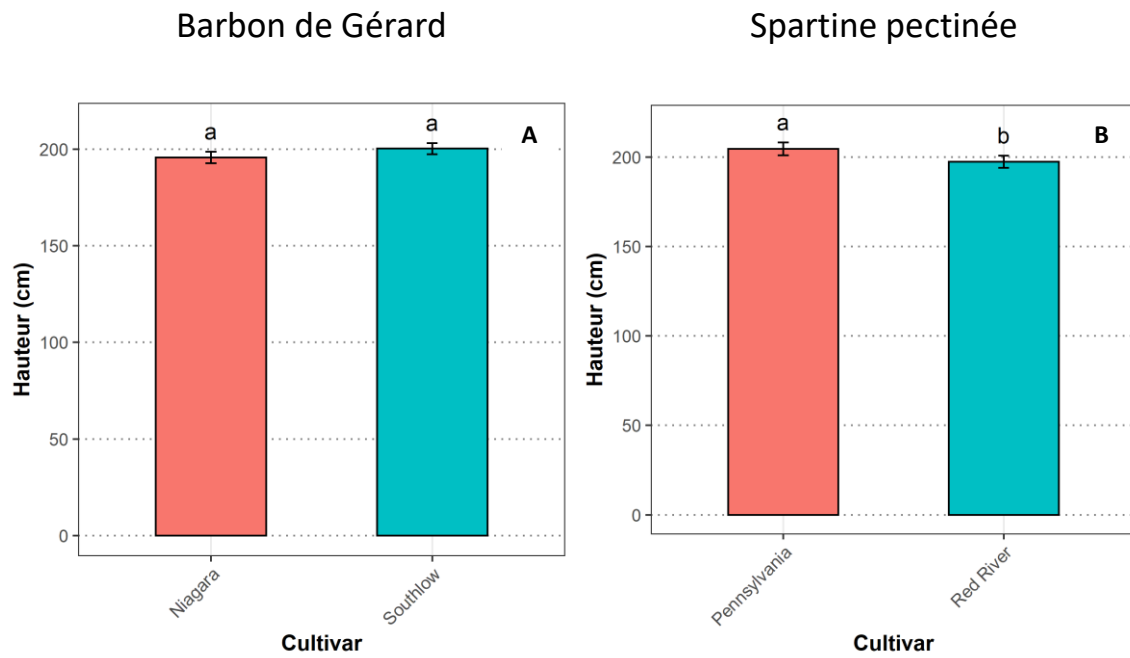


Figure 14. Hauteur moyenne (2015-2019) de divers cultivars de Barbon de Gérard (A) et de Spartine pectinée (B) semés à Stratford en 2010.

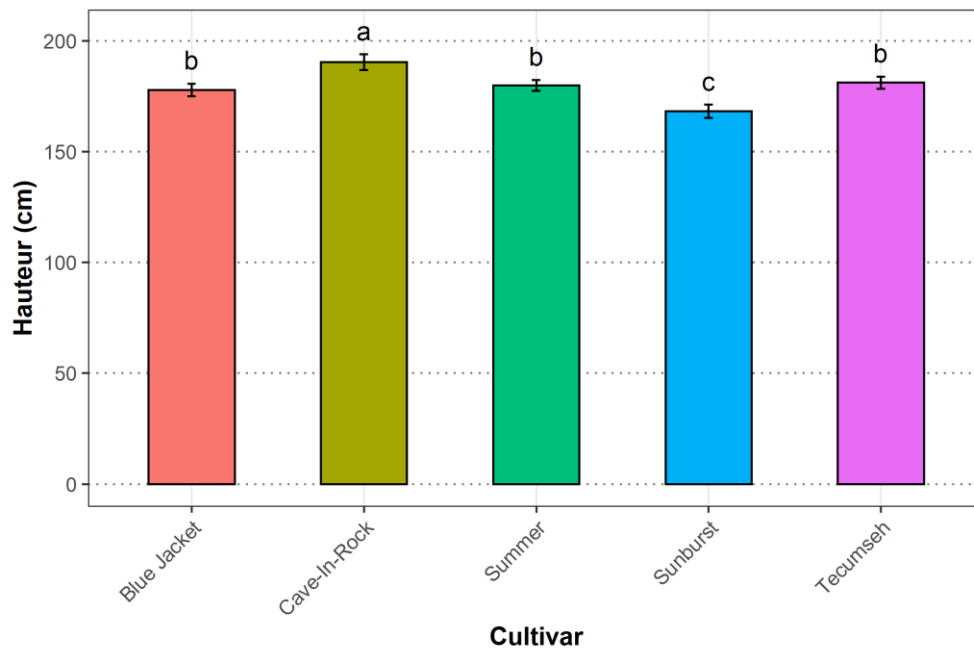


Figure 15. Hauteur moyenne (2015-2019) de divers cultivars de panic érigé semés à Stratford en 2010.

Nouvelles sélections de panic érigé mises à l'essai

Afin de comparer différents aspects agronomiques des nouvelles sélections de PE, de nouveaux sites d'essais ont été mis en place en 2015 à SMB et en 2016 à LAP et SMB. Plusieurs paramètres (le rendement, la hauteur, la largeur des feuilles, la maturité des grains) ont été mesurés selon le protocole développé au début de la saison. Les données obtenues soumises à une analyse de variance (ANOVA) à l'aide du programme R.

Semis 2015

Lors de la première année de récolte en 2016, le rendement des lignées du PE et de leurs témoins était très faible, de 2,6 à 4,1 t/ha, tandis que lors trois années suivantes (2017-2019), le rendement des nouvelles lignées de PE était presque trois fois supérieur, de 9 à 10 t/ha (Tableau 19, Figure 16).

En 2019, on n'a pas détecté de différence significative ($p > 0,05$) entre les rendements des lignées du PE et leurs témoins. Par contre, en faisant le sommaire de rendement de 3 ans, le rendement de Blue Jacket-V a été significativement plus élevé que celui de son témoin Sunburst soit 9,4 t/ha/an et 8,1 t/ha/an respectivement. En faisant la comparaison du rendement de PE (tous les cultivars confondus) en fonction de l'année de récolte, le rendement du PE en 2017 a été significativement plus élevé que celui des années suivantes (Tableau 20, Figure 17). Cet écart pourrait être expliqué, du moins en partie, par la différence des données agrométéorologiques entre les trois années d'étude (Tableau 19).

Tableau 19. Les données agrométéorologiques moyennes d'une station située à Saint-Bruno-de-Montarville (Montréal Est) *.

Données météo	2017	2018	2019
T, °C	7,7	7,3	6,4
Précipitations, mm	1126	1046	1245
Humidité relative, %	73	71	71
Température du sol, °C	9,5	9,6	8,6

*Agrométéo Québec <http://www.agrometeo.org/>

Tableau 20. Rendements et hauteurs annuels moyens des nouvelles lignées de panic érigé semées à SMB en 2015.

Cultivars/lignées	Témoin	Sommaire de 3 ans	Rendement en matière sèche, kg/ha			
			Sommaire annuel			
			2019	2018	2017	2016
Cave-in-Rock (CIR)	T1	9463 ^{AB}	10054 ^A	8522 ^{AB}	10126 ^{AB}	2182 ^{BC}
Summer	T2	8559 ^B	8033 ^A	9249 ^{AB}	8340 ^B	2220 ^C
Sunburst	T3	8157 ^B	8188 ^A	7723 ^B	8560 ^B	2293 ^{BC}
Blue Jacket	3	10015 ^{AB}	9259 ^A	9673 ^{AB}	11112 ^A	3589 ^{AB}
RC Blue Jacket-V	3	9400 ^A	8976 ^A	9167 ^{AB}	9951 ^{AB}	3218 ^{ABC}
RC CIR-V	1	10075 ^A	9301 ^A	10061 ^{AB}	10860 ^{AB}	2619 ^{AB}
RC CIRE-IV	1	10348 ^A	9189 ^A	9597 ^{AB}	12258 ^A	4183 ^A
RC HT-II x CIR-III	1	10368 ^A	8851 ^A	10583 ^A	11671 ^A	2731 ^{AB}
RC Tecumseh-V	2	9423 ^{AB}	9412 ^A	8570 ^{AB}	10288 ^{AB}	3398 ^{ABC}

Cultivars/lignées	Témoin	Sommaire de 3 ans	Hauteur, cm			
			Sommaire annuel			
			2019	2018	2017	2016
Cave-in-Rock (CIR)	T1	193 ^{CD}	202 ^{CD}	191 ^{CD}	186 ^{CD}	155 ^{AB}
Summer	T2	169 ^E	179 ^E	163 ^E	164 ^E	188 ^A
Sunburst	T3	171 ^E	174 ^E	173 ^E	167 ^E	142 ^B
Blue Jacket	3	193 ^{CD}	202 ^{CD}	193 ^{CD}	185 ^{CD}	170 ^A
RC Blue Jacket-V	3	191 ^D	193 ^D	199 ^D	180 ^D	165 ^A
RC CIR-V	1	210 ^{AB}	213 ^{AB}	209 ^{AB}	208 ^{AB}	176 ^A
RC CIRE-IV	1	202 ^{BC}	210 ^{BC}	203 ^{BC}	193 ^{BC}	163 ^{AB}
RC HT-II x CIR-III	1	216 ^A	223 ^A	217 ^A	209 ^A	172 ^A
RC Tecumseh-V	2	192 ^D	195 ^D	193 ^D	187 ^D	173 ^A

La hauteur des nouvelles lignées PE et leurs témoins a été la plus basse en 2016, et a démontré une hausse progressive les années suivantes. En 2019 et dans le sommaire de 2017-2019, une différence significative dans la hauteur de toutes les nouvelles lignées sauf RC CIRE-IV a été observée (Tableau 20).

Les résultats obtenus ont permis de faire les conclusions préliminaires suivantes :

- Une hauteur plus élevée lors des premières années d'implantation et de production devrait conférer une meilleure compétition contre les mauvaises herbes. Il s'agit certainement d'un aspect important plaidant en faveur de l'adoption de ces nouvelles lignées.
- La hauteur plus élevée des nouvelles lignées, ne se traduit pas par une augmentation du rendement.

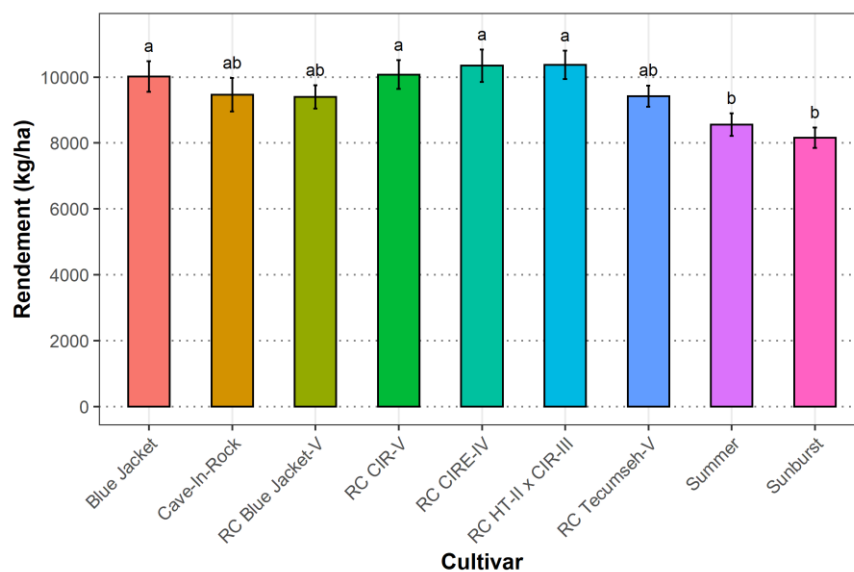


Figure 16. Rendements moyens en matière sèche des nouvelles lignées de PE et leurs témoins semés en 2015 à SMB.

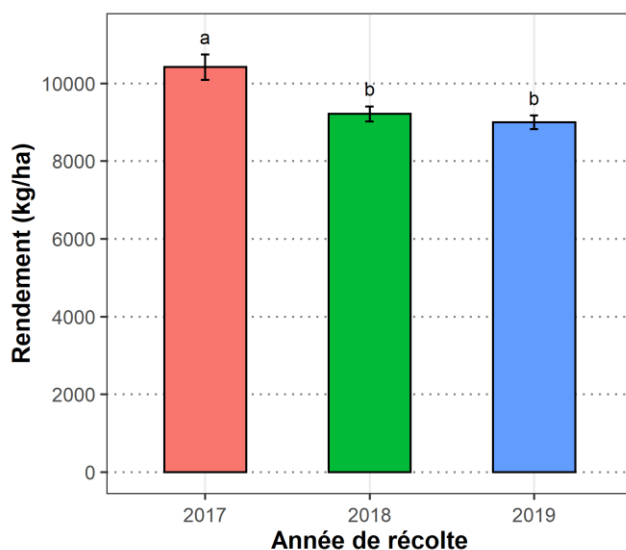


Figure 17. Rendement moyen en matière sèche de nouvelles lignées de PE et leurs témoins semés en 2015 à SMB en fonction de l'année de récolte.

La largeur des feuilles des nouvelles lignées du PE semées en 2015 à SMB, mesurée pour la première fois en 2018, a varié entre 0,93 et 1,07 cm (Tableau 20), mais il n'y avait pas de différence significative entre les nouvelles lignées et leurs témoins, à l'exception de Blue Jacket et son témoin Sunburst (1,03 cm et 0,88 cm, respectivement).

La maturité (dureté) des grains du PE semés en 2015 et en 2016 a varié selon le cultivar/lignée et le temps de la collecte des données (Tableau 21, Figure 18). Le 4 novembre 2019, au moment de la récolte, la maturité des grains de toutes les lignées avait atteint le plus haut degré.

Tableau 21. Largeur des feuilles et la dureté des grains de nouvelles lignées de panic érigé semées à SMB en 2015.

Cultivars/lignées	Témoin	Largeur des feuilles, cm		Dureté des grains, unité			
		2019	2018	2019		2018	
				20 septembre	4 novembre	18 septembre	15 octobre
Cave-in-Rock (CIR)	T1	1,09 ^{ABC}	0,98 ^{ABC}	4,41 ^{BC}	4,9 ^A	4,37 ^{BC}	4,46 ^{BC}
Summer	T2	0,84 ^E	0,80 ^E	4,55 ^A	4,9 ^A	4,51 ^A	4,59 ^A
Sunburst	T3	0,91 ^{DE}	0,88 ^{DE}	4,61 ^A	4,9 ^A	4,57 ^A	4,66 ^A
Blue Jacket	3	1,06 ^{ABC}	1,03 ^{ABC}	4,57 ^A	4,9 ^A	4,53 ^A	4,62 ^A
RC Blue Jacket-V	3	1,04 ^{BCD}	0,93 ^{BCD}	4,58 ^A	4,9 ^A	4,48 ^A	4,63 ^A
RC CIR-V	1	1,19 ^{AB}	0,98 ^{AB}	4,43 ^{BC}	4,9 ^A	4,39 ^{BC}	4,48 ^{BC}
RC CIRE-IV	1	1,15 ^A	1,06 ^A	4,38 ^{BC}	4,9 ^A	4,34 ^{BC}	4,43 ^{BC}
RC HT-II x CIR-III	1	1,16 ^A	1,07 ^A	4,35 ^C	4,9 ^A	4,31 ^C	4,39 ^C
RC Tecumseh-V	2	0,94 ^{CDE}	0,93 ^{CDE}	4,45 ^B	4,9 ^A	4,41 ^B	4,49 ^B

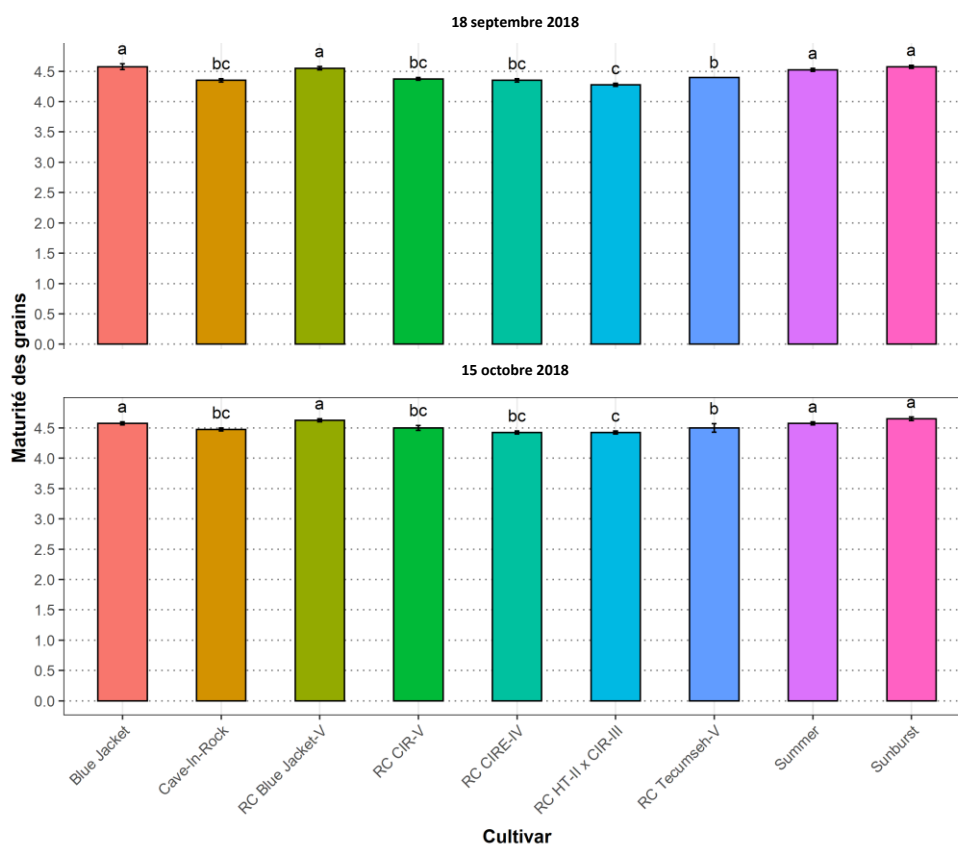


Figure 18. Maturité des grains de nouvelles lignées du PE et leurs témoins semés en 2015 à SMB en fonction du mois (septembre vs octobre) de prise des données en 2018.

Semis 2016

En 2016, les nouvelles lignées dérivées de Cave-in-Rock (CIR), Summer et Sunburst ont été semées à SMB et à LAP afin de comparer l'influence des différences climatiques sur la survie et le rendement. La récolte de la biomasse de ces nouvelles lignées à SMB n'a pas été effectuée en 2017 en raison de très haut recouvrement (50-90%) de mauvaises herbes dans les parcelles. Ainsi, la prise de données et la récolte de nouvelles lignées de PE en 2017 ont été effectuées uniquement à LAP. Un bon contrôle des mauvaises herbes en 2018 et en 2019 dans les parcelles à SMB (Tableau 12) a permis une meilleure croissance des nouvelles lignées de PE. Elles ont démontré des résultats de rendement en 2019 comparable à ceux de LAP (Tableau 22, Figure 19). Seulement RC Blue Jacket-VI a démontré un rendement significativement plus élevé (8,8 t/ha/an) que son témoin Sunburst (6,3 t/ha/an). En raison d'une mauvaise implantation en 2016-2017, le rendement de toutes les lignées de PE et leurs témoins a été encore plus faible à SMB par rapport à LAP en 2018.

Tableau 22. Rendements moyens de nouvelles lignées de panic érigé semées à La Pocatière (LAP) à Saint-Mathieu-de-Beloeil (SMB) en 2016.

Cultivars/lignées	Témoin	Rendement en matière sèche, kg/ha				
		Saint-Mathieu-de-Beloeil		La Pocatière		
		2019	2018	2019	2018	2017
Cave-in-Rock (CIR)	T1	9578 ^A	5319 ^{AB}	8475 ^{ABC}	6491 ^{AB}	4533 ^{AB}
Summer	T2	6229 ^{BC}	2325 ^B	6966 ^{BC}	4487 ^B	1668 ^B
Sunburst	T3	6321 ^C	2760 ^B	6560 ^C	3950 ^B	1563 ^B
RC Blue Jacket-VI	3	8889 ^{AB}	4304 ^{AB}	9839 ^{AB}	6257 ^{AB}	4187 ^{AB}
RC Tecumseh-VI	2	8455 ^{ABC}	4799 ^{AB}	7963 ^{ABC}	6719 ^{AB}	4313 ^{AB}
RC CIR-VI	1	10343 ^A	5310 ^{AB}	10071 ^A	8314 ^{AB}	5587 ^A
RC CIRE-IV	1	8377 ^{ABC}	5355 ^A	8705 ^{ABC}	7481 ^A	4855 ^A
RC HT-II x CIR-III (Cycle2)	1	9365 ^A	5091 ^A	8823 ^{ABC}	7231 ^A	5098 ^A
RC CIR-III x HT-II (Cycle 2)	1	9200 ^A	6264 ^A	10220 ^A	7977 ^A	4795 ^A
RC CIRE-IV x BJ-V	1 et 3	9352 ^A	4879 ^A	8774 ^{ABC}	8334 ^A	5413 ^A

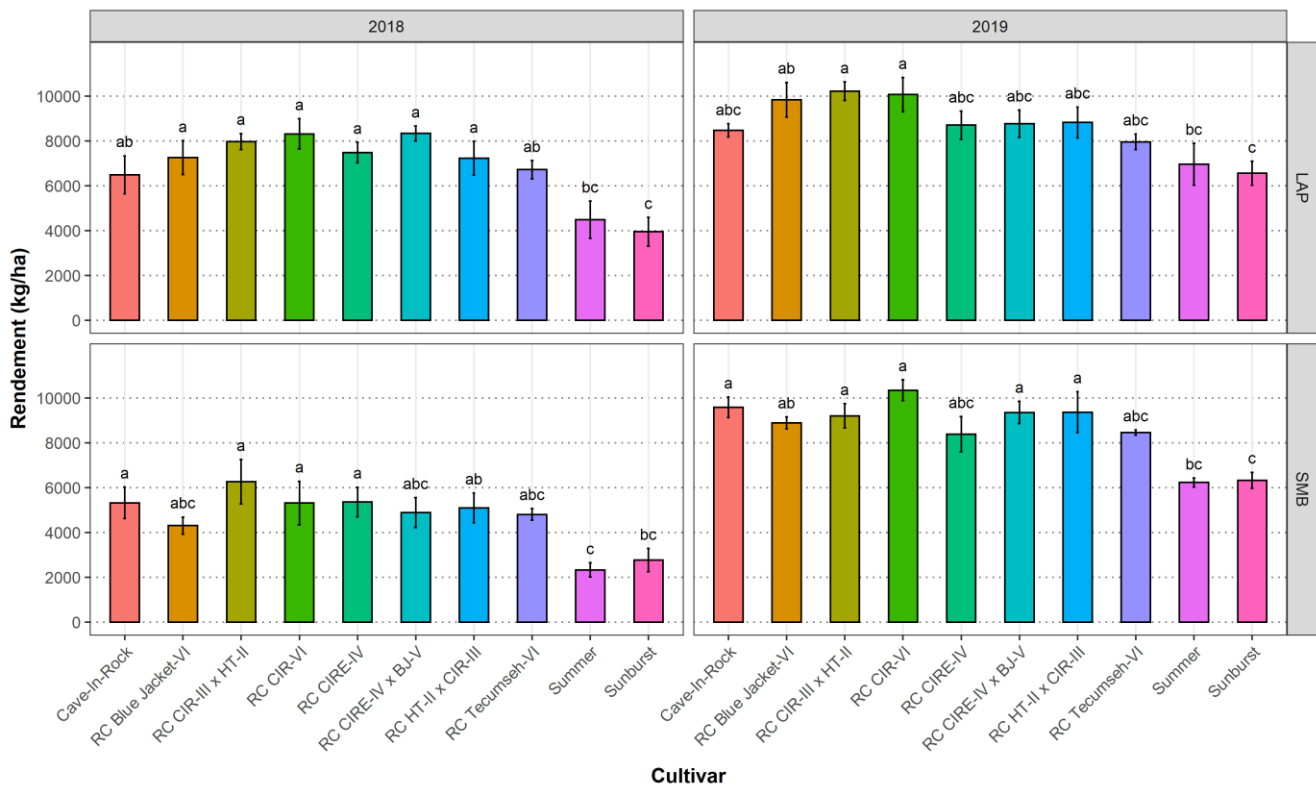


Figure 19. Rendements moyens en matière sèche en fonction du site et de l'année de récolte de nouvelles lignées du panic érigé semées en 2016.

En 2019, la hauteur des nouvelles lignées et de leurs témoins a été plus élevée à SMB par rapport à LAP (Tableau 23, Figure 20). Sur les deux sites, les nouvelles lignées, dérivées de CIR ont été significativement plus hautes ($P < 0,05$) que leurs témoins, à l'exception de RC HT- II \times CIR-III (Cycle2) cultivé sur le site de SMB (Tableau 23, Figure 20). La hauteur des nouvelles lignées RC Tecumseh-VI et RC Blue Jacket-VI a aussi été plus élevée par rapport à leurs témoins Summer et Sunburst, respectivement (Tableau 23, Figure 20). Sur les deux sites, le croisement RC CIRE-IV \times BJ-V a résulté par des plans significativement plus hauts que les témoins CIR et Sunburst (Tableau 23, Figure 20).

En ce qui concerne la largeur des feuilles, aucune différence significative n'a été observée en 2018 et en 2019 entre les nouvelles lignées dérivées de CIR et leurs témoins cultivés sur deux sites (Tableau 24). Une nouvelle lignée RC Tecumseh-VI a été plus haute que son témoin Summer seulement en 2019 à LAP. La hauteur de RC Blue Jacket-VI a été significativement plus élevée que son témoin Sunburst à SMB en 2018 et à LAP en 2019 (Tableau 24, Figure 20).

Tableau 23. Hauteur moyenne des nouvelles lignées de panic érigé semées à La Pocatière (LAP) à Saint-Mathieu-de-Beloil (SMB) en 2016.

Cultivars/lignées	Témoin	Hauteur moyenne, cm				
		Saint-Mathieu-de-Beloil		La Pocatière		
		2019	2018	2019	2018	2017
Cave-in-Rock (CIR)	T1	190 ^{CD}	146 ^{CD}	156 ^E	150 ^E	124 ^{ABC}
Summer	T2	172 ^E	124 ^E	148 ^F	127 ^F	105 ^{BC}
Sunburst	T3	169 ^E	131 ^E	141 ^F	126 ^F	92 ^C
RC Blue Jacket-VI	3	197 ^{BCD}	151 ^{BCD}	181 ^{CD}	154 ^{CD}	133 ^{AB}
RC Tecumseh-VI	2	185 ^D	151 ^D	166 ^{DE}	147 ^{DE}	127 ^{AB}
RC CIR-VI	1	208 ^A	175 ^A	203 ^A	182 ^A	151 ^A
RC CIRE-IV	1	204 ^{AB}	162 ^{AB}	188 ^{BC}	170 ^{BC}	135 ^{AB}
RC HT-II x CIR-III (Cycle2)	1	203 ^{ABC}	161 ^{ABC}	194 ^{AB}	188 ^{AB}	141 ^A
RC CIR-III x HT-II (Cycle 2)	1	208 ^{AB}	162 ^{AB}	175 ^C	169 ^C	127 ^{AB}
RC CIRE-IV x BJ-V	1 et 3	204 ^{AB}	162 ^{AB}	178 ^C	172 ^C	143 ^A

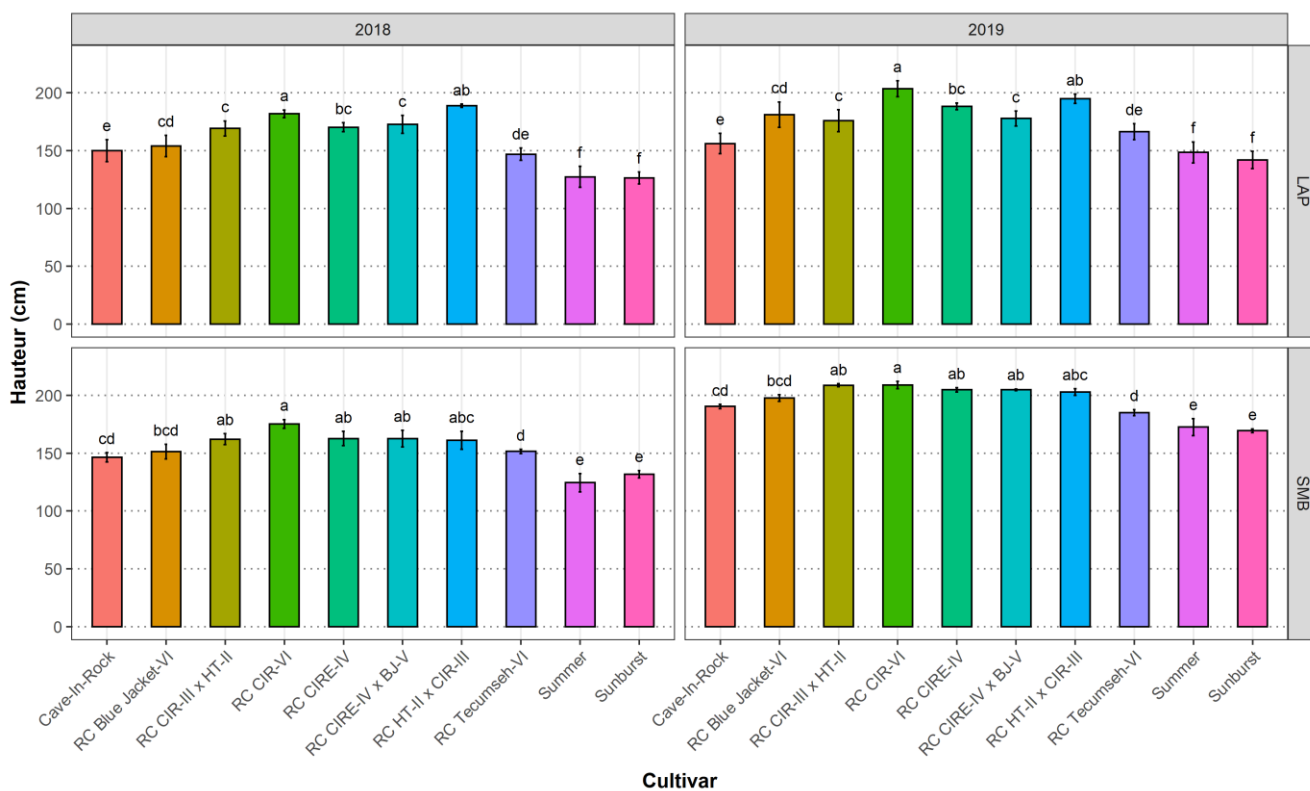


Figure 20. Hauteur des nouvelles lignées en fonction du site et de l'année de récolte du panic érigé semé en 2016.

Tableau 24. Largeur des feuilles des nouvelles lignées de panic érigé semées à Saint-Mathieu-de-Beloil et à La Pocatière en 2016.

Cultivars/lignées	Témoin	Largeur des feuilles, cm			
		Saint-Mathieu-de-Beloil		La Pocatière	
		2019	2018	2019	2018
Cave-in-Rock (CIR)	T1	1,06 ^{ABC}	1,01 ^{AB}	1,15 ^{AB}	0,93 ^A
Summer	T2	0,87 ^D	0,81 ^{BC}	0,74 ^E	0,73 ^C
Sunburst	T3	0,93 ^{BCD}	0,86 ^B	0,83 ^{DE}	0,82 ^B
RC Blue Jacket-VI	3	1,04 ^{ABC}	0,97 ^{AC}	1,00 ^{BC}	0,94 ^{AB}
RC Tecumseh-VI	2	0,89 ^{CD}	0,87 ^B	0,95 ^{CD}	0,86 ^{ABC}
RC CIR-VI	1	1,10 ^A	1,16 ^A	1,23 ^A	1,03 ^A
RC CIRE-IV	1	1,09 ^{AB}	1,00 ^{AB}	1,23 ^A	1,0 ^A
RC HT-II × CIR-III (Cycle2)	1	1,06 ^{AB}	1,19 ^A	1,24 ^A	0,99 ^A
RC CIR-III × HT-II (Cycle 2)	1	1,15 ^A	1,13 ^A	1,17 ^A	0,98 ^{AB}
RC CIRE-IV × BJ-V	1 et 3	1,04 ^{ABC}	1,0 ^{AB}	1,16 ^{AB}	0,88 ^{ABC}

En 2018, la dureté des grains de PE a été évaluée en septembre et en octobre sur deux sites à SMB et à LAP, mais aucune différence significative n'a été remarquée entre les nouvelles lignées et leurs témoins (Tableau 25). En 2019, à SMB, le jour de récolte (le 4 novembre), tous les grains avaient déjà atteint la maturité. À LAP, le 30 octobre 2019, la dureté des grains a été remplacé par le port des feuilles, car les grains étaient trop petits ou non présents sur les plants.

Tableau 25. Dureté des grains de nouvelles lignées de panic érigé semées à Saint-Mathieu-de-Beloil et à La Pocatière en 2016.

Cultivars/lignées	Témoin	Dureté des grains, unité						
		Saint-Mathieu-de-Beloil				La Pocatière		
		2019		2018		2019	2018	
		20 sept	4 nov	18 sept	20 oct	30 oct*	29 sept	16 oct
Cave-in-Rock (CIR)	T1	4.52 ^{ABCD}	4,9 ^A	4,41 ^B	4,56 ^B	6,30 ^A	4,30 ^B	4,53 ^B
Summer	T2	4.67 ^A	4,9 ^A	4,51 ^{AB}	4,66 ^{AB}	6,35 ^A	4,30 ^B	4,53 ^A
Sunburst	T3	4.67 ^A	4,9 ^A	4,59 ^A	4,74 ^A	5,80 ^A	4,62 ^A	4,85 ^B
RC Blue Jacket-VI	3	4.67 ^A	4,9 ^A	4,51 ^{AB}	4,66 ^{AB}	5,65 ^A	4,53 ^A	4,75 ^A
RC Tecumseh-VI	2	4.60 ^{AB}	4,9 ^A	4,47 ^{AB}	4,63 ^{AB}	5,95 ^A	4,35 ^B	4,58 ^B
RC CIR-VI	1	4.40 ^D	4,9 ^A	4,45 ^B	4,60 ^B	7,12 ^A	4,33 ^B	4,55 ^B
RC CIRE-IV	1	4.52 ^{ABCD}	4,9 ^A	4,40 ^B	4,60 ^B	6,30 ^A	4,28 ^B	4,50 ^B
RC HT-II × CIR-III (Cycle2)	1	4.47 ^{BCD}	4,9 ^A	4,45 ^B	4,60 ^B	7,25 ^A	4,36 ^B	4,59 ^B
RC CIR-III × HT-II (Cycle 2)	1	4.42 ^{CD}	4,9 ^A	4,40 ^B	4,55 ^B	7,22 ^A	4,29 ^B	4,51 ^B
RC CIRE-IV × BJ-V	1 et 3	4.57 ^{ABC}	4,9 ^A	4,51 ^{AB}	4,66 ^{AB}	7,22 ^A	4,35 ^B	4,58 ^B

* la dureté des grains a été remplacé par le port des feuilles, car les grains étaient trop petits ou non présents sur les plants

Atelier saule à croissance rapide

Dépistage des ravageurs du saule

Le dépistage des ravageurs du saule à croissance rapide (SCR) a été effectué à la mi-juin, mi-juillet et à la mi-août 2019 selon le protocole établi par l'équipe du CÉROM en 2019. Au cours de la saison, il a été difficile de distinguer les symptômes causés par les tenthrèdes et certains champignons phytopathogènes. À cet égard, l'information additionnelle a été envoyée à tous les responsables des sites. De plus, une échelle de la sévérité des dommages des plants causés par les insectes ou par les champignons phytopathogènes a été établie par les responsables des sites de SCR lors de la réunion du 10 juin 2019 (Tableau 26).

Tableau 26. Sévérité des dommages des plants causés par les ravageurs du SCR.

Échelle	Abondance des insectes et/ou Pourcentage des dommages des plants
0	Pas de dommage ou l'absence d'insecte
1	1 – 10%
2	10 – 25%
3	25 – 50%
4	50 – 75%
5	75 – 100%

La présence et l'abondance des insectes a varié selon les conditions climatiques de la région et de la sensibilité de cultivar ainsi que de l'âge de SCR suivant le recepage (un an vs deux ans). À titre d'exemple, à LAP, le puceron vert, l'altiste naine et la cicadelle du saule ont été détectés seulement en juillet sur les plants d'un an, tandis que la chrysomèle versicolore et le calligraphe du saule ont été trouvés sur certains cultivars de SCR plus âgés (Figure 21). Les dommages causés par le puceron vert ont été le plus élevés et varié entre l'échelle 3 et 4 (Figure 21).

En Abitibi, où la saison de croissance est plus courte, aucun insecte n'a été observé en juin 2019. Parmi les ravageurs dépistés, l'altiste naine, le puceron géant et le puceron d'écorce du saule ont été détectés uniquement en juillet, tandis que le calligraphe et le cèphe du saule ont été trouvés plus tard, soit en août 2019 (Figure 22). L'insecte responsable des galles du saule (*Aculus tetanothrix*) a endommagé tous les cultivars du SCR avec la sévérité la plus élevée atteignant l'échelle 3 chez les cultivars SX61 et SX67 (Figure 23).

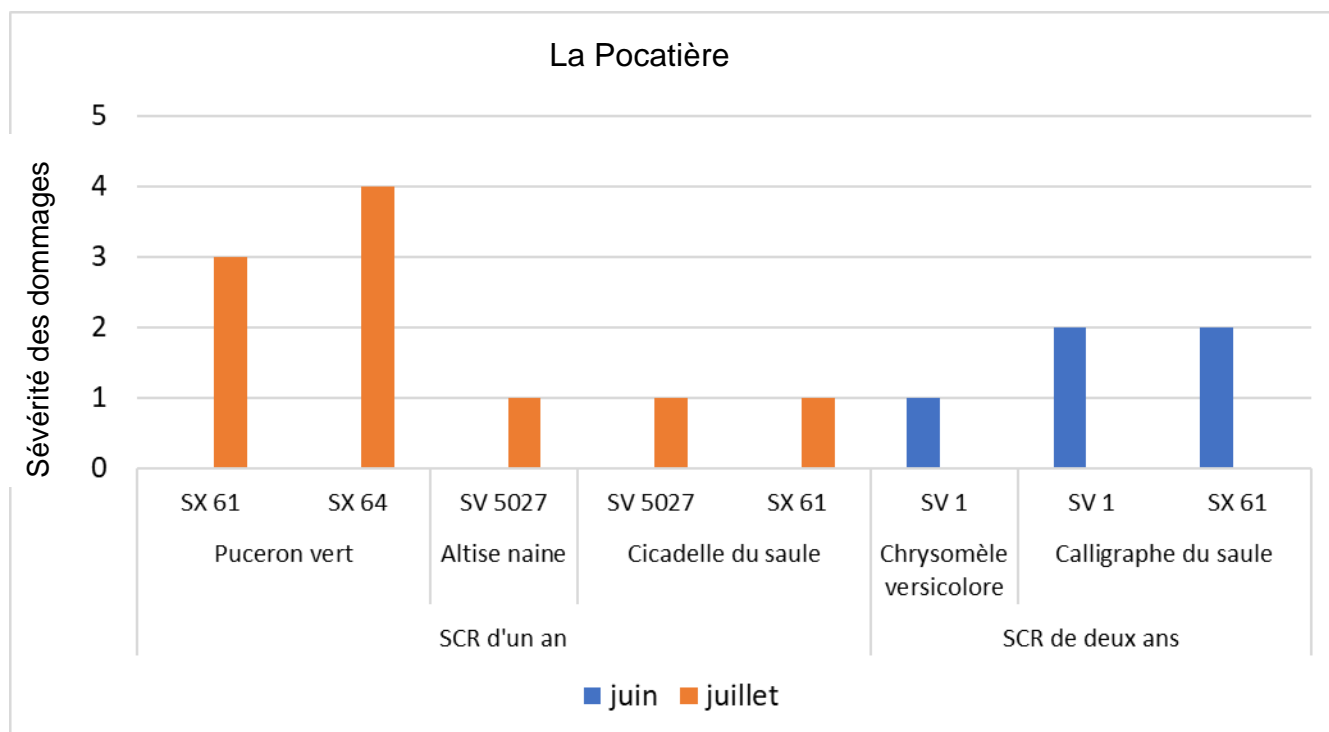


Figure 21. Sévérité des dommages causés par les ravageurs du SCR à La Pocatière.



©PHOTO : Snizhana Olishevsk, CÉROM



©PHOTO : Sébastien Boquel, CÉROM

Figure 22. Les galls du saule causées par *Aculus tetanothrix* (Eriophyidae).

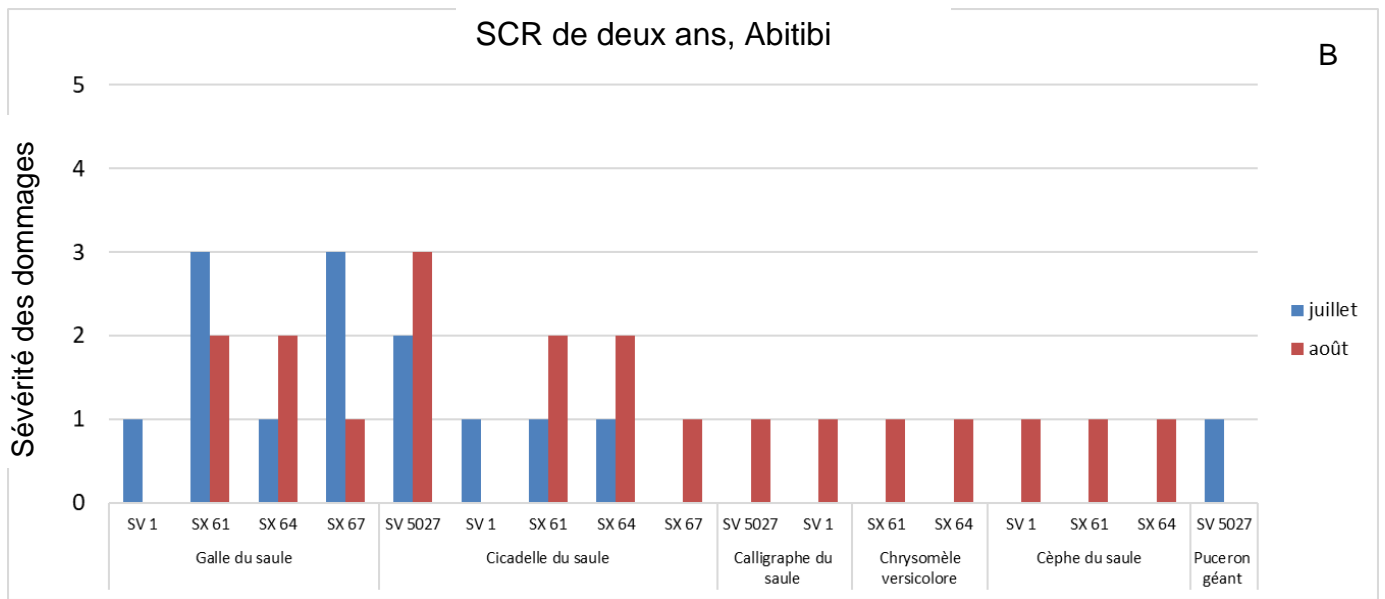
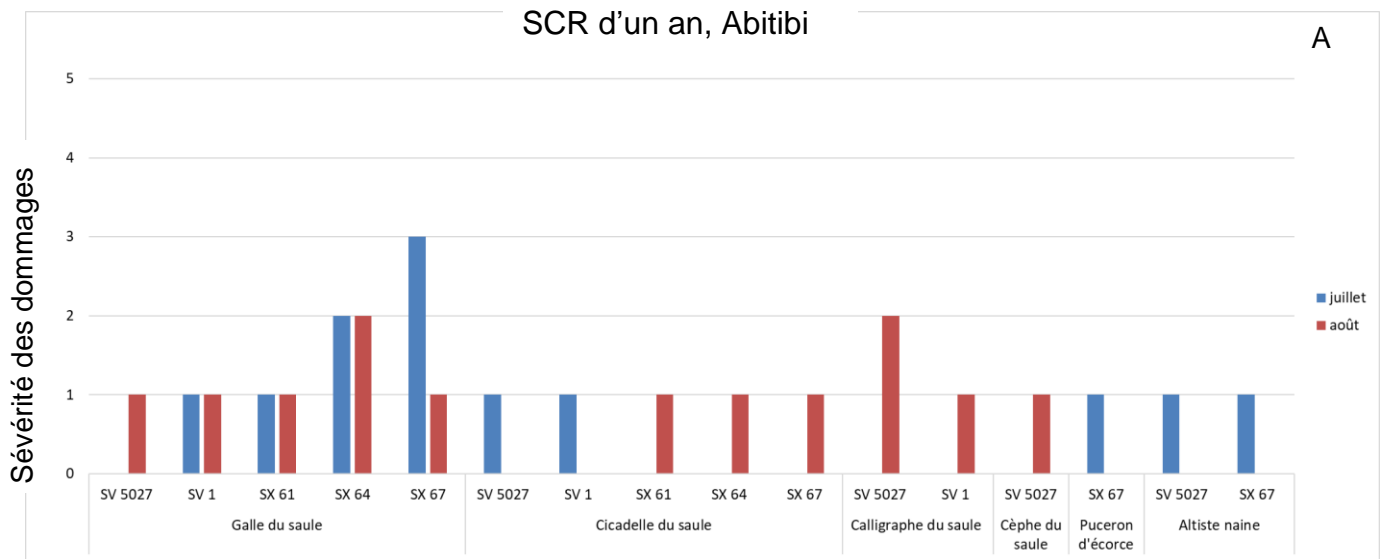


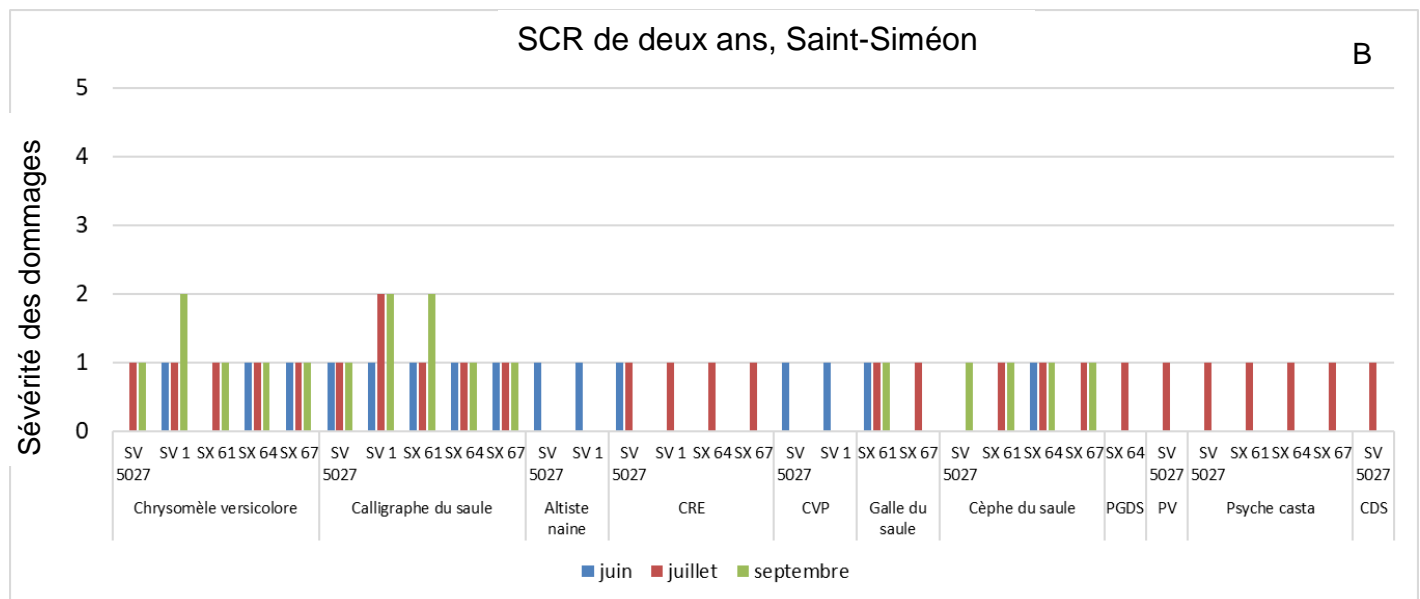
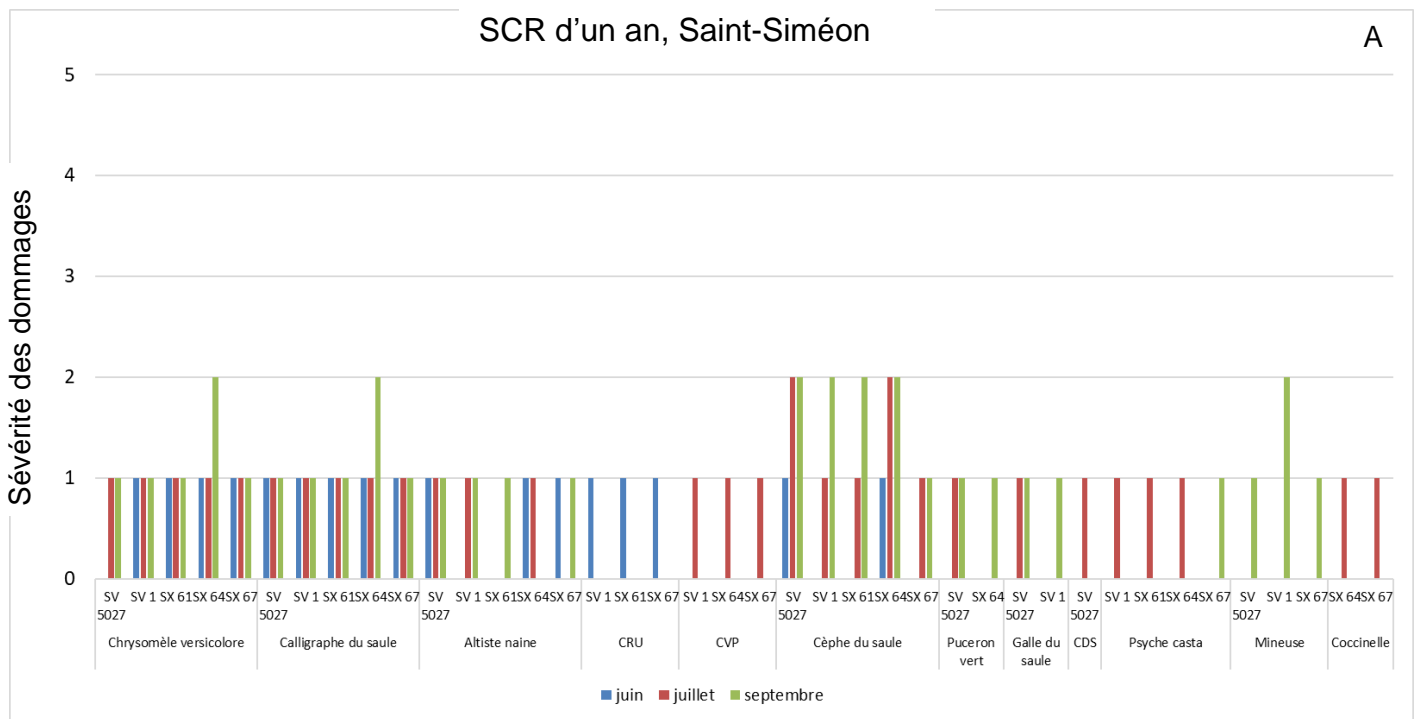
Figure 23. Présence et sévérité des dommages causés par les ravageurs du SCR d'un an (A) et du SCR de deux ans (B) à Champneuf, en Abitibi.

Une plus grande diversité des espèces ravageuses de SCR a été observée à Saint-Siméon, en Gaspésie (Figure 24 A et B). Nous avons détecté 14 espèces différentes avec une faible sévérité de dommages (niveau 1). Le charançon radicicole européen, le charançon du saule et le psycbe casta ont été observés seulement en juillet 2019. Le cultivar SV 5027 était le plus vulnérable à l'infestation du charançon du saule. La mineuse-tache du saule, *Micrurapteryx salicifoliella*, une des espèces des tenthrèdes, a été observé seulement en septembre sur les plantes de SCR plus jeunes (Figure 24 A).

Le nombre d'espèces ravageurs du SCR était aussi assez abondant (Figure 25 A et B) sur le site de Boisbriand. Les guêpes blanches et le puceron géant du saule ont été observés uniquement en août, tandis que la cicadelle de la pomme de terre sont apparus dès juillet 2019 (Figure 25 A et B). Dans la plupart des cas, la sévérité des dommages des plants causée par les ravageurs à Boisbriand a atteint l'échelle 1, à l'exception de plusieurs cultivars qui étaient plus vulnérables à l'infestation par le scarabée japonais (cultivar SV1), le puceron brun (cultivar SX61), ou le puceron géant du saule (SX61). Ils ont atteint l'échelle de sévérité des dommages 4 (Figure 25 A). La sévérité des dommages causée par le cèphe du saule a été plus élevée chez tous les cultivars de SCR plus âgés et elle a varié entre 3 et 4 (Figure 25 B). Certaines espèces, telles que la lieuse de l'hydrangée et les guêpes blanches, ont été détectées seulement sur le site à Boisbriand.

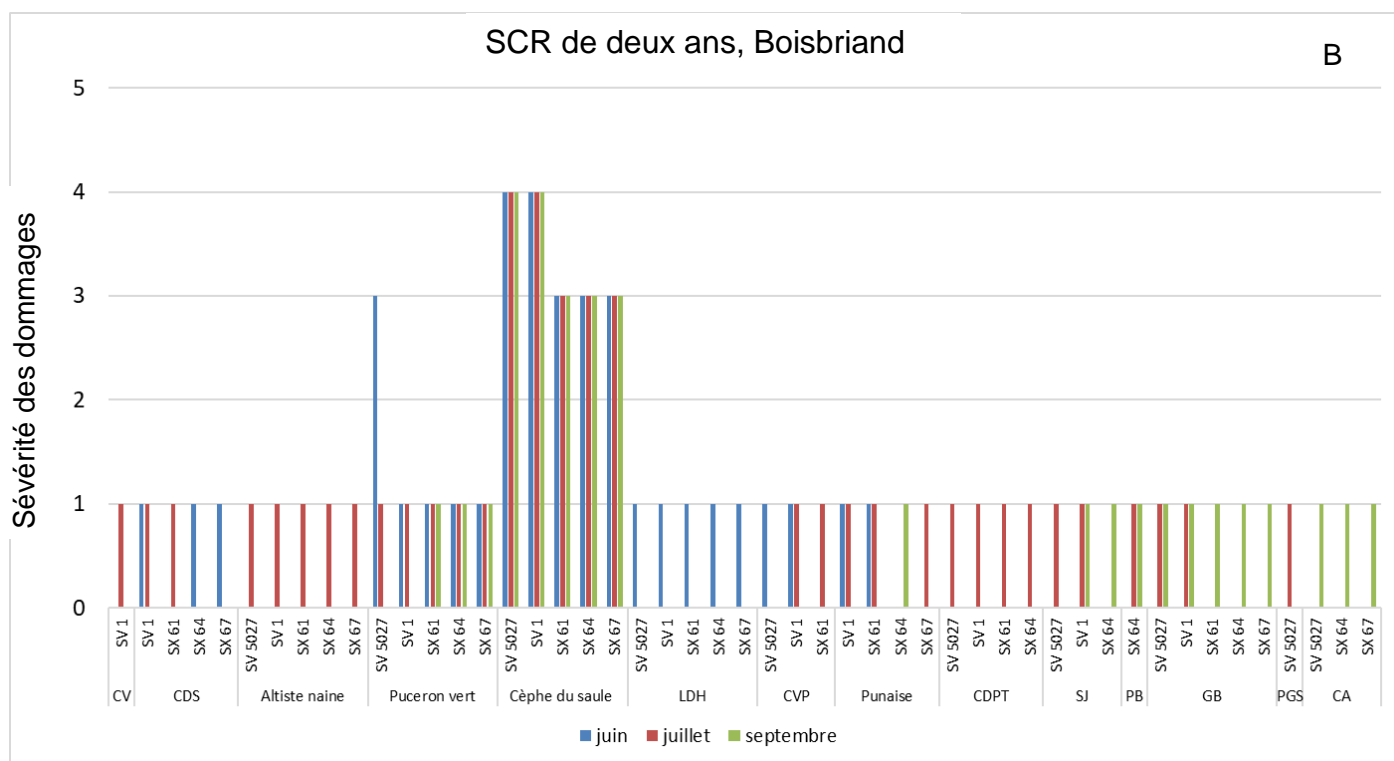
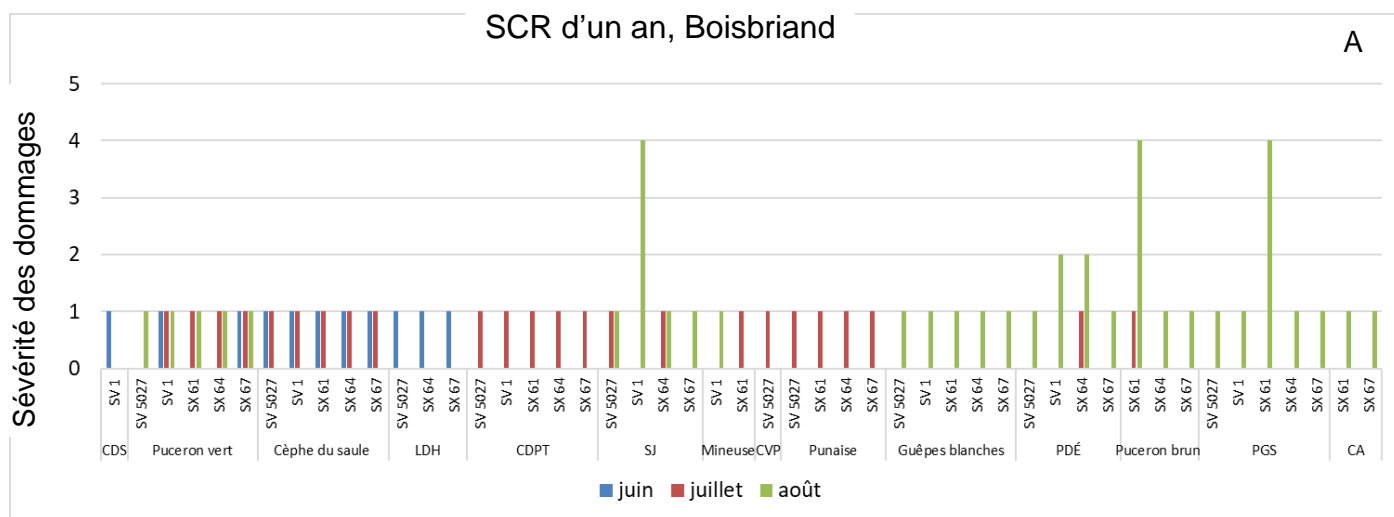
Sur le site à SMB, 9 espèces de ravageurs du SCR ont été détectés (Figure 26 A et B). Certaines espèces, telles que l'altiste naine, le charançon vert pâle, la chrysomèle versicolore, la cicadelle du saule ont été présentes sur les plants seulement en juillet. La sévérité des dommages dans la plupart de cas équivalait à l'échelle 1. Par contre, les plantes de SCR plus âgées (de 2 ans) ont été plus vulnérables à l'infestation par la chrysomèle versicolore, le puceron géant et le puceron des écorces du saule (Figure 26 B). La sévérité des dommages par ces ravageurs a varié entre 2 et 4. Il est important de noter que le puceron géant du saule a été détecté seulement en fin juillet-début août sur les tiges du SCR de deux ans. Tous les cultivars du SCR ont été sensibles à l'infestation par cet insecte (à l'exception du SX64) ainsi que par l'altiste naine, le cèphe du saule et le puceron des écorces du saule. En général, les deux cultivars du SCR soit SV1 et SV5027 ont été les plus endommagés par les ravageurs.

Dans tous les 5 sites sur les mêmes plants du SCR, nous avons fréquemment observé la coccinelle asiatique, l'insecte prédateur des pucerons verts (Figure 27) ainsi que des pucerons des écorces du saule (Figure 28).



- CRE - Charançon radicicole européen
- CVP - Charançon vert pâle
- CDS - Charançon du saule
- CRU - Charançon radicicole européen
- PV - Puceron vert
- PDG - Puceron géant du saule

Figure 24. Présence et sévérité des dommages causés par les ravageurs du SCR d'un an (A) et du SCR de deux ans (B) à Saint-Siméon, Gaspésie.



- | | | | | | |
|------|---|--------------------------------|-----|---|------------------------|
| CA | - | Coccinelle asiatique | LDH | - | Lieuse de l'hydrangée |
| CDPT | - | Cicadelle de la pomme de terre | PB | - | Puceron brun |
| CDS | - | Calligraphe du saule | PDE | - | Puceron des écorces |
| CV | - | Chrysomèle versicolore | PGS | - | Puceron géant du saule |
| CVP | - | Charançon vert pâle | SJ | - | Scarabée japonais |
| GB | - | Guêpes blanches | | | |

Figure 25. Présence et sévérité des dommages causés par les ravageurs du SCR d'un an (A) et du SCR de deux ans (B) à Boisbriand.

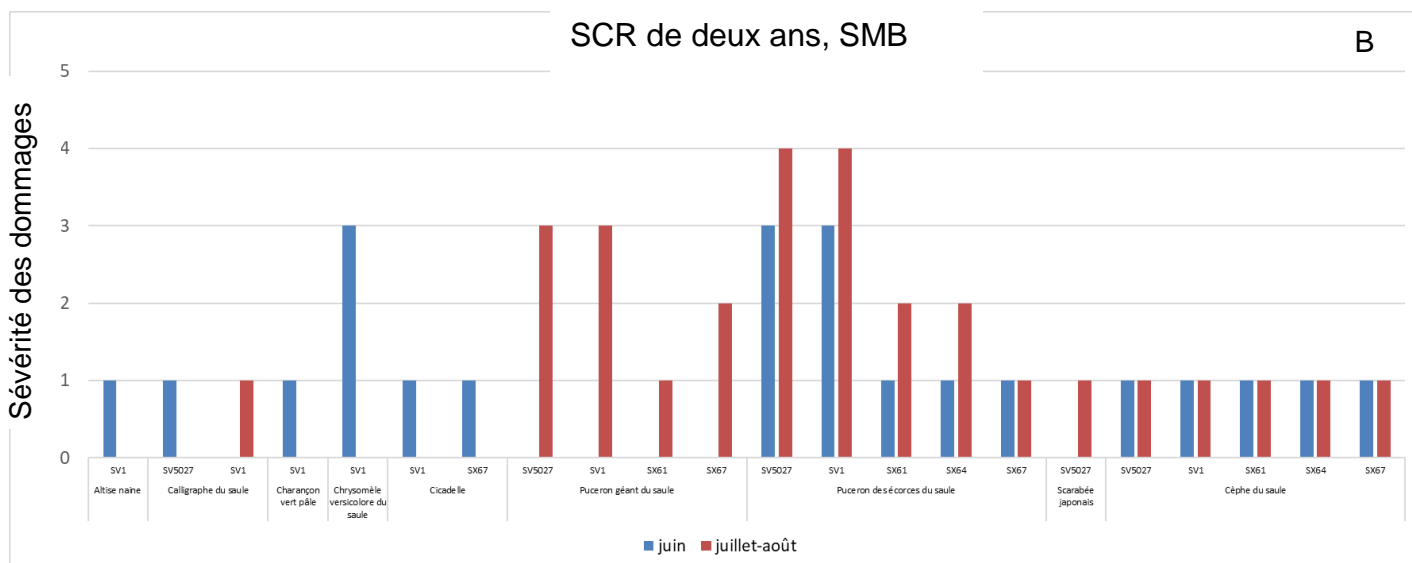
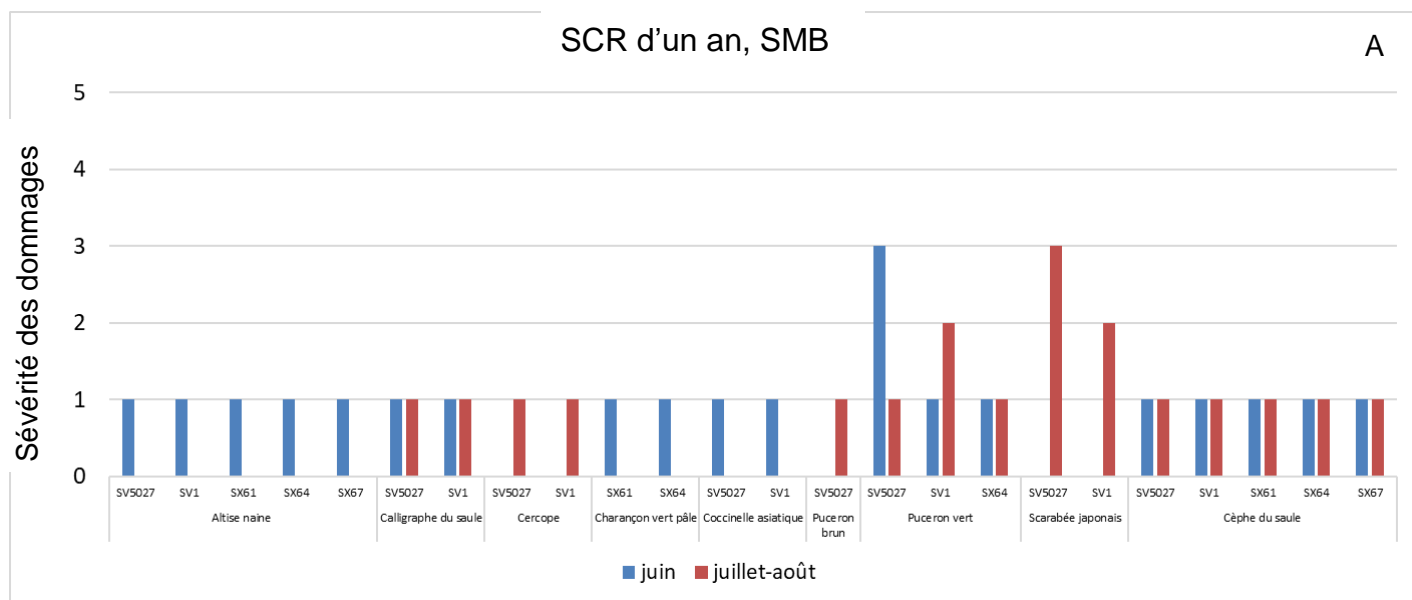


Figure 26. Présence et la sévérité des dommages causés par les ravageurs du SCR d'un an (A) et du SCR de deux ans (B) à Saint-Mathieu-de-Beloëil (SMB).



© PHOTO : Snizhana Olishevskaya, CÉROM

Figure 27. Coccinelle asiatique, le prédateur des pucerons vert du saule sur les jeunes tiges d'un an de SCR cultivar SV1 (16 juillet, 2019, site à SMB).



©PHOTO : Snizhana Olishevskaya, CÉROM

Figure 28. Coccinelle asiatique, le prédateur des pucerons des écorces du saule sur les tiges de deux ans de SCR cultivar SX61 (16 juillet, 2019, site à SMB).

Dépistage des maladies fongiques du saule

Le dépistage des maladies fongiques a été effectué à la mi-juin, mi-juillet et à la mi-août 2019 selon les symptômes décrits dans le protocole établi par le CÉROM en 2019. Étant donné la difficulté à distinguer les symptômes causés par les insectes et par les champignons, certaines analyses ont été faites au sein du Laboratoire d'expertise et de diagnostic en phytoprotection du MAPAQ.

Des milieux sélectifs, des tests biochimiques ainsi que le séquençage de certains gènes spécifiques ont été utilisés afin d'identifier la cause des symptômes (bactérie, champignon, insecte). Les résultats obtenus ont permis d'associer les symptômes observés à un agent phytopathogène ou un insecte.

Le pourcentage d'infection d'une parcelle par un champignon phytopathogène a été évalué selon les symptômes observés et a été attribué à une échelle de 0 à 5 (Tableau 27).

Tableau 27. Évaluation d'infection d'une parcelle par un champignon phytopathogène.

Échelle	Pourcentage d'infection d'une parcelle
0	Pas de dommage
1	1 – 10%
2	10 – 25%
3	25 – 50%
4	50 – 75%
5	75 – 100%

Dans la plupart des cas, le taux d'infection de SCR par les champignons phytopathogènes était assez faible soit 1 selon l'échelle proposée (Figures 29-33). La présence des symptômes a varié selon le climat de la région et le cultivar de SCR.

En Abitibi, pendant la courte saison de croissance, les symptômes de 5 maladies fongiques du SCR ont été observés, soit l'anthracnose des saules, les taches noirs des saules, la tavelure des saules, les nécroses rameaux des saules, le chancre cytosporéen (Figure 29 A et B). Les deux derniers ont été observés plus sur les tiges des SCR de deux ans (Figure 29 B).

Toutefois, à Saint-Siméon, en Gaspésie, la plupart des maladies fongiques ont manifesté leurs symptômes seulement à partir du mois de juillet (Figure 30 A et B). En juin, seulement deux agents

phytopathogènes du SCR ont été détectés, soit les malformations causées par *Agrobacterium tumefaciens* sur les cultivars SV1, SX61, SX67 et le chancre cytosporéen qui était présent sur les tiges de tous les cultivars du SCR de deux ans. La nécrose des rameaux des saules a été détectée uniquement sur les tiges des SCR de deux ans des cultivars SV1, SV5027 et SX61 (Figure 30 B).

À LAP, de juillet à octobre, nous avons observé les symptômes du chancre cytosporéen sur les tiges de tous les cultivars du SCR d'un an, tandis qu'ils étaient absents sur les tiges du SCR de deux ans. Cependant, l'antracnose du saule a été détectée sur tous les cultivars du SCR de deux ans, mais il était présent seulement sur les cultivars SV1 et SX64 du SCR d'un an (Figure 31 A et B).

Aucune maladie du SCR n'a été détectée en juin 2019 à Boisbriand, mais de juillet jusqu'en septembre on a observé les symptômes de 4 maladies fongiques (l'antracnose, la tache noire, le chancre cytosporéen, le chancre noir du saule), les malformations causées par une bactérie *Agrobacterium tumefaciens* et la brûlure de la pointe (Figure 32 A et B). La brûlure de la pointe est un état non-pathologique des feuilles. Le bout et les bords des feuilles brunissent et les parties affectées deviennent rapidement dures et friables. La brûlure de la pointe peut se produire à n'importe quel moment durant la période de croissance des plants et est généralement causée par des conditions défavorables de croissance entourant le plant.

À SMB, les symptômes des six maladies fongiques, la brûlure de la pointe, ainsi que l'affection abiotique ont été observés sur le SCR durant juin-août 2019 (Figure 33 A-B). Les cultivars SV1 et SV5027 ont été les plus vulnérables à l'infection par certains agents phytopathogènes en démontrant un taux d'infection entre 2 et 3. Tous les cultivars de SCR de deux ans ont manifesté des symptômes associés au chancre noir, au chancre cytosporéen et à l'antracnose du saule, tandis que ces maladies n'ont été observées que sur certains cultivars du SCR d'un an (Figure 33 A-B). La nécrose des rameaux des saules a été détectée sur les tiges de tous les cultivars du SCR de deux ans (Figure 33 B), tandis que la tavelure du saule a été observée sur tous les cultivars d'un an (Figure 33 A).

Il est important de préciser qu'il fut difficile de détecter les agents phytopathogènes dû à la présence de champignons secondaires, tels que *Cladosporium* sp., *Alternaria* sp. et autres. Une étude supplémentaire utilisant des approches moléculaires est nécessaire afin d'obtenir des résultats plus précis.

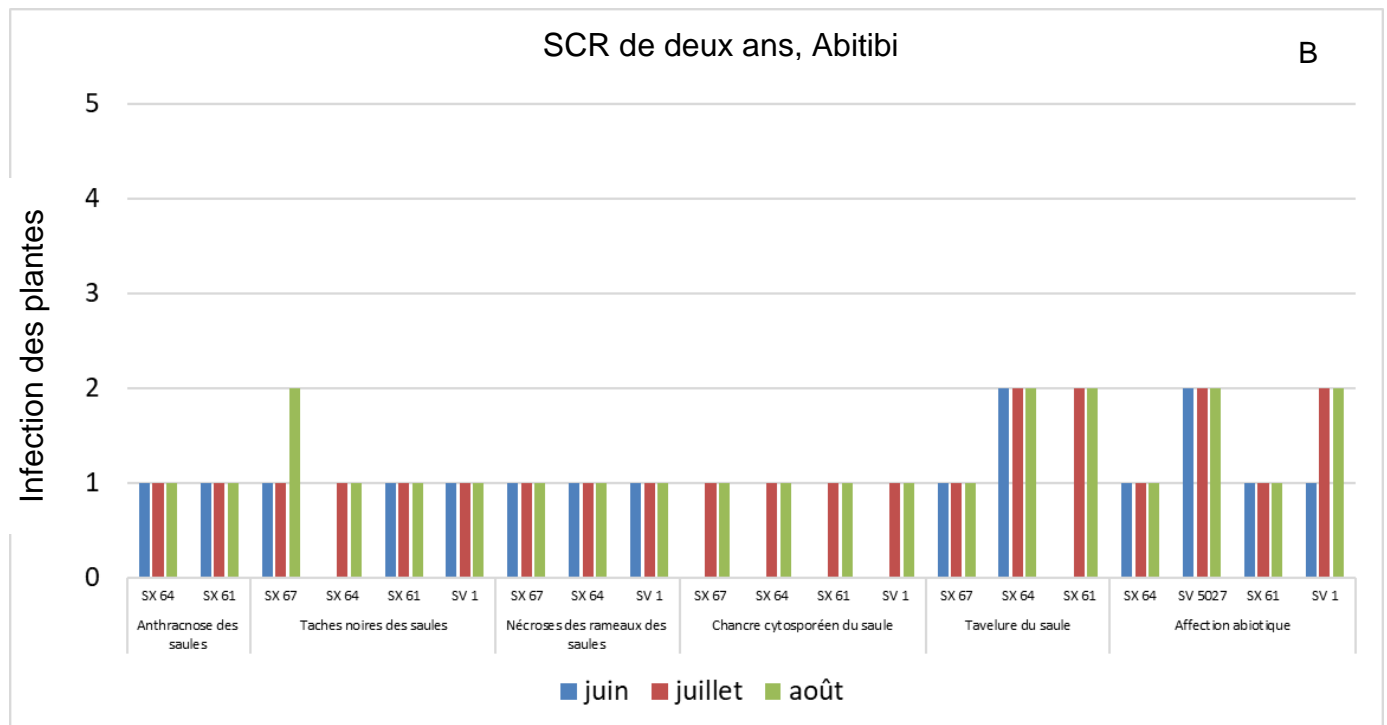
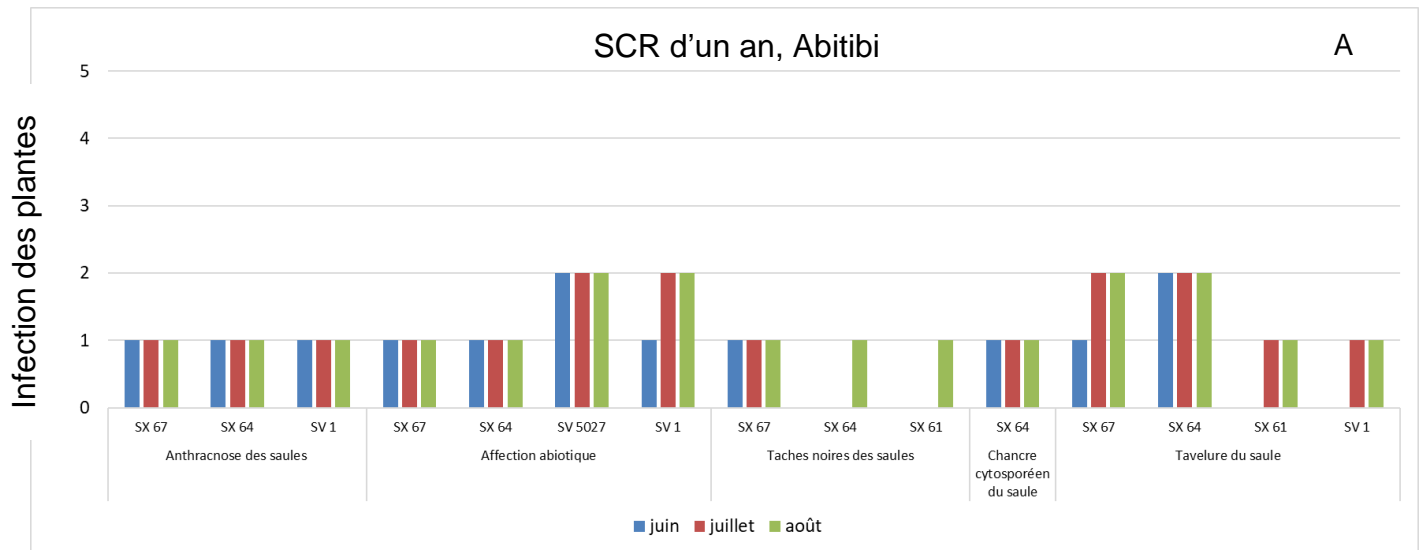
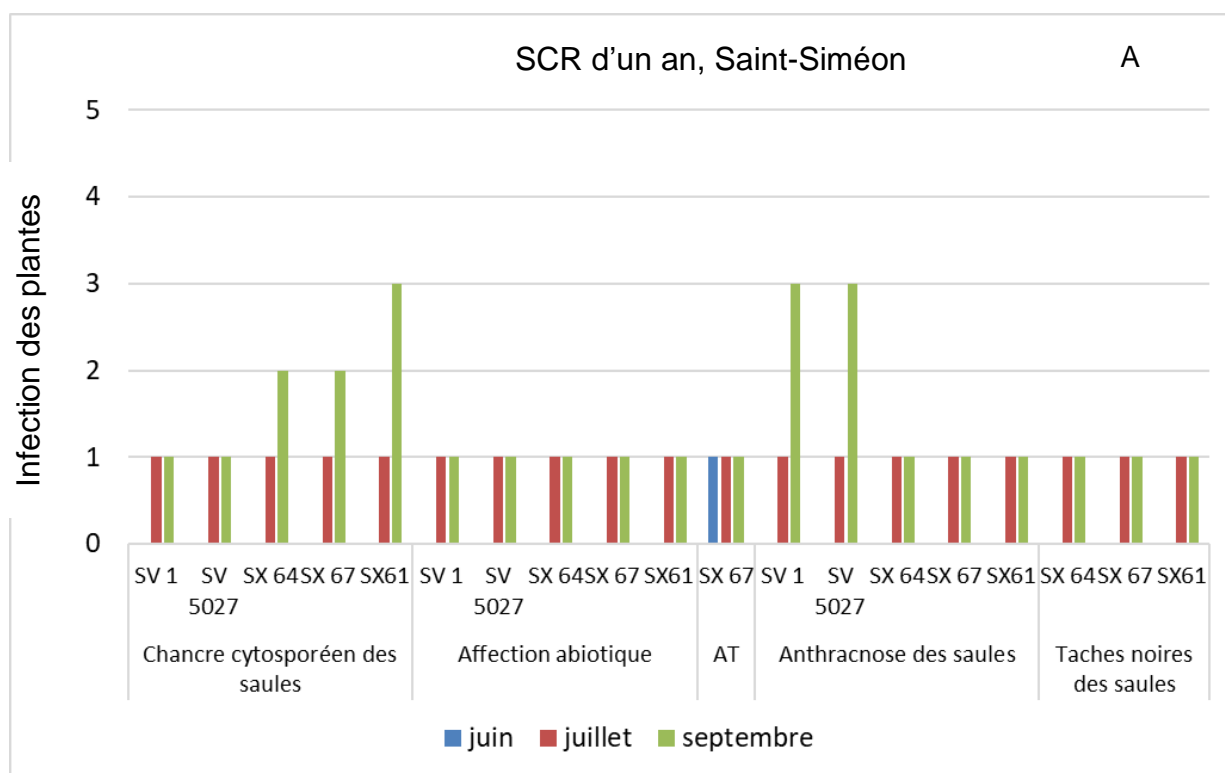


Figure 29. Infection de divers cultivars du SCR âgé d'un an (A) et de deux ans (B) par les maladies fongiques, à Champneuf en Abitibi.



AT – *Agrobacterium tumefaciens*

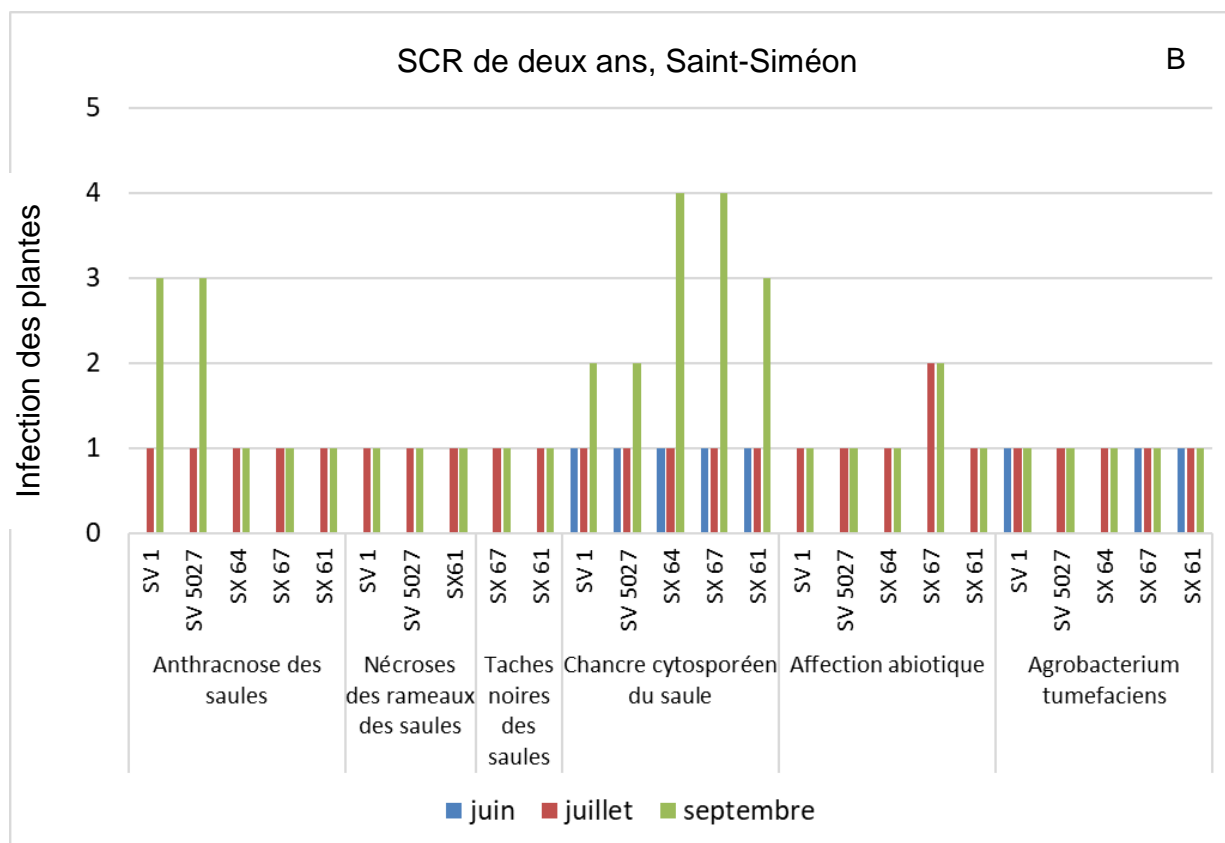


Figure 30. Infection de divers cultivars du SCR âgé d'un an (A) et de deux ans (B) par les maladies fongiques, à Saint-Siméon, Gaspésie.

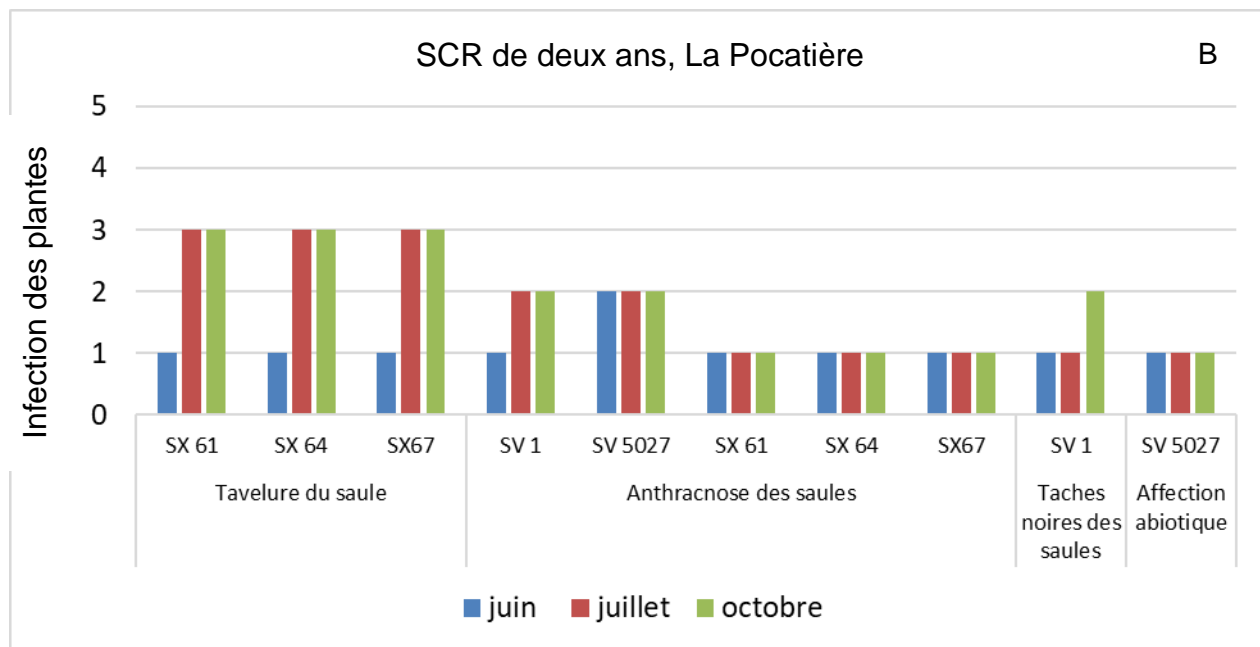
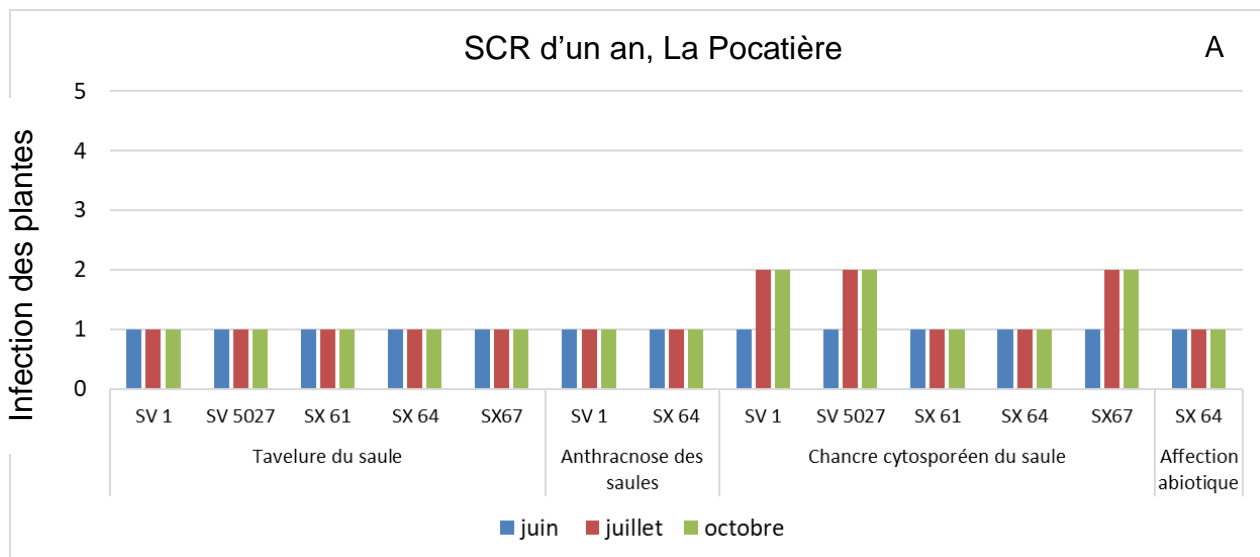


Figure 31. Infection de divers cultivars du SCR âgé d'un an (A) et de deux ans (B) par les maladies fongiques à La Pocatière.

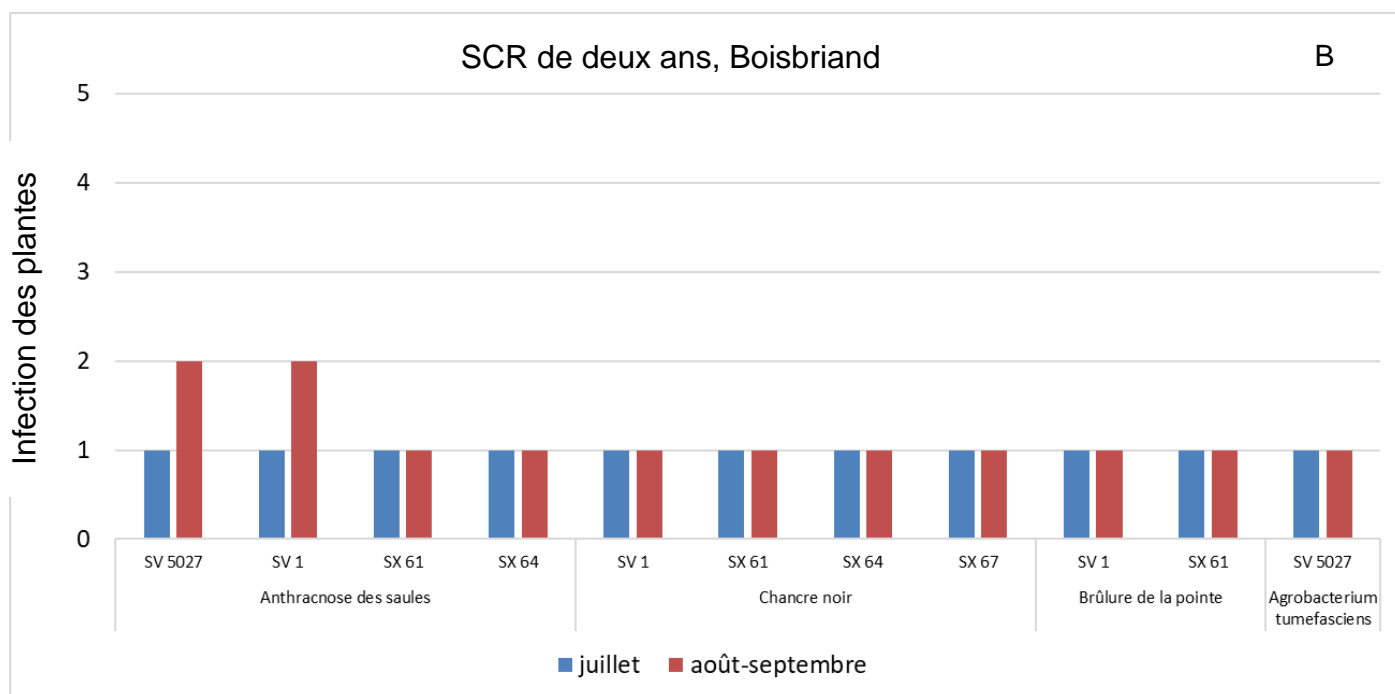
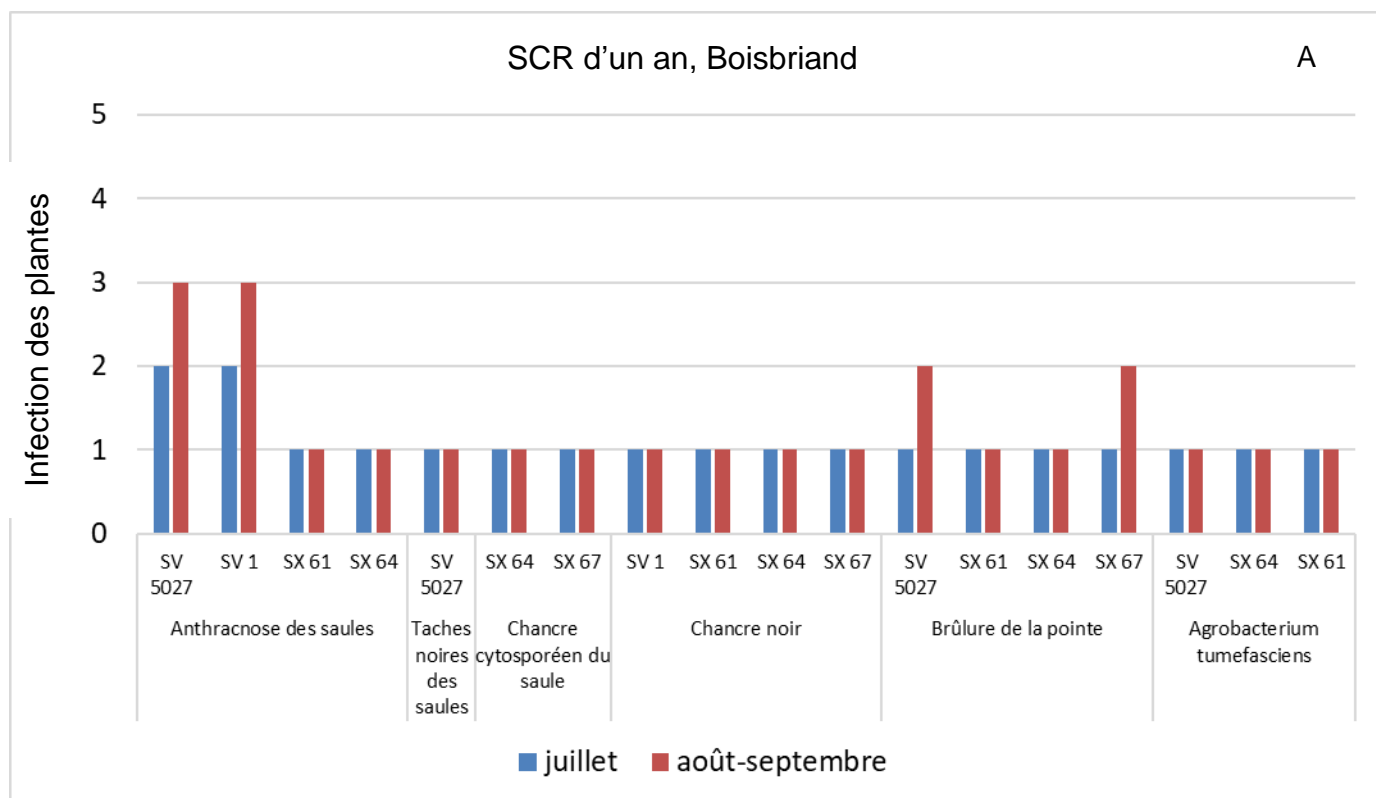


Figure 32. Infection de divers cultivars du SCR âgé d'un an (A) et de deux ans (B) par les maladies fongiques à Boisbriand.

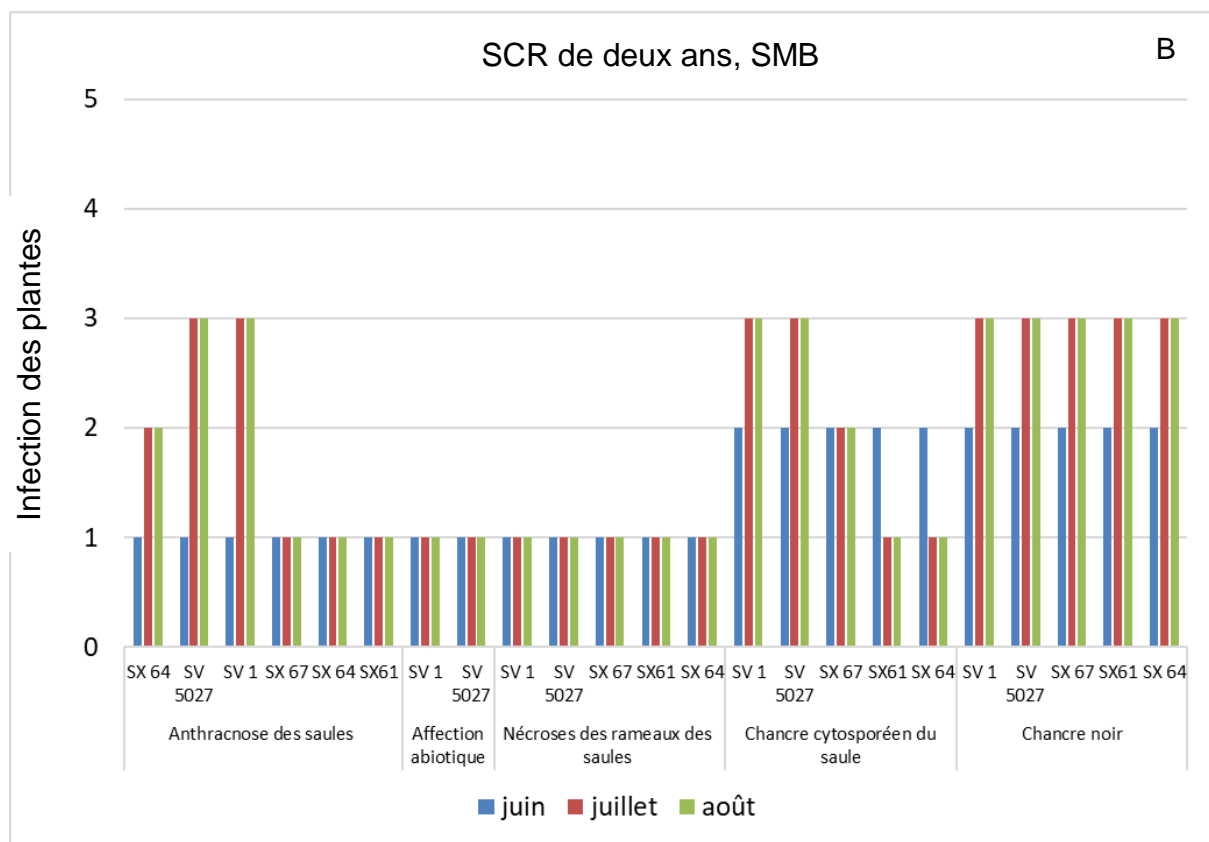
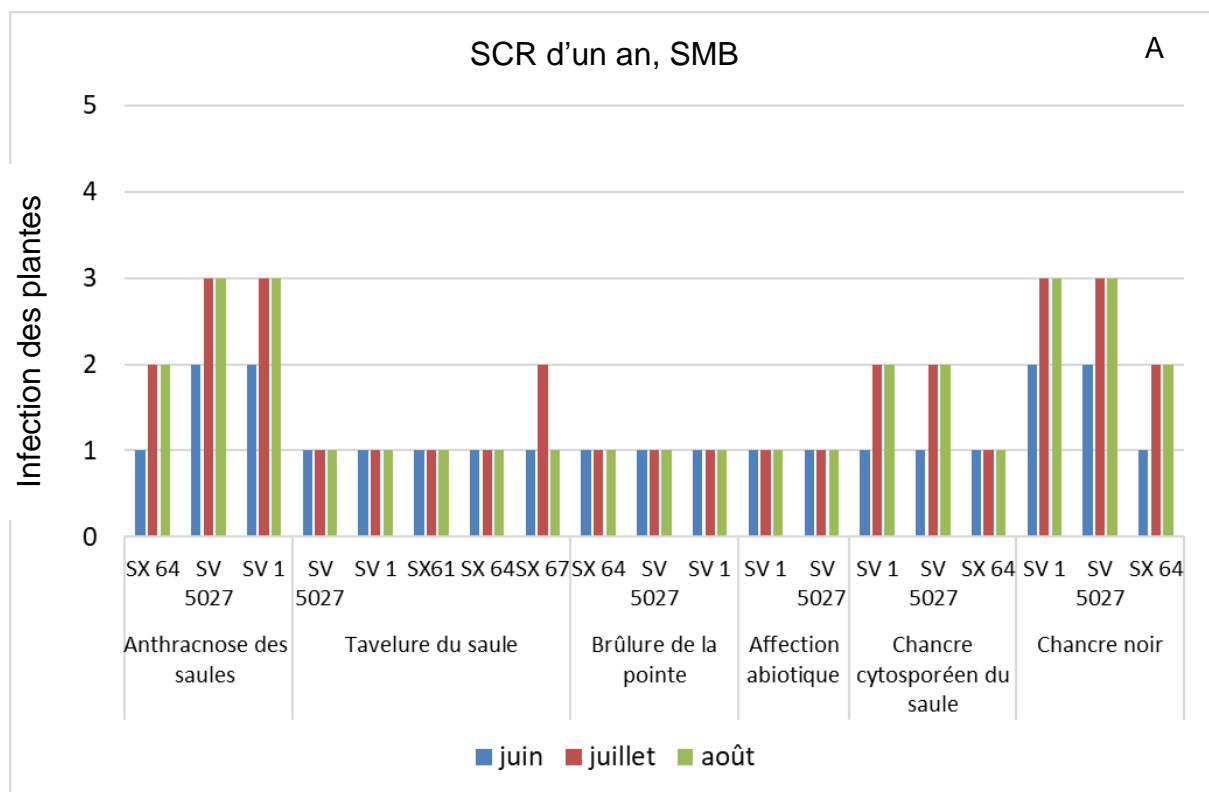


Figure 33. Infection de divers cultivars du SCR âgé d'un an (A) et de deux ans (B) par les maladies fongiques à Saint-Mathieu-de-Beloëil.

PUBLICATION ET TRANSFERT DE CONNAISSANCES DU RPBQ

Le rapport final des activités 2017-2018 du Réseau des Plantes Bio-industrielles du Québec a été déposé sur Agri-Réseau le 3 mai 2019 (Tableau 28). Ce document a déjà été consulté 255 fois (selon les données statistiques d'Agri-Réseau du 1 novembre 2019). La consultation du guide de production du panic érigé depuis son dépôt le 11 janvier 2018 est la plus élevée, soit 779 fois (consultation du site d'Agri-Réseau le 11 novembre 2019) ce qui démontre un intérêt envers cette culture.

En 2019, la coordonnatrice du RPBQ a participé à deux colloques organisés par le CRIBIQ ayant pour but de promouvoir le RPBQ et de trouver des partenaires industriels et académiques afin de développer la chaîne de valeur pour la biomasse des plantes bio-industrielles (Tableau 29).

Dans l'intention de transférer des connaissances sur les aspects agronomiques, le marché actuel et le potentiel des plantes bio-industrielles, plusieurs présentations orales des activités du RPBQ ont été faites pendant toutes les rencontres et les réunions indiquées dans le tableau 29.

La première rencontre-conférence téléphonique avec tous les collaborateurs de l'Atelier graminées pérennes a été organisée le 6 février 2020. Les résultats obtenus pendant les neuf années de de l'étude ont été discutés afin de pouvoir les publier dans un journal scientifique.

Tableau 28. Les travaux des activités du RPBQ publiés sur Agri-Réseau en 2018-2019.

Travaux du RPBQ publié sur Agri-Réseau	Date de publication	Consultation du document
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Olishevsk S. 2018. Rapport final des activités 2017-2018 du Réseau des Plantes Bio-industrielles du Québec (RPBQ). CÉROM. Saint-Mathieu-de-Beloeil, QC. 41 p. https://www.agrireseau.net/agroenvironnement/documents/100012/reseau-des-plantes-bio-industrielles-rapport-final-2017-2018 	03 mai 2019	320 fois
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Bélanger P., Lalonde O., Thivierge M.-N., Vanasse A. 2018. Guide de production du sorgho sucré au Québec. 19 p. https://www.agrireseau.net/documents/Document_97518.pdf 	20 avril 2018	248 fois
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Labrecque M., Lajeunesse S.L. 2017. Guide de production de saules en culture intensive sur courtes rotations. 19 p. https://www.agrireseau.net/documents/Document_96859.pdf 	24 janvier 2018	443 fois
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Martel H., Lalonde O. 2018. Panic érigé. Guide de production. 41 p. https://www.agrireseau.net/documents/96746/panic-erige-guide-de-production 	11 janvier 2018	789 fois
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Lalonde O., Bouchard A., Beaulieu M. et Lavoie F. 2018. Chanvre industriel : Guide pour la production en régie biologique et conventionnelle. Saint-Jean-sur-Richelieu, Québec. 79 pages. https://www.agrireseau.net/documents/97687/chanvre-industriel-guide-pour-la-production-en-regie-biologique-et-conventionnelle 	10 mai 2018	N/D

Tableau 29. Participation aux rencontres, réunions et colloques en 2019.

Rencontres et réunions du secteur agricole		
Évènement	Endroit	Date
Rencontre des chercheurs du Sollio Agriculture et du CÉROM	St-Hyacinthe, Québec	11 juin 2019
Visite des producteurs de grains de la Rive-Nord et producteurs de grains de la Chaudière-Appalaches	CÉROM, St-Mathieu-de-Beloeil, QC	15 août 2019
Table sectorielle grandes cultures	Nicolet, Québec	26 septembre 2019
Colloques organisés par le CRIBIQ		
Sujet	Endroit	Date
Forum innovation sur la bioéconomie au Québec	Trois-Rivières, Québec	18 juin 2019
Les matériaux biosourcés Innovants au Québec : Quels marchés à prioriser ?	Asbestos, Québec	1 octobre 2019

AVANCEMENT DANS LE DÉVELOPPEMENT DE LA CHAÎNE DE VALEUR POUR LES PLANTES BIO-INDUSTRIELLES

Suite aux rencontres avec les partenaires potentiels, plusieurs chaînes de valeurs pourraient être déployées pour la biomasse de PE, de MG ou de SCR dans la filière des produits bioraffinés.

Le terme de bioraffinage est couramment utilisé pour désigner l'ensemble des technologies de valorisation de la biomasse en polymères, matériaux composites, carburants et autres produits chimiques à haute valeur ajoutée.

Parmi les produits bioraffinés, les biomatériaux représentent une avenue intéressante permettant à la fois de réduire la consommation des matières d'origine fossile et d'améliorer le bilan carbone des produits finaux.

Biomatériaux

Les biomatériaux sont les matériaux transformés issus entièrement ou partiellement de la biomasse (ex. bioplastiques, isolants, dérivés de la cellulose, agromatériaux, biocomposites, etc.). Grâce à leurs bonnes propriétés mécaniques et leur légèreté, les matériaux composites sont considérés comme des matériaux incontournables dans plusieurs domaines tels que l'industrie automobile, aérospatiale, aéronautique, navale et le secteur sportif [32]. La taille du marché mondial des biocomposites de

fibres naturelles devrait atteindre 10,89 milliards de dollars en 2024 selon un nouveau rapport de Grand View Research, Inc [33].

Parmi les sources de fibres cellulosesques, les graminées vivaces telles que le PE et le MG attirent de plus en plus l'attention [34-37]. La biomasse de ces cultures peut être utilisée en tant que renfort pour des matrices polymères ou biopolymères. Bien que les perspectives liées à l'utilisation du PE ou de MG dans les biomatériaux soient nombreuses, il existe pour le moment peu d'applications commerciales au Canada. Malgré ce fait, plusieurs projets se réalisent sur la caractérisations mécanique, physicochimique et microstructurale de matériaux composites, polymères et nano-renforcés sous la direction du Professeur Mathieu Robert de l'Université Sherbrooke, titulaire de la Chaire de Recherche du Canada sur les éco-composites polymères.

Mise en forme des composites à matrice biosourcée issus de PE et de MG

Un projet préliminaire de quatre mois a été réalisé en 2019 en collaboration avec le Pr. Robert de l'Université de Sherbrooke et Mme Martel du MAPAQ-Estrie sur la mise en forme des composites à matrice biosourcée issus de PE, de MG et de l'Alpiste roseau (AR).

Trois étapes ont été réalisées, soit (1) le prétraitement par broyage simple des tiges séchées afin d'obtenir un broyat de finesse adéquate pour les procédés de fabrication de composites thermoplastiques, (2) la mise en forme par extrusion de granules de composites de polyéthylène de haute densité (HDPE)/broyat pouvant servir de base pour l'injection subséquente de pièces, et (3) le moulage de plaques par thermocompression. Une étape supplémentaire visant la caractérisation physico-mécanique des composites moulés reste à être réalisée.

Les résultats obtenus permettent de constater que les trois plantes étudiées sont broyables et peuvent atteindre des tailles de particules adéquates pour l'extrusion de granules avec le HDPE. Les étapes de broyage sont simples et efficaces, et une à deux phases de broyages sont généralement nécessaires. Des granules de HDPE/MS (miscanthus) et de HDPE/SG (panic érigé) ont été efficacement moulées avec différents taux de broyats de 15 à 20% (Figure 34 – 35). Le moulage est simple et performant, et les granules obtenus sont homogènes (Figure 34 C). Des plaques de composites ont été moulées par thermocompression. La dispersion des particules dans les plaques est adéquate, menant à une bonne qualité de composites d'épaisseur constante (Figure 35).



Figure 34. Granulations des fibres avec HDPE (A, B) et le moulage des plaques (C).
 (©PHOTO : Mathieu Robert, Université de Sherbrooke)



- 1- HDPE vierge
- 2-HDPE-SG (fibres courtes) 15%
- 3-HDPE-SG (fibres courtes) 20%
- 4-HDPE-MS (fibres courtes) 20%
- 5-HDPE-MS (fibres longues) 15%
- 6-HDPE-MS (fibres longues) 20%

Figure 35. Éco-composites obtenus
 (©PHOTO : Mathieu Robert, Université de Sherbrooke).

Les travaux réalisés ont permis de conclure que l'utilisation du MG et du PE dans la fabrication des éco-composites est prometteuse. Ces plantes peuvent être utilisées comme sources de renfort naturel de différentes matrices polymères bio- ou pétro-sourcés. Les étapes de broyage et de mise en forme se comparent aux résultats déjà obtenus dans le passé avec d'autres biomasses (ex. lin, chanvre). Plusieurs domaines d'applications de ces composites sont déjà ouverts, tels que le domaine du transport (ex. automobile, train), du bâtiment (ex. lames de terrasse, membranes, panneaux

d'isolation thermo-acoustique) et de l'emballage alimentaire. Dans tous ces cas, les cahiers des charges sont bien connus et certaines propriétés particulières (ex. propriétés anti-feux, propriétés mécaniques) sont accessibles pour les éco-composites polymères.

Dans cette optique, le RPBQ continue à collaborer avec Pr Robert afin de démontrer le potentiel de l'utilisation des plantes pérennes comme renfort dans les plastiques et attirer l'intérêt des entreprises québécoises qui pourront les utiliser à plus grande échelle.

Panneaux isolants

La fabrication d'éco-matériaux devient aussi de plus en plus populaire. Naturefibres est la première entreprise en Amérique du Nord à avoir lancé récemment la production d'éco-matériaux, notamment des panneaux isolants et acoustiques à partir de chanvre et de lin. Maxxera Équipement Ingénierie Inc. est une entreprise québécoise spécialisée dans la fabrication d'équipement dans de multiples domaines y compris les équipements de défibrage. Présentement, Naturefibres, en collaboration avec Maxxera Équipement Ingénierie Inc., travaille sur l'ajustement des équipements de défibrage de façon polyvalente afin de pouvoir valoriser différents types de biomasse telle que la biomasse de panic érigé et de miscanthus géant. Selon les résultats d'un essai, l'utilisation du PE pour la fabrication des éco-matériaux est impossible car cette plante n'est pas fibreuse et n'offre pas des caractéristiques mécaniques comparables à celles du chanvre industriel utilisé par Naturefibres. Cette matière première peut probablement servir à la fabrication du papier.

Développement de produits thermomoulés recyclables et biodégradables

Les entreprises d'emballage alimentaire montrent de plus en plus d'intérêt pour la production de produits thermomoulés recyclables et/ou biodégradables. L'équipe d'Innofibre possède une solide expertise en thermomoulage et thermoformage de fibres lignocellulosiques acquise depuis 2011. Des investissements de plusieurs millions de dollars au cours des dernières années ont permis d'améliorer les équipements existants et d'en ajouter d'autres afin de faire d'Innofibre une usine pilote unique au Canada dans les domaines du recyclage/désencrage, de la production de pâtes et de la fabrication de papiers.

Une visite exploratoire a permis de constater la possibilité d'utiliser les fibres de PE et/ou de MG comme matière première pour la production de pâte thermomoulée pouvant ultimement être utilisée

dans la fabrication de barquettes. Plusieurs essais de qualité de fibres et de pâte thermomoulée sont nécessaires afin de vérifier leur conformité selon les normes pour ce type de produits.

Les chercheurs d’Innofibre se sont rencontrés en janvier 2019 afin d’identifier le programme de recherche adéquat afin de déposer une demande de subvention.

Biocarburants

Le secteur de la bioénergie consiste en la production des biocarburants solides (granules, bûches compressées, copeaux) et liquide (bioéthanol, biodiesel, huiles de pyrolyse) à partir de la biomasse agricole ou forestière en remplacement des sources traditionnelles comme les produits pétroliers, le charbon et les combustibles nucléaires. Ce secteur est en croissance constante partout dans le monde.

En octobre 2019, le Gouvernement du Québec a annoncé la prépublication du projet de règlement concernant le volume minimal de carburant renouvelable pour l'essence et le carburant diesel (Tableau 30) [38]. Ce projet de règlement a pour but, notamment, de réduire la consommation de produits pétroliers en les remplaçant par des carburants renouvelables et d'accroître la production de ceux-ci au Québec, permettant du même coup la réduction des émissions de GES.

Tableau 30. Le règlement concernant le volume minimal de carburant renouvelable pour l'essence et le carburant diesel.

Carburant pétrolier	Ajout de carburant renouvelable			Réduction de GES
	2020	2021	2025	2025
Essence	5%	10 %	15%	2 millions de tonnes métriques en équivalents CO ₂ par année
Diesel	0,2%	2%	4%	

Au Québec, la consommation d'éthanol mélangé à l'essence atteint près de 5 %, ou environ 475 millions de litres par année (Ml/a). La consommation de carburant diesel biosourcé atteint environ 0,2 %, soit environ 9 Ml/a. La Politique énergétique 2030 (PE 2030) vise notamment à augmenter de 25 % la production des énergies renouvelables et de 50 % la production de bioénergie.

Jusqu'à présent, la production de la bioénergie à partir de la biomasse du PE ou de SCR a été peu étudiée au Canada malgré son fort potentiel énergétique et de nombreux avantages environnementaux. Une récente étude européenne rapporte que les biocarburants de 2e génération produits à partir de graminées pérennes, y compris le PE, permettent d'obtenir un niveau d'émission de GES négatif par rapport à celui des carburants fossiles. À l'inverse, les biocarburants de 2e génération fabriqués à partir de résidus forestiers et de pailles de céréales ont un niveau d'émission de GES positif [39]. Néanmoins, malgré ses nombreux avantages, la culture du PE est encore trop peu valorisée dans cette filière.

Bioproduits (biochar et vinaigre de bois) issus de la pyrolyse de PE

Le CÉROM, de concert avec ses partenaires Biopterre et Pyrovac, travaille à l'élaboration d'un projet collaboratif qui permettra d'obtenir une gamme de bioproduits pouvant être utilisés en agriculture durable.

L'objectif principal du projet vise à valider l'efficacité du biochar et du vinaigre de bois (VB) issus de la pyrolyse du PE appliqués sur des cultures horticoles et des grandes cultures. Les deux sous-objectifs sont la mise à l'essai et l'évaluation des performances 1) du biochar en tant qu'amendement de sol et 2) du VB en tant que biopesticide et/ou biostimulant.

La pyrolyse de la biomasse de PE permet d'obtenir une fraction solide appelé biochar et une fraction liquide ou huile pyrolytique qui peut elle-même, par un procédé de distillation, se décomposer en deux sous-produits soit l'huile lourde visqueuse à vocation énergétique (fortification des granules, production de biodiesel) et une phase aqueuse riche en composés organiques, communément appelée vinaigre de bois (VB) qui possède une activité antimicrobienne [40]. Les prix actuels des bioproduits issus de la pyrolyse de la biomasse sont les suivants [41]:

- biochar 300 – 1000 \$/tonne
- bio-huile (phase lourde) 400 – 600 \$/tonne
- bio-huile (phase aqueuse) 800 – 1300 \$/tonne

Le biochar et le VB contribuent au développement d'une agriculture durable et à la protection de l'environnement puisqu'ils permettent de réduire l'application des engrais de synthèse et de pesticides, en plus de réduire les émissions de GES.

Le biochar est produit par la transformation thermochimique de biomasse à température modérément élevée (350 - 700°C) dans des conditions d'oxygène limitées [42]. Il s'agit d'un charbon biologique qui se présente sous forme de fragments gris-noir, légers, poreux et riche en carbone (> 60 %). La pyrolyse de la biomasse stabilise une grande partie du carbone dans le biochar et lorsqu'il est appliqué au sol, il peut être stocké pendant plus de 1000 ans [43] en réduisant de 12% les émissions anthropiques de CO₂ [44]. Au Québec [45] et partout ailleurs dans le monde [46], le biochar utilisé comme amendement organique du sol suscite beaucoup d'intérêt grâce à ses effets agronomiques et environnementaux bénéfiques attribuables à l'amélioration de la structure du sol et à la réduction des émissions de GES, y compris le CH₄ et le N₂O [47-50]. Il limite le lessivage des nutriments, surtout des nitrates et des phosphates, et participe activement à la stimulation des micro-organismes du sol en leur offrant de nombreuses niches écologiques [42, 51, 52]. Néanmoins tous les biochars sont différents et tous n'ont pas les mêmes caractéristiques physico-bio-chimiques et donc ne réagissent pas de la même façon [53].

Le biochar peut être produit à partir d'une large gamme de matières premières organiques, y compris le bois, les résidus de récolte, le fumier animal, les boues d'épuration et autres déchets organiques [54-57]. La production de biochar et de co-produits (bio-huile et gaz de synthèse) à partir de la biomasse de plantes herbacées lignocellulosiques telle que le PE attire de plus en plus l'intérêt de chercheurs grâce à leur teneur en lignine élevée (environ 20%) comparable à celle du bois [58-62]. Les recherches réalisées à date se sont focalisées principalement sur les caractéristiques physico-chimiques du biochar et de son effet sur la réduction des émissions de GES. À titre d'exemple, une récente étude a démontré qu'un biochar ayant de faibles ratios O/C org (< 0,2) et H/C org (< 0,7) a un potentiel de séquestration de carbone élevé [62]. De plus, les biochars ayant une faible teneur en N, et donc un ratio C/N élevé (> 30) sont destinés à réduire les émissions de N₂O du sol [63]. Par ailleurs, Brassard (2017) a démontré que le biochar de PE produit à faible température (459°C) et pendant un court temps de résidence dans le réacteur (78 s) peut réduire les émissions de N₂O jusqu'à 90% dans le sol [62]. Néanmoins, l'effet biostimulant du biochar produit à partir de PE et appliqué sur des cultures horticoles et des grandes cultures n'a jamais été démontré.

La distillation de la phase liquide récupérée lors de la pyrolyse permet d'obtenir un liquide contenant près de 200 composés chimiques solubles dans l'eau tels que des acides de faible poids moléculaire, des aldéhydes, des phénols, des cétones, entre autres [64]. La présence d'une grande quantité d'acide acétique parmi les composés trouvés explique qu'on lui confère le nom de VB. Cette phase aqueuse acide a fait l'objet de nombreuses recherches, surtout en Asie, pour son intérêt en tant

qu'herbicide [65, 66] insecticide [67-70], bactéricide et fongicide [40, 64] ou biostimulants agricoles [71-73].

Le marché du VB est très populaire au Japon et dans d'autres pays asiatiques [64], mais, malgré son grand potentiel, il n'est encore qu'au stade de développement au Canada. Les « VB-biopesticides » dérivés de la biomasse peuvent faire évoluer positivement l'industrie en promouvant une agriculture durable au Québec. Cette filière encore méconnue en Amérique du Nord devrait connaître un essor important au cours des prochaines années.

Ultimement, nous espérons que les produits dérivés du PE puissent être commercialisés afin de limiter ou remplacer l'utilisation de pesticides ou de fertilisants de synthèse dont la production et l'utilisation génèrent de grandes quantités de GES conduisant à une dégradation de l'environnement.

Le projet proposé, utilisant de nouvelles approches en technologie propre telle que la pyrolyse de biomasse, permettra d'améliorer la performance environnementale du secteur de l'agriculture à court, moyen et long terme. Par ailleurs, ce projet permettra également d'élaborer une chaîne de valeur complète pour le PE et d'accroître le marché existant.

Produits chimiques biosourcés à haute valeur ajoutée

Une autre filière de la bioraffinerie démontrant une importance croissante est l'extraction des molécules à haute valeur ajoutées de la biomasse agricole et agroforestière. Cette dernière présente une alternative aux intrants pétroliers dans les produits pharmaceutiques (anticorps, vaccins), biocosmétiques (savons, crèmes, lotions), et alimentaires (sucres C5 et C6 ainsi que les coproduits tels que l'acétate de butyle, l'acide lévulinique et succinique, xylitol etc).

Plusieurs chaînes de valeurs pour la biomasse des plantes bio-industrielles sont envisageables selon les besoins de l'industrie (Figure 36). La production mondiale de certains produits issus de la biomasse agroforestière ainsi que le marché principal sont présentés dans le tableau 30.

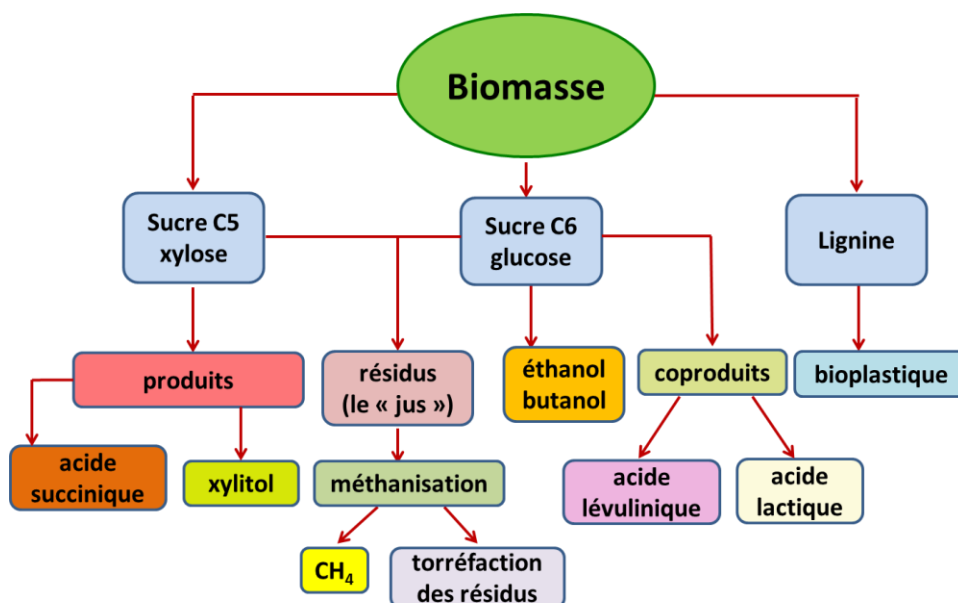


Figure 36. Les chaînes de valeurs pour la biomasse des plantes bio-industrielles.

En 2016, l'entreprise canadienne BioAmber a démontré de l'intérêt pour l'acide succinique bio-sourcé, composé pouvant être utilisé dans le domaine pharmaceutique, cosmétique, alimentaire, ainsi que dans la fabrication d'emballages, ainsi que de plastiques automobiles via le polybutylène succinate (PBS). Le marché potentiel de l'acide succinique est estimé à plus de 2,5 M€ [74]. BioAmber a levé environ 80 millions de dollars lors d'une offre d'actions en 2013 et a investi ces fonds dans la construction d'une usine d'acide succinique à Sarnia, en Ontario. Malheureusement, lourdement endettée et avec peu de clients, BioAmber a dû fermer l'usine. Son bilan a été déposé l'année dernière [75, 76].

Le xylitol, un produit pouvant être fermenté à partir de sucres C5, comme le xylose, est aussi largement utilisé en tant qu'édulcorants hypocaloriques dans les produits alimentaires, dans les domaines pharmaceutiques, nutraceutiques, les produits de soins personnels, les confiseries et les gommes à mâcher (Tableau 31, Figure 37). La quantité de production mondiale par année est d'environ 200 000 tonnes au prix de 4 300 – 6 600 \$ la tonne [77].

Tableau 31. Marché mondial de certains coproduits issus de la biomasse lignocellulosiques.

Produit	Propriété/Application	Quantité de production mondiale par année, tonnes	Prix, \$/tonne
Acide succinique ou ses dérivés comme polybutylène succinate (PBS)	antibiotique naturel, édulcorant dans les produits alimentaires et les boissons ou précurseur pour l'activation des ingrédients pharmaceutiques; utilisé pour les emballages et les plastiques automobiles	50 000	450 – 650
Xylitol	édulcorants hypocaloriques dans les produits alimentaires, pharmaceutiques et nutraceutiques, de soins personnels, confiseries et gommes à mâcher	190 900	4 300 – 6 600
Lignine	bois de chauffage, fabrication du papier blanc; comme additif de ciment ou comme agent dispersant de colorant	50 000 000	400 – 3 000
Polyphénols: flavonoïdes, tanin, terpènes	propriétés anti-oxydantes, anti-inflammatoires, anti-mutagènes et anti-cancérogènes; diverses applications nutraceutiques, pharmaceutiques, médicinales et cosmétiques	indisponible	5000 – 200 000 selon le type d'extrait et la pureté ciblée
Butanol: ❖ acétate de butyle	solvant utilisé dans l'industrie chimique pour fabriquer des laques et autres produits similaires; comme additif alimentaire dans la production de sucreries, crèmes glacées, fromages.	3 000 000	2 000
❖ acrylate de butyle	peintures, les mastics, les revêtements, les adhésifs, les carburants, les textiles, les plastiques et les produits de calfatage		
Acide lévulinique	agent acidifiant dans des aliments et les boissons, intermédiaire pour la fabrication de fibres synthétiques, les produits pharmaceutiques, les pesticides et les plastiques	2 500	5 000 – 8 000
Acide polylactique «PLA»	production de matériaux biodégradables et biosourcés	0,3 – 0,5	1 500 – 2 500

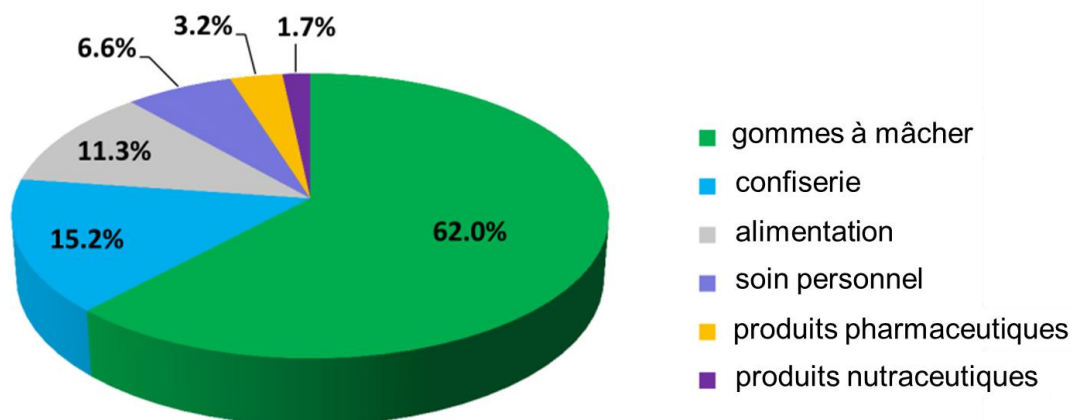


Figure 37. Marché mondial du xylitol (données de 2016).

Récemment, en 2019, l'usine de l'entreprise Fortress Cellulose Spécialisée (division de *Fortress Papers*) située à Thurso au Québec, a reçu une aide financière de 10 millions de dollars de Ressources naturelles Canada pour la construction d'une usine de production de xylitol et de bioproduits complémentaires à partir de bouleau blanc [78]. En 2016, l'entreprise avait investi 23,4 millions \$ de ses actifs avec une aide financière de 3,5 millions \$ du gouvernement du Québec dans la recherche afin de développer de nouveaux biomatériaux ou bioproduits à forte valeur ajoutée, créant ainsi des perspectives économiques intéressantes pour le Québec [79].

La revue de littérature permet de constater que les plantes bio-industrielles telles que le PE, le MG et le SCR possèdent non seulement une teneur en xylose élevée (20-26%) comparable à celle du bouleau blanc (23%) [80], mais aussi d'autres caractéristiques importantes (Tableau 32), faisant de celles-ci une alternative de matière première potentielle pour la production de xylitol. Afin de confirmer cette hypothèse, une étude sur le procédé d'extraction de xylose du PE ou du MG, et de sa fermentation en xylitol devra être réalisée, d'abord en laboratoire puis, si les résultats sont prometteurs, à l'échelle pilote.

Malgré l'existence de nombreux programmes de subventions permettant de demander des fonds en collaboration avec des partenaires industriels dans le but d'effectuer la caractérisation de diverses molécules, le marché n'est pas encore assez développé pour les inciter à investir dans la recherche. De plus, beaucoup d'entreprises préfèrent avoir des résultats préliminaires avant de s'engager dans de plus grands investissements visant à développer le marché.

Tableau 32. Caractéristique du bouleau blanc et du panic érigé.

Caractéristique	Bouleau blanc	Panic érigé
Superficie au Québec	13 900 ha * une espèce indigène	1 500 ha
Rendement moyen	27,5 t/h/10 ans*	8 t/h/an
Période d'attente avant la récolte	10 ans (au début du pic de croissance en diamètre)	Deux ans
Fréquence de récolte	Une fois aux 10 ans	Annuelle
Sensibilité aux maladies fongiques et aux ravageurs	Agrile du frêne (capable de tuer un arbre en 2 ou 3 ans)	Charbon de tête (réduction du rendement peut atteindre 40%)**
Xylose	20-26%	23%

* Monsieur Karl Filion, Conseil de l'industrie forestière du Québec (contact personnel)

** La baisse de rendement qui atteint 40% a été observée aux États-Unis, mais elle n'a pas encore été démontrée au Québec

Le Centre d'étude des procédés chimiques du Québec (CEPROCQ) est spécialisé en bioraffinerie, particulièrement dans la production de biobutanol et de ses coproduits, tels que l'acide lévulinique, l'acide succinique, l'acide lactique et autres. Étant donnée la difficulté d'identifier le partenaire industriel pour lancer un projet de recherche collaboratif majeur, le Directeur du CEPROCQ et titulaire de la chaire de recherche industrielle dans les collèges du CRSNG sur les extractibles agroforestiers, a proposé au CÉROM de devenir son partenaire. À travers sa chaire de recherche, il propose d'effectuer des essais qui permettront de caractériser la teneur en cellulose, en lignine et en hémicellulose des cultures de PE et de MG et de connaître les quantités de lévulines et d'acide lévulinique générées.

CONCLUSION

La saison agronomique des activités du RPBQ 2019-2020 a permis de comparer le rendement de nouvelle sélection du PE avec les cultivars commerciaux, de comparer le rendement du MG pendant deux saisons de récoltes et de détecter plusieurs ravageurs et les maladies fongiques du SCR.

La participation de la coordonnatrice du RPBQ aux colloques du CRIBIQ et à plusieurs événements du secteur agricole ont permis de promouvoir les plantes bio-industrielles ainsi qu'établir des contacts avec les futurs partenaires académiques et industriels afin d'élaborer un projet collaboratif sur le développement de la chaîne de valeur pour la biomasse de ces plantes.

RÉFÉRENCES

1. Samson R., Delaquis E., Deen B. et al. 2016. *Switchgrass Agronomy*. Ontario Biomass Producers Co-Opertive inc : 82 p.
2. Martel H., Lalonde O. 2018. *Guide de production du panic érigé*. Réseau des Plantes Bio-industrielles du Québec. CÉROM : 41 p.
3. Olishavska S. 2018. *Rapport final des activités 2017-2018 du Réseau des Plantes Bio-industrielles du Québec (RPBQ)*. CÉROM, Saint-Mathieu-de-Beloeil, QC : 41 p.
4. Alexopoulou E., Zanetti F., Scordia D. et al. 2015. *Long-Term Yields of Switchgrass, Giant Reed, and Miscanthus in the Mediterranean Basin*. *BioEnergy Reseach*, **8**(4) : 1492-1499.
5. Labrecque M., Lajeunesse S.L. 2017. *Guide de production de saules en culture intensive sur courtes rotations*. Réseau des Plantes Bio-industrielles du Québec (RPBQ). CÉROM, Saint-Mathieu-de-Beloeil, QC : 29 p.
6. Gauthier G., Somer L. 2013. *Guide pratique de la culture de miscanthus*. ValBiom, Avec le soutien de la Wallonie-DG03 : 31 p.
7. Scordia D., Cosentino S.L. 2019. *Perennial Energy Grasses: Resilient Crops in a Changing European Agriculture*. *Agriculture*, **9**(8) : 169 p.
8. Ma Z., Wood C.W., Bransby D.I. 2000. *Impacts of soil management on root characteristics of switchgrass*. *Biomass and Bioenergy*, **18**(2) : 105-112.
9. Garten C.T., Smith J.L., Tyler D.D. 2010. *Intra-annual changes in biomass, carbon, and nitrogen dynamics at 4-year old switchgrass field trials in west Tennessee, USA*. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **136**(1) : 177-184.
10. Sharifi M., Lynch D., Burton D.L. et al. 2019. *Quantifying the short-term contribution of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) to soil carbon using ¹³C natural abundance technique in a sandy loam soil in eastern Canada*. *Canadian Journal of Soil Science*, **99**(2): 217-221.
11. Lemus R., Charles Brummer E., Lee Burras C. et al. 2008. *Effects of nitrogen fertilization on biomass yield and quality in large fields of established switchgrass in southern Iowa, USA*. *Biomass and Bioenergy*, 2008. **32**(12): 1187-1194.
12. Perreault Y. 2011. *Résultats d'essai 2010 de fertilisation (P et K) sur un champ de panic érigé établi depuis 1996*, R. MAPAQ : 9 p.
13. Nassi O., Di Nasso N., Guidi W. et al. 2006. *Biomass production and energy balance of a 12-year-old short-rotation coppice poplar stand under different cutting cycles*. *GCB Bioenergy*, **2**(2) : 89-97.
14. Sartori F., Lal R., Ebinger M.H. et al. 2006. *Potential Soil Carbon Sequestration and CO₂ Offset by Dedicated Energy Crops in the USA*. *Critical Reviews in Plant Sciences*, **25**(5) : 441-472.

15. Londo M., Dekker J., ter Keurs W. 2005. *Willow short-rotation coppice for energy and breeding birds: an exploration of potentials in relation to management*. Biomass and Bioenergy, **28**(3) : 281-293.
16. Bellamy P.E., Croxton P.J., Heard M.S. et al. 2009. *The impact of growing miscanthus for biomass on farmland bird populations*. Biomass and Bioenergy, **33**(2) : 191-199.
17. Vogel P.K., Sarath G., Saathoff A.J. 2011. *Switchgrass*, in *Energy Crops*, N.G. Halford and A. Karp Editors. Royal Society of Chemistry. 341-380.
19. Jefferson P.G., McGaughey W.P. 2012. *Switchgrass (Panicum virgatum L.) Cultivar Adaptation, Biomass Production, and Cellulose Concentration as Affected by Latitude of Origin*. International Scholarly Research Network. ISRN Agronomy : 9 p.
20. Casler M.D. 2012. *Switchgrass Breeding, Genetics, and Genomics*, in *Switchgrass, Green Energy and Technology*, A. Monti Editor. Springer-Verlag: London, UK. p. 29-53.
21. Samson R., Delaquis E., MacInn G. 2014. *Enhancing the commercial viability of switchgrass on marginal farmland through plant breeding*, Final report for Canadian Agricultural Adaptation Program. 35 p.
21. Bélanger P., Dion Y., Labrecque M. et al. 2016. *Rapport 2010-2015 des activités du Réseau des plantes bio-industrielles du Québec*. Préparé pour le MAPAQ : 83 p.
23. Allaire S., Angers D. 2011. *Guide de référence en fertilisation*. 2e édition ed., Ed. Parent L.-É., Gagné G. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, CRAAQ : p. 519.
23. Gravert C.E., Munkvold G. 2002. *Fungi and diseases associated with cultivated switchgrass in Iowa*. J Iowa Acad Sci, **109** : 30-34.
24. Layton, C.N. and G.C. Bergstrom, *Outbreaks of Smut Caused by Tilletia maclaganii on Switchgrass in New York and Pennsylvania*. 2011. **95**(12) : 1587-1587.
25. Ruhl G., Creswell T., Karlson-Ayala E.M. et al. 2019. *First Report of the Head Smut Fungus Tilletia maclaganii Infecting Switchgrass (Panicum virgatum) in Indiana*. Plant Disease. ASP Publication. <https://apsjournals.apsnet.org/doi/full/10.1094/PDIS-03-19-0478-PDN>.
26. Kenaley S.C., Bergstrom G.C., Montes Ortiz Z.K. et al., 2019. *First Report of the Head Smut Fungus Tilletia maclaganii Affecting Switchgrass in Texas*. Plant Disease, **103** (3) : 578-579.
27. Layton C.N. 2014. *The Biology and Control of Switchgrass Head Smut (Tilletia maclaganii) in New York State*. PhD Thesis. Cornell University. 117 p.
28. Thomsen P.M., Brummer E.C., Shriver J. et al. 2008. *Biomass yield reductions in switchgrass due to smut caused by Tilletia maclaganii*. Plant Health Progress. Published online. <https://www.plantmanagementnetwork.org/pub/php/research/2008/smut/>
29. Mitchell R.B., Lee D.K., Casler M. 2014. *Switchgrass*. Publications from USDA-ARS / UNL Faculty : p. 1438. <https://digitalcommons.unl.edu/usdaarsfacpub/1438/>

30. Torrez V.C., Johnson P.J., Boe A. 2013. *Biology of the switchgrass gall midge (Diptera: Cecidomyiidae)*. Proceedings of the South Dakota Academy of Science, **92** : 179-186.
31. Boe A. and Gagné R. 2011. *A New Species of Gall Midge (Diptera: Cecidomyiidae) Infesting Switchgrass in the Northern Great Plains*. Bioenergy Research, **4** : 77-84.
32. Toupe J.L. 2015. *Optimisation des propriétés mécaniques de composites à base de fibres naturelles : Application à un composite de fibre de lin avec un mélange de polyéthylène/polypropylène d'origine post-consommation*, PhD Thesis, Université Laval. 191 p.
33. Grand View Research Inc. 2018. *Natural Fiber Composites Market Worth \$10.89 Billion By 2024*. <https://www.grandviewresearch.com/press-release/global-natural-fiber-composites-market>.
34. Muthuraj R., Misra M., Mohanty A.K. 2017. *Biocomposite consisting of miscanthus fiber and biodegradable binary blend matrix: compatibilization and performance evaluation*. RSC Advances, **7**(44) : 27538-27548.
35. Nagarajan V., Misra M., Mohanty A.K. 2013. *New engineered biocomposites from poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) (PHBV)/poly(butylene adipate-co-terephthalate) (PBAT) blends and switchgrass: Fabrication and performance evaluation*. Industrial Crops and Products, **42** : 461-468.
36. Bourmaud A., Pimbert S. 2008. *Investigations on mechanical properties of poly(propylene) and poly(lactic acid) reinforced by miscanthus fibers*. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, **39**(9) : 1444-1454.
37. van den Oever M.J.A., Elbersen H.W., Keijsers E.R.P. et al. 2003. *Switchgrass (Panicum virgatumL.) as a reinforcing fibre in polypropylene composites*. Journal of Materials Science, **38**(18) : 3697-3707.
38. *Biocarburants - Prépublication du projet de règlement concernant le volume minimal de carburant renouvelable dans l'essence et le carburant diesel*. 2019. Services Québec. Cabinet du ministre de l'Énergie et des Ressources naturelles : CNW Telbec.
39. Bolis A. 2016. *Les biocarburants émettent plus de CO₂ que l'essence et le diesel*. Le Monde. https://www.lemonde.fr/energies/article/2016/04/28/les-biocarburants-emettent-plus-de-co2-que-l-essence-et-le-diesel_4910371_1653054.html
40. Suresh G., Pakdel H., Rouissi, T. et al. 2019. *In vitro evaluation of antimicrobial efficacy of pyroligneous acid from softwood mixture*. Biotechnology Research and Innovation, **3**(1) : 47-53.
41. Allaire S. 2017. *La pyrolyse : solution pour recycler les résidus forestiers*. GECA Environnement. Expert-Conseil Environnement-Résidus-Biochar : p. 25.

42. Lehmann J., Joseph S. 2015. *Biochar for environmental management: an introduction*. *Biochar for Environmental Management – Science and Technology*. London. Sterling, VA : p. 438 p.
43. Kuzyakov Y., Bogomolova I., Glaser B. 2014. *Biochar stability in soil: Decomposition during eight years and transformation as assessed by compound-specific ¹⁴C analysis*. *Soil Biology and Biochemistry*, **70** : 229-236.
44. Woolf D., Amonette J. E., Street-Perrott F. 2010. *Sustainable biochar to mitigate global climate change*. *Nature Communications*, **1**(1) : p. 56.
45. Husk B., Major J. 2010. *Commercial scale agricultural biochar field trial in Québec, Canada, over two years: Effects of biochar on soil fertility, biology, crop productivity and quality*. Report available online at http://www.blue-leaf.ca/main-en/report_a3.php, last accessed on 5 May 2010.
46. Spokas K.A., Cantrell K.B., Novak J.M. 2012. *Biochar: a synthesis of its agronomic impact beyond carbon sequestration*. *J Environ Qual*, **41**(4) : 973-89.
47. Harter J., Krause H. M., Schuettler S. et al. 2014. *Linking N₂O emissions from biochar-amended soil to the structure and function of the N-cycling microbial community*. *ISME J*, **8**(3) : 660-674.
48. Fuertes-Mendizabal T., Huerfano X. Vega-Mas I. et al. 2019. *Biochar reduces the efficiency of nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) mitigating N₂O emissions*. *Sci Rep*, **9**(1) : p. 2346.
49. Wang Y.-Q., Bai R., Di Hong J. et al. 2018. *Differentiated Mechanisms of Biochar Mitigating Straw-Induced Greenhouse Gas Emissions in Two Contrasting Paddy Soils*. *Frontiers in Microbiology*, **9** : 2566, doi: [10.3389/fmicb.2018.02566](https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02566).
50. Kammann C., Ippolito J., Hagemann N. et al. 2017. *Biochar as a tool to reduce the agricultural greenhouse-gas burden – knowns, unknowns and future research needs*. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, **25**(2) : 114-139.
51. Altland J.E. 2013. *Effect of biochar type on macronutrient retention and release from soilless substrate*. *Hortscience*, **48**(11) : 1397-1402.
52. Van Zwieten L., Kimber S., Morris S. et al. 2010. *Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility*. *Plant and Soil*, **327** : 235–246.
53. Allaire S.E., Lange S.F. 2017. *Rapport : Substrats horticoles à base de biochars : Performance et économie*. *CRMR-2017-SA-2*. Centre de Recherche sur les Matériaux Renouvelables: Université Laval, Québec, Canada. p. 40.
54. Lian F. Xing B. 2017. *Black Carbon (Biochar) In Water/Soil Environments: Molecular Structure, Sorption, Stability, and Potential Risk*. *Environmental Science & Technology*, **51**(23) : 13517-13532.

55. Luo L., Xu C., chen Z. et al. 2015. *Properties of biomass-derived biochars: Combined effects of operating conditions and biomass types*. *Bioresource Technology*, **192** : 83-89.
56. Zhao L., Cao X., Mašek O. et al. 2013. *Heterogeneity of biochar properties as a function of feedstock sources and production temperatures*. *Journal of Hazardous Materials*, **256-257**: 1-9.
57. Jiang Z., Lian F., Wang Z. et al. 2020. *The role of biochars in sustainable crop production and soil resiliency*. *Journal of Experimental Botany*, **71(2)** : 520-542.
58. Sadaka S., Sharara M.A., Ashworth A. 2014. *Characterization of Biochar from Switchgrass Carbonization*. *Energies*, **7(2)** : 548-567.
59. Imam T., Capareda S. 2012. *Characterization of bio-oil, syn-gas and bio-char from switchgrass pyrolysis at various temperatures*. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **93**: 170-177.
60. Pilon G., Lavoie J. 2011. *Characterization of switchgrass char produced in torrefaction and pyrolysis conditions*. *BioResources*, **6** : 4824-4839.
61. Malghani S., Gleixner G., Trumbore S.E. 2013. *Chars produced by slow pyrolysis and hydrothermal carbonization vary in carbon sequestration potential and greenhouse gases emissions*. *Soil Biology and Biochemistry*, **62** : 137-146.
62. Brassard P. 2017. *Biochar production in an auger pyrolysis reactor and its amendment to soil as a tool to mitigate climate change*, in *Department of Bioresource Engineering, McGill University*, McGill University: Sainte-Anne-de-Bellevue, Québec, Canada. p. 202.
63. Brassard P., Godbout S., Pelletier F. et al. 2018. *Pyrolysis of switchgrass in an auger reactor for biochar production: A greenhouse gas and energy impacts assessment*. *Biomass and Bioenergy*, **116** : 99-105.
64. Tiilikkala K., Fagernäs L., Tiilikkala J. 2010. *History and use of wood pyrolysis liquids as biocide and plant protection product*. *The Open Agriculture Journal*, **4** : 111-118.
65. Kim J.S., Kim J.C., Choi J.S. et al. 2001. *Isolation and identification of herbicidal substances from wood vinegars*. *Korean Journal of Weed Science*, **21** : 357-364.
66. Kim S., Kim Y., Kim, J.S. et al. 2000. *Herbicidal activity of wood vinegar from Quercus mongolica Fisch*. *Korean Journal of Insecticide Science*, **4** : 82-88.
67. Walse S.S., Woelk M.R. 2018. *Pyroligneous acid insect repellent*, Secretary of Agriculture of USA, Corigin LLC, p. 12.
68. Rahmat B., Pangesti D., Natawijaya D. et al. 2014. *Generation of wood-wate vinegar and its effectiveness as a plant growth regulator and pest insect repellent*. *BioResources*, **9(4)** : 6350-6360.
69. Petter F.A., Silva L.B., Souza I.J. et al. 2013. *Adaptation of the Use of Pyroligneous Acid in Control of Caterpillars and Agronomic Performance of the Soybean Crop*. *Journal of Agricultural Science*, **5(8)** : 27-36.

70. Wititsiri S. 2011. *Production of wood vinegars from coconut shells and additional materials for control of termite workers, Odontotermes sp. and striped mealy bugs, Ferrisia virgate.* Songklanakarin Journal of Science and Technology, **33**(3) : 349-354.
71. Wei Q.Y., Liu G.Q., Wei X.M. et al. 2009. *Influence of wood vinegar as leaves fertilizer on yield and quality of celery.* Journal of China Agricultural University. Journal of China Agricultural University, **14**(1) : 89-92.
72. Mu J. Yu Z., Wu W. et al. 2006. *Preliminary study of application effect of bamboo vinegar on vegetable growth.* Forest Stud Chin, **8**(3) : 43-47.
73. Grewal A. 2018. *Production, prospects and potential application of pyroligneous acid in agriculture.* Journal of analytical and applied pyrolysis, **135** : 152-159.
74. Ambrosi P. 2008. *Bioamber investit dans la production d'acide succinique d'origine végétale.* <https://www.usinenouvelle.com/article/bioamber-investit-dans-la-production-d-acide-succinique-d-origine-vegetale.N27610>.
75. McCoy M. 2018. *Succinic acid maker BioAmber is bankrupt.* C&en. Biochemicals, **96**(20).
76. McCoy M. 2019. *Succinic acid, once a biobased chemical star, is barely being made.* C&en. Biobased chemicals, **97**(12).
77. *Xylitol – A Global Market Overview.* 2017. Industry Experts. Redefines Business Acumen: p. 258.
78. P&PC Staff. 2019. *Fortress Xylitol receives \$10M from feds for demo plant.* Pulp&Paper Canada.
79. St-Laurent M. 2016. *Projet d'extraction de l'hémicellulose à l'usine de Fortress Cellulose Spécialisée.* Conseil de l'industrie forestière du Québec.
80. Benali M., Boumghar Y., Benyagoub M. 2015. *Le biobutanol. Propriétés, vois potentielles de sa production et portée de son marché.* Ressources naturelles Canada : p. 80.