



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

Service canadien des forêts

CENTRE CANADIEN SUR LA FIBRE DE BOIS

Site de développement technique de cultures ligneuses
à courte rotation d'Ellerslie, à Edmonton (Alberta)

Abrégé de la recherche opérationnelle

Tim Keddy¹, Derek Sidders¹ and Carmela Arevalo²

¹ Ressources naturelles Canada, Centre canadien sur la fibre de bois, Centre de foresterie du Nord

² Ministère des Forêts, des Terres et de l'Exploitation des ressources naturelles de la C.-B.

Rapport d'information
FI-X-024
2023

Canada

Le Centre canadien sur la fibre de bois réunit des chercheurs du secteur forestier afin de développer pour les industries canadiennes du secteur de la fibre ligneuse des solutions responsables sur le plan environnemental. Sa mission est de créer des connaissances novatrices pour accroître les possibilités économiques afin que le secteur forestier tire un meilleur profit de la fibre ligneuse canadienne. Une partie du mandat du Centre canadien sur la fibre de bois est de travailler étroitement avec FPInnovations et d'autres partenaires au développement et à l'adoption par des utilisateurs de la recherche relative à la fibre ligneuse.

De l'information additionnelle sur le Centre canadien sur la fibre de bois est disponibles sur le web, à l'adresse cfcf.rncan.gc.ca. Pour télécharger ou commander des exemplaires supplémentaires de cette publication, visitez Les Publications du Service canadien des forêts à scf.rncan.gc.ca/publications.



Site de développement technique de cultures ligneuses
à courte rotation d'Ellerslie, à Edmonton (Alberta)

Abrégé de la recherche opérationnelle

Tim Keddy¹, Derek Sidders¹ and Carmela Arevalo²

¹Ressources naturelles Canada, Centre canadien sur la fibre de bois, Centre de foresterie du Nord

²Ministère des Forêts, des Terres et de l'Exploitation des ressources naturelles de la C.-B.

Rapport d'information

FI-X-024

2023

© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par le ministre de Ressources naturelles Canada, 2023

N° de cat. : Fo4-213/2023F-PDF

ISBN : 978-0-660-48185-2

Ressources naturelles Canada

Service canadien des forêts

580, rue Booth

Ottawa (Ontario) K1A 0E4

Une version électronique de ce rapport est disponible à partir du site des Publications du Service canadien des forêts : <https://scf.rncan.gc.ca/publications>.

This publication is available in English under the title: *Ellerslie Short-Rotation Woody Crops Technical Development Site, Edmonton, Alberta: A Compendium of Operational Research*

ATS : 613-996-4397 (Appareil de télécommunication pour sourds)

Le contenu de cette publication peut être reproduit en tout ou en partie, et par quelque moyen que ce soit, sous réserve que la reproduction soit effectuée uniquement à des fins personnelles ou publiques, mais non commerciales, sans frais ni autre permission, à moins d'avis contraire.

On demande seulement :

- de faire preuve de diligence raisonnable en assurant l'exactitude du matériel reproduit;
- d'indiquer le titre complet du matériel reproduit et l'organisation qui en est l'auteur;
- d'indiquer que la reproduction est une copie d'un document officiel publié par Ressources naturelles Canada, et que la reproduction n'a pas été faite en association avec Ressources naturelles Canada ni avec l'appui de celui-ci.

La reproduction et la distribution à des fins commerciales sont interdites, sauf avec la permission écrite de Ressources naturelles Canada. Pour de plus amples renseignements, veuillez communiquer avec Ressources naturelles Canada à copyright-droitdauteur@nrcan-rncan.gc.ca.



Table des matières

Renseignements généraux	1
Historique du site	4
Conditions du site	5
Aperçu de l'élaboration des protocoles opérationnels	6
Préparation du site	7
Mélange en profondeur	7
Mélange superficiel	7
Conception et plantation du site	8
Opérations de plantation	8
Gestion de la végétation	12
Espèces et clones plantés à Ellerslie	14
Tests de traitement réalisés	15
Évaluations des plantations de boisement à rendement élevé	16
Paramètres et calculs	17
Évaluations des plantations de biomasse concentrée	19
Paramètres et calculs	20
Évaluations des sols	26
Caractérisation physique et chimique de la fibre de bois	29
Activités de transfert de la technologie	34
Résumé de la récolte du boisement à rendement élevé de 2018	36
Boisement à rendement élevé 2002-2003	39
Boisement à rendement élevé 2004	42
Analyse du carbone dans l'écosystème	45
Boisement à rendement élevé 2005	46
Transport	47

Résumé de la récolte de biomasse concentrée de 2018	48
Biomasse concentrée de 2005.	48
Test clonal de biomasse concentrée de la SUNY de 2006	50
Test de plan de biomasse concentrée de 2007	52
Résumé du traitement de la biomasse ligneuse 2018-2019	55
Test du prototype de compactage de biomasse ligneuse de 2019	58
Discussion	60
Remerciements	67
Ouvrages de référence	68
Annexe I	70
Annexe II	72
Annexe III	75
Aperçu des tests de plantation de boisement à rendement élevé et de biomasse concentrée menés au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie, à Edmonton, en Alberta.	75
Sites établis en 2002.	75
Sites de recherche opérationnelle 1 et 2	76
Site de recherche opérationnelle 3	76
Site de recherche opérationnelle 4	76
Site de recherche opérationnelle 5	76
Site de recherche opérationnelle 6	77
Sites de recherche opérationnelle 8 et 10	77
Site de recherche opérationnelle 12.	77
Site de recherche opérationnelle 13.	77
Site de recherche opérationnelle 14.	77
Site de recherche opérationnelle 15.	78
Site de recherche opérationnelle 16.	78
Site de recherche opérationnelle 17.	78
Site de recherche opérationnelle 18.	78
Site de recherche opérationnelle 19.	78
Site de recherche opérationnelle 20	78
Site de recherche opérationnelle 21.	78
Sites établis en 2003.	79
Site de recherche opérationnelle 3	79
Site de recherche opérationnelle 9	79
Site de recherche opérationnelle 11	80
Site de recherche opérationnelle 22.	80

Sites établis en 2004	81
Site de recherche opérationnelle 7	81
Site de recherche opérationnelle 24.	82
Site de recherche opérationnelle 25.	82
Site de recherche opérationnelle 26.	83
Sites établis en 2005.	83
Site de recherche opérationnelle 27.	83
Site de recherche opérationnelle 31.	84
Sites de recherche opérationnelle 32 à 38 et 43	84
Sites de recherche opérationnelle 39 à 42.	84
Sites de recherche opérationnelle 44 et 46	84
Site de recherche opérationnelle 45.	84
Site de recherche opérationnelle 47.	84
Site de recherche opérationnelle 48.	85
Sites de recherche opérationnelle 49 à 58.	86
Sites de recherche opérationnelle 71 à 93	87
Site de recherche opérationnelle 94.	88
Sites établis en 2006.	88
Site de recherche opérationnelle 69.	88
Sites établis en 2007	90
Sites de recherche opérationnelle 59 et 62	90
Sites établis en 2008.	91
Site de recherche opérationnelle 63.	91
Sites établis en 2010	91
Sites de recherche opérationnelle 33 à 42.	92
Sites de recherche opérationnelle 60, 61, 66, 67 et 96	92
Sites établis en 2011	93
Sites de recherche opérationnelle 64, 65, 68, 95, 97 et 98.	93
Sites établis en 2014	93
Site de recherche opérationnelle 70.	94
Sites de recherche opérationnelle 99, 100 et 101.	94
Sites établis en 2015	95
Sites de recherche opérationnelle 28, 29 et 30.	95

Annexe IV	96
Équations utilisées pour calculer divers paramètres de rendement des plantations de boisement à rendement élevé	96
Annexe V	98
Annexe VI	101
Équations utilisées pour calculer divers paramètres de rendement des plantations de biomasse concentrée	101
Annexe VII	103
Résumé des évaluations historiques du test clonal de saule de la SUNY établi au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie, à Edmonton, en Alberta.	103
Annexe VIII	108
Résumés des données de l'échantillonnage effectué en 2012-2013 pour les tests opérationnels de biomasse concentrée au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie, à Edmonton, en Alberta.	108
Annexe IX	116
Données historiques d'analyse et d'évaluation des sols.	116
Annexe X	121
Méthodologies utilisées pour la caractérisation physique et chimique des fibres de bois (fournies par Uy, 2007, Grunet, 2007, Huntley, 2008 et Huntley et coll., 2011, FPInnovations)	121
Annexe XI	123
Résultats de la caractérisation physique et chimique	123
Annexe XII	134
Renseignements opérationnels associés au test du prototype de compactage de biomasse ligneuse de 2019.	134



Table des figures

Figure 1. Polygone de paysage de sol numéro 14356 de la base de données de l'inventaire des sols de la région agricole de l'Alberta où se situe le site de développement technique de CLCR d'Ellerslie (marqué en vert).	1
Figure 2. Site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation (CLCR) d'Ellerslie à Edmonton (Alberta). Établissement en 2002, récolte en 2018. Les plantations de boisement à rendement élevé sont indiquées en jaune, les plantations de biomasse concentrée en blanc, les espèces de sous-étage en pointillé et les marcottières en bleu.	1
Figure 3. Exemples de boisement à rendement élevé au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie.	2
Figure 4. Exemples de boisement mixte au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie.	3
Figure 5. Exemples de biomasse concentrée au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie.	3
Figure 6. Photo historique de la station de recherche d'Ellerslie. (Crédit image : D. Puurveen).	4
Figure 7. Précipitations et température de l'air historiques (1981-2010) à la station météorologique de l'aéroport international d'Edmonton, qui se trouve à environ 11 km du site de démonstration technique de CLCR d'Ellerslie.	5
Figure 8. Outil de préparation du site en trois phases élaboré et mis à l'essai par le Service canadien des forêts.	6
Figure 9. Exemple d'équipement utilisé pour effectuer des traitements de mélange en profondeur.	7
Figure 10. Exemple d'équipement utilisé pour effectuer des traitements de mélange superficiel.	8
Figure 11. Aperçu du protocole d'établissement du boisement à rendement élevé.	9
Figure 12. Exemple de quadrillage obtenu par marquage mécanique pour les tests de boisement à rendement élevé.	9
Figure 13. Plans de biomasse concentrée évalués au site de démonstration technique de CLCR d'Ellerslie.	9

Figure 14. Exemple de boutures non racinées (25 cm) résultant d'une multiplication végétative.....	10
Figure 15. Exemple de matériel végétal raciné à racines nues (à gauche) et en récipient (à droite).....	10
Figure 16. Plantation manuelle de tests de recherche opérationnelle de boisement à rendement élevé.	11
Figure 17. Configurations des repiqueurs mécaniques pour les plans de planche à une, à deux et à trois rangées pour l'établissement de plantations de biomasse concentrée.	11
Figure 18. Pulvérisateur d'herbicide recouvert Enviromist.	12
Figure 19. Équipement de gestion mécanique de la végétation de boisement à rendement élevé.	13
Figure 20. Équipement de gestion mécanique de la végétation de biomasse concentrée.....	13
Figure 21. Site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation (CLCR) d'Ellerslie à Edmonton (Alberta). Établissement en 2002, récolte en 2018. Les plantations de boisement à rendement élevé sont indiquées en jaune, les plantations de biomasse concentrée en blanc, les espèces de sous-étage en pointillé et les marcottières en bleu. Voir l'annexe I pour les hybrides et clones testés correspondants; les annexes II et III pour les tests de recherche opérationnelle correspondants et la figure 61 pour la présentation du test clonal de la SUNY sur le saule (bloc n° 69) établi sur place.....	15
Figure 22. Parcelles d'échantillonnage de boisement à rendement élevé établies au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie.....	16
Figure 23. Résumés de croissance et de rendement des parcelles d'échantillonnage des tests de boisement à rendement élevé établis au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie.	18
Figure 24. Conception des parcelles d'échantillonnage pour le test clonal de la SUNY établi au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie.....	19
Figure 25. Rendements moyens (t.a.) du test clonal de la SUNY sur le saule au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie.....	20
Figure 26. Précision de l'échantillonnage de 10 % du test de plantation de biomasse concentrée au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie.....	24
Figure 27. Résumé des évaluations de la teneur en carbone dans le sol de Forêt 2020 en rotation complète effectuées au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.....	28
Figure 28. Traitement de la biomasse ligneuse au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie.	32
Figure 29. Exemples d'événements de transfert de la technologie et d'infrastructures sur place pour les activités d'échange de connaissances au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.	34

Figure 30. Abatteuse-empileuse John Deere 753G au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.	36
Figure 31. Timberjack 608 avec tête d'ébranchage Waratah au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.	36
Figure 32. Plan de test de boisement mixte Walker au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie (2003).	40
Figure 33. Images de la récolte et après la récolte du test de boisement mixte Walker 2003 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.	41
Figure 34. Échantillonnage postérieur à la récolte dans la portion du boisement à rendement élevé de 2004 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.	43
Figure 35. Excavation des souches et des racines postérieure à la récolte dans la portion de boisement à rendement élevé de 2004 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.	43
Figure 36. Répartition du carbone dans l'écosystème de 2004 à 2018 pour le test de recherche Forêt 2020 réalisé au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.	45
Figure 37. Répartition du carbone du site de boisement à rendement élevé de 15 ans au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.	45
Figure 38. Projections du carbone du site de boisement à rendement élevé au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.	46
Figure 39. Porteur autochargeur déployé au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.	47
Figure 40. Presse Anderson BioBaler (à gauche) et moissonneuse Claas Jaguar (à droite) au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.	48
Figure 41. Résumé de la croissance des démonstrations de biomasse concentrée de 2005 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie (2018).	49
Figure 42. Récolte par abatteuse-empileuse de la masse concentrée de gros diamètre en 2005 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.	49
Figure 43. Résumé de la croissance annuelle des démonstrations de biomasse concentrée de 2005 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.	49
Figure 44. Résumés des croissances en rotation de <i>Salix dasyclados</i> 2005 à 2018 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie (2005).	50
Figure 45. Résumé de la croissance des récoltes des plans de biomasse concentrée au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie (2018).	52

Figure 46. Plan de biomasse concentrée : Résumés des croissances en rotation à trois rangées (<i>S. purpurea</i>) de 2005 à 2018 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie (2007).	53
Figure 47. Plan de biomasse concentrée : Résumés des croissances en rotation à une rangée (<i>S. purpurea</i>) de 2005 à 2018 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie (2007).	54
Figure 48. Test opérationnel du prototype d'unité de compactage de biomasse ligneuse au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.	58
Figure 49. Indice de pertinence du site au Canada pour le peuplier hybride. (Crédit image : B. Joss).	61
Figure 50. Volumes de récolte prévus et réels (2018) pour le site de boisement à rendement élevé Forêt 2020 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.	62
Figure 51. Résumé des composantes de carbone utilisées et résiduelles des plantations de boisement à rendement élevé de 2004 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.	66
Figure 52. Partie du site de développement technique de CLCR d'Ellerslie établie en 2002.	75
Figure 53. Vue d'ensemble de l'établissement du transect clonal.	75
Figure 54. Sous-test de manchon forestier Free-Gro dans le site de recherche opérationnelle 14.	77
Figure 55. Exemple de croissance du peuplier hybride Northwest sur 17 ans du site de recherche opérationnelle 21.	79
Figure 56. Sites de recherche opérationnelle établis au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie en 2003.	79
Figure 57. Sites de recherche opérationnelle établis au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie en 2004.	81
Figure 58. Sites de recherche opérationnelle établis au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie en 2005.	83
Figure 59. Aperçu du plan d'établissement de biomasse concentrée : trois rangées.	86
Figure 60. Sites de recherche opérationnelle établis au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie en 2006.	88
Figure 61. Plan de biomasse concentrée à deux rangées du test clonal de la SUNY.	89
Figure 62. Sites de recherche opérationnelle établis au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie en 2007.	90
Figure 63. Plans d'établissement de tests de plan de biomasse concentrée (2007).	90
Figure 64. Sites de recherche opérationnelle établis au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie en 2008.	91
Figure 65. Sites de recherche opérationnelle établis au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie en 2010.	91

Figure 66. Sites de recherche opérationnelle établis au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie en 2011.	93
Figure 67. Sites de recherche opérationnelle établis au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie en 2014.	94
Figure 68. Plan de plantation de boisement mixte.	94
Figure 69. Sites de recherche opérationnelle établis au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie en 2015.	95
Figure 70. Échantillon préparé pour une coupe double lame de 2 mm. (Crédit image : FPInnovations)	122



Tableaux

Tableau 1. Résumé de l'évaluation de la biomasse concentrée réalisée en 2007-2008 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.....	21
Tableau 2. Résumé de la récolte et du déchetage de biomasse concentrée effectués au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie (2010-2011).	22
Tableau 3. Résumé des données des récoltes effectuées au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie (2011 et 2012).	23
Tableau 4. Résumé des opérations de récolte de biomasse concentrée en 2018-2019 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.	25
Tableau 5. Composition moyenne du sol des échantillons prélevés entre 2003 et 2010 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.	26
Tableau 6. Résumé de l'analyse du sol des échantillons prélevés entre 2003 et 2010 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.	26
Tableau 7. Résumé de l'échantillonnage moyen du sol effectué en 2003 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.	27
Tableau 8. Résumé de l'échantillonnage du programme Forêt 2020 préalable au traitement au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.	27
Tableau 9. Évaluations de la teneur en carbone dans le sol du programme Forêt 2020 en rotation complète effectuées au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.	28
Tableau 10. Résumé des propriétés physiques des clones de saule évalués en 2007 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.	29

Tableau 11. Résumé des caractéristiques de la pâte kraft pour un indice Kappa cible de 17 pour les peupliers hybrides et les trembles hybrides évalués en 2008 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.....	30
Tableau 12. Résumé des propriétés physiques des échantillons de pâte de feuillus calculées pour l'indice d'égouttage de 300 mL de peuplier hybride et de tremble hybride évalués en 2008 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.....	31
Tableau 13. Résumé des propriétés physiques moyennes des granules de bois produits à partir de CLCR en 2009-2010 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.....	31
Tableau 14. Résumé de l'analyse des propriétés physiques du paillis par CanmetÉNERGIE-Ottawa de la biomasse ligneuse produite en 2018-2019 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.....	32
Tableau 15. Résumé de l'analyse des propriétés physicochimiques par CanmetÉNERGIE-Ottawa de la biomasse ligneuse produite en 2018-2019 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.....	33
Tableau 16. Événements technologiques à grande échelle présentant la recherche opérationnelle de CLCR au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.....	35
Tableau 17. Résumé des coûts de l'équipement de récolte au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie (2018).....	37
Tableau 18. Résumé des opérations des équipements de récolte et de traitement au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie (2018-19).....	38
Tableau 19. Résumé du poids du bois en longueur récolté en 2018 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.....	39
Tableau 20. Résultats détaillés de la récolte des sites de boisement à rendement élevé de 2002-2003 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.....	41
Tableau 21. Résultats détaillés de la récolte des sites de boisement à rendement élevé de 2004 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.....	42
Tableau 22. Résumé de l'évaluation postérieure à la récolte (tonnes anhydres/ha) des sites de boisement à rendement élevé de 2004 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.....	43
Tableau 23. Résumé de la séquestration du carbone* pour le site de boisement à rendement élevé de 2004 du site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.....	44
Tableau 24. Résultats détaillés de la récolte des sites de boisement à rendement élevé de 2005 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.....	46

Tableau 25. Résumé de la récolte par presse BioBaler de la biomasse concentrée opérationnelle au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie (2018).....	49
Tableau 26. Résumés des croissances en rotation du test clonal de la SUNY de 2006 à 2018 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie (2006).....	50
Tableau 27. Résumé de la récolte par la moissonneuse Claas Jaguar du test clonal de la SUNY au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie (2018).....	51
Tableau 28. Résumé des récoltes du test de plan de biomasse concentrée au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie (2018).....	53
Tableau 29. Résumé opérationnel de la déchiqueteuse à tambour Pezzolato PTH700 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie (2018-2019).....	56
Tableau 30. Résumé opérationnel du bol de broyage Haybuster 1130 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie (2018-2019).....	57
Tableau 31. Résumé des balles du prototype d'unité de compactage de Biomass Innovations Ltd. évalué en 2019 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.....	59
Tableau 32. Avantages opérationnels potentiels, obstacles et utilisations finales pour les systèmes de CLCR.....	63
Tableau 33. Rendements annuels de biomasse ligneuse (tonnes vertes par hectare par année) pour les sites de boisement à rendement élevé et de biomasse concentrée au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.....	64
Tableau 34. Résumé de l'analyse économique des CLCR intégrant les données obtenues au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.....	64
Tableau A1. Peupliers hybrides, trembles hybrides et clones de saule testés dans des plans de gestion de boisement à rendement élevé et de biomasse concentrée au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie, à Edmonton, en Alberta.....	70
Tableau A2. Liste des tests de recherche opérationnelle et des implantations correspondantes (figure 21) de peuplier hybride, de trembles hybrides, de clones de saule et d'espèces d'arbres de sous-étage testés au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie, à Edmonton, en Alberta (de 2002 à 2018).....	72
Tableau A3. Clones évalués dans le cadre du test clonal opérationnel de peuplier hybride de 2002-2003.....	76
Tableau A4. Test de plantation d'automne de tremble hybride mené au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.....	79

Tableau A5. Tests de plançon de peuplier hybride menés au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.....	80
Tableau A6. Marcottières de peuplier hybride établies en 2003 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.....	80
Tableau A7. Forêt 2020 Tests du matériel C2C au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.....	82
Tableau A8. Marcottières opérationnelles pour les différents clones de peuplier hybride et de saule au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.....	85
Tableau A9. Test de biomasse concentrée mené au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.	86
Tableau A10. Bioénergie-Aucun test de gestion mené au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.	87
Tableau A11. Test clonal de saule de la SUNY (State University of New York) mené au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.....	89
Tableau A12. Test clonal de boisement à rendement élevé de tremble amélioré de Weyerhaeuser mené au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.	92
Tableau A13. Tests clonaux de biomasse concentrée de tremble amélioré de Weyerhaeuser menés au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.	93
Tableau A14. Diamètre à hauteur de poitrine (DHP), âge, hauteur, survie en 2017 et volume du site de clones sélectionnés testés dans le cadre d'un régime de gestion à rendement élevé au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie, à Edmonton, en Alberta.....	98
Tableau A15. Données sur les troncs par plante et sur le taux de survie du test clonal de la SUNY recueillies au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.....	103
Tableau A16. Données sur l'évaluation des dommages du test clonal de la SUNY recueillies au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.	104
Tableau A17. Données sur la hauteur maximale du test clonal de la SUNY recueillies au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.....	105
Tableau A18. Données sur le rendement et la croissance en poids humide du test clonal de la SUNY recueillies au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.....	106
Tableau A19. Données sur le rendement et la croissance du bois anhydre du test clonal de la SUNY recueillies au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.....	107

Tableau A20. Résumé de l'intensité d'échantillonnage de 10 % d'une année de croissance de la planche n° 3 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.	108
Tableau A21. Résultats détaillés de l'échantillonnage au moyen de divers plans d'échantillonnage de parcelle d'une année de croissance de la planche n° 4 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.....	109
Tableau A22. Résultats détaillés de l'échantillonnage au moyen de divers plans d'échantillonnage de parcelle de l'année de croissance 2012-2013 de la planche n° 4 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.....	114
Tableau A23. Résumé de la composition du sol des échantillons prélevés entre 2003 et 2010 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.	116
Tableau A24. Résumé de l'analyse du sol des échantillons prélevés entre 2003 et 2010 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.	117
Tableau A25. Résumé de l'échantillonnage du sol effectué en 2003 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.....	118
Tableau A26. Évaluations du carbone dans le sol de Forêt 2020 en rotation complète effectuées au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.	120
Tableau A27. Résumé de la composition chimique (toutes les valeurs sont un pourcentage de la masse du bois anhydre) évaluée en 2007 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.....	123
Tableau A28. Composition en hydrates de carbone en pourcentage du bois anhydre libre de matières extractibles évaluée en 2007 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.	124
Tableau A29. Pourcentage de bois nouveau et de bois net pour les clones de peuplier hybride et de saule évalués en 2007-2008 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.	124
Tableau A30. Résumé des propriétés physiques des clones de peuplier hybride et de saule (les valeurs sont la moyenne des mesures multiples de l'écorce à l'écorce) évaluées en 2007-2008 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.....	125
Tableau A31. Résumé de la composition chimique du bois nouveau (toutes les valeurs sont un pourcentage de la masse du bois anhydre) évaluée en 2007-2008 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.	126
Tableau A32. Résumé de la composition en hydrates de carbone du bois nouveau (toutes les valeurs sont un pourcentage de la masse du bois nouveau anhydre libre de matières extractibles) évaluée en 2007-2008 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.....	127

Tableau A33. Résumé de la composition chimique du bois net (toutes les valeurs sont un pourcentage de la masse du bois anhydre) évaluée en 2007-2008 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.	128
Tableau A34. Résumé de la composition en hydrates de carbone du bois net (toutes les valeurs sont un pourcentage de la masse du bois nouveau anhydre libre de matières extractibles) évaluée en 2007-2008 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.	129
Tableau A35. Résumé des propriétés physiques du peuplier hybride et du tremble hybride évaluées en 2008 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.	130
Tableau A36. Résumé de la longueur des fibrilles (mm) par classe de diamètre des propriétés physiques du peuplier hybride et du tremble hybride évaluées en 2008 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.	131
Tableau A37. Résumé des propriétés physiques des copeaux en vue de la mise en pâte du peuplier hybride et du tremble hybride évaluées en 2008 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.	131
Tableau A38. Résumé des propriétés chimiques, des hydrates de carbone et des matières extractibles des copeaux en vue de la mise en pâte du peuplier hybride et du tremble hybride évaluées en 2008 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.	132
Tableau A39. Propriétés physiques des granules de bois produits à partir de CLCR en 2009-2010 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.	133
Tableau A40. Dimensions physiques des granules de bois (n=25) produits à partir de CLCR en 2009-2010 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.	133
Tableau A41. Résumé opérationnel du prototype d'unité de compactage de Biomass Innovations au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.	134



Résumé

Le site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation (CLCR) d'Ellerslie a fourni une occasion unique d'évaluer (de l'établissement jusqu'à l'utilisateur final) la croissance et le rendement, la caractérisation physique et chimique, la séquestration du carbone et l'économie associés au boisement à rendement élevé (peuplier hybride et tremble). Il a également aidé à évaluer les plantations de boisement concentré (saule et peuplier hybride) au Canada. Les 101 tests de recherche opérationnelle réalisés entre 2002 et 2019 ont fourni l'infrastructure et les données de recherche pour l'évaluation du potentiel de séquestration du carbone et la création de produits de transfert des connaissances, notamment des protocoles d'établissement et de gestion des CLCR, des publications examinées par des pairs et des visites éducatives.

L'analyse de la croissance et du rendement en rotation complète et l'analyse de la productivité de la récolte ont révélé que les plantations de boisement à rendement élevé ont produit un rendement positif des investissements. La croissance sur 15 ans de la plantation dans le cadre du volet Démonstration et évaluation de plantations du programme Forêt 2020 s'est établie en moyenne à $14,12 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{an}^{-1}$, ce qui a entraîné une augmentation nette moyenne de 21,4 tonnes d'éq. CO_2 par hectare par année. L'échantillonnage après récolte a révélé que 42,42 % du carbone séquestré est demeuré sur place sous forme d'augmentation de la teneur en carbone dans le sol (13,59 %), de résidus (4,44 %), de litière (8,49 %) et de souches et racines (15,89 %), à la suite de la récolte de billes destinées aux pâtes (47,91 %) et du traitement des résidus de récolte en bordure de route (9,67 %) pour la biomasse ligneuse.

L'élaboration et la validation des protocoles d'établissement et de gestion des CLCR et les modèles de pertinence clonale et de pertinence du site de boisement résultant de la recherche opérationnelle menée à Ellerslie fournissent une série d'outils pour la mise en œuvre d'un programme de boisement à grande échelle au Canada.



Renseignements généraux

Le site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation (CLCR) d'Ellerslie (figure 1) à Edmonton (Alberta) a été établi en 2002 par le Service canadien des forêts. Le site de 18 ha (figure 2), loué de l'Université de l'Alberta, a été le premier parmi plus de 150 sites de développement technique (1950 ha de boisement et 37 ha de plantations de biomasse concentrée) établis et surveillés par le Centre canadien sur la fibre de bois (CCFB) dans diverses zones géoclimatiques du Canada. Le site a été établi pour évaluer le potentiel biophysique et économique du développement de plantations de biomasse ligneuse à croissance rapide, très productives, renouvelables et durables pour la bioénergie et les bioproduits. Le site de développement technique d'Ellerslie est à la base de nombreux protocoles de CLCR utilisés dans les programmes de restauration et de biomasse ligneuse. Les efforts à l'échelle du Canada ont été liés par des initiatives gouvernementales. Ces initiatives comprennent le volet Démonstration et évaluation de plantations dans le cadre du programme Forêt 2020, le Réseau canadien d'innovation dans la biomasse (RCIB), l'Initiative écoÉNERGIE sur la technologie et le Fonds pour l'énergie propre (FEP) de RNCan. Au cours des deux dernières décennies, des régimes de gestion et des conceptions de systèmes préliminaires de CLCR ont été établis et mis à l'essai au site d'Ellerslie et ont fait l'objet de démonstrations dans un vaste réseau de sites canadiens pour évaluer la pertinence des sites et des espèces.



Figure 1. Polygone de paysage de sol numéro 14356 de la base de données de l'inventaire des sols de la région agricole de l'Alberta où se situe le site de développement technique de CLCR d'Ellerslie (marqué en vert).



Figure 2. Site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation (CLCR) d'Ellerslie à Edmonton (Alberta). Établissement en 2002, récolte en 2018. Les plantations de boisement à rendement élevé sont indiquées en jaune, les plantations de biomasse concentrée en blanc, les espèces de sous-étage en pointillé et les marcottières en bleu.

Aux fins du présent rapport, les auteurs définissent ainsi les cultures ligneuses à courte rotation (CLCR), aussi appelées cultures énergétiques, culture intensive en courte rotation (CICR) ou cultures ligneuses spécialisées : « approches sylvicoles pour établir et gérer des plantations à croissance rapide sur des terres déjà défrichées ». L'établissement de CLCR sert à produire rapidement des fibres pour l'industrie des produits du bois. Également utilisées à des fins énergétiques, les CLCR nécessitent une sélection et une préparation appropriées du site, un matériel de reproduction clonale approprié et une gestion intensive pour obtenir des rendements élevés (8x les rendements indigènes) sur de courtes rotations (3 à 20 ans). Par souci de clarté, les auteurs définissent ainsi les trois types les plus courants de plantations de CLCR : plantations de boisement à rendement élevé, de boisement mixte et de biomasse ligneuse concentrée.

Les plantations de boisement à rendement élevé (figure 3) sont des plantations de type quadrillé de 1100 à 1600 troncs par hectare de peuplier hybride et de tremble clonal adaptés à la biodiversité géoclimatique. Elles sont conçues pour produire des arbres à tronc unique de grand diamètre (25 cm +) en une seule rotation de 12 à 20 ans. Les plantations produisent des matières premières ligneuses avec un rapport aubier sur écorce élevé. Ces matières premières peuvent servir à la séquestration du carbone et à la production de produits forestiers conventionnels comme le bois d'œuvre, le placage et la pâte, ainsi que la biomasse ligneuse pour la production d'énergie. Elles peuvent également être utilisées dans la production de granules de bois, de paillis et de biocharbon. En outre, les plantations de boisement à rendement élevé, en particulier celles qui contiennent du peuplier hybride, sont d'excellentes « phytoremédiateurs » qui peuvent absorber les déchets nocifs des sols et les enfermer dans leurs troncs ligneux (<https://www.treehugger.com/the-hybrid-poplar-1343352>) [en anglais].

Les plantations de boisement mixte (figure 4) sont des adaptations de plantations de boisement à rendement élevé établies pour imiter les forêts mixtes naturelles. L'utilisation de semis de conifères tolérants dans des plantations de boisement à rendement élevé, en plus d'accroître la production de matières premières ligneuses et les options de produits associées aux plantations de boisement à rendement élevé, offre un potentiel à long terme (de 60 à 90 ans) pour la séquestration du carbone et la création de forêts de conifères de grand diamètre à espacement uniforme.

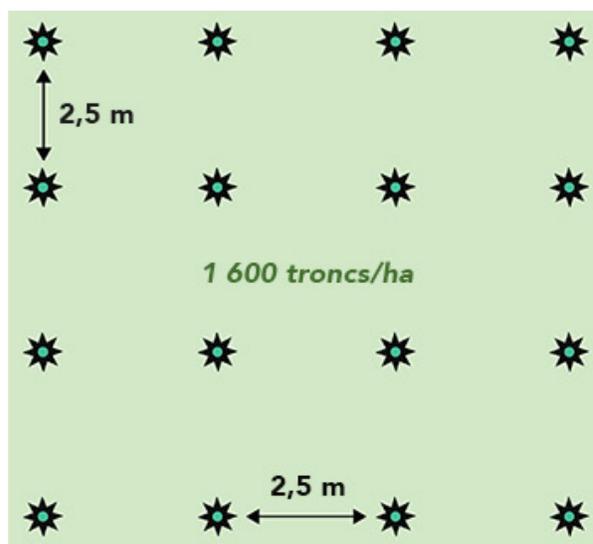


Figure 3. Exemples de boisement à rendement élevé au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie, à Edmonton (Alberta) - Abrégé de la recherche opérationnelle



Figure 4. Exemples de boisement mixte au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie.

Les plantations de biomasse concentrée (figure 5) sont des plantations en planches de 9000 à 16000 troncs par hectare de saule, de peuplier hybride et de tremble clonal conçues pour produire des troncs de petit diamètre (< 10 cm) en rotations multiples (jusqu'à sept) de trois ans. Les plantations produisent des matières premières ligneuses, avec un rapport écorce sur aubier élevé qui peuvent être utilisées pour produire de la biomasse ligneuse pour la production d'énergie ou pour servir à la production de granules de bois, de paillis et de biocharbon. Ces cultures de biomasse peuvent également être utilisées à des fins de phytoremédiation lorsque les plantes utilisent des effluents municipaux ou des biosolides provenant d'usines de traitement des eaux usées, comme les bandes de protection riveraine où les cultures sont plantées pour réguler le mouvement des matières dans les eaux de ruissellement de surface et les eaux souterraines, tout en fournissant une matière première de biomasse pour la bioénergie.



Figure 5. Exemples de biomasse concentrée au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie.



Historique du site

Avant le lancement du site de développement technique de CLCR d'Ellerslie en 2002, la zone était gérée comme une partie de la station de recherche d'Ellerslie de l'Université de l'Alberta (figure 6). Pendant plusieurs décennies, la partie sud de la station de recherche a été le foyer de tests de recherche sur les cultures agricoles. En 2001, le personnel du Service canadien des forêts a négocié une entente avec l'Université de l'Alberta pour louer une partie de la station de recherche d'Ellerslie afin d'y mener des recherches sur les CLCR.

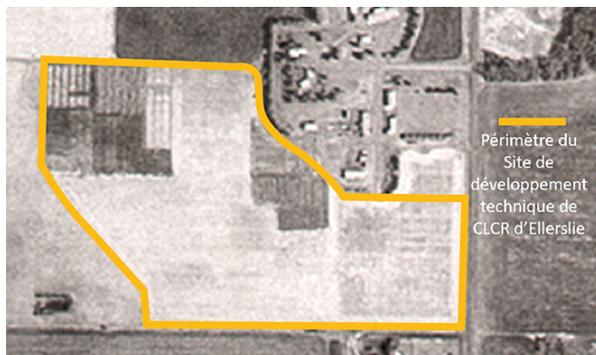


Figure 6. Photo historique de la station de recherche d'Ellerslie. (Crédit image : D. Puurveen).

En 2018-2019, le site a été récolté grâce au financement reçu dans le cadre du Programme d'innovation forestière à l'appui de la bioéconomie forestière. L'objectif du projet était d'améliorer l'économie et l'efficacité de la logistique pour l'utilisation des matières premières ligneuses. Établi et géré de 2002 à 2019 par le CCFB/SCF, le site d'Ellerslie a présenté une occasion unique d'évaluer (de l'établissement jusqu'à l'utilisateur final) la croissance et le rendement, la caractérisation physique et chimique, la séquestration du carbone, les aspects économiques associés aux plantations de boisement à rendement élevé (peuplier hybride et tremble) et de boisement concentré (saule et peuplier hybride) au Canada.

Le résumé qui suit décrit les recherches opérationnelles et les démonstrations menées au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie au cours de ses 18 années d'existence.



Conditions du site

Le site (53°24'39,93" N, 113° 32'29,91" O) est situé à 694 mètres au-dessus du niveau de la mer avec une température annuelle moyenne (1981-2010) de 2,6 °C et des précipitations annuelles moyennes de 446 mm (figure 7), dont 24 % tombent sous forme de neige (Environnement et Changement climatique Canada, 2017).

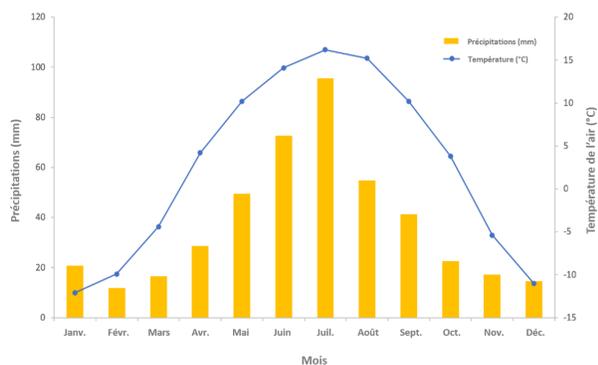


Figure 7. Précipitations et température de l'air historiques (1981-2010) à la station météorologique de l'aéroport international d'Edmonton, qui se trouve à environ 11 km du site de démonstration technique de CLCR d'Ellerslie.

Le sol varie, depuis un chernozem gris foncé orthique sur des matières à texture très fine (pas du till) sur du till à texture moyenne jusqu'à un chernozem noir éluviié sur des sédiments aquatiques à texture fine (*Alberta Agriculture and Forestry*, 2018). Il est ondulant, avec un relief bas et une pente limite correspondant à 2 % de la superficie. Dans l'Inventaire des terres du Canada pour l'agriculture, la zone figure comme site de classe 1. Ce type de site est généralement décrit comme étant de plat à pratiquement plat, profond, et bien drainé. On sait par ailleurs qu'il est imparfaitement drainé et a une bonne capacité de rétention d'éléments nutritifs et d'eau. Il peut être géré et cultivé sans difficulté. Avec une bonne gestion, leur productivité est modérément élevée à élevée pour l'ensemble des grandes cultures (*Agriculture et Agroalimentaire Canada*, 2016). Des études de sol préplantation effectuées tout spécialement à Ellerslie ont montré que la région avait une texture de limon argileux fin qui drainait modérément bien, un pH de 6,4, une conductivité électrique (CE) de 0,7 et une concentration en C du sol pré-établissement de 78 Mg C ha⁻¹.



Aperçu de l'élaboration des protocoles opérationnels

Une grande partie de la recherche opérationnelle menée au cours des premières années au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie était axée sur l'élaboration et la mise à l'essai de protocoles et de régimes d'établissement pour les CLCR. Une bonne préparation du site est essentielle au succès de toute culture agricole. Cela est également vrai pour l'établissement d'arbres ou d'arbustes sur les terres agricoles, car une bonne préparation du site a une incidence directe sur la croissance et le volume réalisable des arbres plantés. Au départ, l'accent a été mis sur l'adaptation de la technologie et des méthodologies éprouvées de l'industrie forestière pour créer des microsites améliorés pour le matériel planté.

En 2002, le groupe de spécialistes du développement technologique (Groupe du développement technologique) du Service canadien des forêts a assemblé et mis à l'essai un outil de préparation du site en trois phases. L'outil en trois phases utilisait des composantes agricoles et sylvicoles disponibles « en vente libre ». Il comprenait une tige défonceuse agricole passive, un mélangeur horizontal de planches Soukone MeriCrusher animé par la prise de force et une composante de confection de planches passive (figure 8). L'outil, conçu pour se fixer à l'attelage trois points d'un tracteur agricole de 80 à 100 HP, a été utilisé pour créer une série de planches mixtes parallèles et surélevées, les zones entre les planches restant intactes.

Bien que le microsite créé ait été avantageux pour le matériel planté, les évaluations de la méthodologie après le traitement ont permis de cerner de multiples questions et préoccupations liées à la nature sélective du traitement et à la capacité de procéder efficacement aux traitements subséquents. Voici les trois principales préoccupations quant à la pertinence de ce type de préparation du site pour les CLCR :

1. La productivité opérationnelle de la préparation de zones plus grandes était inférieure à ce qui était prévu, ce qui a entraîné des coûts de préparation du site plus élevés;
2. L'exposition à des semences latentes provenant des sols perturbés et la capacité de maîtriser la végétation dans les planches après la plantation d'espèces de feuillus à croissance rapide ont entraîné des coûts de gestion de la végétation plus élevés que prévu;
3. La réduction du potentiel d'enracinement et les répercussions à long terme sur la croissance associées à la préparation sélective du site sur les terres agricoles.



Figure 8. Outil de préparation du site en trois phases élaboré et mis à l'essai par le Service canadien des forêts.

Pour élaborer de nouvelles options pour l'établissement et la gestion des CLCR au Canada, le Groupe du développement technique a consacré beaucoup d'efforts aux discussions et aux visites de sites avec des spécialistes de l'amélioration des arbres, des agronomes et des promoteurs des CLCR partout au Canada et dans le nord des États-Unis. L'évaluation de la vaste gamme de pratiques et de la croissance subséquente a fourni au Groupe du développement technologique l'information nécessaire pour élaborer des protocoles d'établissement et de gestion « Fait au Canada » pour les CLCR au Canada. Les protocoles élaborés pour l'établissement et la gestion des plantations de boisement à rendement élevé au Canada comportaient quatre importantes activités opérationnelles : 1) la sélection du site; 2) la préparation du site; 3) la conception et la plantation des CLCR; et 4) la gestion de la végétation.

En 2004, les nouveaux protocoles ont été mis en œuvre au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie (Ellerslie). Ces protocoles ont été élaborés pour intégrer et étendre les techniques de préparation à l'ensemble du site. On créerait ainsi un environnement d'enracinement approprié avec une disposition en grille pour assurer un espacement uniforme, l'utilisation des éléments nutritifs et une gestion dynamique et rentable de la végétation. Les mêmes protocoles, relativement inchangés, ont été utilisés pour l'établissement et la gestion de toutes les plantations de CLCR et les tests de recherche opérationnelle réalisés à Ellerslie après 2003.

Préparation du site

À Ellerslie, trois éléments clés pour préparer chaque site de traitement ont été pris en considération pour : 1) assurer un environnement propice à l'enracinement; 2) faciliter les traitements futurs; et 3) lancer un programme de gestion de la végétation du site. Selon l'état de la zone de plantation (texture du sol, structure, drainage, profondeur de la croûte), le calendrier d'achèvement de ces trois composantes peut avoir été modifié.

Mélange en profondeur

Les plantations de CLCR nécessitent un environnement d'enracinement approprié de 25 à 30 cm. Par conséquent, les plans de préparation du site d'Ellerslie ont fait appel à l'utilisation d'équipements et de méthodologies appropriés qui intégraient l'objectif d'un mélange en profondeur. Comme les sites agricoles ont habituellement

une couche de sol compacté, appelée croûte, qui inhibe la capacité d'enracinement des semis, le mélange en profondeur, effectué à l'aide d'agroéquipements (figure 9), sert à pénétrer et à détruire cette croûte afin que les arbres puissent enfoncer leurs racines plus profondément dans le sol. En étendant leurs racines plus profondément, les arbres seront mieux préparés à affronter les effets d'événements climatiques périodiques tels que la sécheresse et les inondations.

Comme Ellerslie a une histoire de régimes culturaux annuels qui ont créé une couche compactée à une profondeur de 10 à 15 cm et une couche de chaume établie, les opérations de préparation du site ont été achevées avant la plantation, soit à l'été ou à l'automne précédant l'année de plantation, soit au printemps de l'année de plantation. Peu importe le calendrier de l'année précédant la plantation, les objectifs des traitements initiaux pour ces sites de traitement étaient les mêmes et ils ont été atteints par disquage. Les disques avaient généralement une largeur maximale de 4,3 m (14 pi), avec de grands disques de 90 cm (36 po) et ils étaient dotés de capacités de déportance étendues. Les sites ont été passés aux disques dans plusieurs directions pour assurer une profondeur de mélange uniforme des sols. Les passages subséquents ont été effectués perpendiculairement ou en diagonale par rapport au traitement par disquage initial. Ce traitement de mélange en profondeur à passages multiples a créé une couche de sol grossièrement mélangée de 25 à 30 cm de profondeur. Cela a amélioré la capacité d'enracinement des arbres plantés.



Figure 9. Exemple d'équipement utilisé pour effectuer des traitements de mélange en profondeur.

Mélange superficiel

L'achèvement des traitements de mélange en profondeur laisse généralement le site inégal, ce qui limite la capacité et la vitesse de déplacement de l'équipement. Cela limite également l'homogénéité des traitements ultérieurs. Pour corriger ce manque

d'homogénéité et créer un mélange de sol plus fin dans les 10 à 15 premiers centimètres, on a procédé à un disquage superficiel à l'aide de disques de terrain, de cultivateurs superficiels ou de herse (figure 10). Le traitement de nivellement a été effectué avant la plantation pour combiner les traitements de mélange superficiel et de gestion de la végétation préplantation. Cela a été fait pour réduire les coûts et s'assurer que toute la végétation était incorporée dans les sols avant la plantation. Le traitement a permis d'obtenir un site uniforme et plat, prêt pour le début des opérations d'aménagement et de plantation du site.



Figure 10. Exemple d'équipement utilisé pour effectuer des traitements de mélange superficiel.

Conception et plantation du site

L'élaboration d'une conception appropriée du site pour les plantations de CLCR crée le cadre pour toutes les opérations ultérieures. Il est important de comprendre que le fait de ne pas intégrer tous les aspects de la gestion de la plantation dans la conception du site pourrait créer des problèmes et des retards tout au long de la vie de la plantation. La conception et l'aménagement du site d'Ellerslie comprenaient les éléments suivants :

1) un bon accès;

Un bon accès signifie l'intégration de zones tampons adéquates autour du périmètre de chaque site de traitement pour permettre un accès facile aux parties des plantations aux fins de plantation, de gestion et de conduite des opérations de récolte.

2) des zones tampons appropriées;

Des zones tampons appropriées ont été nécessaires pour permettre à l'équipement de se déplacer librement autour du périmètre des blocs plantés. Le long des

tournières de chaque bloc de plantation, une zone tampon de 15 m a été installée pour permettre le positionnement et la rotation de l'équipement pendant les opérations. Le long des côtés de la zone de plantation adjacente aux planches extérieures, une zone tampon de 10 m a été nécessaire pour permettre la rotation de l'équipement pendant les opérations de gestion.

3) plusieurs espèces/clones dans des plantations en blocs d'espèces/de clones individuels.

Pour réduire les risques associés aux éclosions d'insectes, de maladies ou de ravageurs, Ellerslie a incorporé plusieurs espèces ou clones. Étant donné que les clones se développent différemment, il était important de gérer chaque clone de façon individuelle en fonction de ses traits de croissance. Pour faciliter la gestion clonale, chaque clone a été planté individuellement dans un bloc et, dans la conception globale du site, des zones tampons ont été placées entre les clones.

Opérations de plantation

L'établissement de plantations de boisement est une entreprise coûteuse. La plus grande partie de ces coûts est le matériel de reproduction et la plantation en tant que telle. En raison de ce coût élevé, il est primordial que les opérations de plantation soient bien conçues et mises en œuvre avec soin. Le processus de mise en œuvre peut être divisé en trois opérations distinctes : 1) la conception de la plantation et le marquage du site; 2) les types de matériel et la préparation; 3) la méthode de plantation.

Conception de la plantation et marquage du site

L'objectif de toute conception de plantation est d'assurer une répartition uniforme des troncs sur toute la zone afin que chaque arbre puisse tirer profit des ressources du site de façon égale. La conception doit également tenir compte des facteurs opérationnels. Par exemple, la conception doit inclure l'accès à l'équipement pour les opérations de gestion et de récolte. À Ellerslie, les plantations de boisement à rendement élevé ont été marquées mécaniquement à un espacement de 2,5 m x 2,5 m (1600 troncs par hectare) pour assurer un espacement uniforme et pour assurer que les semis de peupliers hybrides enracinés ont été plantés manuellement à des endroits désignés (figure 11).



Figure 11. Aperçu du protocole d'établissement du boisement à rendement élevé.

L'espacement uniforme entre les rangées et entre les arbres à l'intérieur des rangées permet des opérations de gestion multidirectionnelles tout en assurant aux arbres un partage égal des ressources du site. Un espacement uniforme est vital. Il faut veiller à ce que tous les arbres soient plantés en parallèle avec un espacement constant. Cela garantit que les traitements de gestion ultérieurs n'entraîneront pas l'endommagement ni la destruction des troncs plantés. Pour atteindre cette uniformité sur les sites, il est recommandé que les sites soient « marqués mécaniquement » avant le début des opérations de plantation.

Le marquage du site est effectué afin que les équipes de plantation sachent où les arbres doivent être plantés. En prémarquant le site, les opérations de plantation peuvent être réalisées en temps opportun sans interruption.

À Ellerslie, le marquage a été effectué à l'aide d'un tracteur équipé d'un marqueur spécialement conçu ou d'un cultivateur/herse adapté où seules les dents requises pénètrent dans le sol. Pour les tests de boisement à rendement élevé, le marquage de l'ensemble du site a comporté deux étapes. La première étape a consisté en des opérations dans une direction nord-sud, créant des marques parallèles dans le sol à l'espacement désiré. La seconde étape a consisté en des opérations dans une direction est-ouest, créant aussi des marques parallèles dans le sol à l'espacement désiré. Ce système en deux étapes a créé un quadrillage (figure 12) sur l'ensemble du site, les points de plantation souhaités étant identifiés à l'endroit où les marques se sont croisées.



Figure 12. Exemple de quadrillage obtenu par marquage mécanique pour les tests de boisement à rendement élevé.

En 2005, alors que l'on s'intéressait au potentiel de développement d'une option de biomasse ligneuse renouvelable sans le délai de 12 à 20 ans associé au boisement à rendement élevé, le Groupe du développement technologique a entrepris des recherches opérationnelles sur la biomasse concentrée à Ellerslie. Les protocoles de préparation du site étaient conformes aux plantations de boisement à rendement élevé. Pour évaluer les diverses options associées aux conceptions d'établissement pour les plantations de biomasse concentrée, des tests ont été réalisés entre 2005 et 2007 pour évaluer les caractéristiques opérationnelles associées à l'établissement et à la gestion de plans de biomasse concentrée de planches d'une, de deux et de trois rangées (figure 13). L'aménagement des conceptions a été réalisé au moyen de méthodes de marquage manuel ou mécanique, selon la taille du test et la disponibilité de l'équipement.

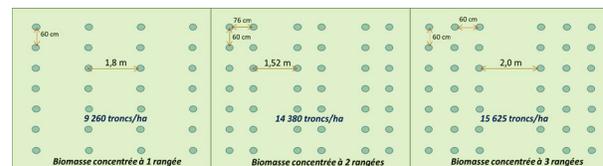


Figure 13. Plans de biomasse concentrée évalués au site de démonstration technique de CLCR d'Ellerslie.

Types de matériel et préparation

Les tests de recherche opérationnelle de CLCR à Ellerslie ont été réalisés à l'aide de divers types de matériel végétal non raciné (boutures de 25 cm et plançons de 2 à 3 m) et raciné (semis à racines nues et en récipient).

Le matériel végétal non raciné (boutures et plançons) utilisé dans les plantations de CLCR a été obtenu à l'aide de techniques de multiplication végétative. Il s'agissait de récolter les pousses d'un an sur des marcottières préétablies et de transformer le matériel récolté aux longueurs désirées (figure 14). La récolte du matériel de multiplication végétative s'est terminée entre l'apparition des bourgeons l'année précédant la plantation et le dégel des sols l'année de la plantation (de novembre à mars). Ce matériel a été conservé congelé jusqu'à ce que les opérations de plantation soient confirmées. Avant la plantation, les boutures ont été conditionnées (trempées à température ambiante) pour s'assurer qu'elles étaient entièrement hydratées et prêtes à pousser une fois plantées. Selon le clone, les boutures ont été trempées entre 24 et 48 heures avant la plantation.



Figure 14. Exemple de boutures non racinées (25 cm) résultant d'une multiplication végétative.

Les semis à racines nues et en récipient (figure 15) utilisés pour les tests de recherche opérationnelle de CLCR à Ellerslie ont été cultivés à la serre du Service canadien des forêts au Centre de foresterie du Nord (CFN) à Edmonton ou procurés auprès de fournisseurs de services éprouvés au Canada et aux États-Unis. Les semis à racines nues ont été cultivés à l'extérieur dans des planches de pépinière peu profondes à partir de petites (15 cm) boutures de peuplier hybride ou de

petits plants repiqués de tremble hybride. Les semis en récipient ont été cultivés dans des serres de pépinière à partir de petites (10 cm) boutures de peuplier hybride, de boutures de racines de tremble ou de graines de tremble hybride et de conifère. Ces semis ont été cultivés durant une saison de croissance complète. Ils ont ensuite été récoltés à l'automne et entreposés à l'état congelé à une température de -3 à -5 °C au cours de l'hiver en prévision de la plantation printanière. Les semis racinés, bien que plus coûteux, ont été utilisés pour les tests de boisement à rendement élevé parce qu'ils étaient plus résistants que les boutures et mieux en mesure de résister aux conditions de sécheresse post-plantation. Cela a réduit les risques de mortalité associés à l'utilisation de ce type de matériel pour l'établissement de plantations de boisement.



Figure 15. Exemple de matériel végétal raciné à racines nues (à gauche) et en récipient (à droite).

En prévision de la plantation, les arbres ont été retirés du congélateur et entreposés dans un endroit ombragé à une température constante située entre 3 et 8 °C pendant trois jours. Ainsi, les semis ont pu dégeler lentement. Les tests de recherche opérationnelle menés en laboratoire au CFN ont révélé que les semis en récipient de peuplier hybride doivent être entreposés au congélateur pendant au moins 28 jours à une température de -3 à -5 °C avant le dégel pour assurer

la dormance constante des semis. Une fois dégelées, les racines des semis à racines nues ont été immergées dans l'eau à température ambiante pendant 12 à 18 heures avant la plantation. Les semis en récipient ont été arrosés pour que les racines restent humides et exemptes du stress de sécheresse, dans un endroit ombragé à proximité du site de plantation.

Méthode de plantation

Les opérations de plantation à Ellerslie ont été réalisées au début du printemps, une fois que les conditions du sol étaient acceptables. Les activités ont été coordonnées de manière à profiter de la période relativement courte pour réaliser la plantation. Pour les boutures non racinées, il fallait que la température du sol atteigne 12 °C à une profondeur de 15 cm avant le début des opérations de plantation. Pour toutes les plantations à rendement élevé, une plantation manuelle était nécessaire pour veiller à ce que la plantation ait lieu au bon endroit (figure 16). Lorsque les conditions du sol étaient réunies, des boutures de 25 cm étaient plantées avec un minimum de 20 cm dans le sol et de 3 à 5 cm au-dessus du sol, le bourgeon supérieur de la bouture étant juste au-dessus ou au niveau de la surface du sol. Pour planter les boutures, il a d'abord fallu créer une ouverture appropriée avec une pelle ou un plantoir. Ensuite, la bouture a été placée à la bonne profondeur et le sol a été légèrement compacté autour de la bouture pour s'assurer qu'il n'y avait pas de trous d'air sous la surface. Des précautions supplémentaires ont été prises pendant les opérations de plantation pour s'assurer que les boutures n'étaient pas « poussées » dans le sol. Cette « poussée » dans le sol peut endommager les bourgeons tendres et l'écorce de la bouture, ce qui entraîne la mortalité.



Figure 16. Plantation manuelle de tests de recherche opérationnelle de boisement à rendement élevé.

Pour la biomasse concentrée dans les plantations énergétiques, on a également planté les boutures de 25 cm. Cependant, on a eu recours à la plantation mécanique dans un certain nombre de tests de recherche opérationnelle pour assurer la productivité (capacité de planter plus de 5 000 boutures par heure). On a ainsi réduit les coûts des opérations de plantation. À Ellerslie, le CCFB a mis à l'essai et utilisé de manière opérationnelle un repiqueur de matériel de pépinière (Mechanical Transplanter, Michigan, États-Unis) pour établir des plantations de biomasse concentrée suivant des plans à une, à deux et à trois rangées (figure 17). Le repiqueur mécanique a été conçu pour repiquer de petits semis destinés à la production de fruits et de légumes. Il se composait de repiqueurs indépendants fixés à une barre d'attelage, elle-même fixée à un attelage trois points d'un tracteur d'au moins 50 HP. Pour les opérations du CCFB, on a utilisé une configuration de repiquage à trois rangées pour planter des boutures de saule et de peuplier hybride de 25 cm en rangées parallèles à l'espacement souhaité, soit environ 60 cm entre les arbres dans les rangées. Les repiqueurs déployés pour les tests opérationnels étaient équipés de pals de plantation profonds de 25 cm pour faciliter la plantation de longues boutures. Un test opérationnel à court terme mené à Ellerslie a révélé qu'en ce qui concerne le matériel végétal non raciné, les opérations de plantation devaient avoir lieu avant la deuxième semaine de juillet pour permettre le développement adéquat des racines et assurer la survie au cours de l'hiver.



Figure 17. Configurations des repiqueurs mécaniques pour les plans de planche à une, à deux et à trois rangées pour l'établissement de plantations de biomasse concentrée.

Pour la plantation manuelle de matériel végétal raciné, des températures du sol de 8 à 10 °C à une profondeur de 15 cm étaient requises avant que les opérations de

plantation puissent s'amorcer. Lorsque les conditions du sol étaient réunies, les semis étaient plantés à une profondeur correspondant à au moins 2 à 3 cm et ayant un maximum de 5 à 7 cm de sol sur le dessus du récipient et de toutes les racines. Pour planter les semis, il a d'abord fallu créer une ouverture appropriée avec une pelle. Ensuite, la partie racinée de l'arbre a été placée verticalement dans le trou à la profondeur requise et le sol a été légèrement compacté sur les racines ou le récipient.

Les opérations de plantation ont été interrompues lorsque la température du sol a atteint 20 °C à une profondeur de 15 cm, ce qui a donné une période relativement courte pour terminer la plantation. Il était donc essentiel de bien coordonner les opérations de plantation.

Gestion de la végétation

Les traitements de préparation du site effectués sur les terres agricoles augmentent le risque d'exposer les semences latentes aux ressources nécessaires à la germination. Par conséquent, un afflux de végétation concurrente après les activités de plantation doit être traité sans ménagement. Une bonne gestion de la végétation des plantations de CLCR et des tests de recherche opérationnelle est essentielle au succès et à la collecte de données pertinentes. Des tests de recherche opérationnelle ont été réalisés à Ellerslie pour évaluer les traitements chimiques, mécaniques et manuels de gestion de la végétation après la plantation.

Au cours des saisons d'exploitation 2002-2003 à Ellerslie, des options chimiques de gestion de la végétation ont été utilisées pour gérer la végétation concurrente après la plantation. Des tests opérationnels ont été effectués à l'aide d'instruments recouverts à dérive zéro, comme l'Enviromist (figure 18), afin de réduire le risque de mortalité du matériel planté. Des applications de glyphosate ont d'abord été utilisées au besoin. Cette pratique a eu un succès limité dans la maîtrise de toutes les espèces de végétation concurrentes. Elle a mené à l'adoption de traitements mécaniques de la végétation au besoin pour appuyer les traitements chimiques. En plus des herbicides de contact, des tests opérationnels d'herbicides préventifs ont également été effectués. L'application d'herbicides préventifs a immédiatement suivi la plantation pour maîtriser la végétation concurrente. Cette pratique a également eu un succès limité dans la maîtrise de toutes les espèces de végétation concurrentes et a abouti à l'adoption de traitements mécaniques.



Figure 18. Pulvérisateur d'herbicide recouvert Enviromist.

Le succès limité, le coût prohibitif des traitements chimiques de gestion de la végétation et la nécessité de traitements mécaniques de gestion de la végétation pour maîtriser adéquatement la végétation concurrente ont incité le Groupe du développement technique à créer un protocole uniquement pour la gestion rentable et mécanique de la végétation pour les plantations de CLCR.

À partir de 2004, tous les tests opérationnels (y compris les tests déjà établis) à Ellerslie comprenaient une composante de gestion mécanique de la végétation. L'objectif des traitements mécaniques de gestion de la végétation à Ellerslie était de faire en sorte que la végétation concurrente soit traitée en temps opportun dans les 10 à 14 jours après la plantation et jusqu'au premier gel à l'automne de chaque année. L'équipement déployé à Ellerslie pour les plantations de boisement à rendement élevé se composait de petits tracteurs (30 à 40 HP) équipés d'accessoires passifs (cultivateur superficiel ou herse rotative) ou animés par la prise de force (herse rotative ou motoculteur) (figure 19). Pour que les traitements réduisent au minimum les dommages aux systèmes racinaires, tout l'équipement a été configuré pour limiter la profondeur de perturbation à 3 à 7 cm. Habituellement, ce traitement a été nécessaire quatre ou cinq fois au cours des deux ou trois premières années de la plantation. Il a ensuite été réduit à deux ou trois fois par année pendant les trois années suivantes ou jusqu'à la fermeture du couvert forestier du site. La disposition en grille des plantations de boisement a permis de réaliser des opérations de gestion de la végétation dans plusieurs directions.



Figure 19. Équipement de gestion mécanique de la végétation de boisement à rendement élevé.

Comme dans le cas des plantations de boisement, les opérations de gestion mécanique de la végétation pour les plantations de biomasse concentrée ont habituellement commencé dans les 10 à 14 jours après la plantation et se sont poursuivies « au besoin » jusqu'au premier gel à l'automne. À mesure que les plantations de biomasse concentrée augmentaient, le besoin de traitements de gestion de la végétation variait entre les planches à plusieurs rangées et la zone séparant les planches. L'équipement déployé à Ellerslie pour les plantations de biomasse concentrée était constitué de petits tracteurs (30 à 40 HP) pourvus d'accessoires animés (herse rotative ou motoculteur) pour les opérations entre les planches et d'un accessoire de labourage à rangées multiples pour les opérations entre les rangées à l'intérieur des planches (figure 20). L'utilisation d'accessoires « en vente libre » pour la réalisation de traitements de gestion de la végétation a été conçue au préalable par le Groupe du développement technique pour veiller à ce que les opérations testées et éprouvées puissent être facilement adoptées par les utilisateurs finaux des CLCR. Lorsque la fermeture du couvert a commencé dans les planches (habituellement pendant la deuxième saison de croissance), les traitements de gestion de la végétation requis pour ces zones ont été réduits et la plupart des traitements ont été limités aux zones entre les planches.



Figure 20. Équipement de gestion mécanique de la végétation de biomasse concentrée.

Au début des tests de recherche opérationnelle sur la biomasse concentrée en 2005-2006, beaucoup d'efforts (en temps et en argent) ont été déployés pour éliminer la végétation concurrente restante qui pousse entre les arbres dans les rangées des planches de biomasse concentrée. Une gestion délicate, limitée aux applications manuelles, a été nécessaire. Ces applications peuvent avoir inclus le désherbage manuel, le binage ou le labourage manuel avec un petit motoculteur. Ces applications étaient très longues et coûteuses. Les avantages n'étaient pas évidents. Après la saison d'exploitation de 2006, ces traitements ont été abandonnés à Ellerslie et ils ont été jugés impossibles dans les grandes plantations.



Espèces et clones plantés à Ellerslie

Au Canada, les plantations de biomasse concentrée et de boisement consistent en divers hybrides et clones de peuplier, de tremble ou de saule. Selon l'endroit, le climat et les caractéristiques du site, les besoins en végétation peuvent également varier. Afin de déterminer les sélections les plus performantes pour Ellerslie, le Groupe du développement technologique a testé

19 peupliers hybrides, 17 clones de tremble amélioré et 32 cultivars de saule (annexe I). Il a également mis à l'essai trois espèces de conifères de sous-étage, dont l'épinette blanche (*picea glauca* (Moench) Voss.), l'épinette noire (*picea mariana*) et le douglas vert (*pseudotsuga menziesii* var. *menziesii*).



Tests de traitement réalisés

Depuis 2002, divers tests de traitement ont été réalisés à Ellerslie pour mettre à l'essai différentes possibilités opérationnelles (figure 21). Ces tests de recherche comprenaient notamment la plantation intercalaire d'espèces mixtes, avec et sous les plantations de boisement, la mise à l'essai de plançons de peuplier hybride non racinés comme

matériel de reproduction de remplacement et l'expérimentation sur la gestion et l'intensité de la végétation dans divers tests clonaux. L'annexe III décrit les 101 différents tests de plantations de boisement à rendement élevé et de biomasse concentrée menés à Ellerslie, leur année d'établissement et l'endroit correspondant.



Figure 21. Site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation (CLCR) d'Ellerslie à Edmonton (Alberta). Établissement en 2002, récolte en 2018. Les plantations de boisement à rendement élevé sont indiquées en jaune, les plantations de biomasse concentrée en blanc, les espèces de sous-étage en pointillé et les marcottières en bleu. Voir l'annexe I pour les hybrides et clones testés correspondants; les annexes II et III pour les tests de recherche opérationnelle correspondants et la figure 61 pour la présentation du test clonal de la SUNY sur le saule (bloc n° 69) établi sur place.

Évaluations des plantations de boisement à rendement élevé

Les procédures d'échantillonnage pour les sites de recherche opérationnelle de boisement à rendement élevé à Ellerslie ont suivi les lignes directrices établies dans le cadre des protocoles de mesure et de surveillance du boisement conçus dans le cadre de l'Étude de faisabilité sur le boisement comme mode de piégeage du carbone (EFBMPC) (Hall et coll., 2004). Cette procédure a fait appel à un modèle systématique pour installer des parcelles circulaires de 100 m² (rayon de 5,64 m) en groupes comprenant une parcelle centrale. Un groupe de parcelles a ensuite été réparti uniformément à partir de la parcelle centrale, dans des directions cardinales à 50 m d'intervalle, de centre à centre. Le nombre total de parcelles était basé sur

la taille et la forme du champ stratifié ou du bloc de plantation. La figure 22 indique les endroits échantillonnés dans les strates de boisement à rendement élevé à Ellerslie. Les parcelles centrales étaient des points prédéterminés situés près du centre du bloc de plantation, reliées à une certaine distance et position à partir d'une caractéristique physique du site. Conformément aux instructions du protocole, on a déterminé que la parcelle centrale était l'endroit réel de l'arbre planté le plus près du centre du champ stratifié ou du bloc de plantation. Toutes les parcelles supplémentaires contenues dans le groupe ont utilisé l'endroit réel de l'arbre planté le plus proche de l'intervalle de 50 m comme centre de la parcelle.

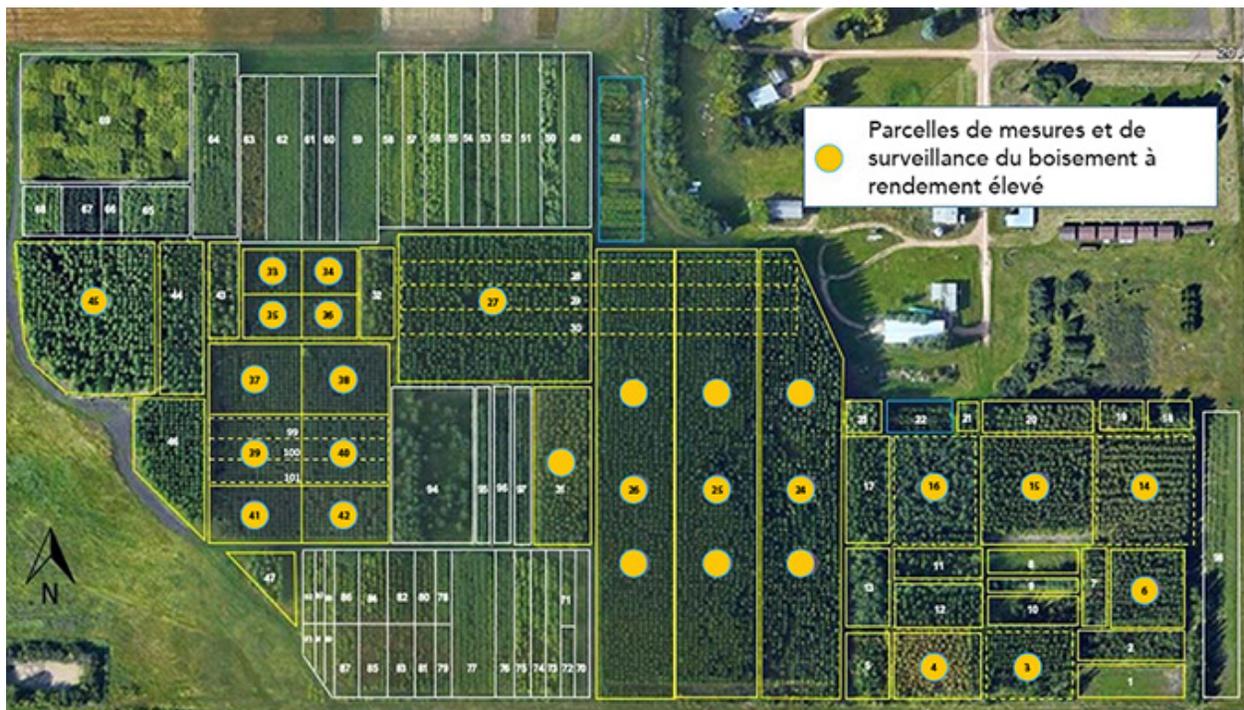


Figure 22. Parcelles d'échantillonnage de boisement à rendement élevé établies au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie.

Paramètres et calculs

Les arbres dans les parcelles d'échantillonnage ont été évalués en fonction de divers paramètres. À chaque période d'évaluation, on a évalué la santé des arbres vivants et des arbres morts ou malades. On a mesuré la hauteur totale et le diamètre au collet (DC) ou le diamètre à hauteur de poitrine (DHP) des arbres. Pour certaines années et certains blocs de plantation, des échantillons de sol ont également été obtenus pour déterminer les conditions du sol et suivre les changements en teneur de carbone dans l'écosystème au fil du temps. Les données d'échantillonnage ont ensuite été utilisées pour calculer divers paramètres de rendement à l'aide des équations décrites à l'annexe IV.

Une surveillance périodique des sites de boisement à rendement élevé a été effectuée dans le but principal d'évaluer la pertinence et la croissance clonales et le potentiel de rendement de divers clones de peuplier hybride et de tremble. Les clones étaient destinés à être utilisés dans le cadre d'un programme national de boisement visant à accroître l'approvisionnement en biomasse ligneuse et la séquestration du carbone. Les objectifs secondaires comprenaient l'élaboration d'indices de pertinence du site pour l'élaboration et la validation de modèles de croissance, la validation, la diffusion et l'amélioration des protocoles

d'établissement et de gestion, et l'évaluation des caractéristiques physiques et chimiques de la biomasse ligneuse. La figure 22 présente les trajectoires de croissance réalisées par chacun des tests de boisement à rendement élevé par rapport à l'indice de pertinence du site (IPS), c'est-à-dire de la trajectoire de croissance estimée du peuplier hybride pour le site de développement technique de CLCR d'Ellerslie (Joss et coll., 2008). Pour les tests réalisés en 2002, la croissance du DHP sur 16 ans était la plus importante dans le clone Green Giant avec une moyenne de 17,4 cm. La croissance en hauteur et en volume était la plus importante dans le clone Walker à 18,5 m et 258,95 m³-ha, respectivement. Pour les tests réalisés en 2004, la croissance du DHP sur 14 ans était la plus importante dans le clone Assiniboine, avec une moyenne de 15,5 cm. La croissance en hauteur était la plus importante dans le clone Walker à 19,0 m et la croissance en volume était la plus importante dans le clone Assiniboine à 268,32 m³-ha. Pour les tests réalisés en 2005, la croissance du DHP sur 13 ans était la plus importante dans le clone Brooks 1 avec une moyenne de 13,9 cm. La croissance en hauteur et en volume était la plus importante dans le clone Northwest à 17,1 m et 209,06 m³-ha, respectivement.

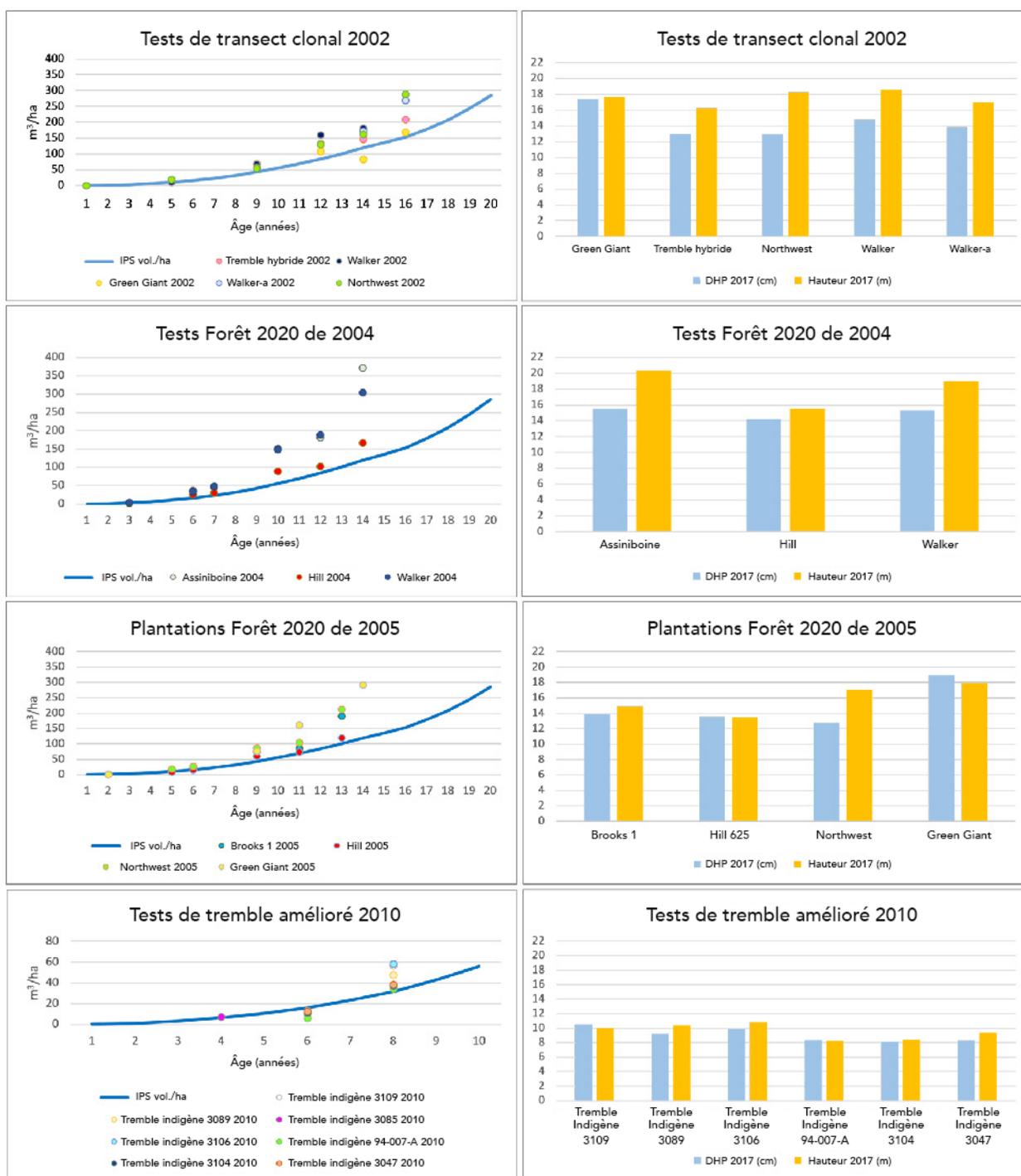


Figure 23. Résumés de croissance et de rendement des parcelles d'échantillonnage des tests de boisement à rendement élevé établis au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie.

Un tableau récapitulatif à l'annexe V présente les données pour les blocs de plantation de boisement à rendement élevé qui ont été surveillés pour développer

des trajectoires de croissance et de rendement. Le tableau présente l'historique des évaluations par année d'établissement, espèce/clone et année de mesure.



Évaluations des plantations de biomasse concentrée

Les procédures d'échantillonnage pour les plantations de biomasse concentrée sont nombreuses. De nombreux groupes de CLCR ont élaboré des procédures d'estimation du potentiel de biomasse aérienne. Le Groupe du développement technique a testé une variété d'options d'échantillonnage à Ellerslie, validant les résultats des volumes récoltés réels utilisés à une échelle opérationnelle. La comparaison opérationnelle des résultats d'échantillonnage des parcelles par zone, de l'échantillonnage par virées et des méthodes d'équation allométrique a rapidement révélé une incohérence dans les estimations d'échantillonnage. On a également surestimé les volumes de récolte réels pour les plantations de biomasse concentrée. Les coûts élevés de l'échantillonnage à une échelle nécessaire pour estimer avec précision les volumes possibles réels pour les plantations de biomasse concentrée avec une rotation de trois ans ont été qualifiés d'irréalistes et de non réalisables du point de vue économique. Pour les plantations de biomasse concentrée opérationnelles à Ellerslie, le Groupe du développement technique a opté pour un système d'échantillonnage en rotation complète qui comprenait une répartition proportionnelle des estimations d'échantillonnage, sur la base des volumes réels de récolte en rotation complète du test au complet.

Pour le test clonal de la State University of New York (SUNY), au site de recherche opérationnelle 69, un protocole d'échantillonnage prédéfini a été suivi. Ce protocole consistait en l'échantillonnage périodique de divers paramètres en incorporant un système de parcelles avec zones tampons de 18 troncs plantés dans la superficie brute de la parcelle à une intensité d'échantillonnage supérieure à 23 % (figure 24).

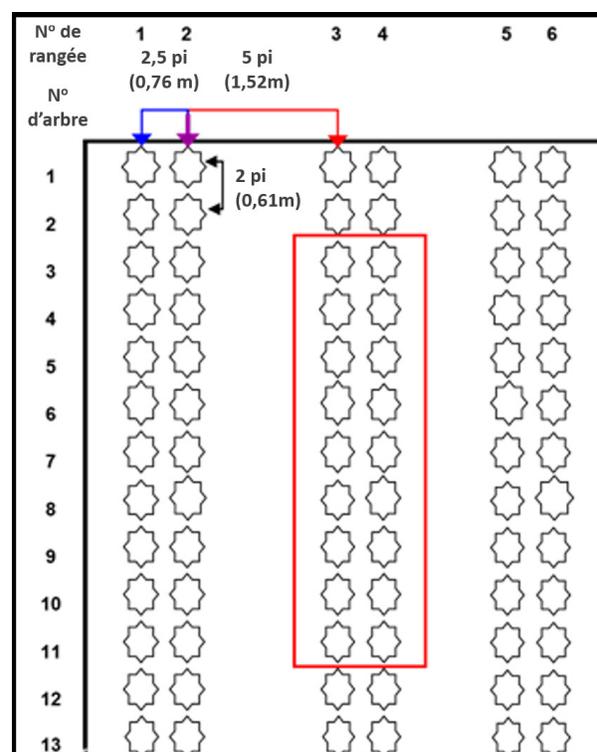


Figure 24. Conception des parcelles d'échantillonnage pour le test clonal de la SUNY établi au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie.

Paramètres et calculs

Les paramètres échantillonnés pour le test clonal de la SUNY comprenaient la survie, la hauteur maximale, le dénombrement des troncs après recépage, le dépérissement hivernal et les dommages aux troncs jusqu'en 2012, date à laquelle la surveillance détaillée a cessé. Les données ont été transmises à la SUNY pour comparaison avec d'autres sites établis. Les données sur le volume des récoltes ont été recueillies jusqu'en 2018. Les paramètres échantillonnés pour d'autres sites de recherche opérationnelle sur la biomasse concentrée comprenaient la survie, la hauteur maximale, les poids de la récolte humides et anhydres, les résidus après récolte, la masse moyenne par endroit planté vivant, la teneur en humidité des échantillons au moment du pesage de ceux-ci et la masse de rotation par hectare et par an. Il convient de noter qu'à mesure que les tests opérationnels mûrissaient, les sites étaient utilisés pour évaluer une série de sous-tests au fur et à mesure que des questions opérationnelles se posaient. Les sites ont également servi à fournir du matériel de reproduction végétative pour d'autres tests de recherche réalisés partout au Canada.

Les données d'échantillonnage ont ensuite été utilisées pour calculer divers paramètres de rendement à l'aide des équations décrites à l'annexe VI. Une surveillance périodique des sites de biomasse concentrée a été effectuée dans le but principal d'évaluer la pertinence clonale et le potentiel de croissance et de rendement de divers clones de saule et de peuplier hybride pour utilisation dans un programme national de CLCR afin d'augmenter l'approvisionnement en biomasse ligneuse. Les objectifs secondaires comprenaient l'élaboration d'indices de pertinence du site pour l'élaboration et la validation de modèles de croissance, l'évaluation de protocoles d'échantillonnage, la validation, la diffusion et l'amélioration des protocoles d'établissement et de gestion, et l'évaluation des caractéristiques physiques et chimiques de la biomasse ligneuse.

La figure 25 présente les données du test clonal de la SUNY qui a été suivi dans le cadre des tests

internationaux de plus grande envergure. Ce test comportait des sites au Canada et aux États-Unis conçus pour évaluer les trajectoires de croissance et de rendement et la pertinence clonale (Volk et coll., 2011). Au cours de la période de 13 ans pendant laquelle le test a été actif à ELLERSLIE, le clone de saule 94001 a eu le rendement le plus élevé, soit 8,63 tonnes anhydres (t.a.)^{-ha-an}. La moyenne de tous les clones inclus dans le test était de 4,17 t.a.^{-ha-an}. L'annexe VII présente un historique des évaluations et des résumés de données par année et par clone pour le test.

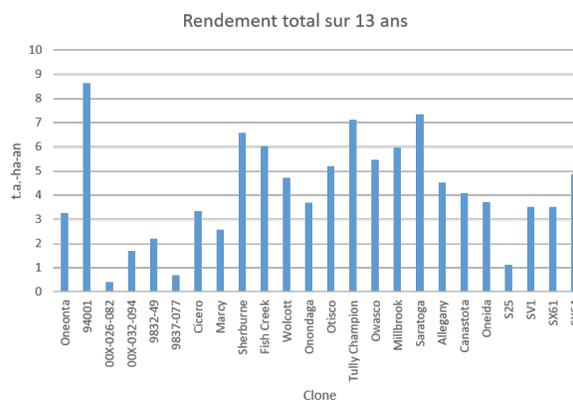


Figure 25. Rendements moyens (t.a.) du test clonal de la SUNY sur le saule au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie.

En 2007, le Groupe du développement technique s'est associé à Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) pour mettre à l'essai un prototype de moissonneuse de biomasse ligneuse à Ellerslie et à d'autres sites de CLCR de biomasse concentrée dans l'Ouest canadien. Les données opérationnelles recueillies pour l'évaluation du développement comprenaient des évaluations avant la récolte, des résumés de récolte et un échantillonnage des résidus après la récolte d'un sous-ensemble de tests de biomasse concentrée à Ellerslie. Le tableau 1 résume l'échantillonnage effectué en 2007-2008 dans le cadre de ce test opérationnel.

Tableau 1. Résumé de l'évaluation de la biomasse concentrée réalisée en 2007-2008 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Numéro sur la figure	Clone	Âge du système racinaire	Statut de recépage	Âge de croissance aérienne (années)	Hauteur max. moyenne 2007 (m)	Poids humide de récolte/ha 2007-2008 (tonnes)	Résidu de récolte/ha 2007-2008 (tonnes)
53	Saule à feuilles aiguës	Systèmes racinaires de 3 ans	Non recépage	3	1,47	0,52	Non échantillonné
52	Alpha	Systèmes racinaires de 3 ans	Non recépage	3	2,02	1,59	Non échantillonné
55	Charlie	Systèmes racinaires de 3 ans	Non recépage	3	2,08	2,72	Non échantillonné
51	Hotel	Systèmes racinaires de 3 ans	Non recépage	3	1,94	3,24	1,08
49	India (1 an)	Systèmes racinaires de 3 ans	Recépage	1	Non échantillonné	7,33	2,26
49	India (2 ans)	Systèmes racinaires de 3 ans	Recépage	2	3,38	9,32	4,20
54	NM-6	Systèmes racinaires de 3 ans	Non recépage	3	2,42	10,00	0,48
50	Pseudo	Systèmes racinaires de 3 ans	Non recépage	3	2,39	1,22	1,86
57	SX-61	Systèmes racinaires de 2 ans	Non recépage	2	1,95	Non récolté	
57	SX-64	Systèmes racinaires de 2 ans	Non recépage	2	1,78	Non récolté	
57	SX-67	Systèmes racinaires de 2 ans	Non recépage	2	1,90	Non récolté	

En 2009 et 2010, des tests opérationnels de récolte et de traitement ont été réalisés pour évaluer les options potentielles de la chaîne d'approvisionnement intermédiaire pour la biomasse ligneuse obtenue à partir de plantations de biomasse concentrée. Les parcelles par zone ont été récoltées manuellement. Le matériel récolté a été déchiqueté à l'aide d'une déchiqueteuse

Wallenstein BX32 à petite échelle animée par la prise de force. L'élasticité du saule India d'un an et de deux ans a rendu impossible ce traitement; après avoir testé une petite partie du matériel récolté, le saule India a été exclu du test. Le tableau 2 résume les opérations de récolte et de traitement effectuées à Ellerslie en 2009-2010.

Tableau 2. Résumé de la récolte et du déchiquetage de biomasse concentrée effectués au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie (2010-2011).

Numéro sur la figure	Clone	Âge du système racinaire	Âge de croissance aérienne	Statut de recépage	Poids humide de récolte ^{ha} 2009-2010 (tonnes)	Poids du déchiquetage avant le test de déchiquetage 2010 (kg)	Poids du déchiquetage après le test de déchiquetage 2010 (kg)	Perte à la suite du test de déchiquetage 2010
49	India	Systèmes racinaires de 5 ans	1	Recépé	11,00	Non échantillonné		
49	India	Systèmes racinaires de 5 ans	2	Recépé	28,75	Non échantillonné		
49	India	Systèmes racinaires de 5 ans	3	Recépé	51,94	398,9	349,8	12,31 %
54	NM-6	Systèmes racinaires de 5 ans	3	Recépé	Non échantillonné	42,2	39,3	6,87 %
57	SX-61	Systèmes racinaires de 4 ans	4	Non recépé	6,50	195,1	177,6	8,97 %
57	SX-64	Systèmes racinaires de 4 ans	4	Non recépé	5,44	163,4	135,4	17,14 %
57	SX-67	Systèmes racinaires de 4 ans	4	Non recépé	8,60	258,0	222,4	13,80 %

La mise à l'essai opérationnelle du prototype de moissonneuse de biomasse ligneuse en 2007 a fait ressortir la nécessité de plusieurs améliorations et d'une réingénierie. En 2010, la nouvelle presse Anderson BioBaler, développée et produite conjointement avec AAC, a fait l'objet d'une mise à l'essai opérationnelle à Eilerslie. La presse BioBaler est basée sur une plateforme de presse agricole à balles rondes. Elle est renforcée pour traiter les cultures ligneuses et comporte une tête de récolte spécialisée qui peut couper, conditionner et alimenter les troncs dans la chambre de compression des balles. La presse BioBaler convient

à la récolte efficace de troncs de biomasse plus grands (diamètre de base < 13 cm), avec la possibilité de récolter jusqu'à 40 balles par heure (site Web d'Anderson). Dans des conditions optimales, elle peut produire en moyenne de 10 à 15 balles par heure dans la pratique. Le produit final est une balle ronde, moyennement compactée, de 122 cm de diamètre. Les opérations de récolte en 2011 étaient limitées aux parcelles par zone. Celles-ci ont été récoltées manuellement à des fins de croissance et d'échantillonnage du rendement seulement. Le tableau 3 résume les données de récolte recueillies à Eilerslie en 2011 et 2012.

Tableau 3. Résumé des données des récoltes effectuées au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Eilerslie (2011 et 2012).

Numéro sur la figure	Clone	Âge du système racinaire	Âge de croissance aérienne	Statut de recépage	Année de l'échantillonnage	Poids humide de récolte ^{ha} (tonnes)
49	India	Systèmes racinaires de 7 ans	4	Recépage	2011-2012	76,33
53	Acute	Systèmes racinaires de 6 ans	3	Recépage	2010-2011	5,75
52	Alpha	Systèmes racinaires de 6 ans	3	Recépage	2010-2011	5,51
55	Charlie	Systèmes racinaires de 6 ans	3	Recépage	2010-2011	4,53
54	NM-6	Systèmes racinaires de 6 ans	3	Recépage	2010-2011	14,86
50	Pseudo	Systèmes racinaires de 6 ans	3	Recépage	2010-2011	3,58
57	Clones Sx	Systèmes racinaires de 5 ans	1	Recépage	2010-2011	1,67
59	Hotel plan à 1 rangée	Système racinaire de 4 ans	4	Non recépage	2010-2011	19,23
62	Hotel plan à 3 rangées	Système racinaire de 4 ans	4	Non recépage	2010-2011	27,26

En 2012-2013, le Groupe du développement technique a évalué une série d'options pour estimer la biomasse ligneuse dans les plantations de biomasse concentrée. La recherche comprenait la récolte de toute la population et la collecte de données pondérées de toutes les aires plantées vivantes dans une parcelle de 103,68 m² (54 rangées d'un plan à trois rangées) de la planche n° 4. Elle a également intégré la récolte et l'échantillonnage de masse de sous-parcelles de 10,5 m X 3,2 m d'une parcelle de 160 m² (81 rangées d'un plan à trois rangées) de la planche n° 3. L'analyse des données des rangées individuelles d'un plan à trois rangées a révélé que les rangées à l'est avaient un taux de survie de 91,36 % pour la planche n° 3 et de 83,33 % pour la planche n° 4. Les rangées centrales avaient un taux de 93,83 % pour la planche n° 3 et de 83,33 % pour la planche n° 4. Les rangées à l'ouest avaient un taux de survie de 93,83 % pour la planche n° 3 et de 79,63 % pour la planche n° 4. Le poids humide moyen des parcelles plantées vivantes pour la planche n° 4 était de 0,6022 kg par parcelle vivante. Pour la rangée ouest, le poids moyen était de 0,9256 kg; pour la rangée centrale, de 0,4859 kg; et pour la rangée est, de 0,4122 kg par parcelle.

La croissance annuelle d'un système racinaire de huit ans pour la planche n° 3 correspondait à une hauteur maximale moyenne de 2,64 m, à un taux de

survie de 93 % et à 10,79 tonnes humides par hectare. La croissance annuelle d'un système racinaire de huit ans pour la planche n° 4 correspondait à une hauteur maximale moyenne de 2,28 m, à un taux de survie de 82,72 % et à 7,78 tonnes humides par hectare. Peu importe la taille de l'échantillonnage de la parcelle ou l'intensité, la variation de la biomasse estimée par rapport à la biomasse réelle était incohérente et variait de +30,28 % à -31,09 %. Cela a mis en lumière la variabilité associée à l'estimation par échantillonnage de la biomasse ligneuse dans les plantations de biomasse concentrée (figure 26). Après avoir examiné les coûts élevés associés à l'échantillonnage de la biomasse concentrée et à la courte rotation de trois ans, le Groupe du développement technique a opté pour un système d'échantillonnage en rotation complète. Ce système comprenait une répartition proportionnelle des estimations d'échantillonnage, sur la base des volumes réels de récolte en rotation complète du test au complet. Les résumés des données de l'échantillonnage effectué en 2012-2013 pour les tests opérationnels de biomasse concentrée à Ellerslie sont inclus à l'annexe VIII.

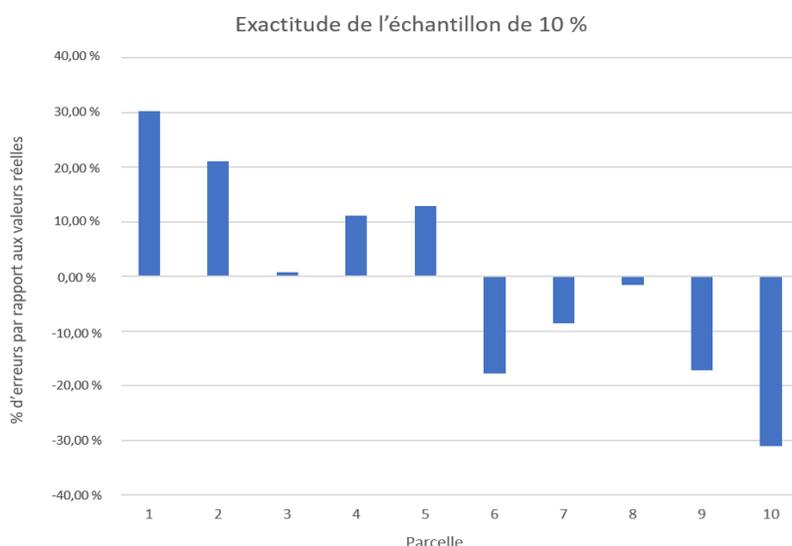


Figure 26. Précision de l'échantillonnage de 10 % du test de plantation de biomasse concentrée au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie.

En 2018-2019, l'évaluation finale a été effectuée à Ellerslie. Dans le cadre des opérations de récolte, les sites de récolte de biomasse concentrée ont été récoltés à l'aide de la presse Anderson BioBaler. En raison de la taille d'une partie du matériel,

une abatteuse-empileuse classique a été nécessaire pour les planches comportant des troncs de plus grand diamètre. Le tableau 4 résume les opérations de récolte de 2018-2019 pour les plantations de biomasse concentrée à Ellerslie.

Tableau 4. Résumé des opérations de récolte de biomasse concentrée en 2018-2019 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Numéro sur la figure	Clone	Moissonneuse	kga par tronc planté	Récolte 2018 t.a. ^{-ha}	Âge du système racinaire	Âge de croissance aérienne	t.a. ^{-ha-an} par rotation
57	SX-67	Anderson BioBaler	1,04	16,29	13	7	2,33
57	SX-64	Anderson BioBaler	0,88	13,77	13	7	1,97
57	SX-61	Anderson BioBaler	0,47	7,28	13	7	1,04
55	Charlie	Anderson BioBaler	0,88	13,69	14	7	1,96
54	NM-6	Abatteuse-empileuse JD	5,15	80,40	14	7	11,49
53	Acute	Anderson BioBaler	1,07	16,67	14	7	2,38
52	Alpha	Anderson BioBaler	1,38	21,53	14	7	3,08
49	India-4	Abatteuse-empileuse JD	2,65	41,33	14	4	10,33
49	India-5 (rangée de bordure)	Abatteuse-empileuse JD	4,78	74,63	14	5	14,93
49	India-6	Abatteuse-empileuse JD	3,63	56,68	14	6	9,45
49	India-7	Abatteuse-empileuse JD	4,97	77,70	14	7	11,10
56+58	P-38 (1 ^{re} rotation)	Abatteuse-empileuse JD	1,72	26,81	7	7	3,83
62	Hotel plan à 3 rangées	Anderson BioBaler	2,48	38,82	12	7	5,55
59	Hotel plan à 1 rangée	Anderson BioBaler	3,91	36,18	12	7	5,17



Évaluations des sols

Un objectif important de la recherche opérationnelle menée à Ellerslie était d'évaluer le potentiel de séquestration durable du carbone au moyen des CLCR. Pour évaluer ce potentiel et les répercussions des CLCR sur la durabilité du site, plusieurs évaluations des sols ont été réalisées entre 2003 et 2019. Les tableaux 5

et 6 résument la composition moyenne du sol et les données d'analyse recueillies entre 2003 et 2010 dans le cadre de la recherche sur la durabilité menée à Ellerslie. L'annexe IX contient des renseignements sur les échantillons individuels.

Tableau 5. Composition moyenne du sol des échantillons prélevés entre 2003 et 2010 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Numéro sur la figure	Année	Sable (%)	Argile (%)	Limon (%)	pH	C org. total (%)
4	2003	22,50	36,00	41,50	6,41	7,99
24	2003	24,33	31,00	44,67	6,36	6,75
15	2005	15,00	33,00	52,00	6,77	6,37
16	2005	25,00	31,00	43,50	6,04	7,05
25	2005	28,17	31,17	40,17	5,88	6,67
27	2005	28,00	32,50	39,00	6,01	8,11
31	2005	30,50	30,00	39,50	6,40	7,40
49	2010	30,00	33,50	36,50	5,69	5,89

Tableau 6. Résumé de l'analyse du sol des échantillons prélevés entre 2003 et 2010 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Numéro sur la figure	Année	Ca (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	Mg (mg kg ⁻¹)	Na (mg kg ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)	NH ₄ -N (mg kg ⁻¹)
4	2003	3112,5	207,2	399,5	177,7	8,5	25,3	78,7
15	2005	3093,5	316,0	347,5	208,8	6,4	21,4	26,2
16	2005	2956,5	250,0	342,0	195,5	9,1	27,9	33,7
24	2003	351,2	71,9	163,3	360,0	6,6	29,0	48,1
25	2005	408,0	70,0	143,5	357,5	4,9	65,3	73,5
27	2005	392,5	64,8	127,5	339,5	6,0	104,2	65,9
31	2005	294,0	108,0	145,5	287,5	6,9	150,0	38,9
49	2010	352,5	87,8	119,0	276,0	7,1	351,0	122,0

En 2003, pour évaluer les effets à long terme sur la teneur en carbone dans le sol des planches mixtes parallèles élevées par rapport aux parties non perturbées entre les planches, une série d'échantillons de sol ont été prélevés dans le site du peuplier hybride Northwest 2002. Un champ adjacent allait ensuite être planté de peuplier hybride Hill dans le cadre du site de recherche opérationnelle Forêt 2020 de 2004. Le tableau 7 résume les données moyennes recueillies en 2003 dans le cadre de cette recherche. L'annexe IX contient des renseignements sur les échantillons individuels.

En 2004, des évaluations des sols ont été réalisées dans le cadre du volet Démonstration et évaluation de plantations du programme Forêt 2020. L'initiative fédérale de 20 millions de dollars sur deux ans visait à : 1) mettre en place des démonstrations de plantations d'arbres à croissance rapide partout au Canada afin

d'atténuer les émissions de gaz à effet de serre et de produire plus de fibre de bois; et 2) explorer des mécanismes d'investissement pour attirer des fonds pour établir de futures plantations. Afin d'évaluer le potentiel des CLCR à séquestrer le carbone aérien et souterrain, un échantillonnage préalable au traitement a été effectué à l'aide des protocoles de mesure et de surveillance du boisement conçus dans le cadre de l'Étude de faisabilité sur le boisement comme mode de piégeage du carbone (EFBMPC). Cette procédure a été déployée sur tous les sites boisés dans le cadre du programme Forêt 2020 dans les Prairies en 2004 et 2005. Pour Eilerslie, on a calculé que le carbone préalable au traitement pour le site était de 78,46 Mg^{ha}, soit 78,08 Mg^{ha} de teneur en carbone dans le sol (densité apparente moyenne = 0,91895 à 5,6647 % C) et 0,3765 Mg^{ha} de biomasse aérienne (chaume de culture annuelle). Le tableau 8 résume les données recueillies pour les calculs de prétraitement à Eilerslie.

Tableau 7. Résumé de l'échantillonnage moyen du sol effectué en 2003 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Eilerslie.

Numéro sur la figure	Endroit	pH CaCl ₂	CE mmhos ^{-cm}	C total (%)
4	Champ adjacent	5,75	0,42	7,7
	Microsite surélevé sous les arbres	5,96	0,62	8,1
	Microsite surélevé entre les arbres	5,97	0,71	8,3
	Microsite non perturbé entre les rangées	5,94	0,62	8,2

Tableau 8. Résumé de l'échantillonnage du programme Forêt 2020 préalable au traitement au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Eilerslie.

Numéro sur la figure	Année	Parcelle	Densité apparente E de 0 à 15 cm (g.cm ⁻³)	Densité apparente O de 0 à 15 cm (g.cm ⁻³)	C org. (%)	C non org. (%)	C total (%)	Densité apparente E de 15 à 30 cm (g.cm ⁻³)	Densité apparente O de 15 à 30 cm (g.cm ⁻³)
25	2004	C1	0,963469	1,062245	5,335	0,039	5,374	1,092245	1,054286
	2004	N1	1,034898	0,900408	5,223	0,167	5,390	1,127347	0,835714
	2004	S1	1,053878	0,922245	5,600	0,078	5,678	1,051633	1,037143
	2004	C2	0,766531	0,747959	5,803	0,03	5,833	1,006327	1,041837
	2004	N2	0,833469	1,130204	5,612	0,091	5,703	1,142857	1,039184
	2004	S2	0,870612	0,741429	5,867	0,143	6,010	0,917143	0,945102
	2004	Site	0,920476	0,917415	5,573	0,091	5,665	1,056259	0,992211

Les recherches menées au cours des premières étapes de la plantation ont permis de déterminer qu'une perte de carbone organique du sol s'est produite après l'établissement, et que les niveaux antérieurs au traitement ont été rétablis à l'an six (Sun et coll., 2015). Si la croissance de la biomasse aérienne était intégrée aux calculs, le carbone de l'écosystème serait revenu aux niveaux antérieurs au traitement au bout de trois ans (Arevalo et coll., 2011). Au printemps 2019, des évaluations des sols ont été effectuées pour déterminer les impacts sur le carbone de la rotation complète du site dans le cadre du volet Démonstration et évaluation de plantations du programme Forêt 2020, à Ellerslie. La portion du peuplier hybride Assiniboine a connu le plus haut taux de carbone dans le sol, soit 94,58 Mg^{ha}. Elle a été suivie de la portion du peuplier hybride Walker, (91,05 Mg^{ha}) et de la portion du peuplier hybride Hill (85,52 Mg^{ha}). Le tableau 9 et la figure 27 résumement toutes les données du sol pour la rotation complète à Ellerslie. L'annexe IX contient des renseignements sur les échantillons individuels.

Tableau 9. Évaluations de la teneur en carbone dans le sol du programme Forêt 2020 en rotation complète effectuées au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Numéro sur la figure	Année	Carbone total (%)	Carbone inorganique total (%)	Densité apparente de 0 à 15 cm (g.cm ⁻³)
24	2019	5,23	0,89	1,0983335
25	2019	5,65	0,84	1,10055575
26	2019	5,86	1,21	1,0316665

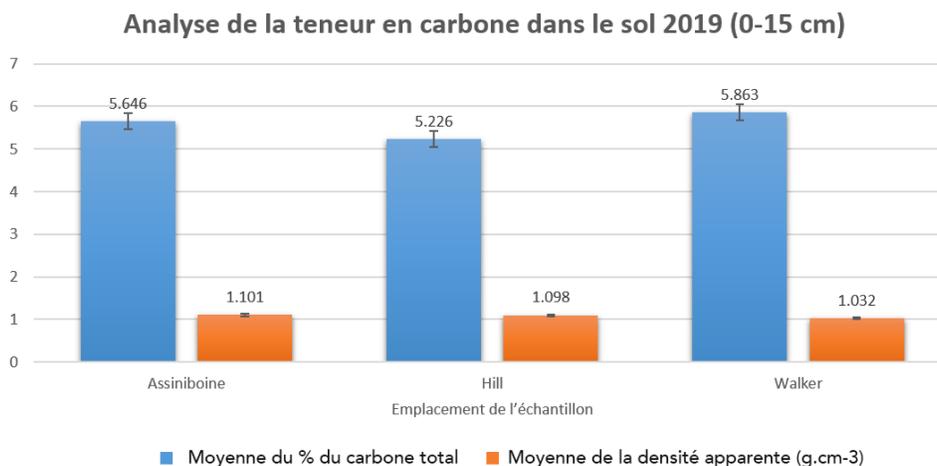


Figure 27. Résumé des évaluations de la teneur en carbone dans le sol de Forêt 2020 en rotation complète effectuées au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.



Caractérisation physique et chimique de la fibre de bois

Une partie intégrante de la recherche opérationnelle menée à Ellerslie comprenait l'évaluation des propriétés physiques et chimiques de la biomasse de CLCR. Le Groupe du développement technique a établi des partenariats avec FPInnovations, l'Université de la Colombie-Britannique et CanmetÉNERGIE-Ottawa pour effectuer diverses évaluations de caractérisation. FPInnovations a effectué la majeure partie de l'analyse

à l'aide de l'analyseur de qualité des fibres et du système Silviscan. L'annexe X présente un aperçu des méthodologies utilisées et fournies par FPInnovations. Le tableau 10 résume les travaux de caractérisation physique réalisés en 2007 conjointement avec FPInnovations pour neuf clones de saule provenant d'Ellerslie et deux clones de saule hors site.

Tableau 10. Résumé des propriétés physiques des clones de saule évalués en 2007 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Numéro sur la figure	Clone/espèce	Diamètre (mm)	Densité moyenne (kg/m ³)	Angle des microfibrilles (°)	MÉ (GPa)
5	SV1	13,98	499,6	13,63	13,57
5	Viminalis	10,26	417,8	19,65	8,96
49	India	13,22	392,8	19,84	8,88
50	Pseudo	11,84	430,7	16,25	10,82
51	Hotel	8,74	420,4	19,45	8,72
57	SX67	8,70	408,6	18,92	10,47
57	SX64	7,53	398,8	18,50	9,61
57	SX61	10,5	382,5	23,08	7,95
73	Juliet	9,18	363,6	22,09	6,97
S.O.	<i>Salix discolor</i>	10,66	389,4	22,43	8,77
S.O.	SA 2	13,22	412,3	16,33	10,93

La composition en hydrates de carbone de tous les échantillons était assez constante, avec des valeurs approximatives de glucane de 40 %, de xylane de 13 %, de mannane de 1 %, et des traces d'arabinane et de galactane. La composition totale en hydrates de carbone est en bon accord avec les valeurs observées pour les autres feuillus. Les résultats de la caractérisation chimique de 2007 figurent à l'annexe XI.

Les discussions avec le personnel de FPInnovations à la suite de l'analyse de saule de 2007 ont révélé une incohérence dans les valeurs et les répercussions des nœuds sur l'analyse. Pour évaluer ces différences, le Groupe du développement technique a mis sur pied un projet avec FPInnovations pour évaluer ces répercussions dans divers clones de peuplier hybride et de saule. Dans l'ensemble, les résultats de l'étude soutiennent la comparaison avec les données de la littérature et aucune différence significative entre la chimie du bois nouveau et celle du bois net n'a été relevée. Les caractéristiques physiques des fibres, la densité du bois et les valeurs du pouvoir calorifique se sont révélées comparables aux valeurs publiées pour les échantillons de cet âge. Plus important encore, les résultats, qui figurent à l'annexe XI, indiquent que :

- rien ne prouve qu'une espèce ou un clone soit supérieur à l'autre dans les échantillons évalués;
- les pratiques employées pour cultiver ces clones n'ont pas nui à la chimie du bois, ni aux propriétés physiques, ni aux propriétés des fibres;

- le facteur le plus important à considérer lors de la sélection des clones d'intérêt est le taux de croissance.

En 2008, un échantillonnage destructif a été effectué à Ellerslie pour recueillir des sections radiales d'une variété de trembles hybrides et de clones de peupliers hybrides établis en 2002 (Walker, Northwest, Green Giant et tremble hybride) et en 2004 (Assiniboine et Walker). Trois sections radiales ont été recueillies sur chaque arbre : une sur la souche, une au DHP (1,3 m), et une à l'endroit sous le verticille d'une croissance de l'an cinq. La caractérisation physique a été effectuée sur tous les échantillons à l'aide de SilviScan. Les valeurs moyennes pour le peuplier hybride et le tremble hybride évalués se sont révélées comparables aux échantillons d'un âge similaire présentés dans la littérature et sont incluses à l'annexe XI.

Le reste du matériel a été déchiqueté et les copeaux de chaque échantillon ont été bien mélangés et séchés à l'air jusqu'à une teneur moyenne en solides de 93,7 %. Un nombre important de nœuds ont été observés après le déchiquetage des échantillons. Les nœuds ont été quantifiés dans la fraction de copeaux « acceptés » par tri manuel et détermination du pourcentage en poids de la masse totale de copeaux. Les copeaux de tremble hybride et de peuplier hybride Walker et Northwest ont ensuite été utilisés pour créer de la pâte kraft à des fins d'analyse. Les tableaux 11 et 12 résument le travail d'analyse de la mise en pâte effectué en collaboration avec FPInnovations en 2008.

Tableau 11. Résumé des caractéristiques de la pâte kraft pour un indice Kappa cible de 17 pour les peupliers hybrides et les trembles hybrides évalués en 2008 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

	Tremble hybride	PH Northwest	PH Walker	Pâte à papier de tremble blanchie du Nord de l'Alberta
Indice Kappa (résultats des tests)	16,670	16,330	17,190	Aucune donnée
Rendement après criblage en %	47,660	50,410	49,290	Aucune donnée
% de refus	6,160	3,930	4,970	Aucune donnée
Imp de la fibre (mm)	0,734	0,752	0,750	0,730
Rigidité (mg/m)	0,070	0,079	0,070	0,100

Remarque : Analyseur de qualité des fibres (haute résolution) utilisé pour la rigidité, la longueur de la fibre, l'indice de courbure et la largeur.

Imp = longueur moyenne pondérée.

Tableau 12. Résumé des propriétés physiques des échantillons de pâte de feuillus calculées pour l'indice d'égouttage de 300 mL de peuplier hybride et de tremble hybride évalués en 2008 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

	Tremble hybride	PH Northwest	PH Walker
Rév. PFI Mill (x1000)	4,95	7,52	7,03
Résistance à l'air (s/100 mL)	420,00	176,00	245,00
Indice de traction (N.m/g)	93,10	79,50	96,70
Allongement (%)	2,95	4,00	3,77
Longueur de rupture en traction (km)	9,49	8,11	9,86
Longueur de rupture à mâchoires jointes (km)	13,10	12,40	13,10
Indice d'éclatement (kPa.m ² /g)	7,38	6,33	7,46
Indice de déchirement (4 plis) (mN.m ² /g)	7,18	8,53	8,16
Densité apparente des feuilles (kg/m ³)	787,00	774,00	790,00
Rugosité de la surface (unités Sheffield)	20,00	29,00	27,00
Coefficient de dispersion (cm ² /g)	217,00	191,00	196,00
Opacité (%)	91,00	90,20	91,40

Tableau 13. Résumé des propriétés physiques moyennes des granules de bois produits à partir de CLCR en 2009-2010 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Valeurs	Peuplier hybride	Saule
Pouvoir calorifique (MJ/kg)	18,4	18,2
Durabilité (%)	82,6	85,5
Teneur en humidité (%)	9,2	11,2
Teneur moyenne en cendres (%)	1,8	1,9
Densité apparente moyenne (kg/m ³)	636,0	629,3
Densité particulaire moyenne (kg/m ³)	1197,5	1169,8

En 2009-2010, le Groupe du développement technique a collaboré avec l'Université de la Colombie-Britannique pour produire et évaluer des granules de bois provenant de divers clones de saule et de peuplier hybride d'Ellerslie. Les résultats de l'analyse n'ont montré aucune différence significative entre les deux espèces. Le tableau 13 résume les propriétés physiques et les dimensions des granules produits à partir des CLCR, obtenues par l'Université de la Colombie-Britannique en 2009-2010. L'annexe XI contient des renseignements sur les clones individuels.

En 2018, dans le cadre de la récolte par rotation complète d'Ellerslie, le Groupe du développement technique a terminé le calendrier détaillé du traitement de la biomasse ligneuse des balles récoltées par la presse BioBaler dans les sites de biomasse concentrée.

Ce traitement a été réalisé au moyen d'un bol de broyage Haybuster 1130 (figure 28) fourni par Agriculture et Agroalimentaire Canada à Indian Head, en Saskatchewan. L'objectif était de créer du paillis et des résidus de récolte en bordure de route à partir des sites de boisement à rendement élevé à l'aide de la déchiqueteuse à tambour Pezzolato PTH700. La déchiqueteuse a été fournie par Biomass Innovations à Drayton Valley, en Alberta. Des échantillons de paillis et de copeaux produits au cours de ces tests de recherche opérationnelle ont été expédiés à CanmetÉNERGIE-Ottawa pour analyse physique et physicochimique. Les tableaux 14 et 15 résument l'analyse physique et physicochimique de la biomasse ligneuse produite à partir de CLCR et effectuée par CanmetÉNERGIE-Ottawa en 2018-2019.



Figure 28. Traitement de la biomasse ligneuse au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie.

Tableau 14. Résumé de l'analyse des propriétés physiques du paillis par CanmetÉNERGIE-Ottawa de la biomasse ligneuse produite en 2018-2019 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Type de balle	Balles récoltées récemment			Balles stockées (< 3 ans)	
	Haybuster 1130 avec grilles de 1 po*	Haybuster 1130 avec grilles de 2 po	Haybuster 1130 avec grilles de 3 po	Haybuster 1130 avec grilles de 1 po*	Haybuster 1130 avec grilles de 2 po
< 3 mm	17 %	8 %	5 %	26 %	18 %
De 3 à 12,7 mm	60 %	29 %	28 %	62 %	66 %
De 12,7 à 24,1 mm	18 %	31 %	25 %	11 %	12 %
De 24,1 à 31,3 mm	3 %	10 %	18 %	0 %	1 %
> 31,3 mm	0 %	20 %	22 %	0 %	2 %
Total	98 %	97 %	98 %	99 %	99 %

*: Prétraitement requis avec des grilles de 2 po.

Tableau 15. Résumé de l'analyse des propriétés physicochimiques par CanmetÉNERGIE-Ottawa de la biomasse ligneuse produite en 2018-2019 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

	Mélange de tremble clonal âgé de 9 ans, arbre entièrement déchiqueté	Résidus de tremble hybride âgé de 17 ans déchiquetés	Résidus de peuplier hybride Walker âgé de 15 ans déchiquetés	Résidus de peuplier hybride Northwest âgé de 14 ans déchiquetés	<i>Salix dasyclados</i> âgé de 5 ans, tronc entièrement déchiqueté	<i>Salix purpurea</i> âgé de 6 ans, tronc entièrement paillé
Densité apparente (kg/m ³ , sèche)	173,3	170,1	170,1	170,1	114,4	84,9
Humidité telle que reçue	30,90 %	34,80 %	43,30 %	32,90 %	38,80 %	39,20 %
Cendre (% en poids, sec)	2,60 %	1,80 %	3,70 %	3,50 %	2,50 %	2,40 %
Volatilité (% en poids, sec)	79,90 %	81,60 %	78,70 %	79,60 %	80,60 %	80,10 %
Carbone fixe (% en poids, sec)	17,50 %	16,60 %	17,70 %	16,90 %	16,90 %	17,50 %
Carbone (% en poids, sec sans cendre)	51,00 %	50,60 %	51,50 %	51,30 %	50,90 %	51,00 %
Pouvoir calorifique brut (MJ/kg, sec)	19,64	19,64	19,43	19,41	19,52	19,65
Cl (mg/kg, sec)	51	38	32	31	49	54
F (mg/kg, sec)	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Br (mg/kg, sec)	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
SiO ₂ (% en poids de cendres sèches)	3,80 %	5,80 %	3,00 %	1,70 %	11,80 %	8,20 %
Al ₂ O ₃ (% en poids de cendres sèches)	0,90 %	1,20 %	0,70 %	0,50 %	2,40 %	1,50 %
Fe ₂ O ₃ (% en poids de cendres sèches)	0,50 %	0,50 %	0,80 %	0,20 %	1,20 %	0,70 %
TiO ₂ (% en poids de cendres sèches)	0,10 %	0,10 %	0,00 %	0,00 %	0,20 %	0,10 %
CaO (% en poids de cendres sèches)	36,70 %	35,50 %	42,70 %	42,10 %	35,50 %	37,80 %
MgO (% en poids de cendres sèches)	4,10 %	4,50 %	4,30 %	3,40 %	3,40 %	3,50 %
SO ₃ (% en poids de cendres sèches)	1,60 %	1,80 %	1,80 %	1,70 %	3,30 %	2,80 %
Na ₂ O (% en poids de cendres sèches)	0,10 %	0,20 %	0,10 %	< 0,002	0,30 %	0,30 %
K ₂ O (% en poids de cendres sèches)	16,70 %	16,30 %	15,80 %	12,80 %	11,50 %	12,60 %
Barium (% en poids de cendres sèches)	0,06 %	0,10 %	0,06 %	0,04 %	0,07 %	0,09 %
Strontium (% en poids de cendres sèches)	0,12 %	0,11 %	0,13 %	0,12 %	0,11 %	0,11 %
Vanadium (% en poids de cendres sèches)	< 0,0005 %	< 0,0005 %	< 0,0005 %	< 0,0005 %	< 0,0005 %	< 0,0005 %
Nickel (% en poids de cendres sèches)	< 0,0005 %	0,01 %	< 0,0005 %	< 0,0005 %	0,01 %	0,01 %
Manganèse (% en poids de cendres sèches)	0,03 %	0,05 %	0,02 %	0,03 %	0,07 %	0,09 %
Chrome (% en poids de cendres sèches)	0,01 %	0,01 %	< 0,0005 %	0,01 %	0,02 %	0,01 %
Cuivre (% en poids de cendres sèches)	0,01 %	0,01 %	0,00 %	< 0,0005 %	0,01 %	0,01 %
Zinc (% en poids de cendres sèches)	0,20 %	0,17 %	0,16 %	0,14 %	0,26 %	0,28 %
Perte sur fusion (% en poids de cendres sèches)	29,93 %	26,84 %	33,94 %	29,73 %	26,63 %	27,94 %



Activités de transfert de la technologie

Le Groupe du développement technique a souligné l'importance du transfert de la technologie dans tous les aspects de la recherche opérationnelle menée à Ellerslie. L'objectif était de veiller à ce que la recherche opérationnelle soit accessible à toutes les parties intéressées afin qu'elles puissent offrir une expérience directe et accroître l'adhésion des intervenants. On a consacré beaucoup de temps et de ressources à la création de sentiers autoguidés et de panneaux d'information pour améliorer l'aspect de l'échange de connaissances de la recherche opérationnelle de CLCR (figure 29). Des visites thématiques ont été organisées régulièrement avec divers intervenants intéressés. Ces groupes comprenaient du personnel de l'industrie forestière, des étudiants internationaux et des experts

de CLCR, du personnel des gouvernements fédéral et provinciaux, des groupes autochtones, des entrepreneurs en restauration, des chercheurs universitaires et des groupes d'étudiants universitaires. En plus des visites de terrain personnelles et thématiques, Ellerslie a fait l'objet de présentations dans plusieurs événements de grande envergure de 2004 à 2019. En règle générale, le Groupe du développement technique a coordonné et accueilli des pairs chercheurs et du personnel du CFN pour des visites privées à Ellerslie avant les événements à grande échelle. Cela a été fait pour que les non-participants puissent utiliser l'infrastructure ciblée. Le tableau 16 résume les événements à plus grande échelle qui ont mis en évidence la recherche opérationnelle menée à Ellerslie.

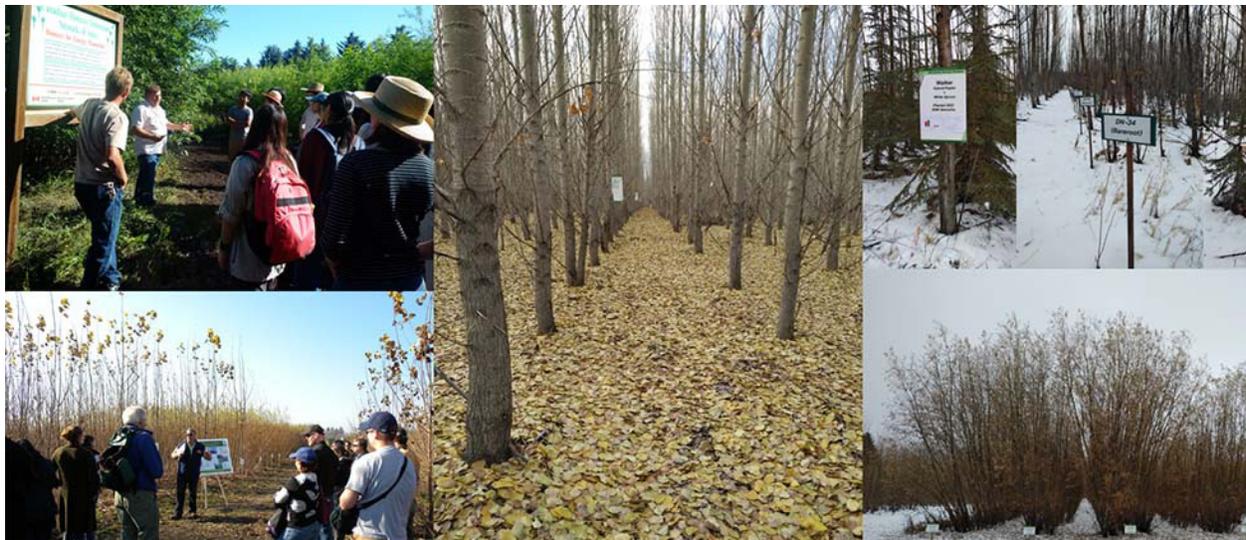


Figure 29. Exemples d'événements de transfert de la technologie et d'infrastructures sur place pour les activités d'échange de connaissances au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Tableau 16. Événements technologiques à grande échelle présentant la recherche opérationnelle de CLCR au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Année	Hôte	Événement	Date	Titre
2004	IFC/SAF	Visite de terrain	2004-10-06	Atelier technique sur le terrain n° 10 de l'IFC/SAF
2005	RATC 2005	Visite de terrain	2005-12-01	Atelier technique sur le terrain en boisement et en bioénergie du RATC
2005	SCF	Visite de terrain	2005-10-20	Visite de terrain de la Woodlot Association of Alberta
2006	CCFB	Journée champêtre	2006-09-26	SCF - Journée champêtre de la semaine de la forêt
2008	CCFB	Journée champêtre	2008-09-10	CCFB - Introduction aux CLCR - Jour 1
2008	CCFB	Journée champêtre	2008-09-11	CCFB - Introduction aux CLCR - Jour 2
2009	CCFB	Visite de terrain	2009-11-10	CCFB - Rôle des CLCR dans la bioéconomie de l'Alberta
2011	CCFB - Conseil canadien du peuplier	Visite de terrain	2011-09-22	Étape dans le circuit faisant suite à la conférence de l'assemblée générale annuelle regroupant le Conseil canadien du peuplier, la Commission internationale du peuplier et le Poplar Council of the United States : 22 septembre 2012, « Developing Short-rotation Woody Crop Systems in Canada »
2012	CCFB/Université de l'Alberta	Visite de terrain	2012-06-22	Visite de terrain après la conférence sur les boisements mixtes baréaux
2013	CCFB	Journée champêtre	2013-10-25	CCFB - Élaboration de systèmes novateurs de production et de conversion de la biomasse
2014	CCFB	Journée champêtre	2014-05-26	CCFB - Démonstration de presses bioénergétiques Gyro-Trac
2016	CCFB/Université de l'Alberta	Visite de terrain	2016-07-22	Visite de terrain des étudiants internationaux de l'Université de l'Alberta
2018	CCFB	Journée champêtre	2018-11-26	Démonstrations opérationnelles de récolte de CLCR
2019	CCFB	Journée champêtre	2019-01-25	Démonstrations opérationnelles du traitement de CLCR



Résumé de la récolte du boisement à rendement élevé de 2018

En 2018-2019, le site a été récolté grâce au financement reçu dans le cadre du Programme d'innovation forestière à l'appui de la bioéconomie forestière. Le site d'Ellerslie a présenté une occasion unique d'évaluer (de l'établissement jusqu'à l'utilisateur final) la croissance et le rendement, la caractérisation physique et chimique, la séquestration du carbone, les aspects économiques associés aux plantations de boisement à rendement élevé (peuplier hybride et tremble) et de boisement concentré (saule et peuplier hybride) au Canada. Le principal objectif de ce projet était d'évaluer la récolte et le traitement opérationnels des CLCR. Cela a été fait pour améliorer l'économie et l'efficacité de la logistique pour l'utilisation des matières premières ligneuses issues des sites de boisement à rendement élevé et de biomasse concentrée.

Les activités de récolte ont été réalisées de manière à prioriser la collecte de données détaillées liées à la productivité de l'équipement et aux accumulations de masse du site, plutôt que de minimiser les coûts réels. Pour atteindre cet objectif, tous les équipements ont été loués sur une base horaire. Il convient de noter qu'il aurait été possible de réaliser des économies en utilisant un taux contractuel par tonne. Toutefois, cela aurait été fait au risque de perdre la capacité de suivre avec précision la productivité et la surveillance opérationnelle systématique. Des parties du boisement à rendement élevé du site de développement technique de CLCR d'Ellerslie ont été récoltées à l'aide d'une abatteuse-empileuse (figure 30). L'abatteuse-empileuse a reçu l'instruction de placer tous les troncs abattus près des routes d'accès afin d'éliminer la nécessité d'une phase de débusquage pendant les opérations de récolte. Cela a peut-être entraîné une légère réduction de la productivité de la récolte. Cependant, on croit que le coût global de la récolte a été réduit si l'on tient compte

de la faible productivité de débusquage et de la petite taille des blocs des divers tests de recherche. Tous les troncs ont ensuite été ébranchés et traités en bois en longueur jusqu'à un diamètre supérieur de 7,5 cm à l'aide d'une tête d'ébranchage (figure 31). Les troncs traités ont ensuite été transportés, pesés et utilisés dans la production de pâte à l'usine de pâte Alberta-Pacific. Les débris récoltés en bordure de route ont été traités à l'aide d'une déchiqueteuse à petite échelle et pesés pour déterminer les proportions de biomasse. Le tableau 17 présente un résumé des coûts horaires de l'équipement utilisé pour les activités de récolte et de traitement en 2018.



Figure 30. Abatteuse-empileuse John Deere 753G au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.



Figure 31. Timberjack 608 avec tête d'ébranchage Waratah au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Tableau 17. Résumé des coûts de l'équipement de récolte au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie (2018).

Résumé des coûts de l'équipement	Taux contractuel horaire	Coûts du camion de service par heure de fonctionnement	Frais de déplacement du conducteur par heure de fonctionnement	Coûts de la remorque surbaissée par heure de fonctionnement*	Coûts de l'excavatrice d'alimentation par heure de fonctionnement	Coûts du conducteur par heure de fonctionnement	Coûts totaux par heure facturée
Abatteuse-empileuse John Deere 753G	220,00	22,50	17,36	24,00	S.O.	Inclus	283,86
Timberjack 608 avec tête d'ébranchage Waratah	220,00	22,90	17,66	16,68	S.O.	Inclus	277,24
Déchiqueteuse Pezzolato PTH700	175,00	10,37	19,92	Inclus	44,09	59,07	308,45
Tracteur Fendt 926	165,00	21,67	16,71	16,00	S.O.	Inclus	219,38
Moissonneuse Claas Jaguar	350,00	Inclus	Inclus	175,00	S.O.	Inclus	525,00
Anderson BioBaler	55,00	Inclus	Inclus	Inclus	S.O.	Inclus	55,00
Haybuster 1130	50,00	Inclus	Inclus	Inclus	S.O.	Inclus	50,00
Tracteur John Deere 6430	65,00	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	Inclus	65,00
Chariot à bascule Friggstad Greenbelt	45,00	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	Inclus	45,00
Camion routier de bois en longueur Western Star avec grue	165,00	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	Inclus	165,00

S.O. : sans objet, *Calculé : Coût total de la remorque surbaissée/heures de fonctionnement.

Les opérations de récolte ont commencé le 27 novembre 2018 et ont été achevées pour la plupart le 24 décembre 2018, comme l'indique le tableau 18. Le transport de billes de bois en longueur a pris fin le

25 janvier 2019, avec 34 chargements représentant 1032,7 tonnes de billes à pâte, soit une moyenne de 30,4 tonnes par chargement.

Tableau 18. Résumé des opérations des équipements de récolte et de traitement au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie (2018-19).

Équipement	Début	Achévé	Nombre total d'heures facturées
Abatteuse-empileuse John Deere 753G	2018-11-27	2018-12-12	70
Timberjack 608 avec tête d'ébranchage Waratah	2018-12-06	2018-12-24	107
Camion routier de bois en longueur Western Star avec grue	2018-12-14	2019-01-25	225
Moissonneuse Claas Jaguar	2018-11-28	2018-11-29	8
Fendt 926 avec Anderson BioBaler	2018-11-27	2018-12-01	45
	2019-04-27	2019-04-28	
	2019-05-27	2019-05-27	
	2019-06-16	2019-06-17	
Fendt 926 avec Haybuster 1130	2018-12-03	2018-12-03	25
	2018-12-10	2018-12-10	
	2018-12-12	2018-12-12	
	2019-08-23	2019-08-23	
Déchiqueteuse Pezzolato PTH700	2018-12-15	2018-12-21	207
	2019-01-10	2019-01-16	
	2019-01-22	2019-01-24	
	2019-05-27	2019-05-29	

Environ 18 tonnes de billes de bois en longueur supplémentaires ont été laissées sur place à des fins de démonstration et pour être utilisées dans d'autres essais d'équipement opérationnel. Un résumé des poids récoltés par clone et par année d'établissement est présenté au tableau 19.

Afin de démontrer et d'évaluer les répercussions du calendrier de récolte sur le potentiel de croissance après recépage des plantations de biomasse

concentrée, une série de tests de récolte opérationnelle à petite échelle ont été effectués jusqu'au 17 juin 2019. Les opérations de déchetage des résidus de récolte en bordure de route ont pour la plupart été achevées le 24 janvier 2019, à l'exception d'une série de tests opérationnels réalisés en mai 2019. Le traitement des balles à l'aide du bol de broyage Haybuster a été effectué pour la plupart le 12 décembre 2018, à l'exception d'une série de tests opérationnels réalisés en août 2019.

Tableau 19. Résumé du poids du bois en longueur récolté en 2018 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Année de plantation	Clone/espèce	Résumé du poids du bois en longueur (kg)
2003	Walker	29 567
2002	Northwest	35 161
2002	Green Giant	21 291
2002	Tremble hybride	38 599
2002	Walker x 2	71 169
2002	Autre	93 242
2004	Hill	122 720
2004	Assiniboine	165 425
2004	Walker	178 085
2005	Hill 615	98 702
2005	Green Giant	23 355
2005	Northwest	31 480
2005	Hill	55 949
2005	Brooks 1	73 904
2005	Tremble hybride	12 038

Boisement à rendement élevé 2002-2003

La conception initiale consistait en neuf blocs de 50 m x 50 m (0,25 ha) pour évaluer la pertinence clonale. Elle a évolué au cours de 17 ans. Cette évolution a inclus l'ajout d'une série de tests supplémentaires à l'intérieur des espaces vides résultant de la non-pertinence clonale et d'une diminution des aires de test causée par les installations d'infrastructure de la ville d'Edmonton. Parmi les tests supplémentaires ajoutés après 2002, seul le bloc du test de boisement mixte à rendement

élevé Walker 2003 a justifié une surveillance détaillée pendant les opérations de récolte de 2018. Le test de boisement mixte Walker 2003 a été établi en 2003 d'une manière conforme au plan de test clonal initial (2000 troncs/ha) avec des semis d'épinette blanche plantés entre chaque peuplier hybride dans chaque rangée (figure 32). Les installations restantes postérieures à 2002 ont été récoltées et utilisées pour des démonstrations et pour la formation des entrepreneurs pour le traitement et la manutention de la biomasse.

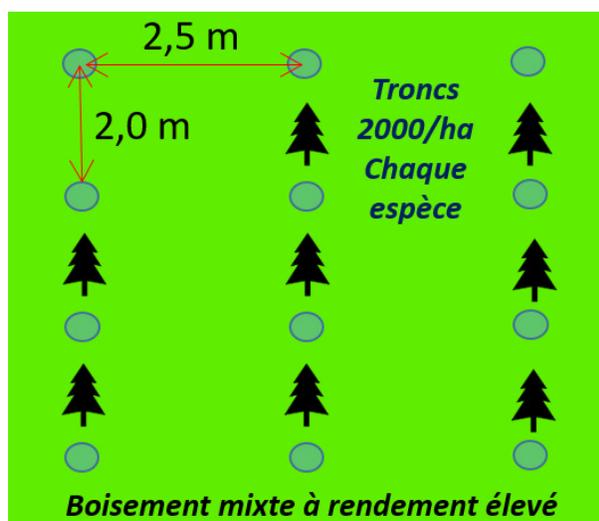


Figure 32. Plan de test de boisement mixte Walker au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie (2003).

Les résultats détaillés de la surveillance de la récolte (tableau 20) indiquent une fourchette de 167,5 à 271,8, soit une moyenne de 208,2 tonnes^{ha} de masse aérienne totale, une moyenne de 193,0 m³^{ha} de volume marchand (billes à pâte) et 69,8 m³^{ha} de biomasse. Le total est de 262,8 m³^{ha}, ce qui équivaut à 15,46 m³^{ha} d'accroissement annuel moyen (AAM) sur 17 ans. La productivité de l'abatteuse-empileuse a varié entre 29,5 et 60,0 tonnes par heure productive, avec une moyenne de 39,6 tonnes par heure productive. Le coût de l'abattage a varié entre 4,73 \$ et 9,61 \$ la tonne, avec une moyenne de 7,17 \$ la tonne, pour les blocs établis en 2002.

Tableau 20. Résultats détaillés de la récolte des sites de boisement à rendement élevé de 2002-2003 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Numéro sur la figure	4	16	6 + 15	14	S.O.	3
Clone	Northwest 2002	Tremble hybride 2002	Walker 2002	Green Giant 2002	Tous	Walker 2003
Superficie (ha)	0,1875	0,25	0,5	0,15	1,0875	0,175
Total des billes à pâte (tonnes)	35,161	38,599	71,169	21,291	166,220	29,567
Total de la biomasse de boisement (tonnes)	6,500	29,339	12,622	11,703	60,164	6,615
Poids total (tonnes)	41,661	67,938	83,791	32,994	226,384	36,182
Tonnes/ha	222,190	271,752	167,582	219,962	208,169	206,756
Masse/m ³ (kg)	854,695	803,282	766,371	743,782	792,032	766,371
M ³ /ha (tronc marchand)	219,404	192,206	185,731	190,837	192,980	220,462
M ³ /ha (arbre entier)	259,964	338,303	218,669	295,734	262,829	269,785
Abatteuse-empileuse - tonnes/h (productif)	59,967	48,013	33,610	29,547	39,581	21,173
Abatteuse-empileuse - coût/tonne (productif)	4,73 \$	5,91 \$	8,45 \$	9,61 \$	7,17 \$	13,41 \$
Ébrancheuse-tronçonneuse - tonnes/h (productif)	28,170	21,124	17,138	14,147	18,998	13,483
Ébrancheuse-tronçonneuse - coût/tonne (productif)	9,84 \$	13,12 \$	16,18 \$	19,60 \$	14,69 \$	20,56 \$
Abatteuse-empileuse - tonnes/h (brut)	58,357	45,125	29,754	29,547	36,797	21,173
Abatteuse-empileuse - coût/tonne (productif)	4,86 \$	6,29 \$	9,54 \$	9,61 \$	7,58 \$	13,41 \$
Ébrancheuse-tronçonneuse - tonnes/h (brut)	20,830	10,631	13,550	11,500	12,978	10,209
Ébrancheuse-tronçonneuse - coût/tonne (brut)	13,31 \$	26,08 \$	20,46 \$	24,11 \$	20,99 \$	27,16 \$

La productivité du traitement a varié entre 14,1 et 28,1 tonnes par heure productive, avec une moyenne de 19,0 tonnes par heure productive. Le coût du traitement a varié entre 9,84 \$ et 19,60 \$ la tonne, avec une moyenne de 14,69 \$ la tonne, pour les blocs établis en 2002.

Le coût de la récolte pour le site du test de boisement mixte Walker 2003, à 13,41 \$ la tonne, était supérieur à

la moyenne. L'augmentation des coûts de récolte peut être attribuée à la « marche » supplémentaire requise par la moissonneuse, dont la rotation de la cabine n'est pas possible, pour pousser les troncs abattus le long de la route. On croit que l'augmentation des coûts de récolte est compensée par la valeur de la « forêt instantanée » qui reste après la récolte (figure 33).



Figure 33. Images de la récolte et après la récolte du test de boisement mixte Walker 2003 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Boisement à rendement élevé 2004

Les résultats détaillés de la surveillance de la récolte (tableau 21) indiquent une fourchette de 164,6 à 220,7, soit une moyenne de 196,6 tonnes par hectare de masse aérienne totale. Les résultats montrent également une moyenne de 208,8 m³-ha de volume marchand (billes à pâte) et 42,1 m³-ha de biomasse. Le total est de 250,9 m³-ha, ce qui équivaut à 16,73 m³-ha d'accroissement annuel moyen (AAM) sur 15 ans.

La productivité de l'abatteuse-empileuse a varié entre 50,8 et 56,9 tonnes par heure productive, avec une moyenne de 54,2 tonnes par heure productive. Le coût de l'abattage a varié entre 4,99 \$ et 5,58 \$ la tonne, avec une moyenne de 5,27 \$ la tonne, pour les blocs

établis en 2004. La productivité du traitement a varié entre 15,9 et 17,9 tonnes par heure productive, avec une moyenne de 16,9 tonnes par heure productive. Le coût du traitement a varié entre 15,52 \$ et 18,53 \$ la tonne, avec une moyenne de 16,59 \$ la tonne, pour les blocs établis en 2004.

En plus de la surveillance détaillée des activités de récolte, la partie 2004 du site de développement technique de CLCR d'Ellerslie a été sélectionnée pour des évaluations ciblées après la récolte, car il s'agissait du plus grand test au site. Des évaluations après la récolte ont été effectuées au printemps 2019 pour déterminer les masses des résidus après récolte, de la litière, des racines et des souches souterraines.

Tableau 21. Résultats détaillés de la récolte des sites de boisement à rendement élevé de 2004 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Numéro sur la figure	26	25	24	S.O.
Clone	Walker 2004	Assiniboine 2004	Hill 2004	Tous 2004
Superficie (ha)	0,95	0,95	0,95	2,85
Total des billes à pâte (tonnes)	178,085	165,425	122,720	466,230
Total de la biomasse de boisement (tonnes)	31,583	28,932	33,612	94,127
Poids total (tonnes)	209,668	194,357	156,332	560,357
Tonnes/ha	220,703	204,586	164,560	196,617
Masse/m ³ (kg)	766,371	807,037	777,197	783,535
M ³ /ha (tronc marchand)	244,605	215,766	166,211	208,784
M ³ /ha (arbre entier)	287,985	253,503	211,736	250,935
Abatteuse-empileuse - tonnes/h (productif)	56,936	54,319	50,835	54,215
Abatteuse-empileuse - coût/tonne (productif)	4,99 \$	5,23 \$	5,58 \$	5,27 \$
Ébrancheuse-tronçonneuse - tonnes/h (productif)	17,631	17,864	14,961	16,868
Ébrancheuse-tronçonneuse - coût/tonne (productif)	15,72 \$	15,52 \$	18,53 \$	16,59 \$
Abatteuse-empileuse - tonnes/h (brut)	54,863	50,857	46,226	50,825
Abatteuse-empileuse - coût/tonne (productif)	5,17 \$	5,58 \$	6,14 \$	5,63 \$
Ébrancheuse-tronçonneuse - tonnes/h (brut)	14,843	15,787	13,280	14,666
Ébrancheuse-tronçonneuse - coût/tonne (brut)	18,68 \$	17,56 \$	20,88 \$	19,04 \$

La masse des résidus de récolte a été déterminée par la cueillette de tous les débris ligneux (> 2 mm de diamètre) dans une série de parcelles de 2,5 m x 2,5 m (figure 34). La masse de la litière a été déterminée par la cueillette de toutes les feuilles/de toute la litière (y compris les débris ligneux de moins de 2 mm de diamètre) dans la même série de parcelles de 2,5 m x 2,5 m. Les échantillons de résidus ont ensuite été pesés (poids total/parcelle) et un sous-échantillon (200 g min.) a été retourné au laboratoire, pesé, séché à 105 °C jusqu'à poids constant, et pesé de nouveau pour en déterminer la teneur en humidité. Les échantillons de litière ont ensuite été retournés au laboratoire, séchés au four à 65 °C jusqu'à poids constant et pesés. Pour déterminer la masse des racines et des souches souterraines, trois souches par clone, associées à des troncs ayant un diamètre et une hauteur de poitrine moyens et provenant de parcelles d'échantillonnage

permanent, ont été excavées. Les souches ont été laissées à l'extérieur pour sécher à l'air libre pendant deux mois, puis ont été nettoyées et pesées (figure 35). Les échantillons ont été retournés au laboratoire, pesés, séchés à 105 °C jusqu'à poids constant et pesés de nouveau pour en déterminer la teneur en humidité. Les données de synthèse sur le séchage au four (tableau 22) indiquent que les activités de récolte en bordure de route représentent en moyenne 34,28 % de la biomasse (à l'intérieur des résidus, de la litière, de la souche et des racines de récolte du bloc) qui reste au site. Les données indiquent également que les activités de récolte et de désactivation, y compris l'enlèvement des souches et des racines, n'élimineraient que 83,86 % de la biomasse, et en laisseraient donc 16,14 % sur place. Cela serait incorporé dans le sol pendant les activités de disquage après la désactivation.



Figure 34. Échantillonnage postérieur à la récolte dans la portion du boisement à rendement élevé de 2004 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.



Figure 35. Excavation des souches et des racines postérieure à la récolte dans la portion de boisement à rendement élevé de 2004 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Tableau 22. Résumé de l'évaluation postérieure à la récolte (tonnes anhydres/ha) des sites de boisement à rendement élevé de 2004 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Composante	Assiniboine 2004	Hill 2004	Walker 2004	Moyenne de 2004
Billes à pâte	85,854	67,593	91,615	81,687
Copeaux	15,015	18,513	16,248	16,592
Résidus de récolte	6,975	7,502	8,276	7,585
Litière	15,010	16,015	18,610	16,545
Souche + racines	24,795	20,109	36,472	27,125
Total	147,649	129,733	171,221	149,534

Les données des évaluations postérieures à la récolte peuvent également être utilisées pour calculer la séquestration du carbone réalisée sur 15 ans dans la partie du boisement à rendement élevé de 2004 du site de développement technique de CLCR d'Ellerslie. Les évaluations du sol effectuées en 2004, avant les traitements initiaux de préparation du site et de nouveau en 2019 après la récolte, ont permis de

constater une augmentation moyenne de carbone de 11,9 tonnes par hectare dans les 15 premiers centimètres de sol (tableau 23). Dans l'ensemble, le site de boisement à rendement élevé a séquestré une moyenne de 87,7 tonnes par hectare, soit 321,7 tonnes d'éq. CO₂ par hectare, avec une moyenne de 21,4 tonnes d'éq. CO₂ par hectare par année.

Tableau 23. Résumé de la séquestration du carbone* pour le site de boisement à rendement élevé de 2004 du site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Composante	Assiniboine 2004	Hill 2004	Walker 2004	Moyenne de 2004
Billes à pâte	44,129	34,743	47,090	41,987
Copeaux	7,718	9,516	8,351	8,528
Souche + racines	12,744	10,336	18,747	13,942
Résidus de récolte	3,585	3,856	4,254	3,898
Litière	6,755	7,207	8,375	7,445
Augmentation du carbone dans le sol sur 15 ans	16,121	7,061	12,591	11,924
Total général	91,052	72,719	99,407	87,726
Aérienne	62,186	55,322	68,070	61,859
Souterraine	28,865	17,397	31,337	25,867
Total éq. CO₂	333,856	266,635	364,494	321,662
Total éq. CO₂/an	22,257	17,776	24,300	21,444

*Taux de 51,4 % pour le peuplier hybride selon le CANMET 2019.

Analyse du carbone dans l'écosystème

Le carbone (C) présent dans l'écosystème (somme de tous les réservoirs de carbone, c.-à-d. biomasse, résidus, litière, sol, souches et racines utilisés) en 2018 (avant la récolte), avec les volumes récoltés et utilisés (billes à pâte et biomasse en bordure de route) et les paramètres échantillonnés après la récolte en 2019 (résidus, litière, sol, souches et racines) était le plus élevé avec Walker (177,9 Mg C ha⁻¹). Sont venus ensuite Assiniboine (169,5 Mg C ha⁻¹) et Hill (151,2 Mg C ha⁻¹) dans toutes les parcelles de traitement (figure 36). Les taux d'accumulation de carbone dans la biomasse étaient en moyenne de 5,05 Mg C ha⁻¹an⁻¹ pour le site pendant les 15 années de croissance. Dans l'ensemble, le site de boisement à rendement élevé a séquestré une moyenne

de 87,7 tonnes par hectare, soit 321,7 tonnes d'éq. CO₂ par hectare, avec une moyenne de 21,4 tonnes d'éq. CO₂ par hectare par année.

Les données montrent que les activités de récolte ont entraîné l'élimination de 57 % du carbone (trunks marchands et biomasse en bordure de route) du site et que donc 43 % sont demeurés sur place après les activités de récolte (figure 37). Les données indiquent également que les activités de récolte et de désactivation opérationnelle, y compris l'empilage des résidus et l'enlèvement des souches et des racines de la plantation de boisement à rendement élevé de 15 ans, n'élimineraient que 78 % du carbone de l'écosystème. Les 22 % résiduels (augmentation du sol et litière) demeureraient sur place avant les activités futures de préparation du site.

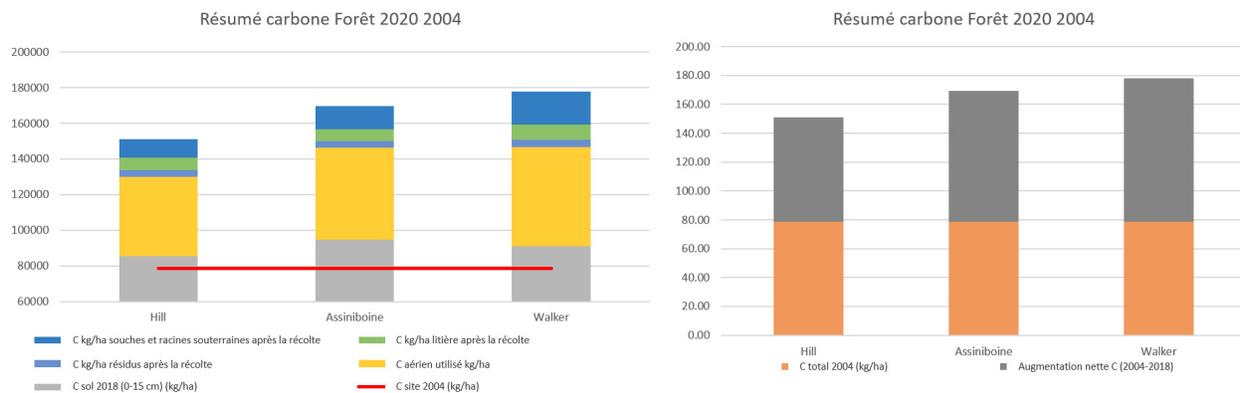


Figure 36. Répartition du carbone dans l'écosystème de 2004 à 2018 pour le test de recherche Forêt 2020 réalisé au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

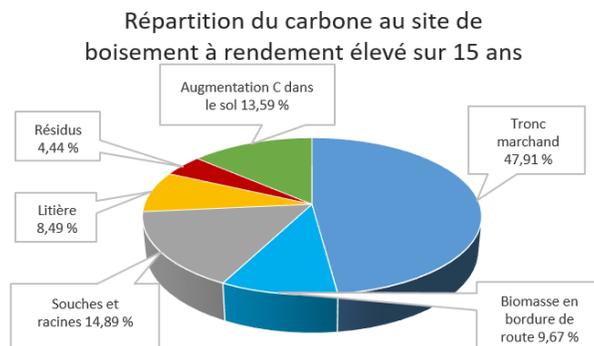


Figure 37. Répartition du carbone du site de boisement à rendement élevé de 15 ans au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

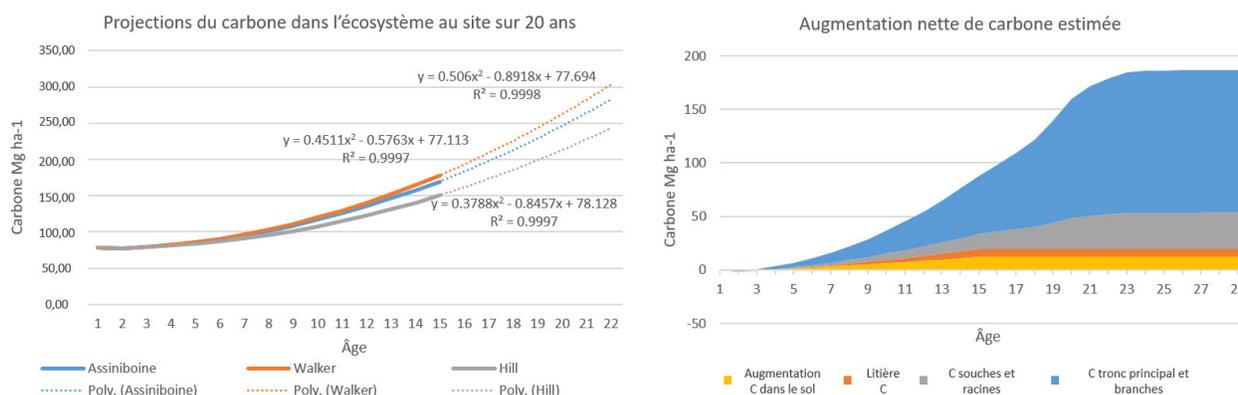


Figure 38. Projections du carbone du site de boisement à rendement élevé au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Pour évaluer le potentiel de séquestration du carbone des plantations de boisement à rendement élevé, un exercice a été réalisé pour estimer l'impact net potentiel sur le carbone du boisement à rendement élevé à Ellerslie si la récolte avait été reportée après l'année 20. En supposant que le carbone dans le sol et dans la litière demeure stable au fil des ans (figure 38), l'augmentation nette de carbone du site à l'année 20 devrait être en moyenne de 159,75 Mg C ha⁻¹ (585,74 Mg d'éq. CO₂ ha⁻¹ ou 29,29 Mg d'éq. CO₂ ha⁻¹ an⁻¹). D'après les projections clonales, Walker obtiendrait la plus forte augmentation nette avec 183,77 mg C ha⁻¹ (673,82 mg d'éq. CO₂ ha⁻¹ ou 33,69 Mg d'éq. CO₂ ha⁻¹ an⁻¹), suivi d'Assiniboine avec 167,54 Mg C ha⁻¹ (614,30 Mg d'éq. CO₂ ha⁻¹ ou 30,72 Mg d'éq. CO₂ ha⁻¹ an⁻¹) et de Hill avec 134,24 Mg ha⁻¹ (492,23 Mg d'éq. CO₂ ha⁻¹ ou 24,61 Mg d'éq. CO₂ ha⁻¹ an⁻¹). Dans l'ensemble, les plantations de CLCR à rendement élevé peuvent fournir des quantités

considérables de biomasse ligneuse dans les Prairies. L'établissement de plantations à rendement élevé a fourni des données encourageantes sur le déploiement, la survie, la croissance et le potentiel de séquestration du carbone de ces systèmes.

Boisement à rendement élevé 2005

Les résultats détaillés de la surveillance de la récolte (tableau 24) indiquent une fourchette de 132,8 à 167,7, soit une moyenne de 151,6 tonnes par hectare de masse aérienne totale. Les résultats montrent également une moyenne de 143,0 m³·ha⁻¹ de volume marchand (billes à pâte) et 43,9 m³·ha⁻¹ de biomasse. Le total est de 186,9 m³·ha⁻¹, ce qui équivaut à 13,35 m³·ha⁻¹ d'accroissement annuel moyen (AAM) sur 14 ans.

Tableau 24. Résultats détaillés de la récolte des sites de boisement à rendement élevé de 2005 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Clone	Northwest 2005	Brooks 1 2005	Green Giant 2005	Hill 2005	Tous
Numéro sur la figure	31	45	32 + 43	27, 44 + 46	S.O.
Superficie (ha)	0,3	0,58	0,22	1,342	2,442
Total des billes à pâte (tonnes)	31,48	73,904	23,355	154,651	283,39
Total de la biomasse de boisement (tonnes)	8,36	23,376	12,837	42,358	86,931
Poids total (tonnes)	39,84	97,28	36,192	197,008	370,321
Tonnes/ha	132,801	167,724	164,509	146,802	151,646
Masse/m ³ (kg)	854,695	870,607	743,782	777,197	811,57
M ³ /ha (tronc marchand)	122,774	146,359	142,726	148,275	142,992
M ³ /ha (arbre entier)	155,378	192,652	221,178	188,887	186,856
Abatteuse-empileuse - tonnes/h (productif)	47,649	39,842	54,629	21,62	28,371

(Suite à la page 47)

(Suite de la page 46)

Clone	Northwest 2005	Brooks 1 2005	Green Giant 2005	Hill 2005	Tous
Abatteuse-empileuse - coût/tonne (productif)	5,96 \$	7,12 \$	5,20 \$	13,13 \$	7,85 \$
Ébrancheuse-tronçonneuse - tonnes/h (productif)	17,659	15,17	16,788	12,508	13,935
Ébrancheuse-tronçonneuse - coût/tonne (productif)	15,70 \$	18,28 \$	16,51 \$	22,16 \$	18,16 \$
Abatteuse-empileuse - tonnes/h (brut)	47,649	34,592	12,869	21,62	23,78
Abatteuse-empileuse - coût/tonne (productif)	5,96 \$	8,21 \$	22,06 \$	13,13 \$	12,34 \$
Ébrancheuse-tronçonneuse - tonnes/h (brut)	14,291	13,16	15,905	10,717	12,008
Ébrancheuse-tronçonneuse - coût/tonne (brut)	19,40 \$	21,07 \$	17,43 \$	25,87 \$	20,94 \$

La productivité de l'abatteuse-empileuse a varié entre 21,6 et 54,6 tonnes par heure productive, avec une moyenne de 28,4 tonnes par heure productive. Le coût de l'abattage a varié entre 5,20 \$ et 13,13 \$ la tonne, avec une moyenne de 7,85 \$ la tonne, pour les blocs établis en 2005. La productivité du traitement a varié entre 12,5 et 17,7 tonnes par heure productive, avec une moyenne de 13,9 tonnes par heure productive. Le coût du traitement a varié entre 15,70 \$ et 22,16 \$ la tonne, avec une moyenne de 18,16 \$ la tonne, pour les blocs établis en 2005. Les installations restantes postérieures à 2005 ont été récoltées et utilisées pour des démonstrations et pour la formation des entrepreneurs pour le traitement et la manutention de la biomasse.

Transport

Le transport du bois en longueur jusqu'à l'usine de pâte Alberta-Pacific Forest Industries Inc. (215 km l'aller) a été effectué à l'aide d'un porteur autochargeur (figure 39). Au total, 34 chargements ont été livrés, pour un total de 1032,7 tonnes. Chaque chargement pesait donc

en moyenne de 30,37 tonnes. Les tableaux 20, 21 et 24 présentent un résumé détaillé des billes à pâte par année d'établissement et par cultivar sous la forme « Total des billes à pâte (tonnes) ». La durée moyenne de déplacement (6,5 heures aller-retour) a entraîné un coût moyen de 35,31 \$ par tonne pour le camionnage.



Figure 39. Porteur autochargeur déployé au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.



Résumé de la récolte de biomasse concentrée de 2018

Les sections de CLCR de biomasse concentrée ont été récoltées à l'aide d'une presse Anderson BioBaler et d'une moissonneuse Claas Jaguar pour évaluer la productivité des deux options de récolte de CLCR de biomasse concentrée disponibles en Alberta (figure 40).

Après les activités de récolte, les balles créées par la presse BioBaler ont été traitées à l'aide d'un bol de broyage Haybuster 1130 précédemment inclus dans la figure 28.



Figure 40. Presse Anderson BioBaler (à gauche) et moissonneuse Claas Jaguar (à droite) au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Biomasse concentrée de 2005

Les opérations de récolte ont été réalisées à l'aide de la presse Anderson BioBaler pour les sites de démonstration de la biomasse concentrée de 2005. Basée sur une plateforme de presse agricole à balles rondes, la presse BioBaler est renforcée pour traiter les cultures ligneuses et comporte une tête de récolte spécialisée qui peut couper, conditionner et alimenter les troncs dans la chambre de compression des balles. La presse BioBaler convient à la récolte de troncs de biomasse plus grands (diamètre de base < 13 cm), avec la possibilité de récolter jusqu'à 40 balles par heure (site Web d'Anderson) dans des conditions optimales. Elle peut produire en moyenne de 10 à 15 balles par heure dans la pratique. Le produit

final est une balle ronde, moyennement compactée, de 122 cm de diamètre.

Les sites de biomasse concentrée de 2005 ont déjà été récoltés en 2008 et 2011. Des tests de récolte antérieurs effectués à plusieurs sites en Saskatchewan, en Ontario et au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie ont révélé un coût de récolte moyen de plus de 60 \$ la tonne. Pour réduire les coûts de récolte, les activités de récolte prévues pour 2014 ont été reportées à 2017 afin d'évaluer les répercussions économiques et de croissance de la prolongation du calendrier habituel de rotation de trois ans à six ans. Le calendrier de récolte a été reporté d'une année supplémentaire pour coïncider avec la récolte de

l'ensemble du site. Il n'est pas recommandé d'étendre la durée de la rotation à sept ans. Il en a résulté une croissance beaucoup plus importante que prévu, avec plus de 80 tonnes anhydres (t.a.) par hectare pour le peuplier hybride NM-6 et plus de 77 t.a. par hectare pour *Salix dasyclados* (*S. dac*) (figure 41). La croissance supplémentaire a donné des troncs beaucoup plus grands (jusqu'à 15 cm) que prévu. Les volumes élevés associés à la longueur de rotation prolongée ont entraîné une réduction de la productivité et la récolte d'une partie du site (cultivars de peuplier hybride NM-6 et P-38 et de *Salix dasyclados*) a nécessité le recours à l'abatteuse-empileuse (figure 42). Les autres cultivars ont été récoltés à l'aide de la presse BioBaler. Au total, 88 balles d'un poids moyen de 382,36 kg par balle (tableau 25) ont été produites. La réduction de la productivité a entraîné un coût de 77,30 \$ la tonne, soit une augmentation de 28,8 % par rapport au coût moyen de récolte précédent. La croissance annuelle de la biomasse aérienne pour la rotation sur sept ans, sur un système racinaire âgé de 13 ans, était la plus forte dans le peuplier hybride NM-6. Le peuplier hybride avait une moyenne de 11,48 t.a.^{-ha-an} et *Salix dasyclados* une moyenne de 11,10 t.a.^{-ha-an} (figure 43).

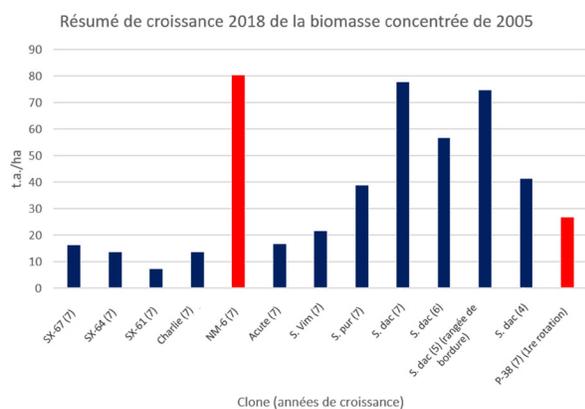


Figure 41. Résumé de la croissance des démonstrations de biomasse concentrée de 2005 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie (2018).



Figure 42. Récolte par abatteuse-empileuse de la masse concentrée de gros diamètre en 2005 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Tableau 25. Résumé de la récolte par presse BioBaler de la biomasse concentrée opérationnelle au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie (2018).

Élément	Résultats
Balles récoltées	88
Masse récoltée (kg)	33647,47
Masse moyenne par balle (kg)	382,36
Teneur moyenne en humidité (% du poids humide)	45,00 %
Productivité de la presse BioBaler (kg/h)	2788,44
Productivité de la presse BioBaler (balles/h)	7,29
BioBaler - coût/tonne (productif)	77,30 \$

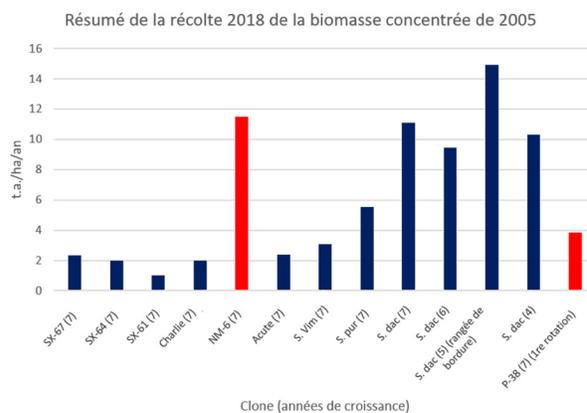


Figure 43. Résumé de la croissance annuelle des démonstrations de biomasse concentrée de 2005 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

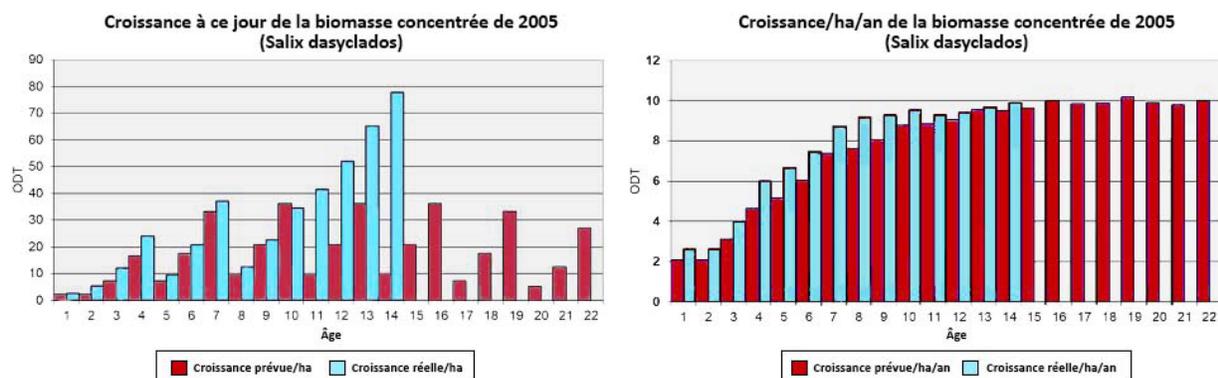


Figure 44. Résumés des croissances en rotation de *Salix dasyclados* 2005 à 2018 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie (2005).

Tous les autres cultivars présentait en moyenne moins de 6 t.a.^{-ha-an}, seuls *Salix purpurea* et le peuplier hybride P-38 ayant une croissance moyenne de la biomasse par année supérieure à 3,1 t.a.^{-ha-an}. Cela comprend l'espèce indigène *Salix acutifolia*, avec une moyenne de 2,38 t.a.^{-ha-an}. Dans l'ensemble, les planches de biomasse concentrée de *Salix dasyclados* établies en 2005 ont dépassé la croissance prévue en fonction des paramètres biogéoclimatiques du site de développement technique de CLCR d'Ellerslie, avec une croissance moyenne par hectare par an de 9,91 t.a. (figure 44).

Une petite démonstration de transfert de la technologie, nichée dans les planches de biomasse concentrée de *Salix dasyclados*, a mis en évidence la croissance associée à diverses longueurs de rotation allant de quatre à sept ans. Au cours des opérations de récolte, les parcelles de 80 m² ont été récoltées. La croissance annuelle a été de 9,4 t.a.^{-ha-an} pour la rotation sur six ans et de 14,9 pour la rotation sur cinq ans, bien qu'elle soit liée à une rangée de bordure. La croissance qui en

résulte peut être considérée comme le potentiel de croissance maximal pour les plantations de biomasse concentrée à Ellerslie.

Test clonal de biomasse concentrée de la SUNY de 2006

Le test clonal de la SUNY a déjà été récolté en 2009 et 2012. Pour réduire les coûts de récolte, les activités de récolte prévues pour 2015 ont été reportées à 2018 afin d'évaluer les répercussions économiques et de croissance de la prolongation du calendrier habituel de rotation de trois ans à six ans. Les opérations de récolte ont été effectuées à l'aide de la moissonneuse Claas Jaguar. La moissonneuse utilise une plateforme de récolteuse-hacheuse, renforcée pour traiter les cultures ligneuses. Elle produit une biomasse ligneuse déchiquetée uniforme, expulsée dans une remorque adjacente tirée en même temps. Le classement des 24 cultivars, fondé sur la croissance de toutes les récoltes de 2006 à 2018, est présenté au tableau 26.

Tableau 26. Résumés des croissances en rotation du test clonal de la SUNY de 2006 à 2018 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie (2006).

Classement	Clone	Nombre moyen de tonnes vertes ^{-ha-an} - Rotation 1	Nombre moyen de tonnes vertes ^{-ha-an} - Rotation 2	Nombre moyen de tonnes vertes ^{-ha-an} - Rotation 3
1-4	94001	6,24	12,66	15,47
	99217-023			
	99202-011			
	9871-31			

(Suite à la page 51)

(Suite de la page 50)

Classement	Clone	Nombre moyen de tonnes vertes ^{ha-an} - Rotation 1	Nombre moyen de tonnes vertes ^{ha-an} - Rotation 2	Nombre moyen de tonnes vertes ^{ha-an} - Rotation 3
5-8	9882-34	4,82	9,73	11,90
	99217-015			
	99207-018			
	99201-007			
9-12	SX-64	3,28	8,09	9,88
	9882-41			
	99239-015			
	9970-036			
13-16	9980-005	2,72	6,20	7,58
	99113-012			
	SX-61			
	9870-1			
17-20	SV1	1,99	5,07	6,20
	9879			
	9870-23			
	9832-49			
21-24	00X-032-094	0,76	1,64	2,01
	S25			
	9837-77			
	00X-026-082			

La moissonneuse convient à la récolte de petits troncs de biomasse (diamètre de base < 8 à 10 cm) plantés selon un plan de biomasse concentrée à une ou deux rangées. Le prolongement de la durée de rotation à six ans a fait en sorte que certaines parties du test de la SUNY étaient trop grandes (> 10 cm de diamètre de base) pour que la moissonneuse puisse les traiter. Pour préparer le site pour la moissonneuse, des parties

du test clonal de la SUNY ont été récoltées à l'aide de la presse BioBaler.

La partie restante du site a été récoltée au moyen de la moissonneuse à une moyenne de 11,09 tonnes vertes par heure productive. Il en a coûté 41,47 \$ par tonne ou 67,72 \$ par t.a. (tableau 27).

Tableau 27. Résumé de la récolte par la moissonneuse Claas Jaguar du test clonal de la SUNY au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie (2018).

Élément	Résultats
Coût/h du Jaguar	350,00 \$
Coût/h du tracteur	65,00 \$
Coût/h de la remorque basculante	45,00 \$
Coût total/h (sans transport)	460,00 \$
Temps de récolte moyen/charge (productif)	00:24:54
Temps inactif moyen/charge (inactif)	00:12:45
Nombre moyen de tonnes/charge	4,60
Tonnes/h du Jaguar (productif)	11,09
t.a./h du Jaguar (productif)	6,79

(Suite à la page 52)

(Suite de la page 51)

Élément	Résultats
Coût/tonne du Jaguar (productif)	41,47 \$
Coût/t.a. du Jaguar (productif)	67,72 \$
Tonnes/h du Jaguar (brut)	7,34
t.a./h du Jaguar (brut)	4,49
Coût/tonne du Jaguar (brut)	62,71 \$
Coût/t.a. du Jaguar (brut)	102,40 \$
Taille du copeau < 3 mm	5 %
Taille du copeau de 3 à 12,7 mm	76 %
Taille du copeau de 12,7 à 24,1 mm	18 %
Taille du copeau > 24,1 mm	< 1 %

Durant les opérations de récolte, la moissonneuse était inactive pendant que la remorque était déchargée à un endroit désigné à 30 mètres du test clonal de la SUNY de 2006. Cela a représenté 33,87 % du temps brut des activités de récolte et a augmenté le coût de la récolte à 62,71 \$ la tonne ou 102,40 \$ par t.a. L'analyse des caractéristiques physiques effectuée par CanmetÉNERGIE-Ottawa sur le matériel déchiqueté produit par la moissonneuse pendant la récolte du test clonal de la SUNY de 2006 a révélé que 81 % des copeaux avaient une taille inférieure à 12,7 mm.

Test de plan de biomasse concentrée de 2007

Le test n'a pas été recépé en 2007-2008, et la croissance sur quatre ans a été récoltée en 2010. Pour réduire les coûts de gestion des tests, le site est resté intact jusqu'en 2018. Il a été récolté à l'aide de la presse BioBaler en conjonction avec le reste du site de développement technique de CLCR d'Ellerslie. La récolte de 2018 a produit 5590 kilogrammes anhydres (kga) de biomasse provenant de la parcelle avec un plan à trois rangées (1440 m² de superficie nette) et 5861 kga provenant de la parcelle avec un plan à une rangée (1620 m² de superficie nette). Cela équivaut à 38,82 t.a. (net) par hectare (4,853 t.a.^{-ha-an}) pour la parcelle avec un plan à trois rangées et 36,18 t.a. (net) par hectare (4,522 t.a.^{-ha-an}) pour la parcelle avec un plan à une rangée (figure 45).

Résumé de la récolte 2018 du test de plan de biomasse concentrée de 2007

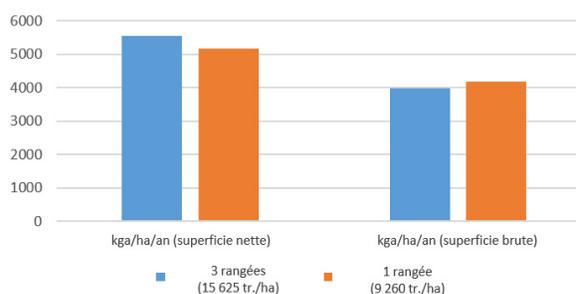


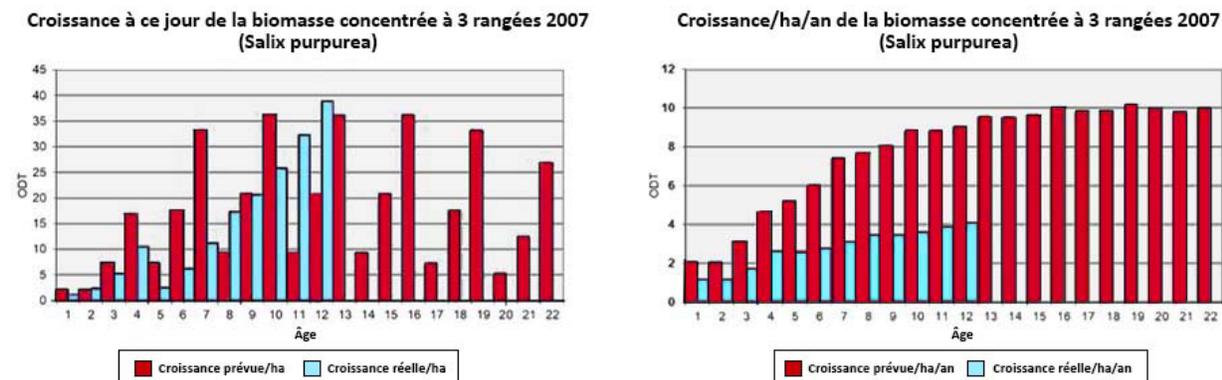
Figure 45. Résumé de la croissance des récoltes des plans de biomasse concentrée au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie (2018).

En comptant toutes les récoltes, un total de 49,32 t.a. par ha ont été récoltées dans la partie du test avec un plan à trois rangées et 51,06 t.a. par hectare ont été récoltées dans la partie avec un plan à une rangée du test de plan de biomasse concentrée de 2007 (tableau 28). Dans l'ensemble, pour les 12 années du test, le plan à trois rangées a produit 4,11 t.a.^{-ha-an} et le plan à une rangée a produit 4,25 t.a.^{-ha-an} (figures 46 et 47). À ce jour, il y a peu de différence dans la croissance et le rendement associés aux plans d'établissement à une rangée et à trois rangées pour les plantations de biomasse concentrée. Comparativement aux coûts d'établissement de chaque plan d'établissement de biomasse concentrée, les différences deviennent évidentes.

Les coûts supplémentaires associés aux 6365 boutures supplémentaires par hectare nécessaires au plan d'établissement à trois rangées sont de 2 864,25 \$ par hectare à 0,45 \$ par bouture.

Tableau 28. Résumé des récoltes du test de plan de biomasse concentrée au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie (2018).

Paramètre	1 rangée	3 rangées
Coût/h de la presse BioBaler	78,00 \$	78,00 \$
Coût/h du tracteur	165,00 \$	165,00 \$
Coût total/h	243,00 \$	243,00 \$
Récolte	03:36:21	04:19:37
Inactif - Fonctionnement	01:52:23	01:01:02
Tonnes vertes	10,657	10,165
Tonnes/h de la presse BioBaler (productif)	2,956	2,349
t.a./h de la presse BioBaler (productif)	1,626	1,292
Coût/tonne de la presse BioBaler (productif)	82,22 \$	103,44 \$
Coût/t.a. de la presse BioBaler (productif)	149,49 \$	188,07 \$
Tonnes/h de la presse BioBaler (brut)	1,945	1,902
t.a./h de la presse BioBaler (productif)	1,070	1,046
Coût/tonne de la presse BioBaler (brut)	124,93 \$	127,76 \$
Coût/t.a. de la presse BioBaler (brut)	227,14 \$	232,29 \$
kga/ha (net)	36181,50	38824,08
kga/ha (brut)	29307,02	27953,34
kga/ha/an (net)	5168,79	5546,30
kga/ha/an (brut)	4186,72	3993,33
t.a./ha récoltées jusqu'ici	51,06	49,32
t.a./ha/an récoltées jusqu'ici	4,25	4,11
Coût d'établissement/ha	6717,00 \$	9581,25 \$
Coût d'établissement/tonne à ce jour	131,55 \$	194,27 \$



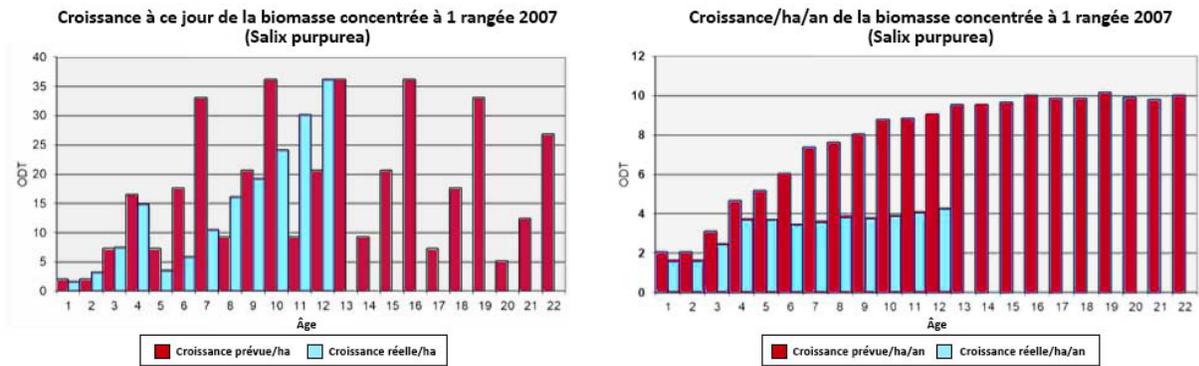


Figure 47. Plan de biomasse concentrée : Résumés des croissances en rotation à une rangée (*S. purpurea*) de 2005 à 2018 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie (2007).

À ce jour, cela équivaut à un coût supplémentaire de 62,72 \$ par t.a. de la biomasse récoltée pour le plan de biomasse concentrée à trois rangées (194,28 \$/t.a.) par rapport au plan de biomasse concentrée à une rangée (131,56 \$/t.a.). À titre de comparaison, le cultivar *Salix dasyclados* du test de biomasse concentrée de 2005 (plan à trois rangées) a produit

138,7 t.a.^{ha} à ce jour, soit 69,08 \$ par t.a. de biomasse récoltée. Les sites de boisement à rendement élevé de 2005 (coûts d'établissement de 3 250 \$^{ha}) ont totalisé en moyenne 79,35 t.a.^{ha}, soit 40,96 \$ par t.a. de biomasse récoltée. Les sites de boisement à rendement élevé de 2004 ont atteint en moyenne 98,28 t.a.^{ha}, soit 33,07 \$ par t.a. de biomasse récoltée.



Résumé du traitement de la biomasse ligneuse 2018-2019

Les exigences relatives à la caractérisation physique de la biomasse ligneuse (taille du matériel) des installations de biomasse ligneuse diffèrent selon le plan de l'installation et les paramètres de production. Pour évaluer les coûts associés à la production et à l'approvisionnement de biomasse ligneuse de différentes tailles, le Service canadien des forêts a terminé le calendrier détaillé du traitement de la biomasse ligneuse. Il a évalué les balles récoltées dans les sites de biomasse concentrée par la presse BioBaler à l'aide d'un bol de broyage Haybuster 1130 fourni par Agriculture et Agroalimentaire Canada à Indian Head, en Saskatchewan. Il a également évalué les résidus de récolte en bordure de route des sites de boisement à

rendement élevé à l'aide de la déchiqueteuse à tambour Pezzolato PTH700, fournie par Biomass Innovations à Drayton Valley, en Alberta.

Des opérations de déchiquetage à l'aide de la déchiqueteuse à tambour Pezzolato ont été menées afin d'obtenir les poids précis des résidus de récolte en bordure de route pour chaque cultivar du boisement à rendement élevé. Cela a été fait pour évaluer la productivité et le coût de l'équipement, et pour créer des produits permettant la caractérisation physique et l'analyse physicochimique. Un excédent de 208 tonnes de copeaux a été produit à partir des résidus de récolte en bordure de route (tableau 29) et pesé par cultivar.

Tableau 29. Résumé opérationnel de la déchiqueteuse à tambour Pezzolato PTH700 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie (2018-2019).

Paramètres	Résidus de récolte - avec grilles	Résidus de récolte - sans grilles	Biomasse concentrée - avec grilles
Coût/h de la déchiqueteuse Pezzolato PTH700	175,00 \$	175,00 \$	175,00 \$
Coût/h du tracteur (déchiqueteuse)	Inclus	Inclus	Inclus
Coût/heure de l'excavatrice (chargement)	44,09 \$	44,09 \$	44,09 \$
Coût total/h	219,09 \$	219,09 \$	219,09 \$
Masse en tonnes (vertes)	206,24	2,52	35,15
Durée du déchiquetage (hh:mm:ss)	97:30:00	00:30:00	07:35:00
Durée du déchiquetage (déc.)	97,50	0,5	7,583
Masse/h (tonnes vertes)	2,12	5,03	4,64
Masse/h (t.a.)	1,13	3,24	2,37
Coût du déchiquetage/tonne verte	103,58 \$	43,56 \$	47,26 \$
Coût du déchiquetage/t.a.	194,20 \$	67,68 \$	92,60 \$
	Taille du copeau		
< 3 mm	8,00 %	4,00 %	
De 3 à 12,7 mm	48,00 %	22,00 %	
De 12,7 à 24,1 mm	41,00 %	48,00 %	
De 24,1 à 31,3 mm	2,00 %	12,00 %	Non analysé
> 31,3 mm	0,00 %	14,00 %	
Total	100,00 %	100,00 %	

Les tableaux 20, 21 et 24 présentent un résumé détaillé des copeaux produits par année d'établissement et par cultivar sous forme de « Total de la biomasse de boisement (tonnes) ». L'objectif du traitement des résidus de récolte en bordure de route était de créer un « copeau de la meilleure qualité possible » pour étudier les options de produits possibles. Pour ce faire, le contre-couteau et les couteaux du tambour ont été positionnés à leur espacement le plus étroit. La déchiqueteuse à tambour a été utilisée avec les grilles en place. Avec cette configuration, l'analyse des caractéristiques physiques effectuée par CanmetÉNERGIE-Ottawa a permis de déterminer que 56 % des copeaux produits étaient de moins de 12,7 mm et que 98 % étaient de 24,1 mm ou moins. La productivité était de 2,12 tonnes à l'heure, à un coût de 103,58 \$ la tonne. Les résidus traités avec le contre-couteau et les couteaux du tambour positionnés à leur espacement le plus large avec les grilles enlevées n'avaient que 26 % de copeaux de moins de 12,7 mm et 74 % à 24,1 mm ou moins. La productivité était de 5,03 tonnes à l'heure à un coût de 43,56 \$ la tonne.

Des opérations de broyage à l'aide du bol de broyage Haybuster 1130 ont été menées pour évaluer la productivité de l'équipement et le coût de traitement des balles de peuplier hybride et de saule, récoltés à l'aide de la presse BioBaler à partir des sites de biomasse concentrée. Elles ont été réalisées pour créer des produits de biomasse ligneuse de différentes tailles pour les utilisateurs finaux potentiels et obtenir la caractérisation physique et l'analyse physicochimique. On a effectué une série de démonstrations en traitant au moins 20 balles rondes de 1,22 m de diamètre nouvellement récoltées. Pour ce faire, on a utilisé le Haybuster 1130, équipé de différentes grilles avec des trous allant de cinq pouces (grilles de cinq pouces) à deux pouces (grilles de deux pouces). La productivité du Haybuster 1130 a varié de 12,86 tonnes par heure ou 21,77 \$ par tonne (grilles de cinq pouces), à 5,86 tonnes par heure ou 47,81 \$ par tonne (grilles de deux pouces) (tableau 30).

Tableau 30. Résumé opérationnel du bol de broyage Haybuster 1130 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie (2018-2019).

Grilles de traitement	Balles récoltées récemment					Balles stockées (3 ans et plus)	
	Grilles de 5 po	Grilles de 4 po	Grilles de 3 po	Grilles de 2 po	Grilles de 1 po*	Grilles de 2 po	Grilles de 1 po*
Coût/h du Haybuster 1130	50,00 \$	50,00 \$	50,00 \$	50,00 \$	50,00 \$	50,00 \$	50,00 \$
Coût/h du tracteur (Haybuster)	165,00 \$	165,00 \$	165,00 \$	165,00 \$	165,00 \$	165,00 \$	165,00 \$
Coût/h du tracteur (chargement)	65,00 \$	65,00 \$	65,00 \$	65,00 \$	65,00 \$	65,00 \$	65,00 \$
Coût total/h	280,00 \$	280,00 \$	280,00 \$	280,00 \$	280,00 \$	280,00 \$	280,00 \$
Masse (verte) en kg	8665,45	8003,22	7264,79	17063,87	9034,36	10850,05	5425,03
Durée du broyage (hh:mm:ss)	00:40:26	00:39:00	00:48:50	02:54:50	01:45:55	02:02:57	00:33:30
Durée du broyage (déc.)	0,67389	0,65000	0,81389	2,91389	1,76528	2,04917	0,55833
Masse/h (tonnes vertes)	12,86	12,31	8,93	5,86	5,12	5,29	9,72
Masse/h (t.a.)	7,07	6,77	4,91	3,22	2,81	4,11	7,53
Coût du broyage/tonne verte	21,77 \$	22,74 \$	31,37 \$	47,81 \$	54,71 \$	52,88 \$	28,82 \$
Coût du broyage/t.a.	39,59 \$	41,35 \$	57,03 \$	86,93 \$	99,47 \$	68,21 \$	37,17 \$

*Utilisation de matériel déjà traité avec des grilles de 2 po.

Pour effectuer la démonstration, le Haybuster 1130 était équipé de grilles avec des trous d'un pouce (grilles d'un pouce). Les balles ont d'abord été traitées à l'aide des grilles de deux pouces. La biomasse ligneuse paillée résultante a ensuite été chargée et traitée à nouveau avec le Haybuster 1130 équipé cette fois-ci de grilles d'un pouce. Le coût supplémentaire du retraitement à 5,12 tonnes par heure était de 54,71 \$ la tonne. Le coût final était de 102,52 \$ la tonne. Le coût comprenait le traitement des balles rondes produites par la presse BioBaler à une taille où plus de 95 % du matériel était inférieur à 24,1 mm (résumé précédemment dans le tableau 29).

D'autres démonstrations ont été réalisées à l'aide de balles historiques entreposées sur place lors d'activités de récolte antérieures. L'entreposage des balles (non couvertes) dans le champ a entraîné une réduction

d'environ 50 % de la teneur en humidité à 22,47 %, d'après le poids humide. L'entreposage à long terme des balles a également réduit le coût de traitement des balles nouvellement récoltées de 86,93 \$ à 68,21 \$ par t.a. à l'aide des grilles de deux pouces. Le matériel nouvellement récolté est passé de 99,47 \$ la tonne à 37,17 \$ par t.a. à l'aide de grilles d'un pouce. Le matériel plus ancien et plus sec a également donné un profil de taille physique plus petit : 96 % du matériel traité à partir de balles plus anciennes au moyen de grilles de deux pouces était d'une taille inférieure à 24,1 mm, comparativement à 68 % pour les balles nouvellement récoltées et traitées au moyen de grilles de deux pouces (tableau 14).



biomasse ligneuse de 2019

Le coût associé au transport de la biomasse ligneuse est un facteur important dans toute chaîne d'approvisionnement de la biomasse ligneuse. Le coût global est souvent considéré comme le facteur limitant de la faisabilité économique de l'utilisation de la biomasse ligneuse. Pour réduire le coût de transport de la biomasse ligneuse, une entreprise albertaine locale, Biomass Innovations Ltd. (de Drayton Valley, en Alberta), a conçu et construit un prototype d'unité de compactage de biomasse ligneuse alimentée par un moteur diesel de 165 HP. Le prototype consiste en une trémie de collecte équipée de convoyeurs à bande qui transportent la biomasse ligneuse dans l'unité de compactage et de mise en balles. La biomasse est acheminée vers un système de compactage et de mise en balles monté à l'arrière qui produit des balles rondes compactées (1,22 m de diamètre et 1,18 m de largeur).

Les balles sont enveloppées dans une pellicule biodégradable ou un plastique pesant en moyenne 584 grammes. L'unité est facilement chargée et transportée sur une remorque à plate-forme surbaissée, qui permet son transport d'un site à l'autre (figure 48). Dans le cadre du projet « Refining Woody Biomass Supply Chain Options through Technology Development and Analysis Using a Controlled Afforestation Biomass Production Site in Alberta », le personnel du CCFB a effectué une évaluation opérationnelle du prototype. À l'aide du matériel récolté à l'origine par la presse BioBaler et traité par le Haybuster 1130 au cours du test de caractérisation physique de la biomasse ligneuse, une série de tests ont été effectués sur le matériel traité avec des grilles d'un, de deux, de trois et de cinq pouces.



Figure 48. Test opérationnel du prototype d'unité de compactage de biomasse ligneuse au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Le test a produit un total de 81 balles récoltées par la presse BioBaler, avec en moyenne 300,4 kg/balle ou 162,4 kga/balle. Les balles ont totalisé 24 336 kg. Elles ont été traitées à nouveau à l'aide du Haybuster 1130 qui les a compactés en 37 balles, avec en moyenne 555 kg/balle ou 353,1 kga/balle. Cela comprenait 584 grammes d'emballage (tableau 31).

Chaque balle compactée correspondait à la taille des balles originales produites par la presse BioBaler, sauf que la densité apparente des balles compactées est passée de 210,7 kg/m³ à 402,2 kg/m³. L'augmentation de la densité apparente a accru la capacité de transport.

Cela a varié de 46,12 % pour le matériel traité au moyen du Haybuster 1130 équipé de grilles de cinq pouces, à 124,96 % pour le matériel traité au moyen du Haybuster 1130 équipé de grilles d'un pouce. Cela a permis de réduire les coûts de transport de la biomasse ligneuse. La faisabilité de l'intégration d'un traitement de compactage avant le transport du prototype testé de biomasse ligneuse serait directement proportionnelle à la distance du transport. Les renseignements opérationnels recueillis dans le cadre de ce test figurent à l'annexe XII.

Tableau 31. Résumé des balles du prototype d'unité de compactage de Biomass Innovations Ltd. évalué en 2019 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Taille du traitement	Grilles de 1 po	Grilles de 2 po	Grilles de 3 po	Grilles de 5 po	Tous
Résumé des balles de la presse BioBaler					
Balles de la presse BioBaler	21	21	19	20	81
Masse de la presse BioBaler	6775	5810	6219	5533	24336
Masse moyenne/balle (kg)	322,62	276,65	327,29	276,65	300,45
Teneur en humidité (humide)	49,50 %	44,35 %	50,50 %	39,50 %	45,96 %
kga	3421,38	3233,07	3078,16	3347,47	13150,65
Volume/balle (m ³)	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38
Densité apparente (kg/m ³)	226,21	193,98	229,49	193,98	210,67
Poids de la cargaison (kg, 42 balles/charge)	13550	11619,3	13746,18	11619,3	12618,75
Résumé des balles compactées					
Balles compactées	8	9	9	11	37
Masse des balles compactées	5806	5265	5012	4447	20530
Masse moyenne/balle (kg)	725,75	585,00	556,89	404,25	554,86
Teneur en humidité (humide)	41,35 %	39,05 %	39,05 %	25,97 %	36,35 %
kga	3405,49	3209,06	3054,86	3291,99	12961,39
Volume/balle (m ³)	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38
Densité apparente (kg/m ³)	526,13	424,10	403,72	293,06	402,24
Poids de la cargaison (kg, 42 balles/charge)	30481,50	24570,00	23389,33	16978,31	23303,98
Résumé de l'impact du compactage					
Changement de densité apparente (kg/m ³)	299,92	230,11	174,23	99,08	191,58
Augmentation de la densité apparente (%)	132,58 %	118,63 %	75,92 %	51,07 %	90,94 %
Changement de charge utile par camion (kg)	16931,50	12950,70	9643,15	5359,01	10685,23
Augmentation de la charge utile par camion (kg)	124,96 %	111,46 %	70,15 %	46,12 %	84,68 %



Discussion

Le site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie est un élément stable du réseau national de sites de CLCR, qui mettent en valeur les pratiques et le potentiel de croissance des CLCR au Canada. Au cours de la vie d'Ellerslie, l'objectif constant du Groupe du développement technique a été de trouver des solutions aux questions opérationnelles liées à l'établissement, à la gestion, à l'économie et à la durabilité des CLCR au Canada. La capacité d'évaluer les plantations de CLCR de biomasse concentrée et de boisement à rendement élevé en rotation complète à Ellerslie et de comparer les résultats avec d'autres protocoles d'établissement et de gestion à l'échelle du Canada a fourni des renseignements importants sur les répercussions des divers éléments nécessaires à la croissance, à la gestion et à l'utilisation de la biomasse ligneuse provenant des CLCR.

Ellerslie a accueilli de nombreux événements officiels d'échange de connaissances et de transfert technique pour des groupes locaux, nationaux et internationaux. Le site a été le lieu d'innombrables visites informelles pour les intervenants locaux, les représentants de l'industrie et les chercheurs scientifiques. Il a été le terrain d'essai et de démonstration pour la recherche opérationnelle et ciblée sur les CLCR au Canada. Le site a été le foyer de tests de recherche opérationnels qui ont permis la conception, l'élaboration, l'amélioration et la validation des protocoles d'établissement et de gestion de CLCR, des modèles de croissance, de rendement et de pertinence du site, de la biomasse ligneuse utilisée pour les projets de CLCR, de revégétalisation industrielle, de restauration et de biorestoration au Canada.

Ellerslie a également accueilli des évaluations continues et des tests opérationnels pour les options de récolte, de traitement et de chaîne d'approvisionnement intermédiaire de la biomasse ligneuse afin de faire

progresser la livraison et l'utilisation de la biomasse ligneuse au Canada. Le site a été utilisé pour de nombreux tests de recherche sur les CLCR incluant, sans toutefois s'y limiter :

1. les tests de croissance clonale et de rendement pour les cultivars de peuplier hybride, de peuplier faux-tremble, de tremble hybride et de saule;
2. la comparaison des stocks de carbone et de la sortie des peuplements de peupliers hybrides à la surface du sol avec d'autres affectations des terres;
3. les stocks de carbone dans les écosystèmes et la répartition selon les différentes affectations des terres;
4. la fertilité du sol et la durabilité de la production de cultures ligneuses à courte rotation pour la bioénergie;
5. la respiration des sols dans quatre systèmes d'utilisation des terres;
6. les échanges de carbone, d'eau et d'énergie d'une plantation de peupliers hybrides;
7. l'évapotranspiration, la transmission de surface et l'efficacité d'utilisation de l'eau de deux jeunes plantations de peupliers hybrides;
8. l'âge et la productivité du peuplement, contrôle de la sortie de dioxyde de carbone dans le sol et la dynamique du carbone organique.

Les auteurs comprennent que les raisons de l'établissement des CLCR diffèrent grandement entre les divers intervenants et propriétaires fonciers. Ellerslie a offert une occasion unique d'évaluer (de l'établissement jusqu'à l'utilisateur final) la croissance

et le rendement, la caractérisation physique et chimique, la séquestration du carbone, les aspects économiques associés aux plantations de boisement à rendement élevé (peuplier hybride et tremble) et de boisement concentré (saule et peuplier hybride) au Canada. Pour évaluer les résultats de la recherche opérationnelle menée à Ellerslie, il faut comprendre les buts (objectifs de gestion) du Groupe du développement technique responsable de l'établissement et de la gestion de la recherche opérationnelle de CLCR. Les objectifs de gestion étaient simples : maximiser la croissance et réduire au minimum les coûts associés à la croissance de la biomasse ligneuse à l'aide de techniques de CLCR. Les principales conclusions de la recherche opérationnelle menée à Ellerslie pour atteindre ces objectifs de gestion sont vastes. Toutefois, elles peuvent être résumées par les étapes de l'établissement, de la gestion, de la récolte et du traitement de la biomasse ligneuse au moyen de l'évaluation de la croissance, du rendement et des répercussions économiques des CLCR.

Principale conclusion n° 1 - Sélection d'un site (les terres de meilleure qualité produisent plus de biomasse ligneuse à moindre coût lorsque des protocoles d'établissement et de gestion cohérents et éprouvés sont déployés)

Le Groupe du développement technique a eu la chance de mener des recherches opérationnelles sur des terres que l'Inventaire des terres du Canada pour l'agriculture répertorie comme étant de classe 1. Ce type de site est généralement décrit comme étant plat à pratiquement plat, profond, et bien à imparfaitement drainé. Il possède également une capacité efficace de rétention d'éléments nutritifs et d'eau. Le site de recherche de l'Université de l'Alberta a fourni l'emplacement pour évaluer le potentiel de croissance des CLCR dans les Prairies. Étant donné que les ressources financières disponibles sont limitées et que des décisions sont nécessaires pour déterminer les terres pertinentes pour les CLCR, le SCF a élaboré un système de modélisation de l'indice de pertinence du site (Joss et coll., 2008) pour prédire la croissance et le rendement des CLCR sur les terres agricoles au Canada (figure 49). Une validation et une évaluation exhaustives des résultats modélisés avec un échantillonnage réel du

site de boisement à rendement élevé ont confirmé que « les terres de meilleure qualité produisent plus de biomasse ligneuse à moindre coût lorsque des protocoles d'établissement et de gestion cohérents et éprouvés sont déployés ».

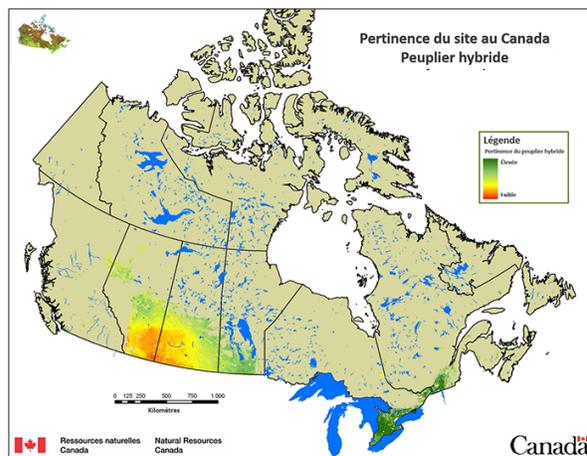


Figure 49. Indice de pertinence du site au Canada pour le peuplier hybride. (Crédit image : B. Joss)

Le terme « terres marginales » a été utilisé à de nombreuses reprises lors de l'évaluation du potentiel de CLCR au Canada. Un facteur important dont il faut tenir compte lorsqu'on parle de « terres marginales » est qu'on estime qu'elles ne sont pas toutes égales. Il peut y avoir une raison différente pour désigner chaque endroit comme « marginal ». Ces raisons ou facteurs doivent être établis et intégrés au coût estimatif de préparation du site. Un autre facteur important est que les attentes en matière de croissance doivent être définies en conséquence, selon la ou les raisons pour lesquelles l'endroit est jugé « marginal ». L'outil de modélisation de l'indice de pertinence du site du SCF est un moyen éprouvé pour estimer le potentiel de croissance et de rendement (si l'évaluation des CLCR est viable). La figure 50 illustre les résultats estimatifs (site d'Ellerslie - IPS) et réels de la croissance et du rendement pour le site de recherche opérationnelle de boisement à rendement élevé Forêt 2020 de 2004 à Ellerslie.

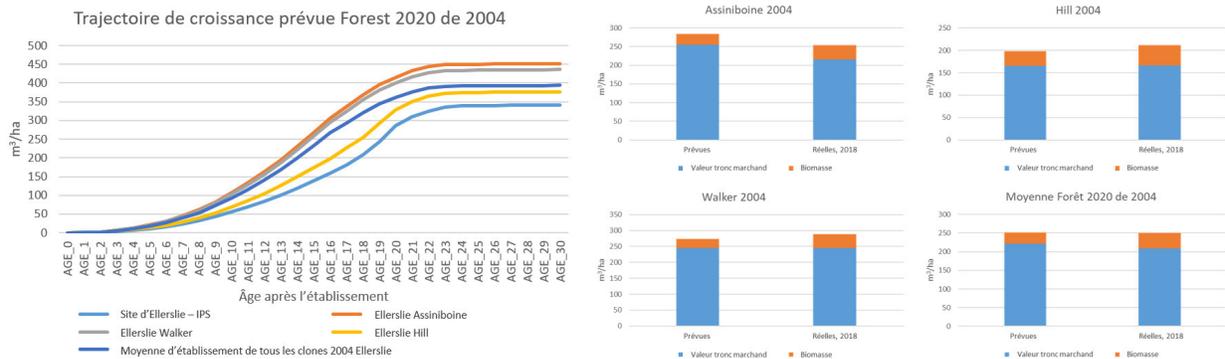


Figure 50. Volumes de récolte prévus et réels [2018] pour le site de boisement à rendement élevé Forêt 2020 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Principale conclusion n° 2 - Préparation du site (créer un environnement dans lequel les arbres aiment pousser)

L'établissement de plantations de CLCR réussies est une entreprise coûteuse. Le coût du matériel de reproduction nécessaire pour la première année est l'une des principales composantes du coût élevé. C'est pourquoi il est essentiel de veiller à ce que les traitements de préparation du site « créent un environnement dans lequel les arbres aiment pousser ». Les CLCR exigent des sols mixtes adéquats qui leur permettront de prospérer pendant toute leur rotation de 12 à 25 ans afin de réaliser le potentiel de croissance et de permettre aux intervenants et aux propriétaires fonciers de réaliser les avantages économiques. La recherche opérationnelle à Ellerslie, associée à des évaluations de plantations dans les Prairies, a confirmé que les plantations de CLCR nécessitent un environnement d'enracinement approprié de 25 à 30 cm sur l'ensemble de la plantation, pour que les semis puissent s'enraciner plus profondément dans le sol. Cela permet aux semis d'être mieux préparés à affronter les effets des événements climatiques périodiques, tels que la sécheresse et les inondations. Le paysage est parsemé d'exemples d'arbres plantés dans un environnement de boisement qui n'ont pas réalisé leur plein potentiel. Dans de nombreux cas, la réduction de la croissance à long terme peut être liée à une préparation du site et à une gestion de la végétation inadéquates. Les tentatives de réduction des coûts de préparation des sites des plantations de CLCR au moyen d'options sélectives de préparation du site le long de la rangée de plantation ont entraîné une réduction de la croissance à long terme et une augmentation des coûts de gestion de la végétation. On peut obtenir ce

résultat soit en réalisant un mélange en profondeur intermittent à l'aide d'un traitement de préparation de site au moyen d'une dent défonceuse étroite, soit en limitant la profondeur de mélange à l'aide d'accessoires de disquage incorrects. Ces traitements sont tous contre-productifs et accroissent le risque de mortalité et les coûts de la biomasse ligneuse en rotation. Ces options renoncent à la croissance du volume à long terme pour un avantage à court terme.

Principale conclusion n° 3 - Sélection de clones (faites vos recherches)

Les espèces à croissance rapide comme le peuplier hybride et le saule présentent des avantages comparables quant à la capacité de rendement et de restauration. Chacune d'entre elles possède un grand nombre de variétés clonales qui nécessitent des environnements différents pour prospérer. Bien que les différents clones puissent sembler similaires, tous les clones ne conviennent pas à tous les emplacements. La clé pour choisir les clones les plus pertinents pour votre emplacement précis est de « faire vos recherches ». Il existe de nombreuses options pour vous aider à choisir des variétés clonales qui conviennent à votre endroit. Communiquez avec les propriétaires fonciers locaux qui possèdent des plantations de peupliers hybrides ou de saule, ou communiquez avec des experts en boisement de votre région pour obtenir des conseils. Le Groupe du développement technique a participé à l'établissement et à la surveillance des plantations de CLCR partout au Canada avec des experts régionaux. Ils peuvent être en mesure de vous aider à contacter des experts locaux pour sélectionner les clones adaptés à votre région.

Principale conclusion n° 4 – Sélection du système de CLCR (sélectionnez le système qui correspond le mieux à vos objectifs de gestion)

Les trois types les plus courants de plantations (systèmes) de CLCR sont les plantations de boisement à rendement élevé, de boisement mixte et de biomasse ligneuse concentrée. La clé est de choisir le système qui « correspond le mieux à vos objectifs de gestion ». Chaque système a ses avantages et ses obstacles opérationnels et une série d'utilisations finales possibles au moment de la récolte (tableau 32). Par exemple, les plantations de boisement à rendement élevé et de boisement mixte devraient avoir des troncs de grand diamètre (> 20 cm) avec un rapport aubier sur écorce élevé permettant une utilisation pour les produits forestiers conventionnels. Ces produits comprennent le bois d'œuvre, la pâte, les panneaux de lamelles orientées et la biomasse ligneuse. Les plantations de biomasse concentrée devraient avoir des troncs de petit diamètre (< 10 cm) avec un rapport écorce sur aubier élevé dont l'utilisation principale est la biomasse ligneuse.

Peu importe le système de CLCR choisi, la réalisation des opérations de récolte en 2018 à Eilerslie a permis de constater des différences minimales dans les rendements de biomasse ligneuse entre les systèmes de boisement à rendement élevé et de biomasse concentrée (tableau 33). La biomasse ligneuse récoltée entre la septième et la quatorzième année de croissance (interprétée comme le volume annuel maximal de récolte sur la base du cycle de vie du site) a donné lieu à une récolte moyenne de 10,60 tonnes vertes par hectare, par année. Cela concorde avec la récolte moyenne des sites de boisement à rendement élevé de 10,58 tonnes vertes par hectare, par année, en 2005.

Dans l'ensemble, le Groupe du développement technique recommande qu'une moyenne de six à dix tonnes anhydres par hectare, par année, soit utilisée pour la production de CLCR en rotation complète pendant l'étape de planification.

Tableau 32. Avantages opérationnels potentiels, obstacles et utilisations finales pour les systèmes de CLCR.

Avantages	Obstacle	Utilisations finales
Boisement à rendement élevé		
Options de produits multiples	Rotation unique	Produits forestiers ordinaires
Diminution des coûts d'établissement	Long délai avant la récolte	
Potentiel de stockage du carbone plus long		Biomasse ligneuse
Diminution des coûts de récolte		
Équipement de récolte facilement disponible		
Boisement mixte		
Même chose que le boisement à rendement élevé	Augmentation des coûts de récolte	Produits forestiers ordinaires
Durée la plus longue du couvert forestier (> 80 ans)	Long délai avant la récolte	
Potentiel de stockage de carbone étendu		Biomasse ligneuse
Biomasse concentrée		
Rotations multiples	Augmentation des coûts d'établissement	Biomasse ligneuse
Réduction des temps d'attente pour l'utilisation de la biomasse	Augmentation des coûts de récolte	
	Manque d'équipement de récolte disponible	

Tableau 33. Rendements annuels de biomasse ligneuse (tonnes vertes par hectare par année) pour les sites de boisement à rendement élevé et de biomasse concentrée au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Site	Âge	Min.	Max.	Moyenne
Boisement à rendement élevé				
Sites en 2002	17	9,86	15,99	12,39
Sites en 2004	15	10,42	13,98	13,15
Sites en 2005	14	7,57	11,98	10,58
Biomasse concentrée				
Sites en 2005 (3 ^e rotation uniquement)	14	1,89	20,18	10,60

Principale conclusion n° 5 - Aspects économiques des CLCR (assurez-vous de comprendre où vous atterrirez avant de sauter)

Comme on l'a vu précédemment, les objectifs de gestion du Groupe du développement technique étaient de maximiser la croissance et de minimiser les coûts. Lors de l'évaluation de la croissance, les résultats de la recherche opérationnelle à Ellerslie montrent que la croissance des systèmes de CLCR de boisement à rendement élevé et de biomasse ligneuse concentrée était cohérente lorsque les protocoles d'établissement et de gestion recommandés pour les CLCR étaient suivis. Les résultats valident également les avantages du point de vue de la croissance et des coûts, avec l'intégration des traitements de préparation de tout le site à une profondeur de 25 à 30 cm au moyen d'instruments agricoles existants. Les tests de gestion opérationnelle de la végétation ont confirmé l'importance

de maintenir un site exempt de végétation concurrente jusqu'à la fermeture du couvert. Ils ont également validé le rapport coût-efficacité et les avantages écologiques de la culture mécanique superficielle (profondeur de 2 à 5 cm). Dans certains cas, il est possible de choisir les applications d'herbicides chimiques comme traitement de choix. Celui-ci peut être moins difficile à mettre en œuvre, mais les coûts globaux sont souvent plus élevés pour obtenir les mêmes résultats en matière de gestion de la végétation.

Pour évaluer les répercussions des options de CLCR d'un point de vue économique, le Groupe du développement technique a participé à une analyse économique des options de CLCR à partir des résultats de recherche opérationnelle d'Ellerslie. Les résultats (tableau 34) ont montré que le boisement à rendement élevé présentait le plus grand potentiel économique. Les plantations de style verger ont réduit les coûts d'établissement et de récolte et ont produit le plus grand volume potentiel de fibres par hectare.

Tableau 34. Résumé de l'analyse économique des CLCR intégrant les données obtenues au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Conception de CLCR	Boisement à rendement élevé			Biomasse concentrée		
Espèce	Peuplier hybride et/ou tremble hybride			Peuplier hybride et/ou saule		
Conception de gestion	De 1 100 à 1 600 troncs/ha			1 rangée (9 260 troncs par ha)	2 rangées (14 815 troncs par ha)	3 rangées (15 625 troncs par ha)
Productivité du site	Faible	Moyenne	Élevée	Rendements estimatifs maximaux		
Âge de rotation (années)	20	20	20	22	22	22
Rotations	1	1	1	7	7	7
DHP moyen de l'arbre à la récolte (cm)	25-30	25-30	25-30	< 10	< 10	< 10

(Suite à la page 65)

(Suite de la page 64)

Conception de CLCR	Boisement à rendement élevé			Biomasse concentrée		
Espèce	Peuplier hybride et/ou tremble hybride			Peuplier hybride et/ou saule		
Conception de gestion	De 1 100 à 1 600 troncs/ha			1 rangée (9 260 troncs par ha)	2 rangées (14 815 troncs par ha)	3 rangées (15 625 troncs par ha)
	Faible	Moyenne	Élevée	Rendements estimatifs maximaux		
Hauteur moyenne à la récolte (m)	18-24	18-24	18-24	4-6	4-6	4-6
Rendement de troncs/ha à la récolte (m ³)	285,54	361,58	415,38	S.O.	S.O.	S.O.
Rendement de biomasse/ha à la récolte (m ³)	22,13	30,72	23,97	S.O.	S.O.	S.O.
Rendement aérien total/ha à la récolte (m ³)	307,67	392,30	439,35	S.O.	S.O.	S.O.
Biomasse souterraine totale/ha à la récolte (m ³)	71,16	90,11	103,51	S.O.	S.O.	S.O.
Rendement total du site/ha disponible à la récolte (m ³)	378,83	482,40	542,86	S.O.	S.O.	S.O.
Rendement aérien total (arbre entier)/ha/an (m ³)	15,38	19,61	21,97	S.O.	S.O.	S.O.
Rendement de troncs/ha à la récolte (t.a.)	109,52	138,68	164,30	S.O.	S.O.	S.O.
Rendement de biomasse/ha à la récolte (t.a.)	8,49	11,78	9,48	241,00	241,00	241,00
Rendement aérien total/ha à la récolte (t.a.)	118,01	150,46	173,78	241,00	241,00	241,00
Biomasse souterraine totale/ha à la récolte (t.a.)	27,29	34,56	40,94	S.O.	S.O.	S.O.
Rendement total du site/ha disponible à la récolte (t.a.)	145,30	185,02	214,73	241,00	241,00	241,00
Rendement aérien total (arbre entier)/ha/an (t.a.)	5,90	7,52	8,69	10,95	10,95	10,95
Données économiques sur les CLCR						
Coûts d'établissement et de gestion/ha	3 250,00 \$	3 250,00 \$	3 250,00 \$	6 717,00 \$	9 216,75 \$	9 581,25 \$
Coûts d'établissement et de gestion/t.a.	27,54 \$	21,60 \$	18,70 \$	27,87 \$	38,24 \$	39,76 \$
Coût de récolte/t.a.	25,90 \$	25,90 \$	25,90 \$	52,36 \$	52,36 \$	52,36 \$
Coût de traitement/t.a.	19,19 \$	16,45 \$	14,39 \$	31,66 \$	31,66 \$	31,66 \$
Coût de transport/t.a (rayon de 50 km)	16,79 \$	16,79 \$	16,79 \$	16,79 \$	16,79 \$	16,79 \$
Coûts de récolte, de traitement et de transport (50 km)/t.a.	61,88 \$	59,14 \$	57,08 \$	100,81 \$	100,81 \$	100,81 \$
Coût livré total/t.a.	89,42 \$	80,74 \$	75,79 \$	128,68 \$	139,05 \$	140,56 \$
Valeur de la biomasse livrée/t.a. (à 50 \$/tonne verte + 50 % TH)	100,00 \$	100,00 \$	100,00 \$	100,00 \$	100,00 \$	100,00 \$
Valeur nette de la biomasse livrée/t.a. (à 50 \$/tonne verte + 50 % TH)	10,58 \$	19,26 \$	24,21 \$	-28,68 \$	-39,05 \$	-40,56 \$

Ces conclusions de Jensen et coll. (2021) sont conformes aux conclusions de Shooshtarian et coll. (2018). L'intégration de valeurs non opérationnelles peut créer des scénarios où n'importe quel système de CLCR est viable. La clé est de « vous assurer que vous comprenez où vous allez atterrir avant de sauter ». Plus précisément, il faut comprendre que, une fois établies, les options de gestion, de récolte et de production du système de CLCR choisis ont toutes des répercussions économiques à long terme. L'intégration des valeurs associées aux compensations des émissions de carbone pourrait améliorer le scénario économique de chaque scénario de CLCR. Cependant, les résultats montrent que les valeurs livrées nettes associées à la faible productivité des sites de boisement à rendement élevé sont supérieures aux rendements estimatifs maximaux de biomasse concentrée, qui demeurent inchangés. Cela est dû au fait que les valeurs de compensation sont liées au rendement de biomasse et ne s'appliquent qu'aux utilisateurs finaux.

En 2020, divers obstacles ont empêché les propriétaires fonciers de tirer des revenus des plantations de boisement. Les principaux obstacles en 2020 ont été : 1) l'absence de protocoles de boisement cohérents à l'échelle du pays au Canada; et 2) la disponibilité d'options pour les propriétaires fonciers et les intervenants non industriels afin de tirer un avantage monétaire de la séquestration du carbone.

Les résultats de la recherche appliquée sur le boisement menée par le CCFB au site d'Ellerslie

(figure 51) montrent que les plantations de peupliers hybrides à rendement élevé, vieilles de 15 ans et commercialisables, ont entraîné une augmentation moyenne du carbone du site de 78 à 164 tonnes par hectare, ou 110 % par rapport aux niveaux de préétablissement. Les 57,58 % de carbone résultants ont été récoltés et emportés hors site, tandis que 42,42 % sont demeurés sur place après les opérations de récolte. Les plantations de boisement (dans un scénario agricole) permettent des rotations de cultures plus longues et entraînent une augmentation des puits de séquestration du carbone ou des compensations. S'il existait un protocole pancanadien de CLCR, les propriétaires fonciers seraient en mesure d'obtenir un taux de rendement constant de leurs plantations chaque année avant la récolte finale.

Les opérations de récolte et de surveillance associées à l'exécution de la recherche opérationnelle en rotation complète de CLCR à Ellerslie ont confirmé les projections de croissance associées aux protocoles d'établissement et aux modèles de pertinence des sites de boisement à rendement élevé. Ces protocoles ont été élaborés par des chercheurs opérationnels du SCF. Ils comprenaient des renseignements validés de l'établissement jusqu'à l'utilisateur final sur des sujets comme la croissance et le rendement, la caractérisation physique et chimique, la séquestration du carbone, les aspects économiques associés aux plantations de boisement à rendement élevé (peuplier hybride et tremble) et de boisement concentré (saule et peuplier hybride) au Canada.

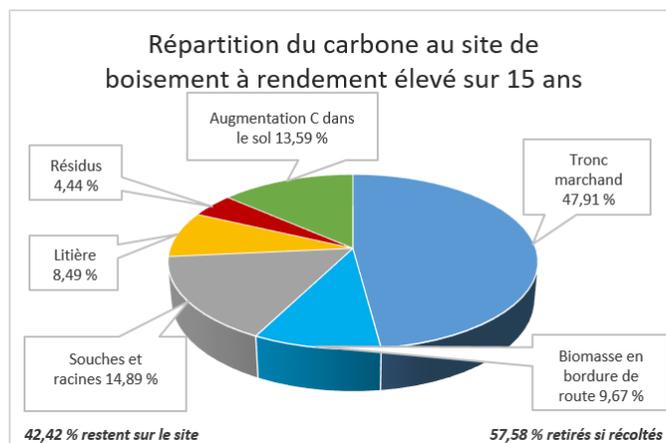


Figure 51. Résumé des composantes de carbone utilisées et résiduelles des plantations de boisement à rendement élevé de 2004 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.



Remerciements

Le présent abrégé résume la recherche à long terme menée par le Groupe de développement technologique du CCFB en collaboration avec les spécialistes des sols et du climat du SCF, notamment les docteurs Jagtar Bhatti, Barbara Kishchuk et David Price, tous financés par les initiatives fédérales et provinciales sur les changements climatiques, la bioénergie, l'innovation forestière et le développement communautaire de 2002 à 2021. Les auteurs tiennent à souligner le soutien, l'aide et la coopération de toutes les personnes qui ont participé à la récolte du site de développement technique de CLCR d'Ellerslie. Une reconnaissance spéciale doit être adressée à Alanna Fenton, à Tim Lees et au personnel de Big Bite Services Ltd., à Arron St Louis et au personnel de Biomass Innovations Ltd., à Amos et au personnel de Pat's Heavy Hauling, et à Sylvis Environmental Services. Le financement des opérations de récolte, de la surveillance et de l'analyse a été fourni dans le cadre du projet d'innovation forestière « Refining Woody Biomass Supply Chain Options through Technology Development and Analysis Using a Controlled Afforestation Biomass Production Site in Alberta » et du projet « Wood Biomass Recovery, Pre-Processing and Supply Chain Optimization of Mature Ellerslie Short Rotation Woody Crop (SRWC) Technical Development Site » d'Alberta Innovates.

De l'établissement à la récolte, de nombreux chercheurs et employés de divers organismes gouvernementaux et du milieu universitaire ont utilisé le site de développement technique de CLCR d'Ellerslie; leur travail, leurs directives et leurs « empreintes » se trouvent partout dans le site. Ces groupes ont joué un rôle déterminant dans la rédaction du présent rapport. Bien que ces groupes sont trop nombreux pour être mentionnés individuellement, leur aide a été grandement appréciée au fil des ans. Soulignons à tout le moins l'apport précieux des personnes suivantes : Dick Puurveen, Susan Cassidy, Nancy Mayo, Cheryl Ritz, Jared Salvail, Mike Hobbs, Alberto Orchansky, Lionel Jensen, Karl Benke, Shaun Ridell, Alex Evans, Antoine Blanchette, Hughie Jones, Kirsten Mortensen, Cassy Stor, Brent Joss, Tony Kryzanowski et Wendy Mills. Les auteurs vous sont éternellement redevables!

Nous tenons à remercier tout particulièrement Darren Allen, Steve D'Eon et surtout Kathryn McCaffrey, Eric Sementilli et Christine Durocher pour leur soutien en matière de révision et de rédaction, Julie Piché et Marie-Pier Schryer Lafrenière pour leur soutien en matière de conception graphique, ainsi qu'Anthony Bourgoïn pour son aide dans le processus de révision.



Ouvrages de référence

- Agriculture et Agroalimentaire Canada. (18 avril 2016). Inventaire des terres du Canada. Extrait de février 2019 de la Base nationale de données sur les sols : <https://sis.agr.gc.ca/siscan/nsdb/cli/index.html>
- Alberta Agriculture and Forestry. (21 février 2018). Alberta Soil Information Centre. Consulté en février 2019 dans Alberta Soil Information Viewer : <https://soil.agric.gov.ab.ca/agrasidviewer/>
- Arevalo, C.B.M., D. Sidders et coll., 2009. Ecosystem carbon stocks and distribution under different land-uses in north central Alberta, Canada. *Forest Ecology and Management* 257(8): 1776-1785.
- Arevalo, C.B.M., D. Sidders et coll., 2010. Distribution of recent photosynthates in saplings of two hybrid poplar clones. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 41: 1004-1015.
- Arevalo, C.B.M., D. Sidders et coll., 2010. Soil respiration in four different land use systems in north central Alberta, Canada. *Journal of Geographical Research* 115, G01003.
- Arevalo, C.B.M., D. Sidders et coll., 2011. Land use change effects on ecosystem carbon balance. *Agriculture, Ecosystems, and Environment* 141: 342-349.
- Arevalo, C.B.M., D. Sidders et coll., 2012. Mineralization potential of soil organic carbon under different land uses in the parkland region of Alberta, Canada. *Soil Science Society of America Journal* 76(1): 241-251.
- Environnement et Changement climatique Canada. (15 février 2017). Données des stations pour le calcul des normales climatiques au Canada de 1981 à 2010. Extrait en février 2019 du site : https://climat.meteo.gc.ca/climate_normals/results_1981_2010_f.html?stnID=1865&autofwd=1
- Grunert, S., 2007. Characterization of Willow. Rapport confidentiel de FPInnovations-Paprican, p. 4.
- Hall, R.J., B.N. Joss, D.M. Sidders et T.J. Keddy. 2004. The FAACS backcast: Afforestation activity in the Prairie Provinces (1990-2002). *The Forestry Chronicle* 80 (6): 727-735.
- Huntley, S., 2008. Chemical and Physical Characterization of Coppiced Hardwoods. Rapport confidentiel de FPInnovations-Paprican, p. 25.
- Huntley, S., Woo, K. et Bicho, P., 2011. Canadian Wood Fibre Centre-Boreal Plains. Rapport confidentiel de FPInnovations-Paprican, p. 42.
- Jensen, T., Keddy, T. et Sidders, D., Economic impacts of short rotation woody crops in Canada. *The Forestry Chronicle*. 97(3): 266-270. <https://doi.org/10.5558/tfc2021-029>
- Joss, B.N., R.J. Hall, D.M. Sidders et T.J. Keddy, 2008. Fuzzy-logic modeling of land suitability for hybrid poplar across the Prairie Provinces of Canada. *Environmental Monitoring and Assessment* 141: 79-96.
- Keddy, T. et D. Sidders, 2009. Operators Guide to Operations for the Establishment and Management of Afforestation Plantations. p. 19.
- Keddy, T., B. Joss et D. Sidders, 2009. Short Rotation Woody Crops Field Tour Guide. Canadian Forest Service, Canadian Wood Fibre Centre, Edmonton, AB: Ressources naturelles Canada.
- Mazerolle, D. et B. Bronson. 2019. Properties of Short Rotation Crops from Ellerslie Site. Ottawa CanmetÉNERGIE. p. 29.
- Ontario Ministry of Natural Resources (1991) A grower's guide to hybrid poplar. Ontario Ministry of Natural Resources Queen's Printer, Toronto, p. 148.

- Oveisi, E., Sokhansani, S., Lau, A.K., 2013. Storage of round aspen (*Populus tremuloides* Michx.) bales made from juvenile regenerated plants. CSBE/SCGAB Annual Conference, The Canadian Society for Bioengineering. Paper No CSBE13-091, Saskatoon, Saskatchewan. pp. 1-10.
- Poplar and Willow Council of Canada (2014). The Clone Directory. Extrait en février 2019 du site <http://www.poplar.ca/clone-directory>
- Savoie, P., Sidders, D. et coll. 2013. Harvest of short-rotation woody crops in plantations with a BioBaler. Energy and Power Engineering 5:39-47.
- Shooshtarian, A., Anderson, J. A., Armstrong, G.W, Luckert, M.K. 2018. Growing hybrid poplar in western Canada for use as a biofuel feedstock: A financial analysis of coppice and single-stem management, Biomass and Bioenergy 113 (2018): 45-54.
- Sidders, D. et T. Keddy. 2015. Short-rotation Wood Crop Systems Development: Practices, optimization, growth and valuation for Bioenergy Production in Canada. BioFuelNet Canada. Centre canadien sur la fibre de bois. 23 Juillet. Consulté en décembre 2019 : http://www.biofuelnet.ca/nce/wp-content/uploads/2015/08/Derek-Sidders-Natural-ressources-July-23_15.pdf
- Sidders, D., Keddy, T. et Kischuk, B., 2004. Measuring and Monitoring Afforestation Plantations: A Practical Carbon and Fibre Yield Assessment Procedure for Newly Established Plantations on Lands that Qualify as Reforestation or Afforestation, as defined under the Kyoto Protocol. p. 16.
- Sun, S., Bhatti, J.S., Jassal, R.S., Chang, S.X., Arevalo, C., Black, t.a. et Sidders, D. (2015). Stand Age and Productivity Control Soil Carbon Dioxide Efflux and Organic Carbon Dynamics in Poplar Plantations. Soil Science Society of America Journal, 79: 1638-1649. <https://doi.org/10.2136/sssaj2015.06.0233>
- Treehugger. (2020). The Hybrid Poplar. <https://www.treehugger.com/the-hybrid-poplar-1343352>
- Uy, N. 2007. Analysis of Young Willow Trees Using SilviScan. Rapport confidentiel de FPInnovations-Paprican, p. 12.
- Volk, t.a., Sidders, D., et coll. 2011. Yields of willow biomass crops across a range of sites in North America. Aspects of Applied Biology No.112 pp.67-74 ref.9.
- Wetzel, S., T. Keddy, J. Fera, S. Krigstin, F. Pitre, J. Laganiere, P. Hazlett et D. Sidders. 2018. "Canada's Forests and the Bioeconomy: Potential Solutions to Climate Change." Institut forestier du Canada. Centre canadien sur la fibre de bois. 28 février. Consulté en décembre 2019. <https://www.cif-ifc.org/wp-content/uploads/2017/12/Final-Presentation-CIF-e-Lecture-CRP-3.3.pdf>.
- Xiao He, Anthony K. Lau a, Shahab Sokhansanj, C. Jim Lim, Xiaotao T. Bi, Staffan Melin, Timothy Keddy. 2013. Moisture sorption isotherms and drying characteristics of aspen (*Populus tremuloides*), Biomass and Bioenergy 57: 161-167.



Annexe I

Tableau A1. Peupliers hybrides, trembles hybrides et clones de saule testés dans des plans de gestion de boisement à rendement élevé et de biomasse concentrée au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie, à Edmonton, en Alberta.

Espèce	Nom du clone	Autre nom	Ascendance
Peuplier hybride	Assiniboine	OPW-130L-86	<i>P. deltoides</i> × <i>P.</i> × <i>petrowskyana</i> ¹
Peuplier hybride	Brooks 1	Griffin	<i>P. deltoides</i> × <i>P.</i> × <i>petrowskyana</i> ²
Peuplier hybride	Brooks 6	Green Giant	<i>P. deltoides</i> × <i>P.</i> × <i>petrowskyana</i> ²
Peuplier hybride	DN-17	Robusta	<i>P. deltoides</i> × <i>P. nigra</i>
Peuplier hybride	DN-182	Raverdeau	<i>P. deltoides</i> × <i>P. nigra</i>
Peuplier hybride	DN-2	Baden 431	<i>P. deltoides</i> × <i>P. nigra</i>
Peuplier hybride	DN-34	Imperial, Eugenei	<i>P. deltoides</i> × <i>P. nigra</i>
Peuplier hybride	DN-5	Gelrica	<i>P. deltoides</i> × <i>P. nigra</i>
Peuplier hybride	DN-74		<i>P. deltoides</i> × <i>nigra</i>
Peuplier hybride	Hill	FNS 44-55	<i>P. deltoides</i> × <i>P.</i> × <i>petrowskyana</i> ²
Peuplier hybride	Katepwa	OPW-180H-86	<i>P. deltoides</i> × <i>P.</i> × <i>petrowskyana</i> ¹
Peuplier hybride	NM-06	Max-5	<i>P. nigra</i> × <i>P. maximowiczii</i>
Peuplier hybride	Northwest		<i>P. deltoides</i> × <i>P. balsamifera</i>
Peuplier hybride	P-Chey		<i>P. deltoides</i> × <i>P. deltoides</i>
Peuplier hybride	P38P38	Peuplier du Québec	<i>P. balsamifera</i> × <i>P. simonii</i>
Peuplier hybride	Prairie Sky	MRS 78101	<i>P. deltoides</i> × <i>P. nigra</i>
Peuplier hybride	Q-1150		
Peuplier hybride	Tristis		<i>P. balsamifera</i> × <i>P. tristis</i>
Peuplier hybride	Walker	FNS 44-52	<i>P. deltoides</i> × <i>P.</i> × <i>petrowskyana</i> ²
Tremble amélioré	1115		<i>P. tremuloides</i> × <i>P. tremula</i>
Tremble amélioré	1122		<i>P. tremuloides</i> × <i>P. tremula</i>
Tremble amélioré	1126		<i>P. tremuloides</i> × <i>P. tremula</i>
Tremble amélioré	1152		<i>P. tremuloides</i> × <i>P. tremula</i>
Tremble amélioré	1156		<i>P. tremuloides</i> × <i>P. tremula</i>
Tremble amélioré	1157		<i>P. tremuloides</i> × <i>P. tremula</i>
Tremble amélioré	1160		<i>P. tremuloides</i> × <i>P. tremula</i>
Tremble amélioré	3047		<i>P. tremuloides</i> × <i>P. tremula</i>

[Suite à la page 71]

(Suite de la page 70)

Espèce	Nom du clone	Autre nom	Ascendance
Tremble amélioré	3085		<i>P. tremuloides</i> × <i>P. tremula</i>
Tremble amélioré	3085		<i>P. tremuloides</i> × <i>P. tremula</i>
Tremble amélioré	3089		<i>P. tremuloides</i> × <i>P. tremula</i>
Tremble amélioré	3104		<i>P. tremuloides</i> × <i>P. tremula</i>
Tremble amélioré	3106		<i>P. tremuloides</i> × <i>P. tremula</i>
Tremble amélioré	3109		<i>P. tremuloides</i> × <i>P. tremula</i>
Tremble amélioré	3120		<i>P. tremuloides</i> × <i>P. tremula</i>
Tremble amélioré	19309		<i>P. tremuloides</i> × <i>P. tremula</i>
Tremble amélioré	94-007-A		<i>P. tremuloides</i> × <i>P. tremula</i>
Saule	94001		<i>S. purpurea</i>
Saule	00X-026-082		<i>S. eriocephala</i>
Saule	00X-032-094		<i>S. eriocephala</i>
Saule	9832-49		<i>S. eriocephala</i>
Saule	9837-077		<i>S. eriocephala</i>
Saule	Acute	Saule à feuilles aiguës	<i>S. acutifolia</i>
Saule	Allegany	99239-015	<i>S. koriyanagi</i>
Saule	Alpha		<i>S. viminalis</i>
Saule	Canastota	9970-036	<i>S. miyabeana</i>
Saule	Charlie		<i>S. alba</i> × <i>S. x glatfelterii</i> ³
Saule	Cicero	9870-001	<i>S. miyabeana</i>
Saule	Fish Creek	9882-34	<i>S. purpurea</i>
Saule	Hotel		<i>S. purpurea</i>
Saule	India		<i>S. dasyclados</i>
Saule	Juliet		<i>S. eriocephala</i>
Saule	Marcy	9870-23	<i>S. miyabeana</i>
Saule	Millbrook	99217-015	<i>S. purpurea</i> × <i>S. miyabeana</i>
Saule	Oneida	9980-005	<i>S. purpurea</i> × <i>S. miyabeana</i>
Saule	Oneonta	9879	<i>S. purpurea</i> × <i>S. miyabeana</i>
Saule	Onondaga	99113-012	<i>S. koriyanagi</i>
Saule	Otisco	99201-007	<i>S. viminalis</i> × <i>S. miyabeana</i>
Saule	Owasco	99207-018	<i>S. viminalis</i> × <i>S. miyabeana</i>
Saule	Pseudo		<i>S. alba</i>
Saule	S25		<i>S. eriocephala</i>
Saule	Saratoga	99217-023	<i>S. purpurea</i> × <i>S. miyabeana</i>
Saule	Sherburne	9871-031	<i>S. miyabeana</i>
Saule	SV1		<i>S. x dasyclados</i> ⁴
Saule	SX61		<i>S. miyabeana</i>
Saule	SX64		<i>S. miyabeana</i>
Saule	SX67		<i>S. miyabeana</i>
Saule Saule	Tully Champion Viminalis	99202-011	<i>S. viminalis</i> × <i>S. miyabeana</i> <i>S. viminalis</i>
Saule	Wolcott	9882-41	<i>S. purpurea</i>

¹ Croisé avec un parent mâle inconnu

² *P. x petrowskyana* = *P. laurifolia* × *P. nigra*

³ *S. x glatfelterii* = *S. nigra* × *S. amygdaloides*

⁴ *S. x dasyclados* = *S. viminalis* × *S. cinerea* × *S. caprea*



Annexe II

Tableau A2. Liste des tests de recherche opérationnelle et des implantations correspondantes (figure 21) de peuplier hybride, de trembles hybrides, de clones de saule et d'espèces d'arbres de sous-étage testés au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie, à Edmonton, en Alberta (de 2002 à 2018).

N°	Type de test	Information sur l'espèce et le clone	Année d'établissement
1	Boisement à rendement élevé	DN-34 (jachère)	2002
2	Boisement à rendement élevé	DN-34	2002
3	Boisement mixte	Walker	2003
4	Boisement à rendement élevé	Northwest	2003
5	Test de pertinence clonale	Test clonal de peuplier hybride ¹	2003
6	Boisement à rendement élevé	Walker	2002
7	Test d'évaluation du matériel opérationnel	Forêt 2020 Test du matériel C2C ²	2004
8	Boisement à rendement élevé	DN-182 (jachère)	2002
9	Test opérationnel de plantation d'automne	Test de plantation d'automne de tremble amélioré ³	2003
10	Boisement à rendement élevé	DN-182	2002
11	Test opérationnel de pertinence de plançon	Test de plançon de peuplier hybride ⁴	2003
12	Boisement à rendement élevé	Walker	2002
13	Test opérationnel de pertinence clonale	Tremble hybride	2002
14	Boisement à rendement élevé	Green Giant	2002
15	Boisement à rendement élevé	Walker	2002
16	Boisement à rendement élevé	Tremble hybride	2002
17	Test opérationnel de pertinence clonale	Walker	2002
18	Test opérationnel de pertinence clonale	Northwest	2002
19	Test opérationnel de pertinence clonale	Green Giant	2002
20	Test opérationnel de pertinence clonale	Green Giant	2002
21	Test opérationnel de pertinence clonale	Walker	2002
22	Marcottières opérationnelles	Marcottières de peuplier hybride ⁵	2003
23	Test opérationnel de pertinence clonale	Northwest	2002
24	Test opérationnel de Forêt 2020	Hill	2004
25	Test opérationnel de Forêt 2020	Assiniboine	2004

(Suite à la page 73)

(Suite de la page 72)

N°	Type de test	Information sur l'espèce et le clone	Année d'établissement
26	Test opérationnel de Forêt 2020	Walker	2004
27	Test de matériel opérationnel de Forêt 2020 (615)	Hill	2005
28	Test de pertinence d'espèces mixtes	Sous-étage d'épinette blanche	2015
29	Test de pertinence d'espèces mixtes	Sous-étage d'épinette noire	2015
30	Test de pertinence d'espèces mixtes	Sous-étage du douglas vert	2015
31	Test de matériel opérationnel de Forêt 2020 (615)	Northwest	2005
32	Test de matériel opérationnel de Forêt 2020 (415)	Green Giant	2005
33	Test clonal opérationnel WEY	Tremble amélioré 3085	2010
34	Test clonal opérationnel WEY	Tremble amélioré 3109	2010
35	Test clonal opérationnel WEY	Tremble amélioré 3120	2010
36	Test clonal opérationnel WEY	Tremble amélioré 94-007-A	2010
37	Test clonal opérationnel WEY	Tremble amélioré 3047	2010
38	Test clonal opérationnel WEY	Tremble amélioré 3089	2010
39	Test clonal opérationnel WEY	Tremble amélioré 3104	2010
40	Test clonal opérationnel WEY	Tremble amélioré 3106	2010
41	Test clonal opérationnel WEY	Tremble amélioré 3109	2010
42	Test clonal opérationnel WEY	Tremble amélioré 94-007-A	2010
43	Test de matériel opérationnel de Forêt 2020 (415)	Green Giant	2005
44	Test de matériel opérationnel de Forêt 2020 (415)	Hill	2005
45	Test de matériel opérationnel de Forêt 2020 (415)	Brooks-1	2005
46	Test de matériel opérationnel de Forêt 2020 (415)	Hill	2005
47	Test de matériel opérationnel de Forêt 2020 (615)	Hill	2005
48	Marcottières opérationnelles	Marcottières de bioénergie ⁶	2005
49	Biomasse concentrée	India	2005
50	Biomasse concentrée	Pseudo	2005
51	Biomasse concentrée	Hotel	2005
52	Biomasse concentrée	Alpha	2005
53	Biomasse concentrée	Acute	2005
54	Biomasse concentrée	NM-06	2005
55	Biomasse concentrée	Charlie	2005
56	Biomasse concentrée	P38P38	2010
57	Biomasse concentrée	SX-61, SX-64, SX-67	2005
58	Biomasse concentrée	P38P38	2011
59	Test de plan de biomasse concentrée (1 rangée)	Hotel	2007
60	Biomasse concentrée	Tremble amélioré 3085	2010
61	Biomasse concentrée	Tremble amélioré 3106	2010
62	Test de plan de biomasse concentrée (3 rangées)	Hotel	2007
63	Biomasse concentrée	Green Giant	2008
64	Biomasse concentrée	P38P38	2011
65	Biomasse concentrée	P38P38	2011

(Suite à la page 74)

(Suite de la page 73)

N°	Type de test	Information sur l'espèce et le clone	Année d'établissement
66	Biomasse concentrée	Tremble amélioré 3120	2010
67	Biomasse concentrée	Tremble amélioré 3089	2010
68	Biomasse concentrée	P38P38	2011
69	Test clonal de la SUNY	Test clonal de saule de la SUNY ⁷	2006
70	Test opérationnel de pertinence clonale	DN-74	2014
71	Biomasse concentrée opérationnelle	SX-67	2006
72	Biomasse concentrée opérationnelle	Alpha	2006
73	Biomasse concentrée opérationnelle	Juliet	2006
74	Biomasse concentrée opérationnelle	Charlie	2006
75	Biomasse concentrée opérationnelle	SV-1	2006
76	Biomasse concentrée opérationnelle	SX-64	2006
77	Biomasse concentrée opérationnelle	Hotel	2005
78	Biomasse concentrée opérationnelle	Hotel	2005
79	Biomasse concentrée opérationnelle	Hotel	2005
80	Biomasse concentrée opérationnelle	Hill	2005
81	Biomasse concentrée opérationnelle	Hill	2005
82	Biomasse concentrée opérationnelle	Walker	2005
83	Biomasse concentrée opérationnelle	Walker	2005
84	Biomasse concentrée opérationnelle	Charlie	2005
85	Biomasse concentrée opérationnelle	Charlie	2005
86	Biomasse concentrée opérationnelle	India	2005
87	Biomasse concentrée opérationnelle	India	2005
88	Biomasse concentrée opérationnelle	SX-61	2006
89	Biomasse concentrée opérationnelle	SX-61	2006
90	Biomasse concentrée opérationnelle	SX-64	2006
91	Biomasse concentrée opérationnelle	SX-64	2006
92	Biomasse concentrée opérationnelle	SX-67	2006
93	Biomasse concentrée opérationnelle	SX-67	2006
94	Démonstration de tremble amélioré	Tremble amélioré	2005
95	Biomasse concentrée opérationnelle	P38P38	2011
96	Biomasse concentrée opérationnelle	Tremble amélioré 3047	2010
97	Biomasse concentrée opérationnelle	P38P38	2011
98	Biomasse concentrée opérationnelle	P38P38	2011
99	Test de pertinence d'espèces mixtes	Sous-étage d'épinette blanche	2014
100	Test de pertinence d'espèces mixtes	Sous-étage d'épinette noire	2014
101	Test de pertinence d'espèces mixtes	Sous étage du douglas vert	2014

¹ Consultez l'annexe III, site de RO 5, pour connaître les espèces hybrides exactes testées.

² Consultez l'annexe III, site de RO 7, pour connaître les espèces hybrides et les types de matériel exacts testés.

³ Consultez l'annexe III, site de RO 9, pour connaître les clones exacts testés.

⁴ Consultez l'annexe III, site de RO 11, pour connaître les espèces hybrides exactes testées.

⁵ Consultez l'annexe III, site de RO 22, pour connaître les clones exacts multipliés.

⁶ Consultez l'annexe III, site de RO 48, pour connaître les clones multipliés.

⁷ Consultez l'annexe III, site de RO 69, pour connaître les clones exacts testés.



Annexe III

Aperçu des tests de plantation de boisement à rendement élevé et de biomasse concentrée menés au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie, à Edmonton, en Alberta.

Sites établis en 2002

La partie la plus ancienne d'Ellerslie a été établie en 2002 (figure 52) dans le cadre du test de transect clonal de boisement, financé par l'Étude de faisabilité sur le boisement comme mode de piégeage du carbone (EFBMPC). Le test consistait en un transect de plusieurs sites établis depuis Piney, au Manitoba, jusqu'à Peace River, en Alberta, pour évaluer la pertinence clonale du site de divers cultivars de peuplier hybride et de tremble (figure 53). La préparation initiale du site a été effectuée à l'aide d'un outil de préparation du site en trois phases élaboré par le personnel du Service canadien des forêts. L'outil se composait d'une tige défonceuse, d'un mélangeur haute vitesse et d'une composante de confection de planches surélevées. La préparation du site a été conçue pour créer une série de planches parallèles comportant un espacement

de 2,5 m de centre à centre. Le matériel de reproduction (boutures non racinées de 30 cm pour tous les peupliers hybrides et semis racinés pour le tremble hybride) a été planté avec un espacement de 2,0 m dans les planches pour créer une densité de 2000 troncs ha⁻¹. Le plan initial consistait en neuf blocs de 50 m x 50 m (0,25 ha) pour évaluer la pertinence clonale. La conception initiale a évolué au cours des 17 années en raison de l'ajout d'une série de tests supplémentaires à l'intérieur des espaces vides résultant de la non-pertinence clonale et des installations d'infrastructure de la ville d'Edmonton.



Figure 52. Partie du site de développement technique de CLCR d'Ellerslie établie en 2002.

Sites candidats de transect clonal

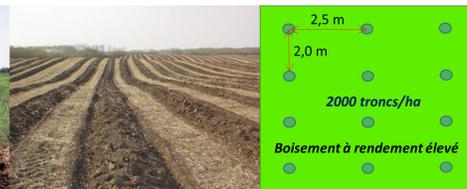
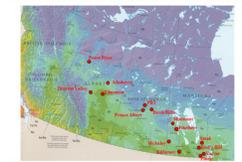


Figure 53. Vue d'ensemble de l'établissement du transect clonal.

Sites de recherche opérationnelle 1 et 2

Établie dans le cadre du test de pertinence du transect clonal, la totalité de 0,25 ha a été plantée à l'origine avec des boutures de peuplier hybride DN-34 (25 cm) pour évaluer la pertinence du clone dans la région d'Edmonton, en Alberta. Pendant plusieurs années, l'hivernage a causé des dommages considérables dans la zone, ce qui a entraîné une régénération à l'endroit de la base et une grande partie de troncs morts sur pied. En 2010, la zone 1 a été désactivée et laissée en jachère jusqu'à la récolte du site en 2018. La zone 2 a été conservée à des fins de démonstration. En 2018, le site a été exclu de la récolte pour protéger les nids de pie qui étaient habités par de grands polatouches (*glaucomys sabrinus*).

Site de recherche opérationnelle 3

Établie dans le cadre du test de pertinence du transect clonal, la totalité de 0,25 ha a été plantée à l'origine avec des boutures de peuplier hybride Hill (25 cm) pour évaluer la pertinence du clone dans la région d'Edmonton, en Alberta. En raison de la mauvaise qualité du matériel du fournisseur, l'ensemble du bloc de 0,25 ha est mort après la plantation. (Voir Sites établis en 2003 pour de plus amples renseignements.)

Site de recherche opérationnelle 4

Établie dans le cadre du test de pertinence du transect clonal, la totalité de 0,25 ha a été plantée à l'origine de peuplier hybride Northwest (615, en récipient) pour évaluer la pertinence du clone dans la région d'Edmonton, en Alberta. En 2007, on a enlevé 15 mètres de la bordure sud de la plantation pour permettre l'installation d'une conduite d'eau de la ville d'Edmonton. La zone restante a été activement échantillonnée jusqu'à sa récolte en 2018.

Site de recherche opérationnelle 5

Un test clonal de peuplier hybride a été établi pour évaluer (à petite échelle) la pertinence opérationnelle de chaque clone dans la région d'Edmonton, en Alberta. En 2007, on a enlevé 15 mètres de la bordure sud de la plantation pour permettre l'installation d'une conduite d'eau de la ville d'Edmonton. Les clones restants ont été conservés à des fins de démonstration jusqu'en 2018, date à laquelle ils ont été récoltés et déchetés pour les tests opérationnels d'un système de déchiquetage à petite échelle.

Tableau A3. Clones évalués dans le cadre du test clonal opérationnel de peuplier hybride de 2002-2003.

Numéro sur la figure	Clones (du nord au sud)	Année d'établissement
5	Walker	2003
	Northwest	2003
	Hill	2003
	DN-34	2003
	DN-5	2003
	DN-182	2003
	Prairie Sky	2003
	Green Giant	2003
	Tristis	2002
	Q-1150	2002
	Assiniboine	2003
	NM-6	2003
	DN-17	2003
	DN-74	2003
	Brooks 1 (retiré en 2007)	2003
	P-Chey (retiré en 2007)	2003
	Walker (retiré en 2007)	2003
Green Giant (retiré en 2007)	2003	
Prairie Sky (retiré en 2007)	2003	

Site de recherche opérationnelle 6

Établie dans le cadre du test de pertinence du transect clonal, la totalité de 0,20 ha a été plantée à l'origine avec des semis à racines nues de peuplier hybride Walker fournis par Lakeshore Nursery de Saskatoon, en Saskatchewan, pour évaluer la pertinence du clone dans la région d'Edmonton, en Alberta. La zone a été activement échantillonnée jusqu'à sa récolte en 2018.

Sites de recherche opérationnelle 8 et 10

Établie dans le cadre du test de pertinence du transect clonal, la totalité de 0,25 ha a été plantée à l'origine avec des boutures de peuplier hybride DN-182 (25 cm) pour évaluer la pertinence du clone dans la région d'Edmonton, en Alberta. Pendant plusieurs années, l'hivernage a causé des dommages considérables dans la zone, ce qui a entraîné une regermination à l'endroit de la base et une grande partie de troncs morts sur pied. En 2003, la zone 8 a été désactivée et laissée en jachère jusqu'à la récolte du site en 2018. La zone 10 a été conservée à des fins de démonstration. En 2018, la zone 10 a été récoltée et déchetée pour les tests opérationnels d'un système de déchetage à petite échelle.

Site de recherche opérationnelle 12

Établie dans le cadre du test de pertinence du transect clonal, la totalité de 0,125 ha a été plantée à l'origine de peuplier hybride Walker en récipient pour évaluer la pertinence du clone dans la région d'Edmonton, en Alberta. La zone a été échantillonnée de façon périodique jusqu'à sa récolte en 2018.

Site de recherche opérationnelle 13

Initialement établie comme zone tampon pour le test de pertinence du transect clonal, la totalité de 0,05 ha a été plantée à l'origine de tremble hybride à racines nues à pollinisation libre afin d'évaluer les diverses caractéristiques physiques de chaque croisement à pollinisation libre et la pertinence du clone dans la région d'Edmonton, en Alberta. La zone a fait l'objet d'une évaluation opérationnelle périodique jusqu'à ce qu'elle soit récoltée en 2018 en tant que partie des strates de récolte du périmètre.

Site de recherche opérationnelle 14

Établie dans le cadre du test de pertinence du transect clonal, la totalité de 0,25 ha a été plantée à l'origine avec des boutures de 30 cm de peuplier hybride Green Giant fournies par Lakeshore Nursery de Saskatoon, en Saskatchewan, pour évaluer la pertinence du clone dans la région d'Edmonton, en Alberta. En 2003, des semis d'épinette blanche ont été plantés dans chaque rangée à mi-chemin entre les peupliers hybrides. Une partie de la zone a été utilisée comme sous-test opérationnel pour évaluer les répercussions sur la croissance de la deuxième année de l'intégration de divers manchons à mailles pour semis Free-Gro (figure 54). Quatre tailles de manchons ont été installées dans deux parcelles de 25 unités, avec une parcelle de contrôle de 25 unités non abritées entre chaque parcelle. Toutes les tailles de manchons ont entraîné une croissance accrue égale par rapport aux unités témoins. Bien que les manchons aient entraîné une croissance accrue à court terme, une fois que les manchons ont été retirés après le test de six semaines, la rigidité des troncs abrités faisait défaut. À la fin de la saison de croissance 2004, en raison du manque de rigidité persistant dans les troncs abrités, tous les troncs de peuplier hybride situés dans les rangées utilisées pour le test de manchon forestier ont été recépés à une hauteur de 10 cm. L'analyse de l'ADN effectuée après l'établissement par le Saskatchewan Research Council à Saskatoon, en Saskatchewan, a révélé que Green Giant et Brooks 6 avaient les mêmes propriétés génétiques. Ils ont été identifiés comme des clones identiques portant des noms différents créés par les fournisseurs. La zone a été activement échantillonnée jusqu'à sa récolte en 2018.



Figure 54. Sous-test de manchon forestier Free-Gro dans le site de recherche opérationnelle 14.

Site de recherche opérationnelle 15

Établie dans le cadre du test de pertinence du transect clonal, la totalité de 0,25 ha a été plantée à l'origine avec des semis en récipient de peuplier hybride Walker fournis par PRT Nursery de la Saskatchewan, pour évaluer la pertinence du clone dans la région d'Edmonton, en Alberta. La zone a été activement échantillonnée jusqu'à sa récolte en 2018.

Site de recherche opérationnelle 16

Établie dans le cadre du test de pertinence du transect clonal, la totalité de 0,25 ha a été plantée à l'origine de tremble hybride à racines nues à pollinisation libre afin d'évaluer les diverses caractéristiques physiques de chaque croisement à pollinisation libre et la pertinence du clone dans la région d'Edmonton, en Alberta. Des trembles hybrides (originaires du Minnesota) ont été créés par croisement de deux espèces de tremble étroitement apparentées. Dans ce cas, il s'agit des hybrides interspécifiques artificiels de *P. tremuloides* et de *P. tremula* ou de *P. davidiana* (peuplier chinois ou coréen, qui est une variété de *P. tremula*). En 2003, des semis d'épinette blanche ont été plantés dans chaque rangée à mi-chemin entre les trembles hybrides. Une partie de la zone a été utilisée comme sous-test opérationnel pour évaluer les répercussions sur la croissance de la deuxième année de l'intégration de tapis de maîtrise de la végétation de 60 cm x 60 cm pour chaque tremble hybride des rangées impaires. Les évaluations opérationnelles effectuées jusqu'à la cinquième année du sous-test n'ont révélé aucun impact positif ou négatif sur la croissance. Par conséquent, on a jugé qu'il n'était pas économiquement viable d'intégrer des tapis de maîtrise de la végétation à l'avenir. La zone a été activement échantillonnée jusqu'à sa récolte en 2018.

Site de recherche opérationnelle 17

Établie comme zone tampon pour le test de pertinence du transect clonal, la totalité de 0,05 ha a été plantée à l'origine avec du matériel à racines nues Walker pour évaluer la pertinence clonale opérationnelle du clone dans la région d'Edmonton, en Alberta. La zone a fait l'objet d'une évaluation opérationnelle périodique jusqu'à ce qu'elle soit récoltée en 2018 en tant que partie des strates de récolte du périmètre.

Site de recherche opérationnelle 18

Établie comme zone tampon pour le test de pertinence du transect clonal, la totalité de 0,05 ha a été plantée à l'origine avec du matériel à racines nues Northwest (1,5 m de hauteur) pour évaluer les répercussions de l'intégration d'un matériel de plantation plus important et la pertinence clonale opérationnelle du clone dans la région d'Edmonton, en Alberta. La zone a fait l'objet d'une évaluation opérationnelle périodique jusqu'à ce qu'elle soit récoltée en 2018 en tant que partie des strates de récolte du périmètre.

Site de recherche opérationnelle 19

Établie comme zone tampon pour le test de pertinence du transect clonal, la totalité des 0,05 ha a été plantée à l'origine avec du matériel à racines nues Brooks 6 (1,0 m de hauteur) pour évaluer les répercussions de l'intégration d'un matériel de plantation plus important et la pertinence clonale opérationnelle du clone dans la région d'Edmonton, en Alberta. La zone a fait l'objet d'une évaluation opérationnelle périodique jusqu'à ce qu'elle soit récoltée en 2018 en tant que partie des strates de récolte du périmètre.

Site de recherche opérationnelle 20

Établie comme zone tampon pour le test de pertinence du transect clonal, la totalité de 0,10 ha a été plantée à l'origine avec des boutures Green Giant (25 cm, non conditionnées) pour évaluer les répercussions du non-conditionnement des boutures non racinées avant leur plantation et la pertinence clonale opérationnelle du clone dans la région d'Edmonton, en Alberta. La zone a fait l'objet d'une évaluation opérationnelle périodique jusqu'à ce qu'elle soit récoltée en 2018 en tant que partie des strates de récolte du périmètre.

Site de recherche opérationnelle 21

Établie comme zone tampon pour le test de pertinence du transect clonal, la totalité de 0,05 ha a été plantée à l'origine avec du matériel Northwest en récipient pour évaluer la pertinence clonale opérationnelle du clone dans la région d'Edmonton, en Alberta. La zone a fait l'objet d'une évaluation opérationnelle périodique jusqu'à sa récolte en 2018 en tant que partie des strates de récolte du périmètre. La figure 55 illustre la croissance sur 17 ans du site de recherche opérationnelle 21.



Figure 55. Exemple de croissance du peuplier hybride Northwest sur 17 ans du site de recherche opérationnelle 21.

Sites établis en 2003

L'information obtenue par le Groupe du développement technique au cours de la première année de la recherche opérationnelle de CLCR à Ellerslie a donné lieu à des questions supplémentaires et à des options de CLCR pour l'avenir. En plus de la gestion de la végétation et de l'élaboration des protocoles décrite dans la section précédente (Aperçu de l'élaboration des protocoles opérationnels), quatre autres sites de recherche opérationnelle ont été établis en 2003 (figure 56).

Site de recherche opérationnelle 3

Le test de boisement mixte Walker a été planté avec des boutures de peuplier hybride Walker (25 cm) à une densité compatible avec le test de pertinence du transect clonal de 2002 (2000 troncs/ha). Le but de ce test était



Figure 56. Sites de recherche opérationnelle établis au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie en 2003

d'imiter les forêts mixtes boréales indigènes. Des semis d'épinette blanche ont été plantés dans chaque rangée à mi-chemin entre les peupliers hybrides. La zone a été activement échantillonnée jusqu'à sa récolte en 2018.

Site de recherche opérationnelle 9

Le test de plantation d'automne de tremble amélioré a été établi en octobre 2003 à l'aide de semis en récipient cultivés dans la serre du CFN. Des semis de tremble amélioré ont été multipliés à partir de boutures de racines fournies par Daishowa-Marubeni International (DMI) Ltd. Ces boutures de tremble amélioré faisaient partie des croisements contrôlés élaborés dans le cadre du programme de sélection des arbres de la Western Boreal Aspen Cooperation. Cette organisation était composée de quatre sociétés membres : DMI, Weyerhaeuser Canada, Ainsworth et Footner Forest Products. Le test a été évalué en 2004 et conservé à des fins de démonstration jusqu'en 2018, date à laquelle la zone a été récoltée et déchiquetée pour les tests opérationnels d'un système de déchiquetage à petite échelle.

Tableau A4. Test de plantation d'automne de tremble hybride mené au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Numéro sur la figure	Clones	Année d'établissement	Types de matériel	% de survie
9	Tremble amélioré 1115	2003	Récipient	100
	Tremble amélioré 1152	2003	Récipient	100
	Tremble amélioré 1126	2003	Récipient	100
	Tremble amélioré 1122	2003	Récipient	100
	Tremble amélioré 1157	2003	Récipient	80
	Tremble amélioré 19309	2003	Récipient	100
	Tremble amélioré 1160	2003	Récipient	100
	Tremble amélioré 1156	2003	Récipient	40

Site de recherche opérationnelle 11

Le test opérationnel de pertinence du plançon a été établi en utilisant des plançons de peuplier hybride non racinés de 2 m pour évaluer le potentiel de survie et les répercussions sur la croissance d'un important matériel de plantation non raciné. Pour améliorer le taux de succès de la plantation du plançon, les bourgeons et les branches inférieurs ont été enlevés. Cela a laissé de quatre à six bourgeons vivants près du sommet pour éviter une perte d'humidité excessive lorsque le plançon commence à pousser au printemps et que l'irrigation goutte à goutte est utilisée. Il y a des différences entre les divers clones en fonction de la croissance de leurs racines lorsqu'ils sont plantés sous forme de bouture dormante non racinée. Pour ce test, le Groupe du développement technique a testé six différents clones de peuplier hybride en 2003. Le test a été évalué en 2004 pour la survie. Il a été conservé à des fins de

démonstration jusqu'en 2018, date à laquelle la zone a été récoltée et déchiquetée pour les tests opérationnels d'un système de déchiquetage à petite échelle. Les évaluations à long terme n'ont révélé aucun avantage associé au recours à des plançons de plus grande taille (pour stimuler la croissance).

Site de recherche opérationnelle 22

Les marcottières opérationnelles ont été établies à l'aide de boutures de 25 cm pour cultiver du matériel destiné à une récolte annuelle. Ce matériel a été désigné pour être utilisé dans de futurs tests de recherche opérationnelle. En utilisant les planches surélevées établies en 2002, deux rangées de boutures de chaque clone ont été plantées par planche à un espacement de 20 cm x 20 cm. Les marcottières ont été utilisées jusqu'à la récolte du site en 2018.

Tableau A5. Tests de plançon de peuplier hybride menés au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Numéro sur la figure	Clones	Année d'établissement	Types de matériel
11	DN-2	2003	Plançons non racinés
	DN-17	2003	Plançons non racinés
	DN-34	2003	Plançons non racinés
	DN-182	2003	Plançons non racinés
	Katepwa	2003	Plançons non racinés
	NM-06	2003	Plançons non racinés

Tableau A6. Marcottières de peuplier hybride établies en 2003 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Numéro sur la figure	Clones (du nord au sud)	Année d'établissement	Types de matériel
22	Walker	2003	Boutures de 25 cm
	Green Giant	2003	Boutures de 25 cm
	Assiniboine	2003	Boutures de 25 cm
	DN-182	2003	Boutures de 25 cm
	DN-74	2003	Boutures de 25 cm
	Katepwa	2003	Boutures de 25 cm

Sites établis en 2004

La partie 2004 du site de développement technique de CLCR d'Ellerslie (figure 57) a été établie pour tester le nouveau protocole d'établissement des pratiques recommandées de CLCR. Ce protocole a été élaboré par le personnel du Service canadien des forêts pour la mise en œuvre du programme Forêt 2020 : volet Démonstration et évaluation de plantations. L'initiative fédérale de 20 millions de dollars sur deux ans visait à : 1) mettre en place des démonstrations de plantations d'arbres à croissance rapide partout au Canada afin d'atténuer les émissions de gaz à effet de serre et de produire plus de fibre de bois; et 2) explorer des mécanismes d'investissement pour attirer des fonds pour établir de futures plantations. L'objectif principal des installations de plantation mettait l'accent sur des espèces d'arbres à croissance rapide dans le cadre de systèmes de gestion d'intensité modérée à élevée. Plus précisément, les espèces dont le potentiel de rendement est de huit fois la croissance moyenne des espèces indigènes du Canada et l'accroissement annuel moyen (AAM) de 13,6 mètres cubes par année.

Site de recherche opérationnelle 7

Le test d'évaluation du matériel opérationnel Forêt 2020 a été établi en 2004 à titre « d'alerte rapide » pour la phase de démonstration

opérationnelle des plantations dans les Prairies du volet Démonstration et évaluation de plantations du programme Forêt 2020. En prévision de la phase d'établissement opérationnel des plantations, le Groupe du développement technique a élaboré, testé et lancé un nouveau protocole de multiplication des semis de peuplier hybride en récipient pour la croissance d'environ 1,5 million de semis. Le protocole a été intégré en utilisant du matériel de bouture nouvellement récolté (obtenu en décembre), une composante de croissance en serre de 16 semaines et une composante de dormance au congélateur d'au moins 28 jours. La composante de dormance au congélateur permettrait d'adopter le programme souhaité de plantation sur le terrain au printemps. En plus d'effectuer des tests de viabilité de l'hivernage du matériel dans la serre du CFN, le Groupe du développement technique a établi un test de plantation sur le terrain de tous les clones et de toutes les combinaisons de types de matériel à utiliser dans les programmes d'établissement de plantations de 2004 dans le cadre du programme Forêt 2020. Le test a été évalué pour la survie tout au long des saisons de croissance 2004 et 2005. Il a été conservé à des fins de démonstration jusqu'en 2018, date à laquelle la zone a été récoltée et déchiquetée pour les tests opérationnels d'un système de déchiquetage à petite échelle.



Figure 57. Sites de recherche opérationnelle établis au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie en 2004.

Tableau A7. Forêt 2020 | Tests du matériel C2C au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Numéro sur la figure	Clones	Année d'établissement	Types de matériel
7	Assiniboine	2004	Plants repiqués accélérés
	Assiniboine	2004	Récipient
	Brooks-1	2004	Plants repiqués accélérés
	DN-17	2004	Racines nues
	DN-17	2004	Récipient
	DN-182	2004	Racines nues
	DN-182	2004	Récipient
	DN-34	2004	Plants repiqués accélérés
	DN-34	2004	Racines nues
	DN-34	2004	Récipient
	Green Giant	2004	Récipient
	Hill	2004	Récipient
	NM-06	2004	Racines nues
	NM-06	2004	Récipient
	Northwest	2004	Récipient
	P-Chey	2004	Plants repiqués accélérés
	Prairie Sky	2004	Plants repiqués accélérés
	Walker	2004	Plants repiqués accélérés
Walker	2004	Récipient	

Site de recherche opérationnelle 24

Établie dans le cadre du test opérationnel Forêt 2020, la totalité de 0,9 ha a été plantée à l'origine avec du peuplier hybride Hill 415 1+0 en récipient afin d'évaluer la pertinence opérationnelle des nouveaux protocoles d'établissement et de gestion de CLCR. Les protocoles comprenaient une combinaison de mélange de sol profond et superficiel pour l'ensemble de la région et un régime mécanique de gestion de la végétation qui a commencé quelques semaines après la plantation et qui s'est poursuivi au besoin jusqu'à la fermeture du couvert, qui a eu lieu au cours de la quatrième année. Le marquage mécanique et les opérations manuelles de plantation ont créé un plan en forme de grille, qui intègre 1600 troncs ha⁻¹ (2,5 m x 2,5 m). Pour évaluer le potentiel de séquestration du carbone par les CLCR, un échantillonnage de carbone avant le traitement a été effectué. Des évaluations périodiques détaillées ont également été effectuées. En 2007, on a enlevé 15 mètres de la bordure sud de la plantation pour permettre l'installation d'une conduite d'eau de la ville d'Edmonton. La zone restante a été activement échantillonnée jusqu'à sa récolte en 2018. Un échantillonnage détaillé après la récolte a été effectué. L'échantillonnage comprenait des sols, des excavations de souches et

de racines, des résidus après récolte et de la litière. Cette procédure a permis d'élaborer un résumé du carbone de la rotation complète pour le site de recherche opérationnelle.

Site de recherche opérationnelle 25

Établie dans le cadre du test opérationnel Forêt 2020, la totalité de 1,0 ha a été plantée à l'origine avec du peuplier hybride Assiniboine 415 1+0 en récipient afin d'évaluer la pertinence opérationnelle des nouveaux protocoles d'établissement et de gestion de CLCR. Les protocoles comprenaient une combinaison de mélange de sol profond et superficiel pour toute la région. Ils comprenaient également un régime mécanique de gestion de la végétation qui a commencé quelques semaines après la plantation et qui s'est poursuivi au besoin jusqu'à la fermeture du couvert, qui a eu lieu au cours de la quatrième année. Le marquage mécanique et les opérations manuelles de plantation ont créé un plan en forme de grille, qui intègre 1600 troncs ha⁻¹ (2,5 m x 2,5 m). Pour évaluer le potentiel de séquestration du carbone par les CLCR, un échantillonnage de carbone avant le traitement a été effectué. Des évaluations périodiques détaillées ont également été effectuées.

En 2007, on a enlevé 15 mètres de la bordure sud de la plantation pour permettre l'installation d'une conduite d'eau de la ville d'Edmonton. La zone restante a été activement échantillonnée jusqu'à sa récolte en 2018. Un échantillonnage détaillé après la récolte a été effectué. L'échantillonnage comprenait des sols, des excavations de souches et de racines, des résidus après récolte et de la litière. Cette procédure a permis d'élaborer un résumé du carbone de la rotation complète pour le site de recherche opérationnelle.

Site de recherche opérationnelle 26

Établie dans le cadre du test opérationnel Forêt 2020, la totalité de 1,0 ha a été plantée à l'origine avec du peuplier hybride Walker 415 1+0 en récipient afin d'évaluer la pertinence opérationnelle des nouveaux protocoles d'établissement et de gestion de CLCR. Les protocoles comprenaient une combinaison de mélange de sol profond et superficiel pour toute la région. Ils comprenaient également un régime mécanique de gestion de la végétation qui a commencé quelques semaines après la plantation et qui s'est poursuivi au besoin jusqu'à la fermeture du couvert, qui a eu lieu au cours de la quatrième année. Le marquage mécanique et les opérations manuelles de plantation ont créé un plan en forme de grille, qui intègre 1600 troncs ha⁻¹ (2,5 m x 2,5 m). Pour évaluer le potentiel de séquestration du carbone par les CLCR, un échantillonnage de carbone avant le traitement a été effectué. Des évaluations périodiques détaillées ont également été effectuées. En 2007, on a enlevé 15 mètres de la bordure sud de la plantation pour permettre l'installation d'une conduite d'eau de la ville d'Edmonton. La zone restante a été activement échantillonnée jusqu'à sa récolte en 2018. Un échantillonnage détaillé après la récolte a été effectué. L'échantillonnage comprenait des sols, des excavations de souches et de racines, des résidus après récolte et de la litière. Cette procédure a permis d'élaborer un résumé du carbone de la rotation complète pour le site de recherche opérationnelle.

Sites établis en 2005

La partie 2005 du site de développement technique de CLCR d'Ellerslie (figure 58) a été établie comme suite au test de 2004 du nouveau protocole d'établissement de CLCR. Ce protocole consistait en pratiques recommandées et comprenait d'autres cultivars et types de matériel. Les protocoles comprenaient aussi une combinaison de mélange de sol profond et superficiel pour toute la région ainsi qu'un régime mécanique de gestion de la

végétation. Le régime a commencé quelques semaines après la plantation et s'est poursuivi jusqu'à la fermeture du couvert, qui a eu lieu au cours de la quatrième année. Le marquage mécanique et les opérations manuelles de plantation ont créé un plan en forme de grille, qui intègre 1600 troncs ha⁻¹ (2,5 m x 2,5 m). On a manifesté un intérêt accru pour l'élaboration d'une option de biomasse ligneuse renouvelable sans le délai de 12 à 20 ans associé au boisement à rendement élevé. Le Groupe du développement technologique a mis sur pied deux démonstrations de biomasse concentrée et une marcottière opérationnelle sur le site de développement technique de CLCR d'Ellerslie. Les objectifs de la démonstration étaient d'élaborer des protocoles d'établissement et de gestion à l'aide d'équipements disponibles en vente libre au Canada, et d'évaluer la pertinence clonale liée au potentiel de croissance et de rendement.



Figure 58. Sites de recherche opérationnelle établis au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie en 2005.

Site de recherche opérationnelle 27

Établie dans le cadre du test opérationnel Forêt 2020, la totalité de 1,0 ha a été plantée à l'origine avec du peuplier hybride Hill 615 1+0 en récipient afin d'évaluer la pertinence opérationnelle de l'utilisation de matériel de plantation plus important dans les nouveaux protocoles d'établissement et de gestion de CLCR. Les protocoles comprenaient une combinaison de mélange de sol profond et superficiel pour toute la région ainsi qu'un régime mécanique de gestion de la végétation. Le régime a commencé quelques semaines après la plantation et s'est poursuivi jusqu'à la fermeture du couvert, qui a eu lieu au cours de la quatrième année. La zone a été activement échantillonnée jusqu'à sa récolte en 2018.

Site de recherche opérationnelle 31

Établie dans le cadre du test opérationnel Forêt 2020, la totalité de 0,3 ha a été plantée à l'origine avec du peuplier hybride Northwest 615 1+0 en récipient afin d'évaluer la pertinence opérationnelle de l'utilisation de matériel de plantation plus important dans les nouveaux protocoles d'établissement et de gestion de CLCR. Les protocoles comprenaient une combinaison de mélange de sol profond et superficiel pour toute la région ainsi qu'un régime mécanique de gestion de la végétation. Le régime a commencé quelques semaines après la plantation et s'est poursuivi jusqu'à la fermeture du couvert, qui a eu lieu au cours de la quatrième année. La zone a été activement échantillonnée jusqu'à sa récolte en 2018.

Sites de recherche opérationnelle 32 à 38 et 43

Établie dans le cadre du test opérationnel Forêt 2020, la totalité de 1,0 ha a été plantée à l'origine avec du peuplier hybride Green Giant 415 1+0 en récipient afin d'évaluer la pertinence opérationnelle des nouveaux protocoles d'établissement et de gestion de CLCR. Les protocoles comprenaient une combinaison de mélange de sol profond et superficiel pour toute la région ainsi qu'un régime mécanique de gestion de la végétation. Le régime a commencé quelques semaines après la plantation et s'est poursuivi jusqu'à la fermeture du couvert, qui a eu lieu au cours de la quatrième année. En 2008, une partie de cette zone a été désactivée afin de créer des possibilités de tests de recherche opérationnelle supplémentaires de CLCR. La zone restante a été activement échantillonnée jusqu'à sa récolte en 2018. (Voir Sites établis en 2010 pour de plus amples renseignements.)

Sites de recherche opérationnelle 39 à 42

Établie dans le cadre du test opérationnel Forêt 2020, la totalité de 1,0 ha a été plantée à l'origine avec du peuplier hybride Northwest 415 1+0 en récipient afin d'évaluer l'applicabilité opérationnelle des nouveaux protocoles d'établissement et de gestion de CLCR. Les protocoles comprenaient une combinaison de mélange de sol profond et superficiel pour toute la région ainsi qu'un régime mécanique de gestion de la végétation. Le régime a commencé quelques semaines après la plantation et s'est poursuivi jusqu'en 2008. En 2008, l'ensemble de la zone a été désactivé afin de créer des possibilités de tests de recherche opérationnelle supplémentaires de CLCR. La zone

restante a été activement échantillonnée jusqu'à sa récolte en 2018. (Voir Sites établis en 2010 pour de plus amples renseignements.)

Sites de recherche opérationnelle 44 et 46

Établie dans le cadre du test opérationnel Forêt 2020, la totalité de 1,0 ha a été plantée à l'origine avec du peuplier hybride Hill 415 1+0 en récipient, pour servir de comparaison au site de recherche opérationnelle 27. L'objectif était d'évaluer la pertinence opérationnelle de l'utilisation de matériel de plantation plus important dans les nouveaux protocoles d'établissement et de gestion de CLCR. Les protocoles comprenaient une combinaison de mélange de sol profond et superficiel pour toute la région ainsi qu'un régime mécanique de gestion de la végétation. Le régime a commencé quelques semaines après la plantation et s'est poursuivi jusqu'à la fermeture du couvert, qui a eu lieu au cours de la quatrième année. La zone a été activement échantillonnée jusqu'à sa récolte en 2018.

Site de recherche opérationnelle 45

Établie dans le cadre du test opérationnel Forêt 2020, la totalité de 1,0 ha a été plantée à l'origine avec du peuplier hybride Brooks 1 415 1+0 en récipient afin d'évaluer la pertinence opérationnelle de l'utilisation de matériel de plantation plus important dans les nouveaux protocoles d'établissement et de gestion de CLCR. Les protocoles comprenaient une combinaison de mélange de sol profond et superficiel pour toute la région ainsi qu'un régime mécanique de gestion de la végétation. Le régime a commencé quelques semaines après la plantation et s'est poursuivi jusqu'à la fermeture du couvert, qui a eu lieu au cours de la quatrième année. La zone a été activement échantillonnée jusqu'à sa récolte en 2018.

Site de recherche opérationnelle 47

Établie dans le cadre du test opérationnel Forêt 2020, la totalité de 1,0 ha a été plantée à l'origine avec du peuplier hybride Hill 615 1+0 en récipient afin d'évaluer la pertinence opérationnelle de l'utilisation de matériel de plantation plus important dans les nouveaux protocoles d'établissement et de gestion de CLCR. Les protocoles comprenaient une combinaison de mélange de sol profond et superficiel pour toute la région ainsi qu'un régime mécanique de gestion de la végétation. Le régime a commencé quelques semaines après la plantation et s'est poursuivi jusqu'à la fermeture

du couvert, qui a eu lieu au cours de la quatrième année. La zone a été échantillonnée de façon périodique jusqu'à sa récolte en 2018.

Site de recherche opérationnelle 48

Les marcottières opérationnelles ont été établies à l'aide d'une combinaison de boutures de 25 cm, de semis en récipient et à racines nues (pour faire pousser du peuplier hybride) et de matériel de saule à récolter

chaque année pour de futurs tests de recherche opérationnelle. Les marcottières qui ont été établies en 2005-2006 comportaient une planche à deux rangées de boutures pour chaque clone. Les boutures ont été plantées dans une planche simple à un espacement de 20 cm x 20 cm. Toutes les planches suivantes ont été plantées selon un plan à une rangée avec un espacement de 30 cm à l'intérieur de la rangée. Les marcottières ont été utilisées jusqu'à la récolte du site en 2018.

Tableau A8. Marcottières opérationnelles pour les différents clones de peuplier hybride et de saule au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Numéro sur la figure	Hybride ou clone (du sud au nord)	Année d'établissement	Types de matériel
48	Viminalis (MBG)	2005	Récipient
	Viminalis	2005	Bouture
	DN-74	2014	Racines nues
	S-67	2006	Bouture
	NM-06	2005	Bouture
	S-61	2006	Bouture
	S-64	2005	Bouture
	S-67	2005	Bouture
	S-301	2005	Bouture
	DN-154	2014	Racines nues
	FFC-1	2014	Racines nues
	SX-61	2005	Bouture
	SX-64	2005	Bouture
	SV-1	2005	Bouture
	Q-1150	2006	Récipient
	P38P38	2011	Récipient
	Hotel	2005	Bouture
	Alpha	2011	Bouture
	Viminilas	2005	Bouture
	SV-1	2006	Bouture
	SV-1	2006	Bouture
	Walker	2005	Récipient
	Hill	2005	Récipient
	Assiniboine	2005	Récipient
	Brooks-1	2005	Récipient
	Brooks-1	2005	Récipient
	Northwest	2005	Récipient
	NM-06	2005	Bouture
	NM-06	2005	Bouture
	Alpha	2011	Bouture

Sites de recherche opérationnelle 49 à 58

La démonstration initiale de test de la biomasse concentrée a été établie en 2005 pour évaluer les nouveaux protocoles d'établissement et de gestion des plantations de biomasse concentrée. Elle a également été conçue pour évaluer la pertinence clonale du saule et du peuplier hybride liée au potentiel de croissance et de rendement. Le protocole d'établissement comprenait un mélange en profondeur des sols à une profondeur de 25 à 30 cm. Cela a été fait pour améliorer le potentiel d'enracinement et un disquage superficiel subséquent (10 à 15 cm). Il visait également à améliorer la productivité des traitements subséquents. Le site a été marqué mécaniquement à un espacement de 3,2 m pour assurer un espacement uniforme entre les planches. Des boutures de 30 cm non racinées pour de nombreux

clones de saule et de peuplier hybride ont été plantées mécaniquement dans un plan de biomasse concentrée à trois rangées (15 625 troncs ha⁻¹), à une profondeur d'au moins 25 à 28 cm dans le sol (figure 59). Un régime mécanique de gestion de la végétation a été intégré et a commencé quelques semaines après la plantation. Il s'est poursuivi jusqu'à la fermeture du couvert, qui a eu lieu au cours de la troisième année. La liste des clones de saule et hybrides qui ont été évalués sur le plan opérationnel figure ci-dessous. Le site a été entièrement récolté à l'automne et à l'hiver 2007-2008 et 2011-2012. Des portions ont été récoltées de façon périodique pour des évaluations opérationnelles jusqu'à ce que le site d'Ellerslie soit récolté en 2018.



Figure 59. Aperçu du plan d'établissement de biomasse concentrée : trois rangées.

Tableau A9. Test de biomasse concentrée mené au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Numéro sur la figure	Clone	Année d'établissement	Nombre de planches	Plan Espacement
49	S. x India	2005	4	3 rangées
50	S. x Pseudo	2005	3	3 rangées
51	S. x Hotel	2005	5	3 rangées
52	S. x Alpha	2005	4	3 rangées
53	S. x Acute	2005	4	3 rangées
54	PH - NM-06	2005	2	3 rangées
55	S. x Charlie	2005	4	3 rangées
56	PH - P38P38	2011	1	1 rangée
57	S. SX-61, S. SX-64, S. SX-67	2006	1 chacun	3 rangées
58	PH - P38P38	2011	2	1 rangée

Sites de recherche opérationnelle 71 à 93

La deuxième démonstration de test de biomasse concentrée a été établie pour servir de comparaison opérationnelle pour l'évaluation de nouveaux protocoles d'établissement et de gestion des plantations de biomasse concentrée. Elle a également été conçue pour évaluer la pertinence clonale du saule et du peuplier hybride liée au potentiel de croissance et de rendement. Le protocole d'établissement mis en œuvre comprenait un mélange en profondeur des sols à une profondeur de 25 à 30 cm. Cela a été fait pour améliorer le potentiel d'enracinement. Un disquage superficiel subséquent (de 10 à 15 cm) a été mis en œuvre pour accroître la productivité des traitements subséquents. Le site a été marqué mécaniquement à un espacement de 3,2 m pour assurer un espacement uniforme entre les planches. Des boutures de 30 cm non racinées pour de nombreux clones de saule et de peuplier hybride ont été plantées

mécaniquement dans un plan de biomasse concentrée à trois rangées (15 625 troncs ha⁻¹), à une profondeur d'au moins 25 à 28 cm dans le sol (figure 56). Le régime mécanique de gestion de la végétation n'a pas été intégré pour la rotation initiale de trois ans. Il en a résulté des volumes sensiblement plus faibles. Au cours de la deuxième rotation, les activités de gestion de la végétation ont été effectuées et la croissance s'est améliorée. La liste des clones de saule et hybrides qui ont été évalués sur le plan opérationnel figure ci-dessous. Le site a été entièrement récolté à l'automne et à l'hiver 2007-2008 et 2011-2012. Des portions ont été récoltées de façon périodique pour des évaluations opérationnelles et du matériel de multiplication végétative jusqu'à ce que le site d'Ellerslie soit récolté en 2018 pour la formation des conducteurs.

Tableau A10. Bioénergie-Aucun test de gestion mené au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Numéro sur la figure	Clone ¹	Année d'établissement	Nombre de planches	Plan Espacement
70	PH - DN-74	2014	3 planches	1 rangée
71	S x SX-67	2006	1 planche	3 rangées
72	S. x Alpha	2006	1 planche	3 rangées
73	S. x Juliet	2006	7 planches	3 rangées
74	S. x Charlie	2006	7 planches	3 rangées
75	S. x SV-1	2006	3 planches	3 rangées
76	S. x SX-64	2006	5 planches	3 rangées
77	S. x Hotel	2005	5 planches	3 rangées
78	S. x Hotel	2005	2 planches	3 rangées
79	S. x Hotel	2005	2 planches	3 rangées
80	PH - Hill	2005	5 planches	3 rangées
81	PH - Hill	2005	5 planches	3 rangées
82	PH - Walker	2005	4 planches	3 rangées
83	PH - Walker	2005	4 planches	3 rangées
84	S. x Charlie	2005	4 planches	3 rangées
85	S. x Charlie	2005	4 planches	3 rangées
86	S. x India	2005	4 planches	3 rangées
87	S. x India	2005	4 planches	3 rangées
88	S. x SX-61	2006	1 planche	3 rangées
89	S. x SX-61	2006	1 planche	3 rangées
90	S. x SX-64	2006	1 planche	3 rangées
91	S. x SX-64	2006	1 planche	3 rangées
92	S. x SX-67	2006	1 planche	3 rangées
93	S. x SX-67	2006	1 planche	3 rangées

¹ S. = saule, PH = peuplier hybride

Site de recherche opérationnelle 94

Le site de démonstration du tremble amélioré a été établi pour montrer l'utilisation de clones améliorés du tremble, multipliés à partir de boutures de racines fournies par Daishowa-Marubeni International (DMI) Ltd. Ces boutures améliorées faisaient partie des croisements contrôlés (annexe I). Elles ont été élaborées dans le cadre du programme de sélection des arbres de la Western Boreal Aspen Cooperation. Cette organisation était composée de quatre sociétés membres : DMI, Weyerhaeuser Canada, Ainsworth et Footner Forest Products. Le site a été conservé à des fins de démonstration jusqu'en 2018, date à laquelle la zone a été récoltée et déchetée pour les tests opérationnels d'un système de déchetage à petite échelle.

Sites établis en 2006

La partie 2006 du site de développement technique de CLCR d'Ellerslie (figure 60) était limitée à l'établissement d'un test clonal de saule. Ce test a été établi en collaboration avec la State University of New York (SUNY). Il faisait partie d'une expérience plus vaste visant à comprendre la pertinence des clones de saule nouvellement mis au point dans divers climats nord-américains. Il a évalué les conditions de croissance idéales pour accroître la rentabilité et pour améliorer les futurs efforts de sélection. Les autres lieux de tests sur le terrain sélectionnés pour l'étude plus vaste étaient

Constableville, dans l'État de New York et Waseca, au Minnesota (Johnson et coll., 2018). En 2006, 20 cultivars de saule issus du programme de sélection de la SUNY ont été testés à Ellerslie.

Site de recherche opérationnelle 69

Le protocole d'établissement comprenait un mélange en profondeur des sols à une profondeur de 25 à 30 cm, qui a amélioré le potentiel d'enracinement. Un disage superficiel subséquent (de 10 à 15 cm) a facilité une productivité accrue pour des traitements subséquents. Le site a été marqué mécaniquement pour veiller à ce que le plan à deux rangées était conforme aux autres sites établis aux États-Unis. La superficie de la parcelle était de 6,9 m x 7,9 m, ce qui a permis trois rangées doubles de saules. Les boutures de saule étaient espacées de 60 cm dans la rangée et de 75 cm entre les rangées. Il y avait 150 cm entre chaque série de rangées doubles, ce qui a donné 13 plantes le long de chaque rangée. Il en est résulté une densité de plantation de 14620 troncs ha⁻¹. Les boutures non racinées avaient une longueur de 25 cm et étaient plantées à une profondeur d'au moins 20 à 23 cm (figure 61). Les 20 cultivars de la SUNY et les quatre cultivars (S25, SX61, SX64 et SV1) provenant de l'Université de Toronto et du ministère des Richesses naturelles de l'Ontario ont été plantés manuellement. Cela a été fait selon un plan de bloc complet randomisé avec quatre répétitions.



Figure 60. Sites de recherche opérationnelle établis au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie en 2006.



Figure 61. Plan de biomasse concentrée à deux rangées du test clonal de la SUNY.

Tableau A11. Test clonal de saule de la SUNY (State University of New York) mené au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Numéro sur la figure	Test	Année d'établissement	Types de matériel
69	94001	2006	Boutures non racinées
	00X-026-082	2006	Boutures non racinées
	00X-032-094	2006	Boutures non racinées
	9832-49	2006	Boutures non racinées
	9837-077	2006	Boutures non racinées
	Allegany	2006	Boutures non racinées
	Canastota	2006	Boutures non racinées
	Cicero	2006	Boutures non racinées
	Fish Creek	2006	Boutures non racinées
	Marcy	2006	Boutures non racinées
	Millbrook	2006	Boutures non racinées
	Oneida	2006	Boutures non racinées
	Oneonta	2006	Boutures non racinées
	Onondaga	2006	Boutures non racinées
	Otisco	2006	Boutures non racinées
	Owasco	2006	Boutures non racinées
	Saratoga	2006	Boutures non racinées
	Sherburne	2006	Boutures non racinées
	Tully Champion	2006	Boutures non racinées
	Wolcott	2006	Boutures non racinées
S25	2006	Boutures non racinées	
SV1	2006	Boutures non racinées	
SX61	2006	Boutures non racinées	
SX64	2006	Boutures non racinées	

Les saules ont été recépés après la dessiccation des feuilles à la suite de la première saison de croissance. Un régime mécanique de gestion de la végétation a été intégré. Il a commencé quelques semaines après la plantation et s'est poursuivi jusqu'à la fermeture du couvert, qui a eu lieu au cours de la troisième année.

Le test clonal de la SUNY a été récolté en 2009 et 2012 dans le cadre du programme de surveillance de la SUNY. À la fin du programme, le site a été maintenu à Ellerslie à des fins de démonstration jusqu'à sa récolte en 2018.

Sites établis en 2007

La partie 2007 du site de développement technique de CLCR d'Ellerslie (figure 62) était limitée à l'établissement d'un test de plan de biomasse concentrée. Les objectifs du test étaient d'évaluer les répercussions du plan d'établissement et de la densité de plantation sur le rendement de la biomasse possible et le coût réel par tonne de biomasse récoltée.



Figure 62. Sites de recherche opérationnelle établis au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie en 2007.

Sites de recherche opérationnelle 59 et 62

Le protocole d'établissement mis en œuvre pour le test de plan de biomasse concentrée comprenait un mélange en profondeur des sols à une profondeur de 25 à 30 cm. Cela a été fait pour améliorer le potentiel d'enracinement. Un disquage superficiel subséquent (de 10 à 15 cm) a été mis en œuvre pour faciliter une productivité accrue pour les traitements subséquents. Le test comprenait deux parcelles de 20 m de largeur et 90 m de longueur. La parcelle 1 (site 59) a été marquée mécaniquement à un espacement de 1,8 m. Cela a assuré un espacement

uniforme entre les rangées. Des boutures de *Salix purpurea* de 25 cm non racinées ont été plantées mécaniquement à intervalles de 60 cm le long des rangées selon un plan de biomasse concentrée à une rangée, à une profondeur d'au moins 20 à 23 cm dans le sol (figure 63). Un total de 10 rangées ont été établies dans la parcelle de 20 m de large, avec une largeur nette de 18 m et une superficie nette de 1620 m². La parcelle n° 2 (site 62) a été marquée mécaniquement à un espacement de 3,2 m pour assurer un espacement uniforme entre les planches. Des boutures de *Salix purpurea* non racinées (25 cm) ont été plantées mécaniquement à intervalles de 60 cm le long des rangées selon un plan de biomasse concentrée à trois rangées, à une profondeur d'au moins 20 à 23 cm dans le sol. Au total, cinq planches (15 rangées) ont été établies dans la parcelle de 20 m de large. La largeur nette de la parcelle était de 16 m et la superficie nette de la parcelle était de 1440 m². Un régime mécanique de gestion de la végétation a été intégré et a commencé quelques semaines après la plantation. Il s'est poursuivi jusqu'à la fermeture du couvert, qui a eu lieu au cours de la troisième année. Le test n'a pas été recépé en 2007-2008. La croissance sur quatre ans a été récoltée en 2010. Les évaluations périodiques n'ont permis de déceler aucune différence significative dans le volume qu'il a été possible d'obtenir entre l'un et l'autre plan. Les résultats préliminaires, la réduction des coûts d'établissement et de gestion et des rendements semblables sont quelques-uns des avantages associés au plan à une rangée pour les plantations de biomasse concentrée par rapport aux plans à deux et trois rangées. Le site a été maintenu à Ellerslie à des fins de démonstration jusqu'à sa récolte en 2018.

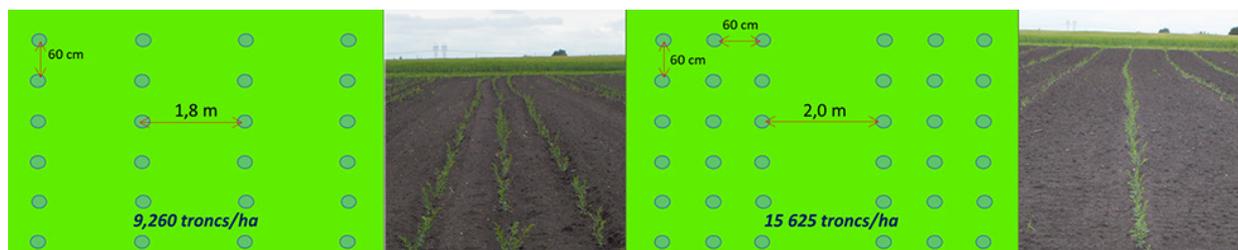


Figure 63. Plans d'établissement de tests de plan de biomasse concentrée (2007).

Sites établis en 2008

La partie 2008 du site de développement technique de CLCR d'Ellerslie (figure 64) était limitée à l'établissement d'un test opérationnel de plan de biomasse concentrée de Green Giant. Les objectifs du test étaient d'évaluer la croissance potentielle du peuplier hybride Green Giant en tant que clone pertinent pour les plantations de biomasse concentrée, et de fournir du matériel de multiplication végétative pour de futurs tests de recherche opérationnelle.



Figure 64. Sites de recherche opérationnelle établis au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie en 2008.

Site de recherche opérationnelle 63

Le protocole d'établissement mis en œuvre pour le test opérationnel de plan de biomasse concentrée de Green Giant comprenait un mélange en profondeur des sols à une profondeur de 25 à 30 cm. Cela a été fait pour améliorer le potentiel d'enracinement. Un disquage superficiel subséquent (de 10 à 15 cm) a été mis en œuvre pour faciliter une productivité accrue pour les traitements subséquents. Le site a été marqué mécaniquement à un espacement de 3,2 m pour assurer un espacement uniforme entre les planches. Des boutures de saule et de peuplier hybride ont été plantées mécaniquement dans un plan de biomasse concentrée à trois rangées (15 625 troncs ha⁻¹), à une profondeur d'au moins 25 à 28 cm dans le sol. Un régime mécanique de gestion de la végétation a été intégré et a commencé quelques semaines après la plantation. Il s'est poursuivi jusqu'à la fermeture du couvert, qui a eu lieu au cours de la troisième année. La croissance du peuplier hybride Green Giant en première rotation sur trois ans était conforme à celle d'autres planches de biomasse concentrée de saule et de peuplier hybride. Le site a été maintenu à Ellerslie à des fins de démonstration jusqu'à sa récolte en 2018.

Sites établis en 2010

La partie 2010 du site de développement technique de CLCR d'Ellerslie (figure 65) était axée sur l'établissement de tests de recherche opérationnelle de tremble amélioré. Le tremble est le nom commun d'un autre groupe d'espèces de *Populus* indigènes de l'Amérique du Nord. Ce sont aussi de « vrais peupliers ». Le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides*) compte cinq sous-espèces. Le peuplier à grandes dents (*Populus grandidentata*) est constitué de deux sous-espèces. Le peuplier faux-tremble est commun partout au Canada et il est répandu dans la région des Prairies et dans les montagnes Rocheuses. Le peuplier à grandes dents pousse dans le sud du Manitoba, en Ontario, au Québec et dans la région des Grands Lacs aux États-Unis. Les trembles sont mieux adaptés aux milieux secs que les peupliers. Contrairement aux peupliers, ils ne peuvent pas se multiplier facilement à partir de boutures non racinées. Au lieu de cela, ils se régénèrent naturellement par dissémination des graines ou par drageonnement racinaire vigoureux après la récolte ou un feu de forêt.



Figure 65. Sites de recherche opérationnelle établis au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie en 2010.

Au cours de l'hiver 2009-2010, Weyerhaeuser a choisi de réduire considérablement son programme d'amélioration des arbres en Alberta. Cette réduction a donné lieu à un excédent de matériel de reproduction entreposé dans des congélateurs. Le matériel prévu pour les tests d'ensemencement a été l'aboutissement de 19 années de recherche menée sur l'amélioration des trembles en vue d'améliorer la régénération artificielle des trembles en Alberta. Weyerhaeuser a communiqué avec le Groupe du développement technologique dans l'espoir que le matériel de reproduction excédentaire pourrait être utilisé pour des tests de recherche opérationnelle de CLCR.

Le CCFB a mis sur pied des tests de tremble amélioré pour évaluer le rendement sur le terrain des clones de tremble amélioré de Weyerhaeuser dans des plans de boisement à rendement élevé et de biomasse concentrée. Ces tests ont analysé leur croissance potentielle, leur tolérance au froid, la forme des arbres, la résistance aux maladies et aux insectes, l'adaptabilité des sites et la qualité du bois.

Sites de recherche opérationnelle 33 à 42

Le test clonal du tremble amélioré de Weyerhaeuser a été établi à l'aide d'un plan de plantation en bloc de boisement à rendement élevé pour chaque clone et chaque type de matériel disponibles fournis par Weyerhaeuser. Les protocoles d'établissement et de gestion de CLCR comprennent une combinaison de

mélange de sol profond et superficiel pour toute la région ainsi qu'un régime mécanique de gestion de la végétation. Ce régime a commencé quelques semaines après la plantation et s'est poursuivi au besoin jusqu'à la fermeture du couvert, qui a eu lieu au cours de la quatrième année. Le marquage mécanique et les opérations manuelles de plantation ont créé un plan en forme de grille qui intègre 1600 troncs ha⁻¹ (2,5 m x 2,5 m). Le régime mécanique de gestion de la végétation a été intégré et a commencé quelques semaines après la plantation et s'est poursuivi au besoin jusqu'à la fermeture du couvert, qui a eu lieu au cours de la quatrième année. La zone a été activement échantillonnée jusqu'à sa récolte en 2018.

Tableau A12. Test clonal de boisement à rendement élevé de tremble amélioré de Weyerhaeuser mené au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Numéro sur la figure	Clones	Année d'établissement	Plan de test	Types de matériel
33	Tremble amélioré 3085	2010	Boisement à rendement élevé	Plançons racinés
34	Tremble amélioré 3109	2010	Boisement à rendement élevé	Plançons racinés
35	Tremble amélioré 3120	2010	Boisement à rendement élevé	Plançons racinés
36	Tremble amélioré 94-007-A	2010	Boisement à rendement élevé	Plançons racinés
37	Tremble amélioré 3047	2010	Boisement à rendement élevé	Semis à racines nues
38	Tremble amélioré 3089	2010	Boisement à rendement élevé	Semis à racines nues
39	Tremble amélioré 3104	2010	Boisement à rendement élevé	Semis à racines nues
40	Tremble amélioré 3106	2010	Boisement à rendement élevé	Semis à racines nues
41	Tremble amélioré 3109	2010	Boisement à rendement élevé	Semis à racines nues
42	Tremble amélioré 94-007-A	2010	Boisement à rendement élevé	Semis à racines nues

Sites de recherche opérationnelle 60, 61, 66, 67 et 96

Le protocole d'établissement mis en œuvre pour les tests opérationnels de plan de biomasse concentrée de tremble amélioré de Weyerhaeuser comprenait un mélange en profondeur des sols à une profondeur de 25 à 30 cm. Cela a été fait pour améliorer le potentiel d'enracinement. Un disquage superficiel subséquent (de 10 à 15 cm) a été mis en œuvre pour faciliter une productivité accrue pour les traitements subséquents.

Le site a été marqué mécaniquement à un espacement de 3,2 m pour assurer un espacement uniforme entre les planches. Les clones ont été plantés manuellement selon un plan de biomasse concentrée à trois rangées (15 625 troncs ha⁻¹). Un régime mécanique de gestion de la végétation a été intégré et a commencé quelques semaines après la plantation. Il s'est poursuivi jusqu'à la fermeture du couvert, qui a eu lieu au cours de la troisième année. La zone a été évaluée de façon périodique jusqu'à sa récolte en 2018.

Tableau A13. Tests clonaux de biomasse concentrée de tremble amélioré de Weyerhaeuser menés au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Numéro sur la figure	Clones	Année d'établissement	Plan de test	Types de matériel
60	Tremble amélioré 3085	2010	Biomasse concentrée	Semis à racines nues
61	Tremble amélioré 3106	2010	Biomasse concentrée	Semis à racines nues
66	Tremble amélioré 3120	2010	Biomasse concentrée	Semis à racines nues
67	Tremble amélioré 3089	2010	Biomasse concentrée	Semis à racines nues
96	Tremble amélioré 3047	2010	Biomasse concentrée	Semis à racines nues

Sites établis en 2011

La partie 2011 du site de développement technique de CLCR d'Ellerslie (figure 66) était axée sur l'établissement de plusieurs tests opérationnels de plan de biomasse concentrée de peuplier hybride P38P38. Au cours de l'hiver 2010-2011, Alberta-Pacific Forest Industries Inc. (Al-Pac) a choisi de réduire considérablement son programme de boisement en Alberta. Cette réduction a donné lieu à un excédent de matériel de reproduction entreposé dans des congélateurs. Al-Pac a communiqué avec le Groupe du développement technologique dans l'espoir que le matériel de reproduction excédentaire pourrait être utilisé pour des tests de recherche opérationnelle de CLCR. L'objectif des tests était d'évaluer la croissance potentielle du peuplier hybride P38P38 en tant que clone pertinent pour les plantations de biomasse concentrée et de fournir du matériel de multiplication végétative pour de futurs tests de recherche opérationnelle.



Figure 66. Sites de recherche opérationnelle établis au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie en 2011.

Sites de recherche opérationnelle 64, 65, 68, 95, 97 et 98

Le protocole d'établissement mis en œuvre pour le test opérationnel de plan de biomasse concentrée de P38P38 comprenait un mélange en profondeur des sols à une profondeur de 25 à 30 cm. Cela a été fait pour améliorer le potentiel d'enracinement. Un disquage superficiel subséquent (de 10 à 15 cm) a été mis en œuvre pour faciliter une productivité accrue pour les traitements subséquents. Le site a été marqué mécaniquement à un espacement de 3,2 m pour assurer un espacement uniforme entre les planches. Les semis en récipient ont été plantés manuellement selon un plan de biomasse concentrée à trois rangées (15 625 troncs ha⁻¹). Un régime mécanique de gestion de la végétation a été intégré et a commencé quelques semaines après la plantation. Il s'est poursuivi jusqu'à la fermeture du couvert, qui a eu lieu au cours de la troisième année. La croissance du peuplier hybride P38P38 en première rotation sur trois ans était conforme à celle d'autres planches de biomasse concentrée de saule et de peuplier hybride. Le site a été maintenu à Ellerslie à des fins de démonstration jusqu'à sa récolte en 2018.

Sites établis en 2014

La partie 2014 du site de développement technique de CLCR d'Ellerslie (figure 67) était principalement axée sur l'établissement d'une composante conifère dans des plantations de boisement à rendement élevé dont le couvert a été récemment fermé. Le but du test était

d'évaluer la croissance à long terme de diverses espèces de conifères tolérants établies dans une plantation de CLCR dont le couvert a été récemment fermé. L'objectif était de conserver la composante conifère après la récolte de l'étage supérieur. En plus des installations de conifères, une petite superficie de biomasse concentrée de peuplier hybride a été établie.



Figure 67. Sites de recherche opérationnelle établis au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie en 2014.

Site de recherche opérationnelle 70

Le protocole d'établissement mis en œuvre pour le test opérationnel de biomasse concentrée de DN-74 comprenait un mélange en profondeur des sols à une profondeur de 25 à 30 cm. Cela a été fait pour améliorer le potentiel d'enracinement. Un disquage superficiel subséquent (de 10 à 15 cm) a été mis en œuvre pour faciliter une productivité accrue pour les traitements subséquents. Le site a été marqué mécaniquement à un espacement de 2,0 m pour assurer un espacement uniforme entre les rangées. Les boutures racinées ont été plantées manuellement à intervalles de 60 cm le long des rangées selon un plan de biomasse concentrée à une rangée. Un régime mécanique de gestion de la végétation a été intégré et a commencé quelques semaines après la plantation. Il s'est poursuivi jusqu'à la fermeture du couvert, qui a eu lieu au cours de la troisième année. Établi à l'origine pour fournir du matériel de multiplication végétative pour de futurs tests de recherche opérationnelle, le site a été récolté en 2018.

Sites de recherche opérationnelle 99, 100 et 101

Ces sites ont évalué le calendrier d'intégration de conifères de sous-étage aux plantations de boisement à rendement élevé de CLCR pour créer des sites de boisement mixte (figure 68). Les sites ont été conçus pour offrir des avantages à long terme en matière de séquestration du carbone. Le Groupe du développement technique a lancé un programme pour évaluer diverses espèces et établir un calendrier pour intégrer la composante conifère. Le test d'établissement de conifères tolérants de sous-étage comprenait trois espèces de conifères de sous-étage pour créer des sites de boisement mixte. Le site 99 a été planté d'épinette blanche (*picea glauca* (Moench) Voss.), le site 100 d'épinette noire (*picea mariana*) et le site 101 de douglas vert (*pseudotsuga menziesii* var. *menziesii*). Les semis ont été plantés à une distance uniforme des troncs existants de l'étage supérieur au milieu du plan en forme de grille du boisement à rendement élevé de CLCR. Les sites ont été évalués pour la survie et utilisés à des fins de démonstration jusqu'à leur récolte en 2018.

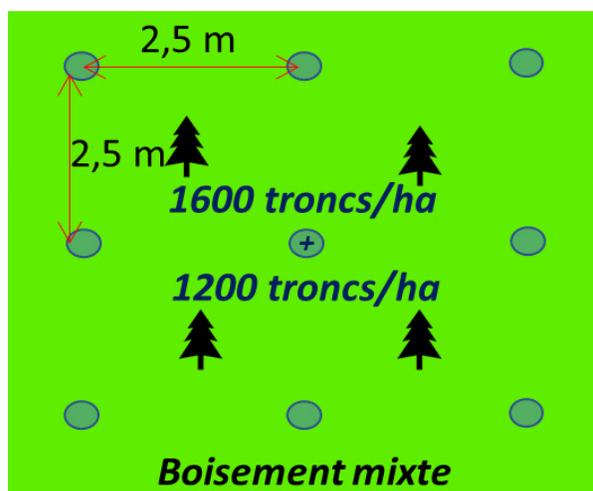


Figure 68. Plan de plantation de boisement mixte.

Sites établis en 2015

La partie 2015 du site de développement technique de CLCR d'Ellerslie (figure 69) était la continuation de l'établissement d'une composante conifère dans les plantations de boisement à rendement élevé. Le programme de 2015 a été intégré pour comparer les répercussions sur la croissance et la survie du report de l'ajout de la composante conifère jusqu'à l'année dix de la plantation de boisement à rendement élevé.



Figure 69. Sites de recherche opérationnelle établis au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie en 2015.

Sites de recherche opérationnelle 28, 29 et 30

Suivant le même protocole qu'en 2014, trois espèces de conifères de sous-étage ont été plantées pour créer des sites de boisement mixte. Le site 28 a été planté d'épinette blanche (*picea glauca* (Moench) Voss.), le site 29 d'épinette noire (*picea mariana*) et le site 30 de douglas vert (*pseudotsuga menziesii* var. *menziesii*). Les semis ont été plantés à une distance uniforme des troncs existants de l'étage supérieur au milieu du plan en forme de grille du boisement à rendement élevé de CLCR. Les sites ont été évalués pour la survie et utilisés à des fins de démonstration jusqu'à leur récolte en 2018.

Annexe IV

Équations utilisées pour calculer divers paramètres de rendement des plantations de boisement à rendement élevé

1. Taux de survie

$$\text{Taux de survie} = \left(\frac{\text{Nombre d'arbres vivants dénombrés}}{\text{Nombre total d'arbres initialement plantés dans la parcelle}} \right) \times 100$$

2. Hauteur moyenne des arbres

$$\text{Hauteur moyenne} = \frac{\text{Hauteur totale de tous les arbres vivants mesurés}}{\text{Nombre total d'arbres vivants mesurés}}$$

3. Diamètre au collet (DC, pour les arbres de moins de 1,3 m de hauteur) ou diamètre à hauteur de poitrine (DHP, pour les arbres de plus de 1,3 m de hauteur)

$$\text{DC ou DHP moyen} = \frac{\text{Somme des DC ou DHP de tous les arbres vivants mesurés}}{\text{Nombre total d'arbres vivants mesurés}}$$

4. Volume du tronc (m³, arbres de moins de 1,3 m de hauteur)

$$\text{Volume du tronc} = \pi \times \left(\frac{\text{DHP en mm}}{2} \right)^2 \times \frac{\text{Hauteur en cm/3}}{100\,000\,000}$$

5. Volume du tronc (m³, arbres de plus de 1,3 m de hauteur) à l'aide de l'équation du volume de peuplier hybride de production de l'Ontario

$$\text{Volume du tronc} = \exp(-2,884601 + 1,604938 \times \ln(\text{DHP en cm}) + 1,203873 \times \ln(\text{hauteur en m}) \times 1,013914) / 1000$$

6. Volume moyen pondéré du tronc (m³)

$$\text{Volume moyen pondéré du tronc} = \frac{\text{Somme des volumes de tous les troncs vivants}}{\text{Total des troncs vivants}}$$

7. Superficie utile de la parcelle (m²)

$$\text{Superficie utile de la parcelle} = \text{Total des arbres initialement plantés dans la parcelle} \times \text{Largeur de l'espacement du plan de plantation en m} \times \text{Longueur de l'espacement du plan de plantation en m}$$

8. Volume du site/ha (m³), d'après la superficie utile de la parcelle

$$\text{Site} \frac{\text{Volume}}{\text{ha}} = \text{Somme des volumes des troncs de la parcelle en m}^3 \times \frac{10\,000 \frac{\text{m}^2}{\text{ha}}}{\text{Superficie utile de la parcelle en m}^2}$$

Annexe V

Tableau A14. Diamètre à hauteur de poitrine (DHP), âge, hauteur, survie en 2017 et volume du site de clones sélectionnés testés dans le cadre d'un régime de gestion à rendement élevé au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie, à Edmonton, en Alberta.

Numéro sur la figure	Clone	Planté en	Mesuré en	Âge	DHP min. (cm)	DHP moyen (cm)	DHP max. (cm)	Hauteur min. (m)	Hauteur moyenne (m)	Hauteur max. (m)	Survie 2017 (%)	Volume ^{ha} (m ³)
2002												
4	Northwest	2002	2006	5	1,60	5,78	7,60	3,40	6,10	6,95		21,09
		2002	2010	9	5,70	9,65	12,90	7,80	10,31	12,10		55,61
		2002	2013	12	6,10	11,96	15,50	8,80	12,78	15,00		134,95
		2002	2015	14	8,40	12,82	16,70	10,10	14,04	15,80		169,13
		2002	2017	16	6,00	12,90	17,70	9,20	18,20	24,40	95,24 %	258,15
6	Walker	2002	2006	5				Non échantillonné				
		2002	2010	9	2,20	8,56	15,00	4,50	10,64	13,60		61,72
		2002	2013	12				Non échantillonné				
		2002	2015	14	2,70	12,51	19,50	4,90	15,29	17,90		194,17
		2002	2017	16	3,10	13,79	21,30	5,80	17,01	21,40	85,71 %	258,95
14	Green Giant - Contrôle	2002	2006	5				Non échantillonné				
		2002	2010	9	5,30	11,80	16,40	7,00	10,54	12,10		65,72
		2002	2013	12	7,70	14,65	18,80	8,50	13,92	15,20		96,25
		2002	2015	14	8,20	15,25	19,50	7,60	14,10	15,20		104,57
		2002	2017	16	15,30	17,37	21,00	15,30	17,69	19,80	95,24 %	144,30
14	Green Giant - Recépé	2002	2006	5				Non échantillonné				
		2002	2010	9	2,20	2,87	3,50	4,20	4,86	5,80		2,01
		2002	2013	12	2,10	4,26	6,80	3,96	6,03	9,25		6,82
		2002	2015	14	1,40	3,77	7,00	2,90	5,35	9,90		7,24
		2002	2017	16	2,40	4,81	7,70	3,80	6,37	10,60		10,23
14	Épinette blanche-GG	2003	2006	4				Non échantillonné				
		2003	2010	8				Non échantillonné				
		2003	2013	11	0,60	1,80	3,30	0,45	2,36	2,44		< 0,1
		2003	2015	13	0,10	1,31	3,80	0,46	1,51	4,30		0,44
		2003	2017	15	0,90	2,19	5,00	0,50	1,85	4,90	100,00 %	1,14
15	Walker	2002	2006	5	3,40	5,49	7,40	1,50	6,20	7,68		12,26
		2002	2010	9	7,30	10,91	14,80	10,00	12,08	13,60		64,39

(Suite à la page 99)

(Suite de la page 98)

Numéro sur la figure	Clone	Planté en	Mesuré en	Âge	DHP min. (cm)	DHP moyen (cm)	DHP max. (cm)	Hauteur min. (m)	Hauteur moyenne (m)	Hauteur max. (m)	Survie 2017 (%)	Volume ^{ha} (m ³)
16	Tremble hybride	2002	2013	12	6,20	12,70	19,40	9,80	15,53	18,50		163,21
		2002	2015	14	6,10	13,25	20,60	9,50	15,98	19,10		187,11
		2002	2017	16	6,80	14,72	22,60	10,80	18,54	23,60	76,19 %	252,66
		2002	2006	5	3,80	5,34	7,00	2,60	6,26	8,04		16,13
		2002	2010	9	4,50	10,20	13,60	7,60	10,70	12,80		71,41
		2002	2013	12	5,70	11,99	17,60	9,20	14,01	16,80		160,97
16	Épinette blanche-TH	2002	2015	14	5,60	12,21	18,60	8,20	14,51	17,20		186,20
		2002	2017	16	5,30	12,81	21,30	7,80	16,20	21,10	76,19 %	230,04
		2003	2006	4					Non échantillonné			
		2003	2010	8					Non échantillonné			
		2003	2013	11	0,70	0,70	0,70	0,54	0,98	1,70		< 0,1
		2003	2015	13	0,20	0,61	0,80	0,59	1,04	1,75		< 0,1
		2003	2017	15	0,60	1,44	2,20	0,60	1,17	2,20	100,00 %	0,12
2003												
3	Walker	2003	2013	11	5,90	12,42	15,70	8,40	14,84	17,00		160,66
		2003	2015	13	6,00	13,04	16,10	9,20	16,00	17,50		191,07
		2003	2017	15	6,20	14,88	18,30	10,70	20,03	23,40	80,95 %	312,40
3	Épinette blanche-WA	2003	2013	11	0,60	1,51	3,20	1,49	2,30	3,83		0,69
		2003	2015	13	0,90	2,08	4,40	1,50	2,42	4,00		1,23
		2003	2017	15	1,30	3,11	5,60	1,30	3,20	5,50	100,00 %	3,39
2004												
25	Assiniboine	2004	2006	3	0,00	1,82	3,80	0,00	2,67	4,40		S.O.
		2004	2009	6	1,60	8,34	11,50	3,70	8,47	10,11		35,90
		2004	2010	7	1,50	8,59	13,50	2,30	9,53	12,20		49,85
		2004	2013	10	2,50	12,98	19,90	5,70	15,12	17,90		153,51
		2004	2015	12	3,00	13,88	20,80	5,60	15,96	18,50		182,15
		2004	2017	14	2,90	15,47	21,40	6,20	20,32	27,30	84,13 %	268,32
24	Hill	2004	2006	3	0,00	1,27	2,90	0,00	2,19	3,45		S.O.
		2004	2009	6	2,40	7,52	10,40	4,21	7,33	8,38		26,73
		2004	2010	7	2,80	8,15	11,10	5,00	7,80	9,00		33,29
		2004	2013	10	4,50	12,30	15,50	8,20	12,57	14,10		104,64
		2004	2015	12	4,80	12,77	16,40	7,80	13,05	14,50		115,44
		2004	2017	14	3,50	14,24	18,70	5,50	15,51	19,80	90,48 %	173,82
26	Walker	2004	2006	3	0,00	1,95	3,70	0,00	2,82	4,52		S.O.
		2004	2009	6	1,70	8,03	11,80	3,83	8,63	10,02		34,98
		2004	2010	7	1,90	8,98	13,20	4,50	10,06	12,20		53,88
		2004	2013	10	2,50	13,14	18,00	5,20	15,35	17,90		153,68
		2004	2015	12	2,70	14,20	19,10	5,20	16,07	18,30		179,25
		2004	2017	14	2,70	15,36	21,30	5,40	18,98	24,10	87,30 %	258,56

(Suite à la page 100)

(Suite de la page 99)

Numéro sur la figure	Clone	Planté en	Mesuré en	Âge	DHP min. (cm)	DHP moyen (cm)	DHP max. (cm)	Hauteur min. (m)	Hauteur moyenne (m)	Hauteur max. (m)	Survie 2017 (%)	Volume ^{ha} (m ³)		
2005														
45	Brooks 1	2005	2006	2	1,50	1,50	1,50	0,58	1,49	2,52		S.O.		
		2005	2009	5	0,50	5,16	9,60	1,67	5,22	7,13		9,81		
		2005	2010	6	1,00	6,25	10,80	2,20	6,38	8,20		19,51		
		2005	2013	9	5,50	11,60	15,70	7,00	12,00	13,60		85,26		
		2005	2015	11	5,30	12,42	16,60	6,80	13,15	14,80		88,52		
27	Hill 615	2005	2017	13	3,00	13,91	20,30	5,20	14,88	19,30	71,43 %	180,67		
		2005	2006	2	1,00	1,00	1,00	0,40	1,09	1,82		S.O.		
		2005	2009	5	1,00	5,08	7,50	2,29	4,77	5,73		6,59		
		2005	2010	6	2,30	6,12	9,40	3,70	6,46	7,60		14,35		
		2005	2013	9	5,30	10,95	14,40	8,00	11,41	12,40		67,31		
31	Northwest	2005	2015	11	6,00	12,09	16,00	8,50	12,08	13,60		83,23		
		2005	2017	13	5,00	13,58	18,70	4,50	13,55	16,60	71,43 %	140,38		
		2005	2006	2	1,30	1,30	1,30	1,21	1,96	2,42		S.O.		
		2005	2009	5	2,90	6,00	8,40	4,29	6,18	7,70		17,92		
		2005	2010	6	2,70	7,08	9,80	4,50	7,64	9,00		29,04		
		2005	2013	9	5,70	11,12	14,10	8,00	11,83	13,70		99,47		
		2005	2015	11	6,00	11,76	15,50	7,30	12,56	14,60		123,33		
		2005	2017	13	5,90	12,75	17,40	8,70	17,08	22,00	95,24 %	209,06		
		2010												
		37	Tremble amélioré - 3047	2010	2013	4								Non échantillonné
2010	2015			6	2,30	4,87	5,90	2,80	5,56	6,80		9,01		
2010	2017			8	5,70	8,32	9,80	6,70	9,35	10,30	76,19 %	29,51		
38	Tremble amélioré - 3085	2010	2013	4	2,00	3,95	5,90	2,80	5,01	6,91		6,91		
		2010	2015	6								Non échantillonné		
		2010	2017	8								Non échantillonné		
38	Tremble amélioré - 3089	2010	2013	4								Non échantillonné		
		2010	2015	6	1,20	4,53	6,30	2,40	5,32	6,90		7,81		
		2010	2017	8	3,90	9,18	11,50	6,80	10,40	11,90	80,95 %	51,95		
39	Tremble amélioré - 3104	2010	2013	4								Non échantillonné		
		2010	2015	6	3,60	4,77	5,40	3,20	5,19	5,70		7,06		
		2010	2017	8	4,90	8,11	10,40	4,70	8,38	9,90	80,95 %	31,51		
40	Tremble amélioré - 3106	2010	2013	4								Non échantillonné		
		2010	2015	6	2,60	4,97	6,60	2,60	5,35	6,30		8,63		
		2010	2017	8	6,30	9,67	11,90	8,50	10,70	11,80	80,95 %	56,10		
41	Tremble amélioré - 3109	2010	2013	4	1,80	4,06	5,40	2,70	4,22	5,10		5,55		
		2010	2015	6	2,20	5,44	7,10	3,50	5,33	6,20		10,43		
		2010	2017	8	6,90	10,51	12,40	7,30	9,99	11,30	80,95 %	53,08		
42	Tremble amélioré - 94-007-A	2010	2013	4								Non échantillonné		
		2010	2015	6	1,20	3,47	5,30	1,70	3,89	5,60		5,05		
		2010	2017	8	4,00	8,35	11,10	4,90	8,21	11,30	80,95 %	33,53		



Annexe VI

Équations utilisées pour calculer divers paramètres de rendement des plantations de biomasse concentrée

1. Taux de survie

$$\text{Taux de survie} = \left(\frac{\text{Nombre d'arbres vivants dénombrés}}{\text{Nombre total d'arbres initialement plantés dans la parcelle}} \right) \times 100$$

2. Hauteur maximale moyenne des arbres (SUNY)

$$\text{Hauteur max.moyenne} = \frac{\text{Somme des hauteurs maximales de tous les arbres vivants}}{\text{Nombre total d'arbres vivants mesurés}}$$

3. Troncs moyens par plante (SUNY)

$$\text{Troncs moyens/plante} = \frac{\text{Somme de tous les troncs de tous les arbres vivants}}{\text{Nombre total d'arbres vivants mesurés}}$$

4. Pourcentage de dommages (SUNY)

$$\text{Pourcentage de dommages} = \left(\frac{\text{Somme des endroits plantés avec dommages}}{\text{Nombre total d'endroits plantés échantillonnés}} \right) \times 100$$

5. Poids humide moyen par plante (kg)

$$\text{Poids humide moyen/plante} = \frac{\text{Somme de tous les poids de tous les endroits plantés vivants à l'intérieur d'une parcelle}}{\text{Nombre total d'endroits plantés à l'intérieur d'une parcelle}}$$

6. Poids moyen par endroit planté

$$\text{Poids moyen par endroit planté} = \frac{\text{Poids par hectare}}{\text{Densité de plantation à l'origine}}$$

7. Poids humide/ha (tonnes), d'après la superficie de la parcelle

$$\text{Poids humide par hectare} = \text{Somme des poids humides de la parcelle en tonnes} \times \frac{10\,000 \frac{m^2}{ha}}{\text{Superficie de la parcelle en } m^2}$$

8. Poids humide/ha (tonnes), d'après le poids moyen par endroit planté

$$\text{Poids humide par hectare} = \text{Poids humide moyen par endroit planté vivant en } \frac{kg}{1000} \times \text{troncs du plan de plantation par ha} \times \text{taux de survie}$$

9. Résidus de récolte par hectare (tonnes)

$$\text{Résidus de récolte par hectare} = \text{Somme des poids des résidus de la parcelle en tonnes} \times \frac{10\,000 \frac{m^2}{ha}}{\text{Superficie de la parcelle en } m^2}$$

10. Perte de déchetage (%)

$$\text{Pourcentage de perte de déchetage} = \left(\frac{\text{Masse avant le déchetage} - \text{Masse après le déchetage}}{\text{Masse avant le déchetage}} \right) \times 100$$

11. Teneur en humidité (%)

$$\text{Teneur en humidité} = \frac{(\text{Poids humide des échantillons} - \text{Poids sec des échantillons})}{\text{Poids humide des échantillons}}$$

Poids sec des échantillons obtenu par séchage des échantillons au four à 100 °C pendant 72 heures.

12. Masse du bois anhydre

$$\text{Masse du bois anhydre} = \text{Poids humide} \times (1 - \text{Teneur en humidité (décimal)})$$



Annexe VII

Résumé des évaluations historiques du test clonal de saule de la SUNY établi au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie, à Edmonton, en Alberta.

Tableau A15. Données sur les troncs par plante et sur le taux de survie du test clonal de la SUNY recueillies au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Numéro sur la figure	Nom commun du clone	Survie 2006-2007	Survie été 2008	Survie 2009-2010	Survie 2011-2012	Troncs moyens/plante à l'automne 2007	Troncs moyens/plante en 2010-2011	Troncs moyens/plante en 2011-2012
69	Oneonta	86,11 %	93,06 %	76,39 %	69,44 %	6	6	5
	94001	94,44 %	95,83 %	94,44 %	94,44 %	9	18	17
	00X-026-082	79,17 %	95,83 %	72,22 %	48,61 %	3	1	2
	00X-032-094	58,33 %	81,94 %	56,94 %	56,94 %	5	6	9
	9832-49	84,72 %	100,00 %	85,71 %	76,39 %	5	5	6
	9837-077	54,17 %	100,00 %	52,78 %	47,22 %	5	3	6
	Cicero	87,50 %	95,83 %	86,11 %	83,33 %	5	6	5
	Marcy	69,44 %	69,44 %	56,94 %	56,94 %	4	3	4
	Sherburne	95,83 %	94,44 %	95,83 %	94,44 %	10	15	9
	Fish Creek	93,06 %	93,06 %	90,28 %	90,28 %	7	13	12
	Wolcott	79,17 %	95,83 %	80,56 %	75,00 %	6	9	10
	Onondaga	70,83 %	91,67 %	72,22 %	75,00 %	10	10	9
	Otisco	94,44 %	98,61 %	91,67 %	93,06 %	4	10	7
	Tully Champion	91,67 %	98,61 %	91,67 %	91,67 %	5	11	9
	Owasco	86,11 %	87,50 %	84,72 %	81,94 %	7	10	8
	Millbrook	93,06 %	97,22 %	90,28 %	91,67 %	5	11	9
	Saratoga	91,67 %	94,44 %	93,06 %	93,06 %	9	15	12
	Allegany	94,44 %	100,00 %	93,06 %	87,50 %	9	14	12
	Canastota	80,56 %	83,33 %	80,56 %	77,78 %	8	9	7
	Oneida	77,78 %	84,72 %	76,39 %	72,22 %	6	7	6
S25	70,83 %	100,00 %	69,44 %	66,67 %	5	5	6	
SV1	72,22 %	98,61 %	73,61 %	70,83 %	5	8	8	
SX61	79,17 %	69,44 %	76,39 %	75,00 %	6	7	7	
SX64	81,94 %	88,89 %	79,17 %	75,00 %	6	8	7	

Tableau A16. Données sur l'évaluation des dommages du test clonal de la SUNY recueillies au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Numéro sur la figure	Nom commun du clone	Dommages de broutement 2006	Dommages de broutement 2007-2008	Dommages mécaniques 2007-2008	Dommages d'annélation 2007-2008	Dommages de dépérissement hivernal 2008	Hauteur moyenne des troncs après le dépérissement au printemps 2008 (m)
69	Oneonta	25,00 %	9,72 %	0,00 %	0,00 %	75,00 %	0,22
	94001	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	33,33 %	0,36
	00X-026-082	50,00 %	75,00 %	0,00 %	25,00 %	0,00 %	0,00
	00X-032-094	25,00 %	100,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00
	9832-49	50,00 %	100,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00
	9837-077	25,00 %	100,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00
	Cicero	25,00 %	4,17 %	6,94 %	0,00 %	77,78 %	0,38
	Marcy	25,00 %	26,39 %	0,00 %	0,00 %	38,89 %	0,18
	Sherburne	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	94,44 %	0,48
	Fish Creek	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	87,50 %	0,33
	Wolcott	25,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	59,72 %	0,46
	Onondaga	25,00 %	1,39 %	0,00 %	0,00 %	33,33 %	0,09
	Otisco	50,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	93,06 %	0,24
	Tully Champion	75,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	98,61 %	0,57
	Owasco	100,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	72,22 %	0,17
	Millbrook	100,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	97,22 %	0,58
	Saratoga	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	88,89 %	0,47
	Allegany	50,00 %	6,94 %	0,00 %	0,00 %	47,22 %	0,13
	Conastota	0,00 %	4,17 %	0,00 %	0,00 %	79,17 %	0,14
	Oneida	50,00 %	4,17 %	0,00 %	0,00 %	59,72 %	0,38
	S25	50,00 %	100,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00
	SV1	0,00 %	27,78 %	2,78 %	0,00 %	23,61 %	0,04
	SX61	0,00 %	2,78 %	2,78 %	0,00 %	65,28 %	0,14
	SX64	0,00 %	4,17 %	0,00 %	0,00 %	75,00 %	0,25

Tableau A17. Données sur la hauteur maximale du test clonal de la SUNY recueillies au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Numéro sur la figure	Nom commun du clone	Hauteur max. moyenne 2006 (m)	Hauteur max. moyenne 2007 (m)	Hauteur max. moyenne printemps 2008 (m)	Hauteur max. moyenne 2010-2011 (m)	Hauteur max. moyenne 2011-2012 (m)
69	Oneonta	0,54	1,54	0,41	2,02	2,47
	94001	0,92	2,06	1,70	2,72	3,39
	00X-026-082	0,34	0,77	0,77	0,82	1,10
	00X-032-094	0,35	0,83	0,83	1,23	1,87
	9832-49	0,42	0,98	0,98	1,43	2,00
	9837-077	0,35	0,71	0,71	1,14	1,64
	Cicero	0,79	1,97	0,68	2,52	2,55
	Marcy	0,69	1,82	0,87	2,25	2,38
	Sherburne	1,17	2,78	0,54	3,20	3,23
	Fish Creek	0,91	2,05	0,46	2,62	3,09
	Wolcott	0,67	1,81	1,00	2,25	2,92
	Onondaga	0,74	1,64	0,99	2,37	2,46
	Otisco	0,65	2,26	0,28	2,72	3,11
	Tully Champion	0,61	2,53	0,59	3,17	3,46
	Owasco	0,73	2,32	0,55	2,59	3,03
	Millbrook	0,63	2,07	0,61	2,68	3,23
	Saratoga	0,74	2,24	0,57	2,75	3,46
	Allegany	0,60	1,75	0,92	2,05	2,27
	Canastota	0,84	2,02	0,24	2,45	2,66
	Oneida	0,65	1,29	0,76	1,93	2,69
	S25	0,38	0,96	0,96	1,01	1,52
	SV1	0,45	1,74	1,18	2,49	2,55
	SX61	0,84	2,22	0,70	2,68	2,98
	SX64	0,76	2,07	0,46	2,59	2,86

Tableau A18. Données sur le rendement et la croissance en poids humide du test clonal de la SUNY recueillies au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Numéro sur la figure	Nom commun du clone	Poids humide recépi ^{ha} printemps 2007 (tonnes)	Poids humide ^{ha} 2009-2010 (tonnes)	Poids humide ^{ha} 2012-2013 (tonnes)	Poids humide ^{ha} 2018-2019 (tonnes)	Poids humide total ^{ha} 2006-2018 (tonnes)	Poids humide moyen ^{ha} 2006-2018 (tonnes)
69	Oneonta	0,16	8,19	17,24	42,12	93,50	5,19
	94001	0,42	28,80	43,68	106,75	245,01	13,61
	00X-026-082	0,03	2,20	1,60	3,90	10,12	0,56
	00X-032-094	0,01	3,44	9,29	22,70	49,33	2,74
	9832-49	0,05	5,23	12,02	29,38	64,69	3,59
	9837-077	0,02	2,80	3,30	8,05	19,09	1,06
	Cicero	0,27	10,31	17,62	43,05	97,61	5,42
	Marcy	0,10	6,63	14,02	34,26	75,99	4,22
	Sherburne	0,70	23,69	33,41	81,66	189,46	10,53
	Fish Creek	0,24	16,30	31,88	77,90	174,02	9,67
	Walcott	0,16	12,34	25,46	62,23	138,31	7,68
	Onondaga	0,30	10,71	18,99	46,42	104,84	5,82
	Otisco	0,12	18,93	26,28	64,23	148,91	8,27
	Tully Champion	0,14	24,49	36,43	89,03	204,60	11,37
	Owasco	0,38	20,57	27,54	67,31	157,02	8,72
	Millbrook	0,09	21,35	31,12	76,04	175,17	9,73
	Saratoga	0,50	22,89	38,41	93,86	213,14	11,84
	Allegany	0,42	13,06	24,25	59,25	133,26	7,40
	Canastota	0,33	13,82	21,21	51,84	118,94	6,61
	Oneida	0,14	10,67	19,75	48,27	108,40	6,02
	S25	0,03	3,71	5,51	13,47	30,98	1,72
	SV1	0,02	11,86	17,60	43,00	98,81	5,49
	SX61	0,36	11,86	18,08	44,17	101,52	5,64
	SX64	0,25	13,18	26,10	63,79	142,40	7,91

Tableau A19. Données sur le rendement et la croissance du bois anhydre du test clonal de la SUNY recueillies au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Numéro sur la figure	Nom commun du clone	t.a. recépi/ha printemps 2007	t.a./ha 2009-2010	t.a./ha 2012-2013	t.a./ha 2018-2019	t.a./ha an 2006-2018
69	Oneonta	0,08	5,44	10,77	25,79	3,24
	94001	0,20	20,04	26,62	65,37	8,63
	00X-026-082	0,01	1,57	0,96	2,39	0,38
	00X-032-094	0,01	2,25	5,76	13,90	1,69
	9832-49	0,03	3,54	7,09	17,99	2,20
	9837-077	0,01	1,94	1,93	4,93	0,68
	Cicero	0,14	6,54	10,34	26,36	3,34
	Marcy	0,05	4,20	8,07	20,98	2,56
	Sherburne	0,35	15,29	19,50	50,00	6,55
	Fish Creek	0,11	10,92	19,67	47,70	6,03
	Wolcott	0,08	8,15	15,08	38,11	4,72
	Onondaga	0,15	7,46	11,77	28,42	3,68
	Otisco	0,07	11,89	16,05	39,33	5,18
	Tully Champion	0,08	15,79	21,94	54,52	7,10
	Owasco	0,20	13,27	16,25	41,22	5,46
	Millbrook	0,05	12,99	17,90	46,57	5,96
	Saratoga	0,27	14,44	23,08	57,48	7,33
	Allegany	0,23	8,32	13,80	36,28	4,51
	Canastota	0,15	8,90	12,43	31,74	4,09
	Oneida	0,08	6,97	11,69	29,56	3,72
	S25	0,02	2,65	3,49	8,25	1,11
	SV1	0,01	8,22	11,04	26,33	3,51
	SX61	0,18	8,00	10,24	27,05	3,50
	SX64	0,13	8,51	15,43	39,06	4,86



Annexe VIII

Résumés des données de l'échantillonnage effectué en 2012-2013 pour les tests opérationnels de biomasse concentrée au site de développement technique de CLCR d'Ellerslie, à Edmonton, en Alberta.

Tableau A20. Résumé de l'intensité d'échantillonnage de 10 % d'une année de croissance de la planche n° 3 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Numéro sur la figure	Clone	Numéro de parcelle	Surface de la parcelle (m ²)	Poids humide total de la parcelle (kg)	Hauteur max. moyenne (m)	Survie	Poids humide/ha (kg)	Différence par rapport aux valeurs réelles
49	India (planche 3)	1	16 (10 %)	22,5	3,05	100,00 %	14062,5	30,28 %
	India (planche 3)	2	16 (10 %)	20,9	2,89	91,67 %	13062,5	21,02 %
	India (planche 3)	3	16 (10 %)	17,4	2,63	75,00 %	10875	0,75 %
	India (planche 3)	4	16 (10 %)	19,2	2,68	95,83 %	12000	11,18 %
	India (planche 3)	5	16 (10 %)	19,5	2,7	87,50 %	12187,5	12,91 %
	India (planche 3)	6	16 (10 %)	14,2	2,43	91,67 %	8875	-17,78 %
	India (planche 3)	7	16 (10 %)	15,8	2,56	100,00 %	9875	-8,51 %
	India (planche 3)	8	16 (10 %)	17	2,57	96,30 %	10625	-1,56 %
	India (planche 3)	9	16 (10 %)	14,3	2,46	91,67 %	8937,5	-17,20 %
	India (planche 3)	10	16 (10 %)	11,9	2,4	100,00 %	7437,5	-31,09 %
	India (planche 3)	Tous	160 (100 %)	172,7	2,637	93,00 %	10793,75	S.O.

Tableau A21. Résultats détaillés de l'échantillonnage au moyen de divers plans d'échantillonnage de parcelle d'une année de croissance de la planche n° 4 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Numéro sur la figure	Clone	Type de parcelle	N° de rangée	Surface de la parcelle	Poids humide moyen par plante (kg)	Poids humide total par rangée (kg)	Survie	Hauteur max. moyenne (m)	Poids humide/ha (tonnes)
49	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	1	1,92	0,90	0,90	33,33 %	2,54	4,6875
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	2	1,92	1,30	3,90	100,00 %	2,74	20,3125
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	3	1,92	1,10	2,20	66,67 %	2,69	11,4583
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	4	1,92	0,67	2,00	100,00 %	2,52	10,4167
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	5	1,92	0,83	2,50	100,00 %	2,56	13,0208
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	6	1,92	0,45	0,90	66,67 %	2,27	4,6875
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	7	1,92	0,65	1,30	66,67 %	2,63	6,7708
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	8	1,92	0,73	2,20	100,00 %	2,22	11,4583
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	9	1,92	0,60	0,60	33,33 %	2,38	3,1250
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	10	1,92	0,60	1,80	100,00 %	2,41	9,3750
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	11	1,92	0,70	2,10	100,00 %	2,52	10,9375
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	12	1,92	0,47	1,40	100,00 %	2,39	7,2917
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	13	1,92	0,30	0,30	33,33 %	2,17	1,5625
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	14	1,92	0,67	2,00	100,00 %	2,20	10,4167
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	15	1,92	0,70	2,10	100,00 %	2,15	10,9375
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	16	1,92	0,25	0,50	66,67 %	1,96	2,6042
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	17	1,92	0,67	2,00	100,00 %	2,32	10,4167
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	18	1,92	0,47	1,40	100,00 %	1,92	7,2917
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	19	1,92	0,25	0,50	66,67 %	1,72	2,6042
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	20	1,92	0,30	0,60	66,67 %	2,10	3,1250
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	21	1,92	0,60	1,20	66,67 %	2,14	6,2500
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	22	1,92	0,23	0,70	100,00 %	2,14	3,6458
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	23	1,92	0,40	0,80	66,67 %	2,17	4,1667
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	24	1,92	0,85	1,70	66,67 %	2,27	8,8542

(Suite à la page 110)

(Suite de la page 109)

Numéro sur la figure	Clone	Type de parcelle	N° de rangée	Surface de la parcelle	Poids humide moyen par plante (kg)	Poids humide total par rangée (kg)	Survie	Hauteur max. moyenne (m)	Poids humide/ha (tonnes)
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	25	1,92	0,40	0,80	66,67 %	2,05	4,1667
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	26	1,92	0,63	1,90	100,00 %	2,35	9,8958
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	27	1,92	0,53	1,60	100,00 %	2,42	8,3333
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	28	1,92	0,30	0,60	66,67 %	2,19	3,1250
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	29	1,92	0,73	2,20	100,00 %	2,35	11,4583
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	30	1,92	0,62	1,85	100,00 %	2,19	9,6354
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	31	1,92	0,67	2,00	100,00 %	2,32	10,4167
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	32	1,92	0,63	1,90	100,00 %	2,41	9,8958
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	33	1,92	0,65	1,30	66,67 %	2,26	6,7708
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	34	1,92	0,45	0,90	66,67 %	2,31	4,6875
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	35	1,92	1,10	2,20	66,67 %	2,39	11,4583
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	36	1,92	1,07	3,20	100,00 %	2,67	16,6667
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	37	1,92	0,50	1,50	100,00 %	2,40	7,8125
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	38	1,92	0,80	1,60	66,67 %	2,35	8,3333
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	39	1,92	0,50	1,00	66,67 %	2,33	5,2083
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	40	1,92	0,40	1,20	100,00 %	2,03	6,2500
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	41	1,92	0,75	1,50	66,67 %	2,28	7,8125
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	42	1,92	0,70	1,40	66,67 %	2,45	7,2917
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	43	1,92	0,75	1,50	66,67 %	2,15	7,8125
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	44	1,92	0,65	1,30	66,67 %	2,28	6,7708
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	45	1,92	0,80	2,40	100,00 %	2,38	12,5000
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	46	1,92	0,53	1,60	100,00 %	2,27	8,3333
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	47	1,92	0,63	1,90	100,00 %	2,47	9,8958
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	48	1,92	0,37	1,10	100,00 %	2,05	5,7292
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	49	1,92	0,60	1,20	66,67 %	2,15	6,2500

(Suite à la page 111)

(Suite de la page 110)

Numéro sur la figure	Clone	Type de parcelle	N° de rangée	Surface de la parcelle	Poids humide moyen par plante (kg)	Poids humide total par rangée (kg)	Survie	Hauteur max. moyenne (m)	Poids humide/ha (tonnes)
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	50	1,92	0,25	0,50	66,67 %	2,25	2,6042
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	51	1,92	0,70	2,10	100,00 %	2,42	10,9375
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	52	1,92	0,37	1,10	100,00 %	2,21	5,7292
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	53	1,92	0,33	1,00	100,00 %	1,97	5,2083
	India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	54	1,92	0,25	0,75	100,00 %	1,55	3,9063
	India (planche 4)	Parcelle de 2 rangées	C	3,84	0,42	2,20	83,33 %	2,31	5,7292
	India (planche 4)	Parcelle de 2 rangées	N1	3,84	0,68	4,05	100,00 %	2,27	10,5469
	India (planche 4)	Parcelle de 2 rangées	N10	3,84	0,50	3,00	100,00 %	2,26	7,8125
	India (planche 4)	Parcelle de 2 rangées	N11	3,84	0,43	1,70	66,67 %	2,20	4,4271
	India (planche 4)	Parcelle de 2 rangées	N12	3,84	0,53	3,20	100,00 %	2,32	8,3333
	India (planche 4)	Parcelle de 2 rangées	N13	3,84	0,29	1,75	100,00 %	1,76	4,5573
	India (planche 4)	Parcelle de 2 rangées	N2	3,84	0,65	3,90	100,00 %	2,37	10,1563
	India (planche 4)	Parcelle de 2 rangées	N3	3,84	0,55	2,20	66,67 %	2,28	5,7292
	India (planche 4)	Parcelle de 2 rangées	N4	3,84	1,08	5,40	83,33 %	2,53	14,0625
	India (planche 4)	Parcelle de 2 rangées	N5	3,84	0,65	3,10	83,33 %	2,38	8,0729
	India (planche 4)	Parcelle de 2 rangées	N6	3,84	0,45	2,20	83,33 %	2,18	5,7292
	India (planche 4)	Parcelle de 2 rangées	N7	3,84	0,73	2,90	66,67 %	2,36	7,5521
	India (planche 4)	Parcelle de 2 rangées	N8	3,84	0,70	2,80	66,67 %	2,21	7,2917
	India (planche 4)	Parcelle de 2 rangées	N9	3,84	0,67	4,00	100,00 %	2,32	10,4167
	India (planche 4)	Parcelle de 2 rangées	S1	3,84	0,52	2,70	83,33 %	2,20	7,0313
	India (planche 4)	Parcelle de 2 rangées	S10	3,84	0,69	3,50	83,33 %	2,42	9,1146
	India (planche 4)	Parcelle de 2 rangées	S11	3,84	0,64	3,40	83,33 %	2,41	8,8542
	India (planche 4)	Parcelle de 2 rangées	S12	3,84	0,88	4,20	83,33 %	2,61	10,9375
	India (planche 4)	Parcelle de 2 rangées	S13	3,84	1,10	4,80	66,67 %	2,64	12,5000
	India (planche 4)	Parcelle de 2 rangées	S2	3,84	0,63	2,50	66,67 %	2,22	6,5104
	India (planche 4)	Parcelle de 2 rangées	S3	3,84	0,42	1,90	83,33 %	2,14	4,9479

(Suite à la page 112)

(Suite de la page 111)

Numéro sur la figure	Clone	Type de parcelle	N° de rangée	Surface de la parcelle	Poids humide moyen par plante (kg)	Poids humide total par rangée (kg)	Survie	Hauteur max. moyenne (m)	Poids humide/ha (tonnes)
	India (planche 4)	Parcelle de 2 rangées	S4	3,84	0,28	1,10	66,67 %	1,91	2,8646
	India (planche 4)	Parcelle de 2 rangées	S5	3,84	0,57	3,40	100,00 %	2,12	8,8542
	India (planche 4)	Parcelle de 2 rangées	S6	3,84	0,48	2,60	83,33 %	2,05	6,7708
	India (planche 4)	Parcelle de 2 rangées	S7	3,84	0,48	2,30	66,67 %	2,19	5,9896
	India (planche 4)	Parcelle de 2 rangées	S8	3,84	0,58	3,50	100,00 %	2,46	9,1146
	India (planche 4)	Parcelle de 2 rangées	S9	3,84	0,60	2,40	66,67 %	2,40	6,2500
	India (planche 4)	Parcelle de 3 rangées	C	5,76	0,49	4,10	88,89 %	2,32	7,1181
	India (planche 4)	Parcelle de 3 rangées	N1	5,76	0,67	6,05	100,00 %	2,29	10,5035
	India (planche 4)	Parcelle de 3 rangées	N2	5,76	0,58	4,10	77,78 %	2,33	7,1181
	India (planche 4)	Parcelle de 3 rangées	N3	5,76	0,89	6,90	88,89 %	2,49	11,9792
	India (planche 4)	Parcelle de 3 rangées	N4	5,76	0,57	3,80	77,78 %	2,23	6,5972
	India (planche 4)	Parcelle de 3 rangées	N5	5,76	0,73	4,40	66,67 %	2,29	7,6389
	India (planche 4)	Parcelle de 3 rangées	N6	5,76	0,66	5,30	88,89 %	2,31	9,2014
	India (planche 4)	Parcelle de 3 rangées	N7	5,76	0,53	4,20	88,89 %	2,22	7,2917
	India (planche 4)	Parcelle de 3 rangées	N8	5,76	0,44	3,70	88,89 %	2,29	6,4236
	India (planche 4)	Parcelle de 3 rangées	S1	5,76	0,55	3,30	66,67 %	2,16	5,7292
	India (planche 4)	Parcelle de 3 rangées	S2	5,76	0,38	2,50	77,78 %	2,12	4,3403
	India (planche 4)	Parcelle de 3 rangées	S3	5,76	0,46	3,90	88,89 %	1,98	6,7708
	India (planche 4)	Parcelle de 3 rangées	S4	5,76	0,54	4,60	88,89 %	2,10	7,9861
	India (planche 4)	Parcelle de 3 rangées	S5	5,76	0,49	3,80	77,78 %	2,36	6,5972
	India (planche 4)	Parcelle de 3 rangées	S6	5,76	0,64	4,60	77,78 %	2,34	7,9861
	India (planche 4)	Parcelle de 3 rangées	S7	5,76	0,64	4,70	77,78 %	2,48	8,1597
	India (planche 4)	Parcelle de 3 rangées	S8	5,76	1,02	8,10	88,89 %	2,65	14,0625
	India (planche 4)	Parcelle de 4 rangées	C	7,68	0,47	4,90	83,33 %	2,25	6,3802
	India (planche 4)	Parcelle de 4 rangées	N1	7,68	0,66	7,95	100,00 %	2,32	10,3516
	India (planche 4)	Parcelle de 4 rangées	N2	7,68	0,82	7,60	75,00 %	2,41	9,8958

(Suite à la page 113)

(Suite de la page 112)

Numéro sur la figure	Clone	Type de parcelle	N° de rangée	Surface de la parcelle	Poids humide moyen par plante (kg)	Poids humide total par rangée (kg)	Survie	Hauteur max. moyenne (m)	Poids humide/ha (tonnes)
	India (planche 4)	Parcelle de 4 rangées	N3	7,68	0,55	5,30	83,33 %	2,28	6,9010
	India (planche 4)	Parcelle de 4 rangées	N4	7,68	0,71	5,70	66,67 %	2,29	7,4219
	India (planche 4)	Parcelle de 4 rangées	N5	7,68	0,58	7,00	100,00 %	2,29	9,1146
	India (planche 4)	Parcelle de 4 rangées	N6	7,68	0,48	4,90	83,33 %	2,26	6,3802
	India (planche 4)	Parcelle de 4 rangées	S1	7,68	0,52	4,40	75,00 %	2,18	5,7292
	India (planche 4)	Parcelle de 4 rangées	S2	7,68	0,42	4,50	83,33 %	2,01	5,8594
	India (planche 4)	Parcelle de 4 rangées	S3	7,68	0,48	4,90	75,00 %	2,12	6,3802
	India (planche 4)	Parcelle de 4 rangées	S4	7,68	0,59	5,90	83,33 %	2,43	7,6823
	India (planche 4)	Parcelle de 4 rangées	S5	7,68	0,67	6,90	83,33 %	2,42	8,9844
	India (planche 4)	Parcelle de 4 rangées	S6	7,68	0,99	9,00	75,00 %	2,62	11,7188
	India (planche 4)	Parcelle de 5 rangées	C	9,60	0,52	7,10	86,67 %	2,27	7,3958
	India (planche 4)	Parcelle de 5 rangées	N1	9,60	0,60	7,95	86,67 %	2,30	8,2813
	India (planche 4)	Parcelle de 5 rangées	N2	9,60	0,79	9,50	80,00 %	2,43	9,8958
	India (planche 4)	Parcelle de 5 rangées	N3	9,60	0,65	6,90	73,33 %	2,23	7,1875
	India (planche 4)	Parcelle de 5 rangées	N4	9,60	0,59	8,20	93,33 %	2,26	8,5417
	India (planche 4)	Parcelle de 5 rangées	N5	9,60	0,38	5,45	93,33 %	2,08	5,6771
	India (planche 4)	Parcelle de 5 rangées	S1	9,60	0,48	5,00	73,33 %	2,16	5,2083
	India (planche 4)	Parcelle de 5 rangées	S2	9,60	0,47	6,50	86,67 %	2,01	6,7708
	India (planche 4)	Parcelle de 5 rangées	S3	9,60	0,55	7,60	86,67 %	2,34	7,9167
	India (planche 4)	Parcelle de 5 rangées	S4	9,60	0,65	7,50	73,33 %	2,41	7,8125
	India (planche 4)	1 rangée + survie 10 rangées	C	1,92	0,53	1,60	87,88 %	2,42	8,3333
	India (planche 4)	1 rangée + survie 10 rangées	N1	1,92	0,40	1,20	78,79 %	2,03	6,2500
	India (planche 4)	1 rangée + survie 10 rangées	S1	1,92	0,67	2,00	81,82 %	2,20	10,4167
	India (planche 4)	1 rangée + survie 10 rangées (poids moyen/méthode de plantation)	N1	1,92	0,40	1,20	82,54 %	2,03	5,1587
	India (planche 4)	1 rangée + survie 10 rangées (poids moyen/méthode de plantation)	S1	1,92	0,67	2,00	80,95 %	2,20	8,4325

Tableau A22. Résultats détaillés de l'échantillonnage au moyen de divers plans d'échantillonnage de parcelle de l'année de croissance 2012-2013 de la planche n° 4 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Clone	Type de parcelle	Données sur la parcelle	Surface de la parcelle (m ²)	Nombre de parcelles	Poids humide moyen par plante (kg)	Poids humide total par parcelle (kg)	Survie	Hauteur max. moyenne (m)	Poids humide/ ha (parcelle) (tonnes)	Différence par rapport aux valeurs réelles
India (planche 4)	Site (échantillon 100 %)	1	103,68	1	0,5991	80,70	82,72 %	2,28	7,784	S.O.
India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	Min.	1,92	54	0,2333	0,30	33,33 %	1,55	1,563	-79,93 %
India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	Moyenne	1,92	54	0,5991	1,49	82,72 %	2,28	7,784	S.O.
India (planche 4)	Parcelle à 1 rangée	Max.	1,92	54	1,3000	3,90	100,00 %	2,74	20,313	160,97 %
India (planche 4)	Parcelle de 2 rangées	Min.	3,84	27	0,2750	1,10	66,67 %	1,76	2,865	-63,20 %
India (planche 4)	Parcelle de 2 rangées	Moyenne	3,84	27	0,5991	2,99	82,72 %	2,28	7,784	S.O.
India (planche 4)	Parcelle de 2 rangées	Max.	3,84	27	1,1000	5,40	100,00 %	2,64	14,063	80,67 %
India (planche 4)	Parcelle de 3 rangées	Min.	5,76	17	0,3778	2,50	66,67 %	1,98	4,340	-44,24 %
India (planche 4)	Parcelle de 3 rangées	Moyenne	5,76	17	0,6052	4,59	83,01 %	2,29	7,971	2,41 %
India (planche 4)	Parcelle de 3 rangées	Max.	5,76	17	1,0222	8,10	100,00 %	2,65	14,063	80,67 %
India (planche 4)	Parcelle de 4 rangées	Min.	7,68	13	0,4208	4,40	66,67 %	2,01	5,729	-26,39 %
India (planche 4)	Parcelle de 4 rangées	Moyenne	7,68	13	0,6109	6,07	82,05 %	2,30	7,908	1,59 %
India (planche 4)	Parcelle de 4 rangées	Max.	7,68	13	0,9917	9,00	100,00 %	2,62	11,719	50,56 %
India (planche 4)	Parcelle de 5 rangées	Min.	9,6	10	0,3800	5,00	73,33 %	2,01	5,208	-33,09 %
India (planche 4)	Parcelle de 5 rangées	Moyenne	9,6	10	0,5677	7,17	83,33 %	2,25	7,469	-4,04 %
India (planche 4)	Parcelle de 5 rangées	Max.	9,6	10	0,7933	9,50	93,33 %	2,43	9,896	27,14 %
India (planche 4)	1 rangée + survie 10 rangées	Min.	1,92	3	0,4000	1,20	78,79 %	2,03	6,250	-36,74 %
India (planche 4)	1 rangée + survie 10 rangées	Moyenne	1,92	3	1,6000	1,60	82,88 %	2,22	8,333	-11,05 %
India (planche 4)	1 rangée + survie 10 rangées	Max.	1,92	3	0,6667	2,00	87,88 %	2,42	10,417	9,50 %

(Suite à la page 115)

(Suite de la page 114)

Clone	Type de parcelle	Données sur la parcelle	Surface de la parcelle (m ²)	Nombre de parcelles	Poids humide moyen par plante (kg)	Poids humide total par parcelle (kg)	Survie	Hauteur max. moyenne (m)	Poids humide/ ha (parcelle) (tonnes)	Différence par rapport aux valeurs réelles
India (planche 4)	Site (échantillon 100 %)	1	103,68	1	0,5991	80,70	82,72 %	2,28	7,784	S.O.
India (planche 4)	1 rangée + survie 10 rangées (poids moyen/ méthode de plantation)	Min.	1,92	2	0,4000	1,20	80,95 %	2,03	5,159	-33,72 %
India (planche 4)	1 rangée + survie 10 rangées (poids moyen/ méthode de plantation)	Moyenne	1,92	2	0,5333	1,60	81,75 %	2,12	6,812	-12,48 %
India (planche 4)	1 rangée + survie 10 rangées (poids moyen/ méthode de plantation)	Max.	1,92	2	0,6667	2,00	82,54 %	2,20	8,433	8,34 %

Annexe IX

Données historiques d'analyse et d'évaluation des sols

Tableau A23. Résumé de la composition du sol des échantillons prélevés entre 2003 et 2010 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Numéro sur la figure	Année	Échantillon	Sable (%)	Argile (%)	Limon (%)	pH	C org. total (%)
4	2003	3-3	22	36	42	6,37	8,51
4	2003	3-4	23	36	41	6,44	7,46
24	2003	4-3	30	32	38	6,36	6,23
24	2003	4-4	28	30	42	6,62	6,63
24	2003	5-3	28	32	40	6,04	7,74
24	2003	5-4	26	30	44	6,36	6,78
24	2003	6-3	8	31	61	6,27	7,38
24	2003	6-4	26	31	43	6,51	5,72
15	2005	1-3	6	32	62	7,08	6,8
15	2005	1-4	24	34	42	6,45	5,93
16	2005	2-3	25	31	43	6,16	6,99
16	2005	2-4	25	31	44	5,92	7,11
25	2005	7-3	23	35	41	5,94	6,86
25	2005	7-4	24	33	43	6,03	6,97
25	2005	8-3	33	30	37	5,78	7,29
25	2005	8-4	30	28	42	5,96	6,5
25	2005	9-3	30	32	37	5,75	6,32
25	2005	9-4	29	29	41	5,84	6,05
27	2005	10-3	29	32	39	6,08	8,84
27	2005	10-4	27	33	39	5,94	7,37
31	2005	11-3	30	29	41	6,81	8,64
31	2005	11-4	31	31	38	5,99	6,15
49	2010	12-3	32	31	37	5,65	6,72
49	2010	12-4	28	36	36	5,73	5,06

Tableau A24. Résumé de l'analyse du sol des échantillons prélevés entre 2003 et 2010 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Numéro sur la figure	Année	Échantillon	Ca (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	Mg (mg kg ⁻¹)	Na (mg kg ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)	NH ₄ -N (mg kg ⁻¹)
4	2003	3-3	5 847	330	635	6,39	9,52	12,5	44,3
4	2003	3-4	378	84,3	164	349	7,56	38,0	113,0
24	2003	4-3	350	103	146	410	13,7	17,3	34,6
24	2003	4-4	310	65,8	194	379	7,05	16,0	45,6
24	2003	5-3	362	146	129	355	6,3	28,1	67,9
24	2003	5-4	342	37,1	175	345	4,32	46,2	44,3
24	2003	6-3	369	54,0	140	348	4,16	47,2	43,0
24	2003	6-4	374	25,3	196	323	4,29	19,0	52,9
15	2005	1-3	5 869	479	560	< 0,605	4,98	20,6	23,0
15	2005	1-4	318	153	135	417	7,85	22,1	29,3
16	2005	2-3	5 545	219	528	4,08	6,76	23,3	36,2
16	2005	2-4	368	281	156	387	11,5	32,5	31,1
25	2005	7-3	394	104	120	347	4,75	26,2	31,2
25	2005	7-4	433	60,5	153	377	4,55	32,1	115,0
25	2005	8-3	376	87,3	126	331	4,89	83,7	75,7
25	2005	8-4	404	43,6	151	367	4,66	38,6	58,3
25	2005	9-3	375	87,1	137	376	5,45	92,2	47,8
25	2005	9-4	466	37,7	174	347	4,93	119,0	113
27	2005	10-3	423	77,3	120	348	6,13	129,0	56,8
27	2005	10-4	362	52,2	135	331	5,88	79,4	75,0
31	2005	11-3	239	170,0	150	296	8,64	150,0	36,4
31	2005	11-4	349	45,9	141	279	5,24	150,0	41,4
49	2009	12-3	345	131,0	105	274	8,19	369,0	174
49	2009	12-4	360	44,5	133	278	6,04	333,0	70,0

Tableau A25. Résumé de l'échantillonnage du sol effectué en 2003 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Numéro sur la figure	Endroit	Rangée	Arbre	pH CaCl ₂	CE mmhos ^{cm}	C total (%)
4	Champ adjacent	1	6	6,0	0,50	8,0
	Champ adjacent	1	20	6,0	0,38	8,2
	Champ adjacent	2	6	5,7	0,44	7,8
	Champ adjacent	2	20	5,6	0,38	7,6
	Champ adjacent	3	6	5,6	0,48	7,7
	Champ adjacent	3	20	5,6	0,36	7,0
	Microsite non perturbé entre les rangées	3	2	5,9	0,78	8,4
	Microsite non perturbé entre les rangées	3	11	6,0	0,44	8,1
	Microsite non perturbé entre les rangées	3	18	6,1	0,68	8,0
	Microsite non perturbé entre les rangées	8	3	6,0	0,70	8,5
	Microsite non perturbé entre les rangées	8	11	5,8	0,60	8,1
	Microsite non perturbé entre les rangées	8	18	6,0	0,76	8,1
	Microsite non perturbé entre les rangées	13	3	5,9	0,60	8,4
	Microsite non perturbé entre les rangées	13	11	5,9	0,56	8,5
	Microsite non perturbé entre les rangées	13	11 (b)	6,0	0,60	8,4
	Microsite non perturbé entre les rangées	13	19	5,7	0,52	8,0
	Microsite non perturbé entre les rangées	13	19 (b)	6,0	0,68	8,1
	Microsite non perturbé entre les rangées	18	3	5,9	0,50	7,9
	Microsite non perturbé entre les rangées	18	11	5,9	0,62	8,0
	Microsite non perturbé entre les rangées	18	19	6,1	0,60	7,8
	Microsite surélevé entre les arbres	3	2	5,9	0,86	8,2
	Microsite surélevé entre les arbres	3	11	6,0	0,90	8,2
	Microsite surélevé entre les arbres	3	11 (b)	6,0	0,94	8,1
	Microsite surélevé entre les arbres	3	18	6,1	0,48	8,7
	Microsite surélevé entre les arbres	3	18 (b)	6,1	0,48	8,6
	Microsite surélevé entre les arbres	8	3	5,8	0,92	8,7
	Microsite surélevé entre les arbres	8	11	6,0	1,40	8,3
	Microsite surélevé entre les arbres	8	18	5,9	0,72	8,1
	Microsite surélevé entre les arbres	13	3	6,0	0,42	8,5
	Microsite surélevé entre les arbres	13	11	6,0	0,48	8,3
	Microsite surélevé entre les arbres	13	11 (b)	6,0	0,48	8,4
	Microsite surélevé entre les arbres	13	19	5,9	1,06	8,1
	Microsite surélevé entre les arbres	18	3	5,9	0,56	8,2
	Microsite surélevé entre les arbres	18	11	5,9	0,50	8,1
	Microsite surélevé entre les arbres	18	19	6,0	0,48	8,2
	Microsite surélevé sous les arbres	3	2	5,9	1,10	8,5
	Microsite surélevé sous les arbres	3	11	6,0	0,94	8,2
	Microsite surélevé sous les arbres	3	18	6,1	0,54	8,1
	Microsite surélevé sous les arbres	8	3	5,9	0,70	8,3

(Suite à la page 119)

(Suite de la page 118)

Numéro sur la figure	Endroit	Rangée	Arbre	pH CaCl ₂	CE mmhos ^{cm}	C total (%)
	Microsite surélevé sous les arbres	8	11	6,0	0,54	8,0
	Microsite surélevé sous les arbres	8	18	6,0	0,90	8,1
	Microsite surélevé sous les arbres	13	3	5,9	0,48	8,3
	Microsite surélevé sous les arbres	13	11	6,0	0,38	8,4
	Microsite surélevé sous les arbres	13	19	5,9	0,42	8,1
	Microsite surélevé sous les arbres	18	3	5,9	0,54	7,9
	Microsite surélevé sous les arbres	18	11	6,0	0,46	7,7
	Microsite surélevé sous les arbres	18	19	5,9	0,46	7,9

Tableau A26. Évaluations du carbone dans le sol de Forêt 2020 en rotation complète effectuées au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Numéro sur la figure	Année	N° de l'échantillon	Carbone total (%)	Carbone inorganique total (%)	Densité apparente de 0 à 15 cm (g.cm ⁻³)
26	2019	Échantillon instantané Walker-25 Est	5,70	0,565	
26	2019	Échantillon instantané Walker-25 Centre	5,85	0,601	1,064444
26	2019	Échantillon instantané Walker-25 Ouest	5,95	2,020	
26	2019	Échantillon instantané Walker-45 Est	5,94	0,485	
26	2019	Échantillon instantané Walker-45 Centre	5,77	2,670	1,082222
26	2019	Échantillon instantané Walker-45 Ouest	5,67	0,575	
26	2019	Échantillon instantané Walker-65 Est	5,78	2,570	
26	2019	Échantillon instantané Walker-65 Centre	6,18	1,150	0,910000
26	2019	Échantillon instantané Walker-65 Ouest	6,26	0,884	
26	2019	Échantillon instantané Walker-85 Est	5,96	1,730	
26	2019	Échantillon instantané Walker-85 Centre	5,78	0,525	1,070000
26	2019	Échantillon instantané Walker-85 Ouest	5,52	0,768	
25	2019	Échantillon instantané Assiniboine-25 Est	5,97	0,568	
25	2019	Échantillon instantané Assiniboine-25 Centre	6,58	1,010	1,096667
25	2019	Échantillon instantané Assiniboine-25 Ouest	6,10	1,430	
25	2019	Échantillon instantané Assiniboine-45 Est	5,02	0,663	
25	2019	Échantillon instantané Assiniboine-45 Centre	5,81	0,659	1,077778
25	2019	Échantillon instantané Assiniboine-45 Ouest	5,60	0,483	
25	2019	Échantillon instantané Assiniboine-65 Est	5,70	0,481	
25	2019	Échantillon instantané Assiniboine-65 Centre	5,77	1,020	1,117778
25	2019	Échantillon instantané Assiniboine-65 Ouest	5,66	0,507	
25	2019	Échantillon instantané Assiniboine-85 Est	5,50	0,864	
25	2019	Échantillon instantané Assiniboine-85 Centre	4,77	0,495	1,110000
25	2019	Échantillon instantané Assiniboine-85 Ouest	5,27	1,880	
24	2019	Échantillon instantané Hill-25 Est	5,60	0,623	
24	2019	Échantillon instantané Hill-25 Centre	5,39	0,702	1,181111
24	2019	Échantillon instantané Hill-25 Ouest	5,19	1,420	
24	2019	Échantillon instantané Hill-45 Est	5,43	0,723	
24	2019	Échantillon instantané Hill-45 Centre	5,26	0,475	1,148889
24	2019	Échantillon instantané Hill-45 Ouest	5,30	1,290	
24	2019	Échantillon instantané Hill-65 Est	5,41	0,658	
24	2019	Échantillon instantané Hill-65 Centre	5,74	0,624	1,006667
24	2019	Échantillon instantané Hill-65 Ouest	4,79	0,575	
24	2019	Échantillon instantané Hill-85 Est	5,40	1,340	
24	2019	Échantillon instantané Hill-85 Centre	4,37	0,703	1,056667
24	2019	Échantillon instantané Hill-85 Ouest	4,83	1,510	



Annexe X

Méthodologies utilisées pour la caractérisation physique et chimique des fibres de bois (fournies par Uy, 2007, Grunet, 2007, Huntley, 2008 et Huntley et coll., 2011, FPInnovations)

Méthodologie

Chaque échantillon a été analysé pour déterminer la teneur en matières extractibles, la composition en hydrates de carbone et la teneur totale en lignine. Pour la chimie du bois, les échantillons ont été analysés en double et les moyennes de ces valeurs ont été déclarées. Des analyses distinctes ont été effectuées pour le bois nouveau et le bois net pour la partie sur la chimie du bois dans le cadre du présent travail. Les propriétés physiques (densité et angle des microfibrilles) ont été déterminées au moyen de SilviScan. La longueur et la rigidité des fibres ont été évaluées avec l'analyseur de qualité des fibres en triplicata. Les valeurs du pouvoir calorifique ont été déclarées seulement pour le bois nouveau et les analyses ont été effectuées en double. Les analyses à l'aide de SilviScan et de l'analyseur de qualité des fibres n'ont été effectuées que sur du bois net.

Préparation des échantillons

Les échantillons ont été écorcés à la réception, puis congelés (-10 °C). Tous les échantillons congelés et écorcés ont été segmentés au moyen d'une scie à ruban. Dans des conditions climatiques contrôlées, les segments de bois à 20 °C et à 40 % d'humidité relative (HR) ont été divisés (à la main) en bois nouveau et en bois net. Dans la mesure du possible, on a évalué visuellement les segments sciés avec une scie à ruban

pour des nœuds. Le bois net a été excisé des segments contenant des nœuds. Les zones visibles de bois de réaction entourant les nœuds étaient incluses dans le bois nouveau. Pour la chimie du bois et les valeurs du pouvoir calorifique, ces parties ont été broyées avec un broyeur Whiley pour passer à travers une grille de 40 mailles.

Valeurs du pouvoir calorifique

Les valeurs du pouvoir calorifique ont été déterminées à partir de farine de bois anhydre et sans écorce par calorimétrie directe (méthode J.19P de la PAPTAC [Association Technique des Pâtes et Papiers du Canada]). Les valeurs étaient la moyenne des expériences en double et enregistrées comme énergie totale (MJ) par kilogramme de farine de bois anhydre.

Matières extractibles

La teneur en matières extractibles du bois a été déterminée selon la méthode standard TAPPI T280 pm-99. Une portion de 1 g de bois a été utilisée pour déterminer la teneur en humidité et 3,5 g de farine de bois conditionnée ont été extraits par Soxhlet avec de l'acétone pendant six heures. L'acétone a été retirée par réchauffement des échantillons (à 35 °C) sous un jet d'azote, suivi d'une lyophilisation. Le poids des matières extractibles lyophilisées a été déclaré en tant que pourcentage du bois anhydre.

Lignine de Klason et hydrates de carbone

La teneur en lignine a été déterminée par une méthode modifiée de la lignine de Klason (méthode TAPPI T222 om-98). Environ 200 mg de farine de bois anhydre et extraite ont été pesés dans une éprouvette avant la

réaction avec 3 mL d'acide sulfurique à 72 %. Le mélange a été dilué à 3 % d'acide sulfurique, hydrolysé à 120 °C pendant une heure et filtré à l'aide d'un filtre en microfibre de verre préalablement lavé et pesé. La teneur en lignine insoluble dans l'acide a été déterminée par gravimétrie. La lignine soluble dans l'acide a été déterminée par spectrophotométrie (TAPPI UM-250) par l'absorbance de l'hydrolysate filtré à 205 nm. L'analyse de l'hydrolysate filtré a porté sur six monosaccharides du bois : arabinane, rhamnane, galactane, glucane, xylane et mannane. Cela a été réalisé directement par chromatographie à échange d'anions à haute performance avec détection ampérométrique pulsée (HPAEC-PAD). Pour le procédé, on a utilisé un Dionex ICS-3000 HPLC, équipé d'une pompe à gradient GP50, d'un détecteur électrochimique ED40, d'un échantillonneur automatique AS40 et d'un contrôleur pneumatique pour la solution d'addition post-colonne de 500 mM de NaOH. La colonne était une Dionex CarboPac PA10 (4 x 250 mm) précédée d'une colonne de protection CarboPac PA10 (4 x 50 mm). Les échantillons ont été analysés en double.

Préparation des échantillons pour SilviScan

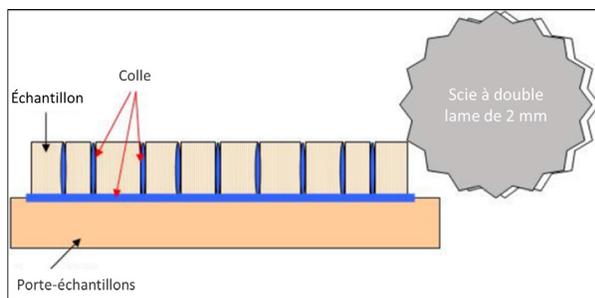


Figure 70. Échantillon préparé pour une coupe double lame de 2 mm. [Crédit image : FPIinnovations]

Un disque, exempt de nœuds visibles, a été sectionné de chaque tronc de bois écorcé. Un échantillon d'écorce de 1 cm x 1 cm, moelle comprise, a été sectionné à l'aide d'une scie à ruban. Les échantillons ont été conditionnés pendant deux semaines dans une pièce climatisée, à 20 °C et 40 % d'humidité relative. Les échantillons conditionnés ont été coupés en longueurs d'environ 10 mm et collés à un porte-échantillon en MDF (figure 70). Les côtés des échantillons ont également été collés ensemble pour augmenter la rigidité et réduire le risque que les échantillons se détachent du porte-échantillon pendant le découpage. Les échantillons ont été coupés au moyen de la double lame de 7 mm pour donner les dimensions finales de 2 mm d'épaisseur x 7 mm de hauteur requises pour l'analyse de SilviScan. La densité de base de chaque échantillon a été obtenue à partir du poids conditionné (g) et des dimensions physiques (mm) : longueur, épaisseur et hauteur (mesurées avec un pied à coulisse numérique). Les valeurs ont été encodées dans la base de données de SilviScan. Les échantillons préparés ont été scannés de l'écorce à l'écorce à travers la moelle, avec le densitomètre à rayons X et le diffractomètre à rayons X. Les résultats du densitomètre et du diffractomètre ont été traités à l'aide du logiciel de traitement du « bois » de SilviScan. Cela a été fait pour aligner les résultats des deux composantes et calculer le module d'élasticité (MÉ, GPa). Les résultats ont ensuite été exportés sous forme de fichier CSV. Les données de densité ont été obtenues à tous les 25 µm; l'angle des microfibrilles et le MÉ ont été mesurés à intervalles de 0,2 mm.



Annexe XI

Résultats de la caractérisation physique et chimique

Tableau A27. Résumé de la composition chimique (toutes les valeurs sont un pourcentage de la masse du bois anhydre) évaluée en 2007 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Numéro sur la figure	Clone/espèce	Total des matières extractibles (solvant acétone)	Lignine soluble dans l'acide	Lignine insoluble dans l'acide	Lignine totale	Hydrates de carbone totaux	Total
5	SV1	1,07	3,23	18,23	21,46	59,72	81,18
5	Viminalis	0,71	3,23	22,43	25,66	58,94	84,6
49	India	0,76	2,39	21,79	24,18	57,55	81,73
50	Pseudo	0,88	3,09	17,36	20,45	61,84	82,29
51	Hotel	1,02	2,42	28,89	31,31	54,01	85,32
57	SX67	1,58	3,02	22,32	25,34	60,03	85,37
57	SX64	1,54	2,77	21,47	24,24	58,08	82,32
57	SX61	1,31	2,46	28,62	31,08	55,43	86,51
73	Juliet	1,19	3,08	26,32	29,4	56,08	85,48
S.O.	<i>Salix discolor</i>	0,85	2,64	27,24	29,88	56,31	86,19
S.O.	SA 2	0,71	2,51	25,33	27,84	56,71	84,55

Tableau A28. Composition en hydrates de carbone en pourcentage du bois anhydre libre de matières extractibles évaluée en 2007 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Numéro sur la figure	Clone/espèce	Arabinane	Galactane	Glucane	Xylane	Mannane	Total
5	SV1	0,27	0,74	44,28	13,61	0,82	59,72
5	Viminalis	0,26	0,84	42,39	13,37	2,08	58,94
49	India	0,34	0,74	41,76	13,97	0,74	57,55
50	Pseudo	0,24	0,68	48,30	12,25	0,38	61,84
51	Hotel	0,26	0,68	39,13	13,08	0,87	54,01
57	SX67	0,35	0,77	42,97	14,19	1,74	60,03
57	SX64	0,37	0,82	43,56	12,72	0,60	58,08
57	SX61	0,31	0,66	40,72	12,43	1,31	55,43
73	Juliet	0,18	0,72	42,3	11,82	1,06	56,08
S.O.	<i>Salix discolor</i>	0,37	0,81	39,6	13,67	1,86	56,31
S.O.	SA 2	0,23	0,63	43,53	11,27	1,05	56,71

Travaux de caractérisation physique et chimique de 2007-2008 réalisés conjointement avec FPInnovations pour le bois nouveau et le bois net.

Tableau A29. Pourcentage de bois nouveau et de bois net pour les clones de peuplier hybride et de saule évalués en 2007-2008 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Numéro sur la figure	Clone/espèce	Espèce	% de bois nouveau	% de bois net	Pouvoir calorifique (MJ/kg)
S.O.	FFC-1	Peuplier hybride	29,6	70,4	19,231
55	Charlie	Saule	43,4	56,6	19,313
49	India	Saule	48,4	51,6	19,122
S.O.	DN-136	Peuplier hybride	43,0	57,0	19,196
2	DN-34	Peuplier hybride	28,9	71,1	19,601
50	Pseudo	Saule	26,9	73,1	19,238
54	NM-6	Peuplier hybride	62,4	37,6	19,213
48	Viminalis (MBG)	Saule	42,1	57,9	21,071
5	Tristis	Peuplier hybride	72,6	27,4	19,615
45	Brooks 1	Peuplier hybride	50,9	49,1	19,627
24	Hill	Peuplier hybride	71,7	28,3	19,722
52	Alpha	Saule	100,0	0,0	19,566
5	SV-1	Saule	65,1	34,9	19,194
S.O.	Tremble hybride (SCF)	Tremble hybride	63,8	36,2	19,443
16	Tremble hybride (ELL)	Tremble hybride	48,7	51,3	19,662
5	Q-1150	Peuplier hybride	59,0	41,0	19,713
51	Hotel	Saule	100,0	0,0	19,534
57	SX-64	Saule	100,0	0,0	19,741

Tableau A30. Résumé des propriétés physiques des clones de peuplier hybride et de saule (les valeurs sont la moyenne des mesures multiples de l'écorce à l'écorce) évaluées en 2007-2008 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Numéro sur la figure	Clone	Espèce	Diamètre* (mm)	Densité (kg/m ³)	Rendement après macération (%)	Angle des microfibrilles (°)	Longueur moyenne pondérée des fibres (mm)	Rigidité moyenne des fibres (mg·m)
S.O.	FFC-1	Peuplier hybride	45,5	380,56	58,78	24,26	0,462	0,083
55	Charlie	Saule	23,4	386,24	46,04	23,06	0,383	0,081
49	India	Saule	24,6	494,69	55,29	28,12	0,537	0,066
S.O.	DN-136	Peuplier hybride	28,9	441,24	54,42	22,20	0,531	0,087
2	DN-34	Peuplier hybride	27,8	482,00	51,59	26,81	0,527	0,091
50	Pseudo	Saule	19,9	343,91	52,09	22,74	0,489	0,059
54	NM-6	Peuplier hybride	18,8	415,08	52,97	16,42	0,468	0,063
48	Viminalis	Saule	17,4	482,80	56,18	18,60	0,403	0,055
5	Tristis	Peuplier hybride	18,7	446,13	56,19	24,44	0,418	0,084
45	Brooks 1	Peuplier hybride	23,3	370,83	52,55	17,41	0,484	0,064
24	Hill	Peuplier hybride	25,0	453,30	54,20	29,29	0,422	0,074
52	Alpha	Saule	9,5	408,61	50,82	24,62	0,315	0,048
5	SV-1	Saule	21,4	634,73	62,09	17,94	0,512	0,059
S.O.	TH (SCF)	Tremble hybride	32,8	459,26	56,67	13,60	0,562	0,067
16	TH (ELL)	Tremble hybride	86,9	414,17	60,52	20,32	0,568	0,080
5	Q-1150	Peuplier hybride	21,2	413,05	56,48	23,66	0,502	0,074
51	Hotel	Saule	8,6	543,07	51,33	23,53	0,334	0,046
57	SX-64	Saule	14,6	426,05	55,10	25,14	0,458	0,065

*Veuillez noter que le diamètre enregistré ici est pour le segment évalué avec SilviScan, qui a été obtenu à partir d'un emplacement sur le tronc ayant environ 2 cm de bois net.

Tableau A31. Résumé de la composition chimique du bois nouveau (toutes les valeurs sont un pourcentage de la masse du bois anhydre) évaluée en 2007-2008 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Numéro sur la figure	Clone	Espèce	Lignine insoluble dans l'acide	Lignine soluble dans l'acide	Matières extractibles	Cendres	Hydrates de carbone	Total
S.O.	2293-19	Peuplier hybride	22,23	2,82	1,65	0,70	60,44	87,85
55	Charlie	Saule	20,76	3,53	1,28	0,66	59,04	85,27
49	India	Saule	19,60	2,95	1,95	0,51	62,00	87,00
S.O.	DN-136	Peuplier hybride	23,13	3,13	2,40	0,63	58,80	88,09
2	DN-34	Peuplier hybride	23,58	2,74	3,51	0,66	57,95	88,44
50	Pseudo	Saule	21,04	3,84	1,13	0,51	57,56	84,09
54	NM-6	Peuplier hybride	19,37	3,59	1,84	0,53	59,65	84,98
48	Viminalis	Saule	19,85	3,66	1,49	0,55	60,83	86,40
5	Tristis	Peuplier hybride	21,83	3,30	2,64	0,58	59,24	87,58
45	Brooks 1	Peuplier hybride	22,28	3,60	2,04	0,58	59,84	88,35
24	Hill	Peuplier hybride	23,12	3,06	2,30	0,52	57,38	86,38
52	Alpha	Saule	21,74	3,47	1,99	0,83	57,49	85,51
5	SV-1	Saule	17,64	3,76	1,26	0,49	66,38	89,54
S.O.	TH (SCF)	Tremble hybride	18,02	3,85	3,88	0,45	64,47	90,68
16	TH (ELL)	Tremble hybride	17,17	3,63	2,91	0,27	65,00	88,98
5	Q-1150	Peuplier hybride	22,20	3,22	2,86	0,54	59,56	88,37
51	Hotel	Saule	24,80	3,10	2,79	0,54	56,91	88,14
57	SX-64	Saule	21,99	3,56	2,34	0,33	60,32	88,53

Tableau A32. Résumé de la composition en hydrates de carbone du bois nouveau (toutes les valeurs sont un pourcentage de la masse du bois nouveau anhydre libre de matières extractibles) évaluée en 2007-2008 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Numéro sur la figure	Clone	Espèce	Arabinane	Rhamnane	Galactane	Glucane total	Xylane	Mannane	Glucane d'hémicellulose*
S.O.	2293-19	Peuplier hybride	0,51	0,71	0,71	41,11	15,08	2,32	2,70
55	Charlie	Saule	0,28	0,87	0,87	40,07	15,77	1,18	2,20
49	India	Saule	0,43	0,73	0,73	42,78	15,42	1,91	2,50
S.O.	DN-136	Peuplier hybride	0,57	0,68	0,68	38,85	15,74	2,30	2,70
2	DN-34	Peuplier hybride	0,50	0,63	0,63	37,29	16,03	2,87	3,00
50	Pseudo	Saule	0,23	0,72	0,72	40,60	14,20	1,10	2,00
54	NM-6	Peuplier hybride	0,45	0,61	0,61	40,84	14,45	2,68	2,80
48	Viminalis	Saule	0,33	0,73	0,73	41,21	15,78	2,06	2,60
5	Tristis	Peuplier hybride	0,63	0,63	0,63	40,38	14,24	2,73	2,80
45	Brooks 1	Peuplier hybride	0,51	0,56	0,56	41,13	14,39	2,68	2,80
24	Hill	Peuplier hybride	0,48	0,57	0,58	38,57	14,65	2,54	2,70
52	Alpha	Saule	0,55	0,78	0,78	38,48	15,22	1,67	2,40
5	SV-1	Saule	0,14	0,62	0,62	47,78	15,58	1,65	2,40
S.O.	TH (SCF)	Tremble hybride	0,21	0,38	0,38	45,55	15,60	2,37	2,70
16	TH (ELL)	Tremble hybride	0,22	0,41	0,41	44,53	17,38	2,05	2,80
5	Q-1150	Peuplier hybride	0,34	0,44	0,44	40,04	15,59	2,72	2,90
51	Hotel	Saule	0,27	0,64	0,64	39,99	14,66	0,72	1,80
57	SX-64	Saule	0,11	0,57	0,57	40,96	17,04	1,07	2,20

*La teneur en glucanes d'hémicellulose est la portion estimée de la teneur totale en glucanes qui provient du méthylglucuronoxylane (Me-GluU) et du glucomannane.

Tableau A33. Résumé de la composition chimique du bois net (toutes les valeurs sont un pourcentage de la masse du bois anhydre) évaluée en 2007-2008 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Numéro sur la figure	Clone	Espèce	Lignine insoluble dans l'acide	Lignine soluble dans l'acide	Matières extractibles	Cendres	Hydrates de carbone	Total
S.O.	2293-19	Peuplier hybride	22,70	2,95	1,62	0,56	56,38	84,21
55	Charlie	Saule	20,76	3,60	1,24	0,57	55,49	81,67
49	India	Saule	19,69	3,04	1,75	0,54	58,02	83,04
S.O.	DN-136	Peuplier hybride	22,90	3,10	2,51	0,66	54,68	83,85
2	DN-34	Peuplier hybride	23,11	2,93	3,40	0,58	56,08	86,10
50	Pseudo	Saule	20,91	4,14	1,51	0,54	55,01	82,09
54	NM-6	Peuplier hybride	20,27	3,44	1,84	0,60	58,71	84,86
48	Viminalis	Saule	19,57	3,61	1,93	0,68	58,20	83,99
5	Tristis	Peuplier hybride	21,84	3,47	2,19	0,73	60,48	88,70
45	Brooks 1	Peuplier hybride	22,26	3,49	2,07	0,69	60,18	88,69
24	Hill	Peuplier hybride	23,20	3,19	2,14	0,59	57,59	86,72
52	Alpha	Saule	AD	AD	AD	AD	AD	AD
5	SV-1	Saule	17,60	3,82	1,24	0,49	66,37	89,52
S.O.	TH (SCF)	Tremble hybride	17,27	4,04	2,91	0,51	60,05	84,78
16	TH (ELL)	Tremble hybride	16,60	3,81	2,72	0,47	61,78	85,38
5	Q-1150	Peuplier hybride	21,88	3,14	2,69	0,66	55,19	83,55
51	Hotel	Saule	AD	AD	AD	AD	AD	AD
57	SX-64	Saule	AD	AD	AD	AD	AD	AD

(AD : Aucune donnée)

Tableau A34. Résumé de la composition en hydrates de carbone du bois net (toutes les valeurs sont un pourcentage de la masse du bois nouveau anhydre libre de matières extractibles) évaluée en 2007-2008 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Numéro sur la figure	Clone	Espèce	Arabinose	Rhamnose	Galactose	Glucose	Xylose	Mannose	Glucane d'hémicellulose*
S.O.	FFC-1	Peuplier hybride	0,53	0,73	0,73	38,80	13,47	2,13	2,41
55	Charlie	Saule	0,34	0,88	0,88	37,93	14,28	1,18	2,02
49	India	Saule	0,45	0,74	0,74	40,34	13,89	1,85	2,32
S.O.	DN-136	Peuplier hybride	0,58	0,70	0,70	36,45	14,11	2,14	2,48
2	DN-34	Peuplier hybride	0,56	0,69	0,69	36,26	15,05	2,82	2,92
50	Pseudo	Saule	0,30	0,75	0,75	38,80	13,29	1,13	1,89
54	NM-6	Peuplier hybride	0,14	0,36	0,36	40,57	14,71	2,57	2,76
48	Viminalis	Saule	0,06	0,46	0,46	39,52	15,95	1,76	2,48
5	Tristis	Peuplier hybride	0,45	0,41	0,41	40,92	15,49	2,80	2,95
45	Brooks 1	Peuplier hybride	0,29	0,34	0,34	41,53	15,12	2,56	2,79
24	Hill	Peuplier hybride	0,23	0,31	0,31	38,52	15,71	2,52	2,83
52	Alpha	Saule	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD
5	SV-1	Saule	0,11	0,54	0,54	47,67	15,88	1,63	2,40
S.O.	TH (SCF)	Tremble hybride	0,11	0,25	0,25	42,32	14,72	2,40	2,67
16	TH (ELL)	Tremble hybride	0,15	0,33	0,33	42,30	16,67	1,99	2,66
5	Q-1150	Peuplier hybride	0,24	0,34	0,34	37,19	14,54	2,54	2,72
51	Hotel	Saule	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD
57	SX-64	Saule	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD

*La teneur en glucanes d'hémicellulose est la portion estimée de la teneur totale en glucanes qui provient du méthylglucuronoxylane (Me-GluU) et du glucomannane. (AD : Aucune donnée)

Caractérisation physique de l'échantillonnage destructif, analyse des copeaux, caractérisation chimique et travaux d'évaluation de la mise en pâte de 2008 réalisés conjointement avec FPInnovations. La pâte kraft a été faite dans des bombes (45 g, charge anhydre) dans un ensemble micro-digesteur B-K. Toutes les pâtes ont été lavées, criblées à l'aide d'un

filtre de 0,008 po, séchées au four et pesées pour déterminer le rendement en pâte. Les indices Kappa de la pâte ont été déterminés à l'aide de la méthode standard TAPPI T236 om-99. L'alcali effectif résiduel de la liqueur noire a été déterminé par précipitation du carbonate de baryum et titrage potentiométrique avec de l'acide chlorhydrique à pH 8,3.

Tableau A35. Résumé des propriétés physiques du peuplier hybride et du tremble hybride évaluées en 2008 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Clone/espèce	Densité de base*	Densité (kg/m ³)			Angle des microfibrilles (degrés)			MÉ (GPa)		
		Moyenne	Min.	Max.	Moyenne	Min.	Max.	Moyenne	Min.	Max.
Tremble hybride	345	403,2	402,7	403,6	14,4	15,2	13,5	11,1	10,2	12,0
Green Giant	353,6	414,1	407,0	421,3	30,5	33,5	27,5	6,6	6,2	7,0
Walker 2002	359,7	421,9	419,6	424,2	18,9	20,8	17,1	9,0	8,3	9,6
Northwest	359,7	421,9	411,0	432,9	23,7	22,5	24,9	8,0	7,9	8,0
Assiniboine	388	458,1	440,8	475,5	19,6	18,8	20,3	9,4	9,2	9,6
Walker 2004	353	413,3	402,5	424,1	22,2	20,0	24,4	7,9	8,2	7,6
TH-Mise en pâte	375,6	442,1	420,9	463,4	15,6	16,7	14,5	11,9	9,8	14,0
NW-Mise en pâte	377,7	444,9	424,8	465,0	23,1	28,5	17,6	8,8	7,9	9,7
W-Mise en pâte	386,5	456,2	420,1	492,3	23,2	17,6	28,8	8,6	9,5	7,6

*La densité de base a été calculée à partir de la valeur moyenne de SilviScan pour une teneur en humidité de 8 %.

Tableau A36. Résumé de la longueur des fibrilles (mm) par classe de diamètre des propriétés physiques du peuplier hybride et du tremble hybride évaluées en 2008 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Clone		Âge (années)	0-3 (mm)	4-6 (mm)	7+ (mm)	Moyenne pondérée par région (mm)
Tremble hybride	Min.		0,525	0,669		0,560
	Moyenne	7	0,575	0,744	0,858	0,667
	Max.		0,613	0,808		0,728
Green Giant	Min.		0,592	0,731		0,689
	Moyenne	8	0,652	0,845	0,957	0,789
	Max.		0,739	0,945		0,839
Walker 2002	Min.		0,490	0,612	0,718	0,613
	Moyenne	7	0,574	0,715	0,726	0,672
	Max.		0,620	0,814	0,734	0,760
Northwest	Min.		0,490	0,605	0,747	0,596
	Moyenne	9	0,560	0,685	0,780	0,673
	Max.		0,598	0,747	0,813	0,741
Assiniboine	Min.		0,482	0,606		0,529
	Moyenne	6	0,535	0,714		0,605
	Max.		0,614	0,841		0,690
Walker 2004	Min.		0,521	0,607		0,565
	Moyenne	6	0,549	0,717		0,609
	Max.		0,577	0,825		0,687

Tableau A37. Résumé des propriétés physiques des copeaux en vue de la mise en pâte du peuplier hybride et du tremble hybride évaluées en 2008 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

	Tremble hybride	PH Northwest	PH Walker
Propriétés des copeaux			
% d'humidité (tel que reçu)	47,5	49,1	47,4
% de bois nouveaux accepté	6,8	4,4	5,6
Densité apparente (kg/m ³)	171,0	189,0	188,0
Densité de base (kg/m ³)	337,0	364,0	370,0
Pourcentage (arrondi à 0,1) des fractions criblées déterminé avec un classificateur à copeau Gradex			
Fines	1,0	1,0	0,5
Trous de 3 mm	2,7	1,0	1,2
Trous de 7 mm acceptés	77,4	66,3	71,6
Barres trop épaisses de plus de 8 mm	6,1	7,9	4,9
Barres trop épaisses de plus de 10 mm	10,8	13,8	17,2
Plus de 45 mm de longueur	2,1	10,0	4,6

Tableau A38. Résumé des propriétés chimiques, des hydrates de carbone et des matières extractibles des copeaux en vue de la mise en pâte du peuplier hybride et du tremble hybride évaluées en 2008 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

	Tremble hybride	PH Northwest	PH Walker
Propriétés chimiques (%)			
Cendres	0,50	0,62	0,52
Lignine insoluble dans l'acide	18,78	20,06	20,83
Lignine soluble dans l'acide	3,04	2,83	2,76
Lignine totale	21,82	22,90	23,59
Total des matières extractibles (solvant acétone)	2,50	2,25	2,27
Groupe de matières extractibles (%)			
Acides gras	21,82	22,02	21,00
Monoglycérides	1,21	0,76	1,02
Stérols	3,87	4,58	4,29
Esters cireux	0,61	0,59	0,65
Diglycérides	5,53	2,67	4,01
Esters de stéryle	14,88	20,84	16,47
Triglycérides	17,10	9,24	13,49
Identifiées, total	65,01	60,69	60,92
Non identifiées, total	34,99	39,32	39,08
Hydrates de carbone (%)			
Glucane	47,26	49,60	47,90
Xylane	17,79	17,07	17,36
Rhamnane	0,46	0,51	0,47
Galactane	0,69	0,79	0,69
Arabinane	0,38	0,47	0,42
Mannane	2,43	2,45	2,73
Récupération total	93,84	96,65	95,95

Analyse de 2009-2010, par l'Université de la Colombie-Britannique, de granules de bois provenant de divers clones de saule et de peuplier hybride d'Ellerslie.

Tableau A39. Propriétés physiques des granules de bois produits à partir de CLCR en 2009-2010 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Numéro sur la figure	Échantillon	Pouvoir calorifique (MJ/kg)	Durabilité (%)	Teneur en humidité (%)	Teneur moyenne en cendres (%)	Densité apparente moyenne (kg/m ³)	Densité particulaire moyenne (kg/m ³)
2	DN-34	18,5	82,4	8,8	2,1	672	1 213
10	DN-182	17,8	86,6	10,7	1,8	648	1 207
54	NM-6	17,6	72,2	10,6	2,3	587	1 164
57	SX-61	18,6	83,7	13,3	2,0	627	1 164
57	SX-64	18,0	86,7	13,2	2,1	557	1 137
57	SX-67	17,7	86,6	11,1	2,1	595	1 128
49	India 3 ans	17,7	91,1	12,2	1,4	645	1 149
49	India 2 ans	18,2	89,7	10,1	1,4	651	1 202
S.O.	Mélange de saule	18,7	74,9	7,3	2,3	701	1 239
S.O.	Mélange de peuplier hybride	19,6	89,2	6,7	1,0	637	1 206

Tableau A40. Dimensions physiques des granules de bois (n=25) produits à partir de CLCR en 2009-2010 au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Numéro sur la figure	Échantillon	Masse moyenne (g)	Longueur moyenne (mm)	Diamètre moyen (mm)	Nombre de granules par 100 g	Noirceur (classification)
2	DN-34	1,0	21,0	6,4	81	1
10	DN-182	1,0	26,1	6,4	101	1
54	NM-6	1,0	26,3	6,5	100	1
57	SX-61	1,0	26,3	6,4	99	2
57	SX-64	0,9	25,2	6,5	93	2
57	SX-67	1,0	25,9	6,5	96	2
49	India 3 ans	0,8	20,4	6,4	76	4
49	India 2 ans	0,9	24,3	6,4	94	4
S.O.	Mélange de saule	0,9	23,6	6,4	94	4
S.O.	Mélange de peuplier hybride	1,0	26,0	6,4	102	3



Annexe XII

Renseignements opérationnels associés au test du prototype de compactage de biomasse ligneuse de 2019.

Grilles de 1 po

Le contenu total des 21 balles produites par la presse BioBaler était de 6 775 kg. Les balles ont été traitées par le bol de broyage Haybuster équipé de grilles de 1 po. Elles ont été traitées au moyen du prototype d'unité de compactage de Biomass Innovations, qui a produit huit balles avec une moyenne de 725,8 kg/balle

(tableau 44). La densité apparente de la biomasse mise en balles est passée de 226,21 kg/m³ pour les balles initiales de la presse BioBaler à 526 kg/m³ pour les balles compactées. Le processus de compactage pour le matériel avec la grille d'un pouce a été effectué dans une durée brute de test de 2:14:10 (hh:mm:ss). Cela comprenait 00:04:24 pour les réparations, les pauses et autres arrêts non opérationnels sans rapport avec les opérations de compactage. La durée brute de fonctionnement pour cette partie de l'évaluation du prototype de compactage était de 2:09:46, équivalant à un taux de production de 2 684 kg par heure brute de fonctionnement.

Tableau A41. Résumé opérationnel du prototype d'unité de compactage de Biomass Innovations au site de développement technique de cultures ligneuses à courte rotation d'Ellerslie.

Taille du traitement	Grilles de 1 po	Grilles de 2 po	Grilles de 3 po	Grilles de 5 po	Toutes
Balles	8	9	9	11	37
Productif	01:30:57	01:30:43	01:44:22	02:03:10	06:49:12
Inactif productif	00:34:42	00:16:39	00:40:28	00:11:20	01:43:09
Heures machine prévues (HMP)	02:05:39	01:47:22	02:24:50	02:14:30	08:32:21
Inactif non productif	00:04:07	00:18:26	00:35:42	00:28:59	01:27:14
Fonctionnement brut	02:09:46	02:05:48	03:00:32	02:43:29	09:59:35
Masse totale (kg)	5806	5265	5012	4447	20530
Productivité brute (kg/h)	2684,51	2511,13	1665,73	1631,98	2054,40
Productivité/HMP (kg/h)	2772,46	2942,25	1924,61	1983,66	2351,78
Productivité nette (kg/h)	3830,24	3482,27	2881,38	2166,19	3010,22
Masse totale (kga)	3405	3209	3055	3292	12961
Productivité/HMP (kga/h)	1626,18	1793,33	1173,06	1468,55	1484,79
Productivité nette (kga/h)	2246,61	2122,47	1756,22	1603,68	1900,50

(Suite à la page 135)

(Suite de la page 134)

Taille du traitement	Grilles de 1 po	Grilles de 2 po	Grilles de 3 po	Grilles de 5 po	Toutes
Balles	8	9	9	11	37
Résumé du temps productif par balle					
Fonctionnement net/balle	00:15:42	00:11:56	00:16:06	00:12:14	00:13:51
Compactage	00:09:31	00:08:25	00:09:35	00:08:30	00:08:58
Emballage de la balle	00:00:41	00:00:39	00:00:47	00:01:20	00:00:54
Éjection de la balle	00:00:47	00:00:34	00:00:50	00:00:53	00:00:46
Fermeture de la porte	00:00:24	00:00:26	00:00:23	00:00:30	00:00:26
Nettoyage/Vérification	00:04:20	00:01:51	00:04:30	00:01:02	00:02:47
Teneur en humidité	41,35 %	39,05 %	39,05 %	25,97 %	36,35 %
Masse moyenne/balle (kg)	725,75	585,00	556,89	404,25	554,86
Masse moyenne/balle (kga)	425,69	356,56	339,43	299,27	353,15

Cela comprenait 00:04:07 de temps de non-fonctionnement associé aux problèmes liés à la biomasse. Ces problèmes comprenaient le « pontage » du matériel à l'intérieur de la trémie et le « coincement » de la biomasse entrant dans la presse, ce qui a donné lieu à 2:05:39 d'heures-machines prévues (HMP), soit 2 772 kg par HMP. On a déterminé que le temps inactif consistait en 27,62 % du temps de fonctionnement HMP, soit 0:34:42. La nature du test a nécessité la mise à l'essai d'un prototype et, par conséquent, des vérifications plus fréquentes de la machine. Le test a donné un temps de fonctionnement productif net de 1:30:57, équivalant à un taux de production de 3 830 kg par heure machine productive. La répartition du temps de fonctionnement productif peut se faire ainsi : 83,67 % ou 1:16:06 pour le traitement de la biomasse, 5,97 % ou 0:05:26 pour l'emballage des balles, 6,87 % ou 0:06:15 pour l'éjection des balles, et 3,48 % ou 0:03:10 pour la fermeture de la porte de la presse.

Grilles de 2 po

Le contenu total des 21 balles produites par la presse BioBaler était de 5 810 kg. Les balles ont été traitées par le bol de broyage Haybuster équipé de grilles de 2 po. Elles ont été traitées au moyen du prototype d'unité de compactage de Biomass Innovations, qui a produit

neuf balles avec une moyenne de 585 kg/balle. La densité apparente de la biomasse mise en balles est passée de 193,89 kg/m³ pour les balles initiales de la presse BioBaler à 424 kg/m³ pour les balles compactées. Le processus de compactage pour le matériel avec la grille de deux pouces a été effectué dans une durée brute de test de 02:20:00. Cela comprenait 00:14:12 pour les réparations, les pauses et autres arrêts non opérationnels sans rapport avec les opérations de compactage. La durée brute de fonctionnement pour cette partie de l'évaluation du prototype de compactage était de 02:05:48, équivalant à un taux de production de 2 511 kg par heure brute de fonctionnement. Cela comprenait 00:18:26 de temps de non-fonctionnement associé aux problèmes liés à la biomasse. Ces problèmes comprenaient le « pontage » du matériel à l'intérieur de la trémie et le « coincement » de la biomasse entrant dans la presse, ce qui a donné lieu à 01:47:22 d'heures-machines prévues (HMP), soit 2 942 kg par HMP. On a déterminé que le temps inactif consistait en 15,51 % du temps de fonctionnement HMP, soit 00:16:39. La nature du test a nécessité la mise à l'essai d'un prototype et, par conséquent, des vérifications plus fréquentes de la machine. Le test a donné un temps de fonctionnement productif net de 01:30:43, équivalant à un taux de production de 3 482 kg par heure machine productive. La répartition du temps de fonctionnement productif peut se faire ainsi : 83,54 % ou 01:15:47 pour le traitement

de la biomasse, 6,50 % ou 00:05:54 pour l'emballage des balles, 5,59 % ou 00:05:04 pour l'éjection des balles, et 4,37 % ou 00:03:58 pour la fermeture de la porte de la presse.

Grilles de 3 po

Le contenu total des 19 balles produites par la presse BioBaler était de 6 219 kg. Les balles ont été traitées par le bol de broyage Haybuster équipé de grilles de 3 po. Elles ont été traitées au moyen du prototype d'unité de compactage de Biomass Innovations, qui a produit neuf balles avec une moyenne de 557 kg/balle. La densité apparente de la biomasse mise en balles est passée de 229,50 kg/m³ pour les balles initiales de la presse BioBaler à 403,7 kg/m³ pour les balles compactées. Le processus de compactage pour le matériel avec la grille de trois pouces a été effectué dans une durée brute de test de 03:53:35. Cela comprenait 00:53:03 pour les réparations, les pauses et autres arrêts non opérationnels sans rapport avec les opérations de compactage. La durée brute de fonctionnement pour cette partie de l'évaluation du prototype de compactage était de 03:00:32, équivalant à un taux de production de 1 666 kg par heure brute de fonctionnement. Cela comprenait 00:35:42 de temps de non-fonctionnement associé aux problèmes liés à la biomasse. Ces problèmes comprenaient le « pontage » du matériel à l'intérieur de la trémie et le « coincement » de la biomasse entrant dans la presse, ce qui a donné lieu à 02:24:50 d'heures-machines prévues (HMP), soit 1 925 kg par HMP. On a déterminé que le temps inactif consistait en 25,90 % du temps de fonctionnement HMP, soit 00:40:28. La nature du test a nécessité la mise à l'essai d'un prototype et, par conséquent, des vérifications plus fréquentes de la machine. Le test a donné un temps de fonctionnement productif net de 01:44:22, équivalant à un taux de production de 2 881 kg par heure machine productive. La répartition du temps de fonctionnement productif peut se faire ainsi : 82,69 % ou 01:26:18 pour le traitement de la biomasse, 6,79 % ou 00:07:05 pour l'emballage des balles, 7,20 % ou 00:07:31 pour l'éjection des balles, et 3,32 % ou 00:03:28 pour la fermeture de la porte de la presse.

Grilles de 5 po

Le contenu total des 20 balles produites par la presse BioBaler était de 5 533 kg. Les balles ont été traitées par le bol de broyage Haybuster équipé de grilles de 5 po. Elles ont été traitées au moyen du prototype d'unité de compactage de Biomass Innovations, qui a produit 11 balles avec une moyenne de 404 kg/balle. La densité

apparente de la biomasse mise en balles est passée de 194,0 kg/m³ pour les balles initiales de la presse BioBaler à 293,1 kg/m³ pour les balles compactées. Le processus de compactage pour le matériel avec la grille de cinq pouces a été effectué dans une durée brute de test de 03:02:05. Cela comprenait 00:18:36 pour les réparations, les pauses et autres arrêts non opérationnels sans rapport avec les opérations de compactage. La durée brute de fonctionnement pour cette partie de l'évaluation du prototype de compactage était de 02:43:29, équivalant à un taux de production de 1 632 kg par heure brute de fonctionnement. Cela comprenait 00:28:59 de temps de non-fonctionnement associé aux problèmes liés à la biomasse. Ces problèmes comprenaient le « pontage » du matériel à l'intérieur de la trémie et le « coincement » de la biomasse entrant dans la presse, ce qui a donné lieu à 02:14:30 d'heures-machines prévues (HMP), soit 1 984 kg par HMP. On a déterminé que le temps inactif consistait en 8,43 % du temps de fonctionnement HMP, soit 00:11:20. La nature du test a nécessité la mise à l'essai d'un prototype et, par conséquent, des vérifications plus fréquentes de la machine. Le test a donné un temps de fonctionnement productif net de 02:03:10, équivalant à un taux de production de 2 166 kg par heure machine productive. La répartition du temps de fonctionnement productif peut se faire ainsi : 75,85 % ou 01:33:25 pour le traitement de la biomasse, 11,85 % ou 00:14:36 pour l'emballage des balles, 7,85 % ou 00:09:40 pour l'éjection des balles, et 4,45 % ou 00:05:29 pour la fermeture de la porte de la presse.

Résumé du test

Le contenu total des 81 balles produites par la presse BioBaler était en moyenne de 300,4 kg/balle ou 162,4 kga/balle, pour un total de 24 336 kg. Les balles ont été traitées par le bol de broyage Haybuster équipé de grilles de 1, 2, 3 et 5 po. Elles ont été traitées au moyen du prototype d'unité de compactage de Biomass Innovations, qui a produit 9 balles avec une moyenne de 557 kg/balle Biomass Innovations, produisant 37 balles de 555 kg/balle, soit 353,1 kga/balle, dont 584 grammes d'emballage. La densité apparente de la biomasse mise en balles est passée de 210,7 kg/m³ pour les balles initiales de la presse BioBaler à 402,2 kg/m³ pour les balles compactées. Le processus de compactage a été effectué dans une durée brute de test de 11:29:50, dont 01:30:15 pour les réparations, les pauses et autres arrêts non opérationnels sans rapport avec les opérations de compactage. La durée brute de fonctionnement pour cette partie de l'évaluation

du prototype de compactage était de 09:59:35, équivalant à un taux de production de 2 054 kg par heure brute de fonctionnement. Cela comprenait 01:27:14 de temps de non-fonctionnement associé aux problèmes liés à la biomasse. Ces problèmes comprenaient le « pontage » du matériel à l'intérieur de la trémie et le « coincement » de la biomasse entrant dans la presse, ce qui a donné lieu à 08:32:21 d'heures-machines prévues (HMP), soit 2 352 kg par HMP. On a déterminé que le temps inactif consistait en 19,69 % du temps de fonctionnement HMP, soit 01:43:09. La nature du test

a nécessité la mise à l'essai d'un prototype et, par conséquent, des vérifications plus fréquentes de la machine. Le test a donné un temps de fonctionnement productif net de 06:49:12, équivalant à un taux de production de 3 010 kg par heure machine productive. La répartition du temps de fonctionnement productif peut se faire ainsi : 81,04 % ou 05:31:36 pour le traitement de la biomasse, 8,07 % ou 00:33:01 pour l'emballage des balles, 6,96 % ou 00:28:30 pour l'éjection des balles, et 3,93 % ou 00:16:05 pour la fermeture de la porte de la presse.