SYLVICULTURE

Fiche Technique FT-152 Décembre 1990

ÉVALUATIONS DE COURTE ET DE LONGUE DURÉE DU SCARIFICATEUR À CÔNES MOTORISÉS SILVA WADELL

D. Cormier, ing.f.* et M. Ryans, R.P.F.**

Résumé

En 1987 et 1988, FERIC a évalué le scarificateur à cônes motorisés Silva Wadell. Des évaluations détaillées comprenant des études de temps et mouvements complétées de descriptions des conditions avant et après traitement furent effectuées au Manitoba et au Québec. Des études de longue durée de la productivité et de la disponibilité par poste de travail furent aussi effectuées sur quatre machines au cours de deux opérations de scarifiage au Québec.

Introduction

Mis au point en Suède en 1979, le scarificateur à cônes motorisés Silva Wadell est utilisé au Canada depuis 1986. Les ajustements disponibles sur la machine permettent de régler la profondeur du traitement, le degré d'inclinaison des sillons et de créer des sillons intermittents ou continus. Le traitement peut donc être adapté en fonction de différentes prescriptions sylvicoles liées aux conditions du site.

Le but de cette étude était d'évaluer le rendement du Silva Wadell récemment introduit en milieu forestier canadien. La productivité, la qualité du travail et la fiabilité mécanique de la machine furent les principaux critères évalués au cours de deux études détaillées de courte durée au Québec et au Manitoba, ainsi que de deux études de longue durée au Québec.

Description de l'équipement

Les scarificateurs Silva Wadell sont fabriqués par Storebro International AB de Storebro en Suède. Le distributeur canadien est le Commerce d'Importation Silvana Inc. de Montréal au Québec. En mai 1990, le prix d'achat était de 85 000 $ CAN, F.O.B. Montréal.

L'unité comprend trois composantes majeures (figure 1): l'accessoire de scarifiage; le véhicule moteur; et la source d'alimentation hydraulique.

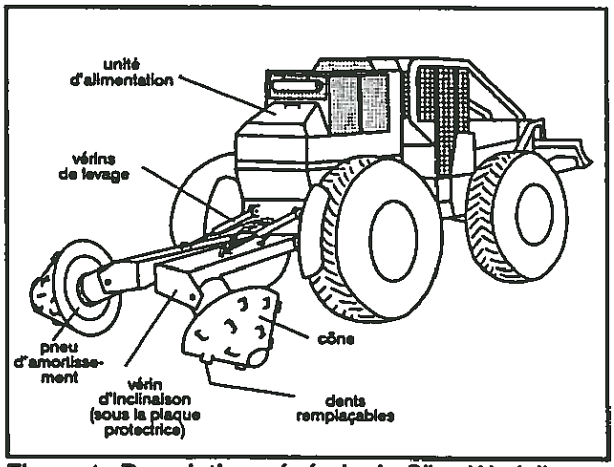

Figure 1. Description générale du Silva Wadell.

* Denis Cormier est un chercheur attaché au secteur Opérations sylvicoles, Division de l'Est.
** Mark Ryans est le responsable du secteur Opérations sylvicoles, Division de l'Est.
MOTS-CLÉS: Préparation du terrain, Méthode mécanisée, Équipement de scarifiage, Évaluation de machines, Productivité, Temps d'arrêt, Disponibilité, Silva Wadell - scarificateur à cônes.

This Technical Note is available in English.

INSTITUT CANADIEN DE RECHERCHES EN GENIE FORESTIER
FOREST ENGINEERING RESEARCH INSTITUTE OF CANADA

143 Place Frontenac
Pointe Claire, Québec
Canada H9R 4Z7
(514) 694-1140

2601 East Mall
Vancouver, C.-B.
Canada V6T 1W5
(604) 228-1555

© Copyright 1990, Institut Canadien de recherches en génie forestier ISNN 0705-7695

Scarificateur

La tête de scarifiage du Silva Wadell est composée d'un cône de 70 cm de largeur, muni de 32 dents remplaçables (figure 2). Chacun des deux cônes est actionné hydrauliquement et tourne dans la direction opposée au déplacement du véhicule moteur. Un pneu gonflé à 690 kPa sert d'amortisseur entre le cône et son train d'entraînement par planétaires (figure 3). Selon le débardeur utilisé, la plaque de montage de l'accessoire est boulonnée soit directement au bouclier, soit à des barres soudées sur les ailes du débardeur. La distance centre-à-centre entre les cônes est normalement de 2 m. Cette configuration fut utilisée au cours de toutes les études au Québec. Le manufacturier offre aussi d'autres espacements sur demande. La machine utilisée au Manitoba était réglée selon un espacement de 1,8 m. Le poids du Silva Wadell est d'environ 2000 kg. L'utilisation d'un moteur auxiliaire ajoute 500 kg de plus.

Il est possible de modifier la vitesse de rotation des cônes, la pression appliquée au sol et l'angle des cônes à partir d'une boîte de commande située dans la cabine (figure 4). La vitesse de rotation peut varier entre 0 et 40 tours par minute. Les cônes sont montés sur deux bras articulés séparément et exercent uniquement par leur poids une force de contact au sol de 10 kN. Cette force peut être ajustée hydrauliquement entre 7 et 12 kN. Un vérin d'inclinaison règle l'angle d'attaque des cônes à 7° ou à 18°; d'autres angles peuvent être préalablement sélectionnés en soudant des crans d'arrêt.

Des placeaux ou des sillons intermittents d'une longueur déterminée sont réalisés en faisant alterner l'entraînement motorisé et l'entraînement libre des cônes. Lors du scarifiage par intermittence, les cônes sont entraînés à une vitesse plus élevée de façon à traverser l'humus rapidement. Un microprocesseur contrôle la durée du cycle et règle automatiquement la séquence pour garder la longueur des placeaux constante malgré des vitesses de progression variables. Les pulsations d'un détecteur de rotation situé sur le mécanisme d'entraînement de l'engin porteur mesurent la vitesse de progression.

Figure 2. Cône muni de dents remplaçables.

Figure 3. Un pneu installé dans chaque cône sert d'amortisseur.

Figure 4. La boîte de commande est située dans la cabine.

Véhicules moteurs et systèmes hydrauliques

Débardeurs à câble John Deere 640 et 640D

Quatre scarificateurs Silva Wadell montés sur des débardeurs à câble John Deere 640 et 640D furent observés au Québec (figure 5). La puissance nette respective des John Deere 640 et 640D était de 82 kW et de 93,2 kW (SAE).

Le débit et la pression hydrauliques de ces débardeurs n'étaient pas suffisants pour répondre aux besoins du Silva Wadell. Une source d'alimentation auxiliaire fut donc installée sur le châssis arrière. Elle consistait en un moteur Fiat de 56 kW refroidi à l'eau, qui entraînait deux pompes de 80 L/min à 17 000 kPa. Le système

hydraulique comprenait aussi un réservoir d'huile de 100 L, un radiateur et un filtre. Le carter du distributeur hydraulique principal était monté à l'intérieur du capot du moteur.

Le treuil et l'arche durent être enlevés pour permettre d'installer le moteur auxiliaire à l'arrière du débardeur. Le poids total de la machine, avec le scarificateur et le moteur auxiliaire, s'élevait à 10 515 kg, la distribution du poids sur l'essieu arrière passant alors de 32% à 41%.

Débardeur à pince John Deere 740

Au Manitoba, un débardeur à pince John Deere 740 (modèle 1979) ayant une puissance nette de 108 kW (SAE) servait de véhicule moteur. L'alimentation hydraulique était fournie au scarificateur à même le système hydraulique à pression constante du débardeur. La pince et la flèche avaient été enlevées, mais le treuil et l'arche étaient toujours en état de marche. Une boîte soudée entre les ailes arrière servait de plaque de montage au scarificateur et protégeait le distributeur hydraulique principal. Le poids de la machine équipée du scarificateur était d'environ 14 200 kg. La distribution du poids, de 38% sur l'essieu arrière, demeurait similaire à celle du débardeur à pince.

Figure 5. Véhicules moteurs utilisés au cours de l'étude:
a) débardeur à câble John Deere 640D avec moteur auxiliaire.
b) débardeur à pince John Deere 740.

Études de courte durée

Description des opérations

Les études de courte durée portèrent sur deux opérations. La première étude eut lieu au Québec dans l'unité de gestion de Portneuf, à 36 km au nord de St-Raymond. L'étude de FERIC eut lieu en juin 1987 au cours d'un essai opérationnel du scarificateur Silva Wadell, mené par le Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec (MERQ). L'opérateur était suédois et possédait plusieurs années d'expérience avec le Silva Wadell.

La seconde étude eut lieu en septembre 1987 dans le parc provincial de Duck Mountain, à 65 km de Swan River au Manitoba. Une entente fédérale-provinciale relative à des essais d'équipement susceptible de servir à des travaux de préparation du terrain dans la province servit de cadre aux essais du Silva Wadell par le Ministère des Ressources naturelles du Manitoba. Les deux opérateurs qui participaient à l'essai possédaient déjà plusieurs mois d'expérience avec la machine.

Conditions de terrain

L'évaluation faite par FERIC des conditions du terrain avant traitement était conforme à une version modifiée du Protocole standard d'évaluation (Sutherland 1986). Les données étaient recueillies à l'intérieur de parcelles circulaires de 100 m^2, plutôt que dans les regroupements de parcelles carrées de 4 m^2 proposés par la méthode standard. Les débris étaient mesurés par échantillonnage linéaire, le long de lignes de 20 mètres.

Une description des conditions de terrain avant traitement est donnée aux tableaux 1 à 3. La quantité de débris de coupe, les conditions du sol et la pente sont les principaux paramètres qui différenciaient les aires d'étude et les blocs qui les composaient.

L'aire d'étude de *Portneuf* se situait dans une région accidentée dominée par une topographie passant de vallonnée à montagneuse. Une sapinière à bouleau blanc occupait ce site avant la coupe par troncs entiers de 1986. Quelques feuillus résiduels étaient dispersés sur le terrain (< 100 tiges/ha). De nombreuses tiges de sapin baumier, mortes à la suite d'une infestation de tordeuse des bourgeons de l'épinette, avaient été coupées et jonchaient le parterre de coupe. La quantité d'arbustes était négligeable (133 à 200 tiges/ha).

Le microrelief était accidenté (classe de rugosité 3) et la pierrosité variait de 35 à 47% (tableau 1). C'est dans le bloc 2 à Portneuf que les débris présentaient les conditions les plus difficiles, c'est-à-dire le volume, la hauteur et le pourcentage de couverture les plus élevés (tableau 2).

Pour l'étude de temps (tableau 4), le bloc 1 fut divisé en deux sections dont l'une "escarpée", possédait des pentes de 6 à 37% avec une moyenne de 26% alors que

Tableau 1. Évaluation du sol et des conditions du terrain

Aire d'étude	Profondeur du sol (cm)	Pierrosité (%)	Profondeur d'humus (cm)	Texture du sol	Régime hydrique	Classification du terrain de l'ACPPP[1]
Portneuf						
Bloc 1	>30	35	7	loam sableux	frais	3(2)[2].3.2(3)
Bloc 2	>30	47	8	loam sableux	frais	3.3.2(3)
Swan River						
Bloc 1	>30	21	7	loam argileux	frais (humide)[2]	3(4).2.2(1)
Bloc 2	>30	7	5	argile limoneux	frais	3.2.2(1)

[1] Mellgren (1980)
[2] Les catégories entre parenthèses s'appliquent à plus de 10% de la superficie.

Tableau 2. Évaluation des débris de coupe

Aire d'étude	Morceaux par 20 m		Diamètre		Longueur	Hauteur		Volume			Couverture
	< 5 cm	> 5 cm	Moyenne > 5cm	Écart	Moyenne	Moyenne	Écart	< 5 cm	> 5 cm	Total	
	(n^{bre})	(n^{bre})	(cm)	(cm)	(m)	(cm)	(cm)	(m^3/ha)	(m^3/ha)	(m^3/ha)	(%)
Portneuf											
Bloc 1	48	12	9	6-26	2.9	13	0-95	11	68	79	36
Bloc 2	82	11	10	6-38	4.1	27	0-310	18	76	94	51
Swan River											
Bloc 1	52	7	11	6-32	3.7	14	0-90	12	55	67	29
Bloc 2	62	12	8	6-12	3.7	13	0-50	14	44	58	40

l'autre, "vallonnée", avait des pentes de 0 à 27% avec une moyenne de 13%.

La topographie autour de l'aire d'étude de *Swan River* était vallonneuse. Le peuplement original se composait d'épinette noire, de pin gris et de quelques peupliers faux-trembles. Les arbres avaient été abattus et ébranchés manuellement à la souche en 1986 et en 1987. Il n'y avait que quelques tiges résiduelles (< 100 tiges/ha) et la quantité de broussailles était négligeable (0 à 125 tiges/ha).

Il y avait une forte densité de souches sur le bloc 2 de Swan River (tableau 3). Elles étaient toutefois petites et coupées près du sol. Plusieurs des houppiers et des branches possédaient encore leurs aiguilles mais les débris présentaient dans l'ensemble des conditions faciles. Quelques chablis de peuplier étaient dispersés sur le bloc 1. Étant donné les sols argileux frais à humides de Swan River, le terrain se situait dans la classe de solidité de 3 à 4. Les deux blocs avaient des pentes de 2 à 18% avec une moyenne de 12%.

Tableau 3. Évaluation des souches

Aire d'étude	Densité (n^{bre}/ha)	Hauteur moyenne (cm)	Diamètre moyen (cm)
Portneuf			
Bloc 1	1120	40	18
Bloc 2	1200	40	18
Swan River			
Bloc 1	706	27	22
Bloc 2	3933	19	12

Études chronométriques

Le tableau 4 illustre la répartition des heures-machines productives (HMP) lors des études chronométriques détaillées. Le pourcentage de temps productif réel (scarifiage seulement) variait de 42 à 80%, à cause du temps passé à manoeuvrer entre les passages. Les éléments de temps reliés aux obstacles, aux déplacements et aux temps morts étaient mineurs pour tous les blocs, représentant environ 10% du temps productif total.

Tableau 4. Répartition du temps-machine productif

Éléments de temps (%)	Portneuf			Swan River	
	Bloc 1		Bloc 2	Bloc 1	Bloc 2
	Section vallonnée	Section escarpée			
Scarifiage	65	42	68	76	80
Obstacles					
- Véhicle moteur	2	2	2	3	2
- Wadell	1	2	2	0	0
Manoeuvres	24	51	20	12	11
Déplacements	3	1	4	4	7
Temps morts*	5	2	4	5	0
Temps productif (%)	100	100	100	100	100
(HMP)	10,37	5,56	2,52	9,67	0,95
Nombre de passages	217	178	48	193	18
Longueur moyenne des passages (m)	118	50	104	123	99

* Seuls les temps morts entre 0,05 minute et 15 minutes sont inclus.

La méthode de scarifiage par passages successifs était utilisée sur tous les blocs et un demi-tour rapide était généralement effectué entre les passages. Toutefois, lorsque la pente atteignait plus de 30%, la machine ne pouvait scarifier efficacement tout en gravissant la pente. Elle devait alors soit faire marche arrière depuis la fin d'un passage jusqu'au début du prochain lorsque la distance n'était pas trop grande, soit contourner le périmètre en gravissant un chemin de débardage pour se replacer en haut de la pente et débuter le passage suivant. Cette dernière manoeuvre était longue et dut être utilisée souvent sur la section escarpée du bloc 1 à Portneuf. La fréquence des manoeuvres sur cette superficie était aussi plus élevée parce que les passages étaient plus courts.

À Portneuf, les longues manoeuvres dues à la pente représentèrent 90, 42 et 30% du temps total de manoeuvre sur les sections "escarpée" et "vallonnée" du bloc 1, et sur le bloc 2 respectivement.

Les arrêts dus à la présence d'obstacles furent rares lors des deux études. Sur certaines aires de Portneuf, le sol mou, les boulders, les souches et les arbres résiduels furent à l'origine de délais mineurs du véhicule moteur. Dans le bloc 1 de Swan River, un effort pour pousser et aligner des chablis fut la principale cause de délais dus à la présence d'obstacles, même s'il ne représentait que 2,2% du temps productif. L'accumulation de débris devant les cônes représentait 1% du temps productif pour chacun des blocs de Portneuf. On venait généralement à bout des débris accumulés simplement en levant les cônes tout en continuant d'avancer. Le mode de scarifiage par intermittence fut utilisé pour quelques passages dans le bloc 2 afin de contrôler automatiquement l'accumulation de débris.

Les temps morts étaient mineurs dans les deux études et faisaient généralement partie de l'opération normale (surveillance, pauses personnelles). La surchauffe du moteur auxiliaire lors du traitement de la section vallonnée du bloc 1 de Portneuf représentait 3,3% du temps productif. La surchauffe du John Deere 740 représentait 1,9% du temps productif lors du traitement du bloc 1 à Swan River.

Tableau 5. Sommaire des données de productivité

	Portneuf			Swan River	
	Bloc 1		Bloc 2	Bloc 1	Bloc 2
	Section vallonnée	Section escarpée			
Heures-machines productives (HMP)	10,37	5,55	2,52	9,67	0,95
Superficie traitée (ha)	9,2	3,3	2,0	9,5	1,0
Productivité (ha/HMP)	0,9	0,6	0,8	1,0	1,1
Vitesse moyenne[1] (m/min)	55	51	43	48	44
Largeur du traitement[2] (m)	4,1	4,6	4,5	4,5	5,0
Consommation en carburant (L/HMP)					
- moteur aux.		6,7			--
- véhicule moteur		15,6			22,5
Total (L/HMP)		22,3			22,5

[1] Vitesse (m/min) = $\frac{10\,000\ m^2/ha}{\text{largeur du traitement (m)}}$ / temps de scarifiage (min/ha)

[2] La largeur du traitement est calculée en additionnant la largeur du scarificateur (distance centre-à-centre entre les cônes) à la distance moyenne entre les passages.

Le sommaire des données de productivité est présenté au tableau 5. La productivité variait principalement en fonction des conditions de pente. Même si la vitesse de scarifiage était similaire dans les deux sections du bloc 1 à Portneuf, la productivité dans la section escarpée fut réduite par une plus grande proportion de manoeuvres. Dans le bloc 2, la faible vitesse moyenne due à la quantité importante de débris et à la rugosité du terrain, réduisit aussi la productivité. À Portneuf, les vitesses chronométrées sur des sections de 20 mètres passaient de 33 m/min, lors du scarifiage en gravissant une pente de 22%, jusqu'à 66 m/min sur terrain plat. À Swan River, les conditions de pente étaient plus régulières et la vitesse variait de 40 à 55 m/min. Les vitesses moyennes relativement faibles de 44 et 48 m/min dépendaient des opérateurs puisque les conditions du terrain ne rendaient pas les déplacements de la machine difficiles. La consommation totale de carburant était similaire pour le John Deere 640D avec un moteur auxiliaire et le John Deere 740.

Description du terrain après traitement

Les caractéristiques variables du Silva Wadell demeurèrent constantes au cours des deux études. Les cônes étaient réglés à angle plat (7°), la vitesse de rotation adoptée était moyenne (20 à 25 tr/min), et une certaine pression au sol était généralement appliquée sur les cônes. La fonction intermittente était utilisée occasionnellement dans les zones à fortes concentrations de débris ou sur des pentes escarpées. Elle était alors réglée à trois mètres traités et un mètre en rotation libre.

Les résultats du traitement, incluant l'évaluation de la plantabilité et des perturbations du sol, furent mesurés dans des parcelles circulaires de 50 m^2. Les classes de plantabilité des microsites furent établies après discussion avec les organismes qui avaient participé aux études. Les mesures de perturbation du sol ne portaient que sur les perturbations créées par le scarificateur. Au Québec, l'objectif visé était d'obtenir une densité de 2500 microsites/ha pour la plantation d'épinette noire (2 × 2 m). Au Manitoba, le Silva Wadell devait préparer 3086 microsites/ha pour la plantation de pin gris (1,8 × 1,8 m).

La description du terrain après traitement est présentée aux tableaux 6 à 9. L'exposition du sol minéral (ESM) par rapport à la superficie totale scarifiée varie de 3,0 à 5,8% (tableau 6). L'exposition nette de sol minéral, représentant l'exposition linéaire le long du sillon, varie de 41 à 61%.

En général, lorsque le sol minéral n'était pas exposé, les cônes perturbaient légèrement la couche d'humus. Selon le tableau 7, le traitement superficiel réalisé par le scarificateur fut la cause principale de l'absence d'exposition du sol minéral dans le bloc 1 à Portneuf, et particulièrement dans le bloc 1 à Swan River, puisqu'il n'y avait aucun obstacle important pouvant influencer

Tableau 6. Description des perturbations du sol

Taux de perturbation (%)	Portneuf		Swan River	
	Bloc 1	Bloc 2	Bloc 1	Bloc 2
ESM brute	5,4	4,1	3,0	5,8
ESM nette	58	50	41	61
Autres classes				
- humus perturbé	28	32	42	12
- roche exposée	5	9	0	0
- eau	1	0	0	0
- aucune perturbation	8	9	17	27

Tableau 7. Facteurs empêchant l'exposition du sol minéral

Facteurs (%)	Portneuf		Swan River	
	Bloc 1	Bloc 2	Bloc 1	Bloc 2
Traitement superficiel	33	13	70	15
Souches	20	15	11	65
Roches	26	31	0	0
Débris	18	38	19	20
Autres	3	3	0	0

les résultats du traitement. Les débris, les souches et les roches réduisirent l'exposition du sol minéral dans le bloc 1 et furent les principales causes d'absence de sol minéral exposé dans le bloc 2 à Portneuf. La grande quantité de souches dans le bloc 2 à Swan River fut la condition du terrain qui affecta le plus le travail du scarificateur.

Les sillons étaient moins profonds à Swan River parce que le sol était plus compact (tableau 8). Même si les prescriptions prévoyaient à cet endroit un espacement de 1,8 mètres, la distance entre les passages fut beau-

Tableau 8. Profondeur et espacement des sillons

	Portneuf		Swan River	
	Bloc 1	Bloc 2	Bloc 1	Bloc 2
Profondeur (cm)	14	14	7	10
Espacement des sillons (cm)				
- entre les sillons d'un même passage	192	197	171	170
- entre les passages	231	248	275	330
- moyenne	211	223	223	250

coup trop large pour permettre d'atteindre cet objectif et d'obtenir la densité souhaitée de microsites plantables. Comme le démontre le tableau 9, la machine réussissait quand même généralement à produire des microsites propres à la plantation.

Tableau 9. Évaluation de la plantabilité

	Portneuf		Swan River	
	Bloc 1	Bloc 2	Bloc 1	Bloc 2
Microsites plantables (n^{bre}/ha)	1707	1520	1888	1733
Microsites marginaux (n^{bre}/ha)	495	800	425	200
Plantables + marginaux (n^{bre}/ha)	2202	2320	2313	1933
Densité potentielle[1] (n^{bre}/ha)	2562	2560	2463	2200
Objectif de densité (n^{bre}/ha)	2500	2500	3086	3086
Succès de la machine[2] (%)	86	91	94	88
Succès de l'opération[3] (%)	88	93	75	63

[1] Total basé sur le relevé dans les placettes de 50 m^2 (plantables + marginaux + non-plantables).
[2] (plantables + marginaux)/densité potentielle × 100.
[3] (plantables + marginaux)/objectif de densité × 100.

Études par poste de travail

Les études de longue durée eurent lieu du 18 juin au 11 novembre 1987 dans la région de Québec, ainsi que du 17 mai au 15 novembre 1988 dans la région de l'Abitibi-Témiscamingue. Ces études avaient pour but de déterminer la productivité et la disponibilité mécanique du Silva Wadell. Les deux opérations se déroulaient dans le cadre de contrats attribués par le MERQ.

Aux deux endroits, les formulaires de rapport quotidien étaient remplis par le personnel du MERQ et accompagnés des diagrammes d'un enregistreur Servis. FERIC était responsable de la vérification, de la compilation et de l'analyse de ces données.

Région de Québec

Deux scarificateurs neufs Silva Wadell installés sur des débardeurs neufs John Deere 640D scarifièrent approximativement 500 hectares dans chacune de trois unités de gestion de la région de Québec (Portneuf, Charlevoix et Beauce). Les superficies de Portneuf et de Charlevoix étaient généralement montagneuses et présentaient donc des difficultés pour ce qui est de la pente. N'eût été que le MERQ étudiait le rendement du scarificateur en fonction de la quantité de débris, plusieurs de ces superficies auraient normalement été traitées à l'aide de râteaux. Les tiges résiduelles étaient peu nombreuses, habituellement moins de 30 à l'hectare. Les aires d'étude dans Charlevoix se caractérisaient par la présence plus fréquente d'affleurements rocheux et une pierrosité plus élevée, alors qu'à Portneuf les blocs à traiter étaient plus petits et plus morcelés. Les superficies de la région de la Beauce étaient légèrement ondulées et présentaient peu de difficultés quant à la pente. Il y avait peu d'arbres résiduels et la quantité de débris variait de faible à moyenne. Le traitement dans la Beauce eut lieu après la chute des feuilles, ce qui favorisait la visibilité et l'identification des obstacles au sol.

Les deux scarificateurs fonctionnaient généralement côte à côte. Une des deux machines avait déjà servi lors de l'étude détaillée de Portneuf. Au cours de l'étude, sept opérateurs différents se partagèrent la tâche. Deux d'entre eux étaient des suédois expérimentés et il s'en trouvait généralement au moins un des deux à la commande d'une des deux machines. Les cinq opérateurs québécois en étaient à leur première expérience avec le Silva Wadell et les travaux de préparation de terrain. L'opération se déroulait à raison d'un poste de travail par jour, 7 jours par semaine. La durée du poste de travail était variable mais s'étendait généralement sur 13 heures, les opérateurs se relayant à tour de rôle au cours de cette période.

Région de l'Abitibi-Témiscamingue

L'introduction du Silva Wadell en Abitibi remonte déjà à 1986. Les travaux des deux machines étudiées s'inscrivaient donc dans la poursuite normale des objectifs de régénération forestière de la région. Les scarificateurs travaillèrent dans six unités de gestion (Rouyn, Val-d'Or, Mégiscane, Lac-Abitibi, Harricana et Quévillon).

Les terrains de la région sont généralement plats ou vallonneux. La majorité des superficies traitées avaient un sol argileux à drainage mauvais ou imparfait. Certaines zones humides pouvaient constituer une entrave à la progression de la machine.

Un des deux scarificateurs étudiés était neuf et il était monté sur un John Deere 640D (modèle 1986) muni de pneus à haute portance (73×44-32) et de chaînes en double losange. Le deuxième scarificateur avait fonctionné pendant 1300 heures au cours de deux saisons antérieures. Il était monté sur un John Deere 640 (modèle 1979) muni de pneus traditionnels (74×30.5-32) et de chaînes à anneaux. Les trois opérateurs qui participaient à l'étude possédaient déjà deux ans d'expérience avec le Silva Wadell. L'opération se déroulait à raison de 5 jours par semaine. Les opérateurs se relayaient

toutes les trois à quatre heures, la durée normale du poste de travail étant d'environ 15 heures.

Les données recueillies en Abitibi ne sont pas aussi complètes que dans la région de Québec, puisque l'étude de longue durée sur le Silva Wadell était un objectif complémentaire à une étude qui visait d'abord à quantifier la vie utile des pneus à haute portance. Cette étude permet toutefois de comparer la disponibilité d'un scarificateur Silva Wadell neuf à un autre qui en est à sa troisième année de service.

Tableau 10. Sommaire du déroulement des opérations

	Québec[1] (étude de 1987)	Abitibi-Témiscamingue (étude de 1988) Machine 1[2]	Machine 2[3]
Heures-machines productives (HMP)	2113,5	1208,0	949,0
Utilisation (%)	68,5	65,8	48,5
Réparation			
- véhicule moteur (%)	2,9	5,4	9,4
- scarificateur (%)	5,8	8,3	17,0
Entretien			
- véhicule moteur (%)	3,3	3,5	2,8
- scarificateur (%)	3,4	2,4	1,9
Attente des pièces et du mécanicien			
- véhicule moteur (%)	1,2	2,2	9,0
- scarificateur (%)	5,0	1,9	2,6
Temps de fonctionnement improductif (%)	2,8	1,3	0,7
Temps morts divers (%)	7,1	9,2	8,1
Heures-machines prévues (%)	100	100	100
(HMPv)	3083,5	1836	1957,5
Disponibilité mécanique			
- véhicule moteur (%)	91,8	88,1	79,8
- scarificateur (%)	88,2	86,0	72,0
- globale (%)	81,7	77,0	60,9
Superficie traitée (ha)	1392	1960	
Productivité (ha/HMP)	0,7	0,9	
Écart de productivité (ha/HMP)	0,5-1,1	0,8-1,2	

[1] Moyenne de deux débardeurs neufs John Deere 640D avec des scarificateurs Silva Wadell neufs (1987). Les résultats ont été combinés puisqu'il n'y avait que peu de différences entre les deux machines.
[2] JD 640D (modèle 1986) avec Silva Wadell neuf (1988).
[3] JD 640 (modèle 1979) avec Silva Wadell à sa troisième année de marche (1986).

Résultats

Le tableau 10 présente un sommaire du déroulement des opérations lors des études de longue durée. La grande variation dans les conditions de terrain et de fonctionnement entraîna un écart de productivité de 0,5 à 1,2 ha/HMP. Les moyennes pour les deux régions étaient de 0,7 et 0,9 ha/HMP. Les pentes de plus de 35% et le morcellement des parcelles à traiter réduisirent la productivité sur plusieurs superficies de la région de Québec. La productivité était en moyenne de 0,9 ha/HMP dans l'unité de gestion de la Beauce où les terrains étaient plus plats et les parcelles de dimensions plus favorables. Dans la région de l'Abitibi-Témiscamingue, c'étaient surtout les terrains humides à faible capacité portante qui ralentissaient la productivité.

La disponibilité mécanique du Silva Wadell (scarificateur seulement) se situait en moyenne au-dessus de 86% pour les modèles neufs et à 72% pour le scarificateur à sa troisième saison. Les 157 heures nécessaires à la remise en état du moteur auxiliaire, après environ 1800 heures de marche, furent la principale cause de la baisse de disponibilité mécanique du modèle plus ancien. Les taux d'utilisation moyens obtenus par les scarificateurs neufs montés sur des véhicules moteurs récents atteignaient presque 70%, alors que le taux de la machine composée d'un véhicule moteur et d'un scarificateur usagés atteignait moins de 50%. Ce plus faible taux d'utilisation s'explique principalement par de nombreuses réparations ainsi que par de longues attentes pour les pièces et le mécanicien, dans le cas du véhicule moteur usagé.

L'entretien de l'équipement occupait entre 5 et 7% du temps prévu. Douze "attentes des pièces ou du mécanicien" causées par le changement de chambres à air ou de pneus dans les cônes du Silva Wadell totalisaient 112,5 heures et étaient responsables de 59% du temps d'attente total dans la région de Québec. Une de ces attentes dura 83 heures.

Pour les machines étudiées dans la région de Québec, près de 9% du temps prévu fut passé à effectuer des réparations tandis que cette proportion fut de 14 à 26% pour celle en Abitibi. Les trois Silva Wadell neufs eurent une fréquence de bris similaire, mais les temps actifs de réparation au scarificateur variaient de 77 à 152 heures (tableau 11). Le scarificateur à sa troisième saison de marche en Abitibi était plus vulnérable aux bris, avec plus de 333 heures de réparations.

Les premiers modèles importés (en 1986 et 1987) avaient une faiblesse du système pneumatique d'amortissement des cônes. Les pneus avaient souvent tendance à se dégonfler laissant échapper le cône du bras d'entraînement. Cette défectuosité fut à l'origine de 19 réparations au modèle 1986, durant les essais de 1988, et de 12 réparations en moyenne à chacun des deux appareils importés et mis à l'essai en 1987. Toutefois, il n'y eut que 2 réparations de cette nature sur le modèle 1988. Si ce problème n'avait pas existé lors des essais de 1987, la disponibilité mécanique du scarificateur aurait pu augmenter de presque 3% pour atteindre 91% et le taux d'utilisation de 6% pour atteindre 75%.

Le bris de conduites hydrauliques situées sur le côté des vérins de levage des cônes fut aussi une source majeure

Tableau 11. Sommaires des réparations lors des études par poste de travail

Causes de pannes (composantes)	Temps actif de réparation (h)			
	Québec		Abitibi-Témiscamingue	
	Machine 1	Machine 2	Machine 1	Machine 2
Débardeur				
Système d'entraînement				
transmission	1,5 (2)*			34,0 (1)
différentiels				20,5 (2)
arbres de commande	2,5 (1)	2,5 (1)	22,0 (2)	2,0 (1)
essieux				20,0 (3)
pneus et jantes	5,0 (2)	2,0 (3)	32,5 (8)	
chaînes		0,5 (1)	6,0 (5)	2,0 (1)
Moteur				
système d'injection	2,0 (1)	2,5 (3)		
admission d'air et échappement		1,0 (2)		
filtre à carburant	0,5 (1)			
Commandes				
leviers	1,0 (1)			
Système électrique			38,5 (2)	0,5 (1)
câblage électrique	1,0 (1)			
alternateur et régulateur	2,0 (1)			
batteries		1,0 (1)		
éclairage	4,5 (2)	4,0 (2)		
Système hydraulique			0,5 (1)	79,0 (4)
raccords	0,5 (1)	1,0 (1)		
Châssis				21,5 (3)
châssis de la machine	48,5 (2)	2,0 (1)		
contre-plaque	0,5 (1)			
cabine	1,5 (2)	0,5 (1)		
Divers			0,5 (1)	5,0 (2)
Sous-total, débardeur	71,0 (18)	17,0 (16)	100,0 (19)	184,5 (18)
Silva Wadell				
Moteur auxiliaire			33,0 (5)	171,5 (7)
système d'injection	8,0 (3)			
système de refroidissement	6,0 (3)	3,0 (4)		
démarreur et solénoïde		0,5 (1)		
Système électrique			36,5 (9)	15,5 (7)
boîte de commandes	5,5 (4)	1,0 (1)		
commutateurs, jauges et fusibles	0,5 (1)	0,5 (1)		
Système hydraulique			72,5 (16)	61,0 (18)
filtres hydrauliques	2,0 (1)	2,0 (1)		
moteurs hydrauliques		6,5 (1)		
vérins	22,0 (9)	17,0 (9)		
raccords	2,0 (3)	2,0 (2)		
conduites flexibles	3,5 (3)	5,5 (3)		
conduites rigides		3,0 (1)		
Châssis			6,5 (5)	4,5 (4)
goujons et barres	19,0 (5)			
capot du moteur		0,5 (1)		
cônes	33,5 (10)	35,5 (14)	3,5 (2)	79,0 (19)
Diagnostic				1,5 (2)
Sous-total, scarificateur	102,0 (42)	77,0 (39)	152,0 (37)	333,0 (57)
Total	173,0 (60)	94,0 (55)	252,0 (56)	517,5 (75)

* Les nombres entre parenthèses indiquent la fréquence.

de délais. Il serait donc approprié de mieux protéger ces conduites pour les conditions recontrées au Canada. Des fissures du châssis au-dessus de l'essieu arrière se produisirent sur les deux débardeurs John Deere 640D au cours de l'étude dans la région de Québec, nécessitant l'installation de plaques de renforcement.

Les causes d'arrêts de travail classées comme temps de fonctionnement improductif et temps morts divers dans l'étude de la région de Québec sont présentées au tableau 12. Les déplacements d'un bloc à l'autre furent la principale source du temps de fonctionnement improductif. Les temps d'attente au cours de déplacements sur route ou sur fardier représentaient 30% des temps morts divers pour les deux machines combinées. La surveillance et la surchauffe du moteur auxiliaire furent les temps morts les plus fréquents, mais ils étaient de courte durée.

Tableau 12. Répartition du temps de fonctionnement improductif et des temps morts divers dans les études par poste de travail

	Québec			
	Machine 1		Machine 2	
Temps de fonctionnement improductif (h)				
- déplacements	39,0	(24)*	25,0	(17)
- enlisements	2,5	(3)	16,0	(7)
- démonstrations	1,0	(1)	1,0	(1)
- réchauffements	1,5	(3)	1,0	(2)
Total (improductif)	44,0	(31)	43,0	(27)
Temps morts divers (h)				
- transport et attentes lors de déplacements	31,0	(3)	35,0	(4)
- attentes lors d'enlisements	9,0	(2)	9,0	(2)
- surveillance	28,5	(28)	24,0	(18)
- manutention d'équipement et de carburant	20,0	(10)	1,5	(2)
- maladie et accident	-	-	6,0	(2)
- surchauffe - véhicule moteur	0,5	(1)	1,5	(2)
- scarificateur	11,0	(12)	19,0	(17)
- assistance à la réparation d'une autre machine	9,5	(7)	13,0	(5)
- conditions climatiques défavorables	2,5	(1)	-	-
Total (divers)	112,0	(64)	109,0	(52)

* Les nombres entre parenthèses indiquent la fréquence.

Discussion

Productivité et considérations opérationnelles

Lors des études de courte et de longue durée, les conditions de terrain et de fonctionnement furent responsables de l'écart important de la productivité qui passa de 0,5 à 1,2 ha/HMP. Particulièrement au cours des études dans la région de Québec, un grand nombre de manoeuvres et de déplacements entre les blocs fut nécessaire à cause des pentes escarpées et du morcellement des blocs. Lorsque les conditions se rapprochaient davantage de celles rencontrées dans le centre et l'est du Canada (grands blocs et relief vallonné), la productivité était d'environ un hectare à l'heure comme lors d'autres opérations de scarifiage à disques.

La disponibilité mécanique du Silva Wadell fut bonne au cours des études de FERIC, surtout si on tient compte de son introduction récente et des moyens techniques restreints disponibles sur le terrain. Avec la réduction des problèmes au système pneumatique d'amortissement, que semblent indiquer les résultats obtenus avec le modèle 1988 du Silva Wadell, la disponibilité mécanique et l'utilisation seront améliorées.

Les délais causés par la plus grande complexité des commandes des fonctions variables étaient négligeables dans le cas des deux machines de la région de Québec, mais il faut se rappeler qu'un technicien suédois se trouvait sur les lieux. Même si ce n'était pas une source majeure de délais, le système électrique de réglage dut subir un plus grand nombre d'heures de réparation lors des essais menés par des opérateurs et des techniciens locaux en Abitibi.

Choix d'un véhicule moteur

Il n'y avait pas de différences apparentes de productivité entre les débardeurs JD 640, JD 640D et JD 740, même si les deux catégories de véhicules moteurs n'avaient pas été mises à l'essai dans des conditions de terrain similaires.

Dans la mesure où aucune puissance à la barre supplémentaire n'est nécessaire à d'autres usages, comme par exemple pour renverser des arbres résiduels, pour ouvrir un passage à travers les débris ou pour gravir des pentes, la puissance à la barre relativement faible requise par le Silva Wadell peut permettre l'utilisation de débardeurs de taille moyenne, généralement dans le créneau de 90 à 110 kW. Le manufacturier estime d'ailleurs que des véhicules moteurs n'ayant que 70 kW seraient suffisants. Toutefois, la plupart des débardeurs de taille moyenne, et même des gros débardeurs à câble, ne possèdent pas la puissance hydraulique nécessaire pour faire fonctionner le scarificateur.

Un moteur auxiliaire peut être utilisé pour s'assurer de maintenir une puissance hydraulique constante. Toutefois, cela augmente le coût en capital, élève le centre de gravité et accroît la complexité mécanique de la machine. Depuis 1988, un système hydraulique indépendant avec une pompe auxiliaire et un réservoir hydraulique a été utilisé avec les débardeurs de taille moyenne. La pompe était actionnée à partir du moteur du véhicule ou de la prise de force du treuil. Au cours des saisons 1988 et 1989, le Silva Wadell a été installé

sur des débardeurs à câble Timberjack 450B (figure 6), VME Ranger F667, Tree Farmer C6D et John Deere 640D. Une pompe auxiliaire fut ajoutée à tous ces débardeurs. Dans le cas des débardeurs ayant une transmission à convertisseur de couple et trois ou quatre rapports de vitesse, des modifications furent apportées à la transmission ou à l'essieu pour réduire les rapports du train de roulement et la vitesse de progression.

Figure 6. Silva Wadell installé sur un débardeur Timberjack 450B.

Rendement du scarificateur

Le Silva Wadell s'est révélé un scarificateur efficace lors des études de courte durée. La machine réussissait à produire régulièrement des microsites le long du sillon. On notera que l'humus était mince et qu'il n'était pas nécessaire de produire des microsites surélevés par rapport au niveau du sol. Au Manitoba, le nombre de microsites propres à la plantation n'atteignait que 63 et 75% des objectifs dans les deux blocs, mais l'espacement trop large laissé par l'opérateur entre les passages en était principalement responsable.

À Portneuf, et particulièrement dans le bloc 2, le scarificateur était près de sa limite de travail en ce qui a trait à l'épaisseur de la couche de débris, comme le démontre la production d'un nombre plus élevé de microsites marginaux. Le mouvement de rotation des cônes dans le sens inverse de la progression de la machine permet de soulever les débris de coupe et d'exposer le sol minéral. Toutefois, lorsque les conditions deviennent très difficiles, les débris peuvent s'accumuler devant les cônes et nuire au bon fonctionnement du scarificateur, comme ce fut le cas dans le bloc 2 à Portneuf. L'opérateur doit alors soulever les cônes de temps à autre pour libérer les débris accumulés. Ce problème fut également observé en présence de quantités importantes de débris feuillus et sur des sites à humus épais où la couche d'humus se trouvait être soulevée en bloc avec des souches et des systèmes racinaires. Le traitement par intermittence automatique réduit l'accumulation de débris puisque les cônes roulent automatiquement au-dessus des empilements de façon périodique.

Sur les aires observées, la pierrosité et la quantité de souches influençaient aussi la facilité des cônes à pénétrer le sol minéral et à l'exposer. Le sol compact à texture fine du Manitoba semblait aussi réduire la profondeur du traitement, malgré qu'il soit difficile de comparer la pression au sol et la rotation des cônes au cours des deux évaluations de courte durée. La mince couche d'humus dans les deux aires d'étude ne permettait pas de vérifier l'influence de l'épaisseur d'humus sur la qualité du scarifiage, ni d'évaluer l'utilisation d'un angle de cône plus accentué.

Au cours d'une étude menée par le MERQ dans la région de l'Abitibi-Témiscamingue, la qualité de la préparation du terrain avec le Silva Wadell était aussi bonne, sinon meilleure, que celle obtenue avec les scarificateurs traditionnels sur différents terrains de la région (Beauchesne et al. 1986). La machine fontionna adéquatement sur des sols argileux avec une épaisseur d'humus allant jusqu'à 30 cm, sur des sols pierreux et sur des terrains recouverts d'éricacées. Sur certains sols argileux, le Silva Wadell était capable de laisser une mince couche d'humus perturbé sur le sol minéral en utilisant un angle de cône plat, ce qui était considéré comme avantageux pour réduire les risques de soulèvement par le gel. Sur d'autres terrains détrempés où le drainage des microsites était insuffisant, la couche d'humus et de racines n'était pas relevée efficacement aux abords du sillon, d'où un traitement inadéquat malgré l'utilisation d'un angle de cône incliné. La présence d'une couche relativement faible de débris n'a pas affecté les résultats du scarifiage durant ces essais.

Influence des réglages variables

Le scarificateur à cônes Silva Wadell est un scarificateur à fonctions variables pouvant adapter le type et l'intensité du scarifiage aux exigences de différents sites. De ce fait, pour être en mesure de tirer plein profit de l'utilisation du scarifiateur, il faut connaître les objectifs et les effets des fonctions. Les études de FERIC ne prévoyaient pas vérifier l'influence des réglages variables sur les résultats du traitement. Toutefois, certaines études suédoises ont cherché à établir l'influence des fonctions variables sur le scarifiage dans diverses conditions de sol et de terrain (Glydberg 1986; Adelsköld et Hallonborg 1987). Ces études ont démontré que les divers réglages pouvaient avoir un effet déterminant sur les résultats du traitement.

Le type de scarifiage peut prendre la forme de sillons continus, de placeaux ou de sillons intermittents pour les opérations en pente. La profondeur, la largeur ou le profil des placeaux ou des sillons, sont influencés par les réglages de pression au sol, de vitesse de rotation et d'angle d'attaque.

Le mode de scarifiage par intermittence réduit le pourcentage de superficie perturbée. Il peut aussi être utilisé en pente pour diminuer les risques d'érosion.

L'angle d'attaque influence l'inclinaison du profil du sillon et la capacité à pénétrer la couche d'humus. Un angle incliné (18°) travaille plus en profondeur et produit un profil qui offre des microsites de plantation plus variés et la possibilité de planter au niveau du sol ou au-dessus. Avec un angle de 7°, le traitement est plus superficiel, et le sillon ou le placeau produit est large et plat. Ceci peut être bénéfique sur les sols minces ou pierreux pour améliorer les chances de créer un nombre adéquat de microsites propres à la plantation. Un sillon large et plat facilite aussi les déplacements des planteurs. Même si cela n'offre qu'un intérêt localisé au Canada, un sillon plat et peu profond réduit les risques d'affaissement du sol et peut donc constituer un lit de germination favorable à l'ensemencement.

Le réglage de la pression au sol détermine la force de contact entre le cône et le sol, ce qui influence la profondeur du traitement et dans une certaine mesure la largeur et la régularité du sillon.

La vitesse de rotation règle la capacité des dents à traverser rapidement la couche d'humus. Elle influence l'intensité du scarifiage (largeur, profondeur et régularité) et le mouvement des débris et du sol minéral vers le bout des cônes. On notera que le Silva Wadell n'est pas un rotoculteur capable de mélanger le sol uniformément, à cause de sa vitesse de rotation relativement lente et de sa tête de scarifiage.

Selon Glydberg (1986), une augmentation de la vitesse de rotation et de la pression au sol augmentait la largeur et la longueur moyenne des surfaces de sol minéral exposé et de sol perturbé, le nombre de microsites plantables dans le sol minéral et la porosité du sol des microsites de plantation. L'importance de la pression au sol était supérieure à faible vitesse de rotation. L'influence de la vitesse de rotation diminuait avec une augmentation de la pression au sol. Ces essais furent faits avec un angle d'attaque plat, d'où la création de microsites situés presque exclusivement sous le niveau original du terrain.

Adelsköld et Hallonborg (1986) ont remarqué que la vitesse de rotation était d'importance décisive sur les résultats. Plus la vitesse était élevée, plus intense était la perturbation du sol. Combinée avec un angle d'attaque incliné, l'augmentation de la vitesse rendait aussi l'épaulement de sol minéral plus épais le long du sillon. La vitesse était considérée comme étant plus efficace que l'augmentation de la pression au sol.

De ce fait, c'est la combinaison adéquate des différents réglages qui détermine le rendement réel du Silva Wadell.

Conclusions

Le Silva Wadell apparaît prometteur en termes de productivité, de fiabilité et spécialement par son aptitude à adapter le scarifiage pour répondre aux variations dans les conditions du terrain. Au cours des études par poste de travail, il n'y eut aucune panne majeure attribuable à la plus grande complexité des fonctions variables. Toutefois cette complexité n'est justifiable que si elle est utilisée. Actuellement, une attitude prônant le "beau, bon, pas cher" et l'absence d'une définition claire des prescriptions idéales en fonction de conditions différentes constituent deux contraintes qui s'opposent à l'utilisation de ce scarificateur à son plein potentiel.

Le Silva Wadell a procuré un scarifiage efficace dans les conditions de terrain observées lors des évaluations de courte durée. Toutefois, dans certaines conditions, des résidus ont tendance à s'accumuler devant les cônes.

D'autres études sont nécessaires pour évaluer l'efficacité de ce scarificateur dans la gamme complète des conditions de terrain au Canada et pour examiner l'effet des réglages variables lors d'essais comparatifs contrôlés.

Bibliographie

Adelsköld, G.; U. Hallonborg. 1987. The Wadell variable-function scarifier. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Spånga, Suède. Results No. 1 1987. 4 p.

Beauchesne, C.; R. Brizard; D. Audet; F. Denis. 1987. Essai du scarificateur Wadell en 1986-1987. Gouv. du Québec, Min. de l'Énergie et des Ressources, Région de l'Abitibi-Témiscamingue. 39 p. (Rapport interne).

Glydberg, B. 1986. Markberedning med Wadell-fräsen - jämförande försök med olika anliggningskraft och rotationshastighet [Soil scarification using the Wadell cultivator - an experiment with varying contact force and rotation speed]. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen För Skogsteknik, Garpenberg, Suède. Rapport nr 170. 47 p. + annexes.

Folkema, M.P.; P. Giguère; E. Heidersdorf. 1981. Disponibilité et productivité par poste de travail: Aide-mémoire révisé pour la cueillette et la consignation des données. Institut canadien de recherches en génie forestier, Pointe Claire, Qué. 14 p.

Mellgren, P.G. 1980. Classification du terrain pour la foresterie du Canada. Assoc. can. des prod. de pâtes et papiers, Montréal, Qué. 13 p.

Sutherland, B.J. 1986. Standard assessment procedure for evaluating silvicultural equipment. A handbook. Gov. Canada, Can. For. Serv., Great Lakes For. Cent., Sault Ste. Marie, Ont. 96 p.

Mise en garde

La présente fiche technique ne vise qu'à diffuser de l'information auprès des membres de l'Institut. Elle ne doit pas être interprétée comme une approbation, de la part de l'Institut, d'un service à l'exclusion d'autres qui peuvent aussi bien convenir.