

EN004201

RAPPORT D'ENQUÊTE

**Accident mortel survenu à un employeur
le 18 mars 2017 à l'entreprise Ferme Steev Larose inc.
137, rang de la Grande-Ligne à Saint-Isidore**

Direction régionale de la Chaudière-Appalaches

VERSION DÉPERSONNALISÉE

Inspecteurs :

**Yannick Boutin,
inspecteur**

**Christian Roy,
inspecteur**

Date du rapport : 7 novembre 2018

Rapport distribué à :

- Madame [A], [...], Ferme Steev Larose inc.
- Docteur Martin Clavet, coroner
- Docteur Philippe Lessard, directeur de la santé publique

TABLE DES MATIÈRES

<u>1</u>	<u>RÉSUMÉ DU RAPPORT</u>	<u>1</u>
<u>2</u>	<u>ORGANISATION DU TRAVAIL</u>	<u>2</u>
2.1	STRUCTURE GÉNÉRALE DE L'ÉTABLISSEMENT	2
2.2	ORGANISATION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL	2
	2.2.1 MÉCANISMES DE PARTICIPATION	2
	2.2.2 GESTION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ	2
<u>3</u>	<u>DESCRIPTION DU TRAVAIL</u>	<u>3</u>
3.1	DESCRIPTION DU LIEU DE TRAVAIL	3
3.2	DESCRIPTION DU TRAVAIL À EFFECTUER	4
	3.2.1 TRACTEUR DE MARQUE JOHN DEERE MODÈLE 7930 (JD 7930)	4
	3.2.2 SOUFFLEUSE À NEIGE DE MARQUE NORMAND MODÈLE N104-342TR	5
	3.2.3 TRIANGLE D'ATTELAGE	5
	3.2.4 TRACTEUR DE MARQUE JOHN DEERE MODÈLE 7520 (JD 7520)	6
	3.2.5 ACCESSOIRES DE REMORQUAGE	6
<u>4</u>	<u>ACCIDENT : FAITS ET ANALYSE</u>	<u>7</u>
4.1	CHRONOLOGIE DE L'ACCIDENT	7
4.2	CONSTATATIONS ET INFORMATIONS RECUEILLIES	8
	4.2.1 OBSERVATIONS SUR LES LIEUX DE L'ACCIDENT	8
	4.2.2 CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DES ACCESSOIRES UTILISÉS POUR L'OPÉRATION DE REMORQUAGE	21
	4.2.2.1 Le câble	21
	4.2.2.2 La chaîne	21
	4.2.2.3 La manille et la goupille	21
	4.2.3 ENCADREMENT LÉGISLATIF	22
	4.2.4 LES RÈGLES DE L'ART	23
	4.2.4.1 Recommandations de l'Université Purdue, État d'Indiana (États-Unis) pour désembourber un véhicule ou un équipement	23
	4.2.4.2 Directives du fabricant	24
	4.2.4.3 Norme ASME B30.26-2015 : « Rigging Hardware – Safety Standard for Cableways, Cranes, Derricks, Hoists, Hooks, Jacks, and Slings »	25
	4.2.5 RAPPORTS D'EXPERTISE	26
	4.2.5.1 Rapport d'expertise du Centre métallurgique du Québec (CMQ)	26
	4.2.5.2 Rapport d'expertise de la Commission des normes, de l'équité, de la santé et sécurité du travail (CNESST)	27
	4.2.5.3 Principes généraux recommandés pour désembourber un véhicule ou un équipement	29

4.3	ÉNONCÉS ET ANALYSE DES CAUSES	31
4.3.1	LES FORCES EXCESSIVES LIÉES À LA MÉTHODE DE REMORQUAGE ENTRAÎNENT LA PROJECTION D'UN FRAGMENT DE LA MANILLE EN DIRECTION DE L'OPÉRATEUR DU TRACTEUR ENLISÉ	31
4.3.2	LE CHOIX ET L'INSTALLATION DES ACCESSOIRES DE REMORQUAGE SONT INADAPTÉS À LA SITUATION	32
4.3.3	LA PLANIFICATION ET L'EXÉCUTION DE L'OPÉRATION DE REMORQUAGE SONT DÉFICIENTES EN MATIÈRE DE SÉCURITÉ	33
5	<u>CONCLUSION</u>	34
5.1	CAUSES DE L'ACCIDENT	34
5.2	AUTRES DOCUMENTS ÉMIS LORS DE L'ENQUÊTE	34
5.3	SUIVI DE L'ENQUÊTE	34
<u>ANNEXES</u>		
ANNEXE A :	Liste des accidentés ou Accidenté	35
ANNEXE B :	Liste des témoins et des autres personnes rencontrées	36
ANNEXE C :	Rapports d'expertise interne et externe	37
ANNEXE D :	Références bibliographiques	38

SECTION 1

1 RÉSUMÉ DU RAPPORT

Description de l'accident

Le 18 mars 2017, lors d'une opération de remorquage d'un tracteur enlisé dans un fossé, un accessoire de remorquage se casse puis est projeté en direction de monsieur [B], l'atteignant à la tête.

Conséquences

L'employeur est grièvement blessé à la tête. Il décède à l'hôpital des suites de ses blessures le 9 mai 2017.



(Source : Sûreté du Québec)

Scène de l'accident

Abrégé des causes

- Les forces excessives liées à la méthode de remorquage entraînent la projection d'un fragment de la manille en direction de l'opérateur du tracteur enlisé.
- Le choix et l'installation des accessoires de remorquage sont inadaptés à la situation ;
- La planification et l'exécution de l'opération de remorquage sont déficientes en matière de sécurité.

Mesures correctives

Une décision est émise sur les lieux afin de suspendre l'opération de remorquage du tracteur de marque John Deere modèle 7930 (JD 7930) à l'aide d'un autre tracteur. Le remorquage du tracteur JD 7930 a été effectué par une entreprise spécialisée dans le domaine. Le rapport d'intervention RAP1090405 émis le 18 mars 2017 fait état de l'intervention effectuée.

Le présent résumé n'a pas de valeur légale et ne tient lieu ni du rapport d'enquête ni d'avis de correction ou de toute autre décision de l'inspecteur. Il constitue un aide-mémoire identifiant les éléments d'une situation dangereuse et les mesures correctives à apporter pour éviter la répétition de l'accident. Il peut également servir d'outil de diffusion dans votre milieu de travail.

SECTION 2

2 ORGANISATION DU TRAVAIL

2.1 Structure générale de l'établissement

Ferme Steev Larose inc. est une entreprise agricole en copropriété dirigée par monsieur [B], madame [A] et monsieur [C] qui en sont les propriétaires. Elle oeuvre dans la production laitière. [...]. La supervision du personnel est assurée par les propriétaires.

2.2 Organisation de la santé et de la sécurité du travail

2.2.1 Mécanismes de participation

L'entreprise n'a pas élaboré de programme de prévention propre à ses activités. Notons que les entreprises du secteur agricole n'ont pas d'obligation en ce sens selon la *Loi sur la santé et la sécurité du travail* [L.R.Q., c. S-2.1].

2.2.2 Gestion de la santé et de la sécurité

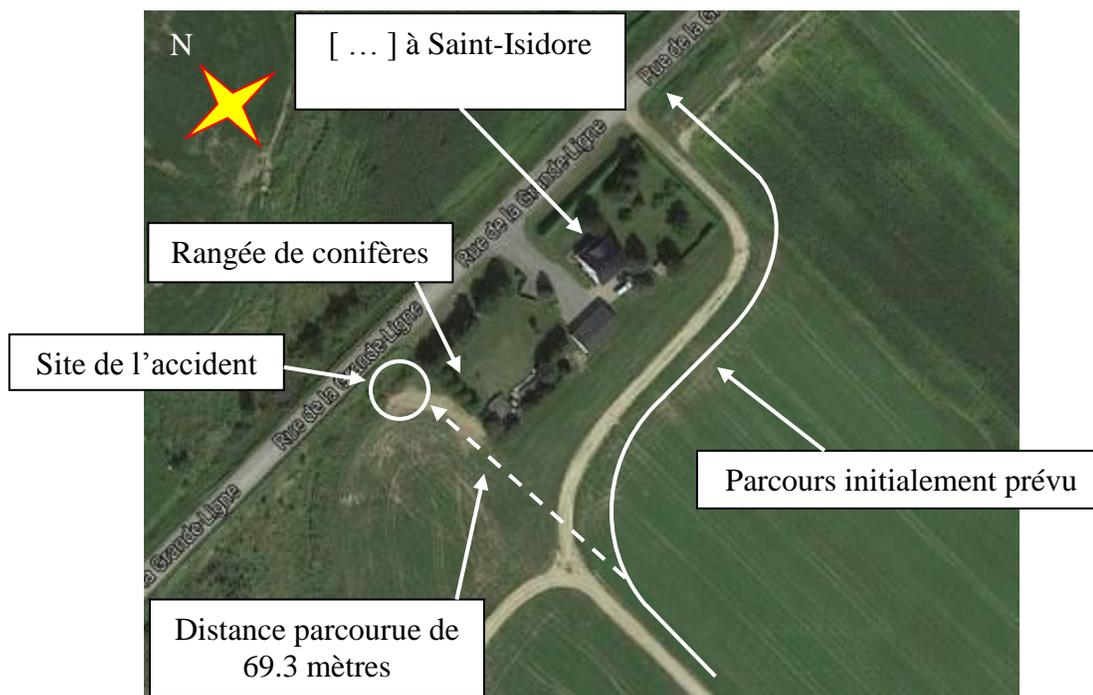
Outre les directives verbales qui sont données aux travailleurs concernant certains risques associés aux tâches qui leur sont assignées, l'entreprise n'a aucun mécanisme particulier qui vise la prise en charge de la santé et de la sécurité du travail.

SECTION 3

3 DESCRIPTION DU TRAVAIL

3.1 Description du lieu de travail

Le soir du 17 mars 2017, monsieur [B], ci-après nommé l'employeur, déblaie la neige recouvrant le chemin menant à la cabane à sucre d'un [D]. Le travail s'effectue à l'aide du tracteur JD 7930 muni d'une souffleuse à neige. Lors du retour, l'employeur s'endort au volant du tracteur, puis s'enlise dans le fossé à proximité de la résidence du [...] à Saint-Isidore.



(Source : Google)

Lieu de l'accident

Le matin du 18 mars 2017, un autre tracteur de marque John Deere modèle 7520 (JD 7520), appartenant à l'employeur, est utilisé afin de tirer le tracteur enlisé. Ceux-ci sont reliés par un câble de nylon, une chaîne et une manille. Cette matinée-là, entre 7 h et 8 h, la station météorologique d'Environnement et ressources naturelles Canada indique une température variant de -13.8°C à -11.4°C. Le vent souffle du nord-est de 3 à 4 kilomètres/heure. La journée est ensoleillée.

3.2 Description du travail à effectuer

L'employeur et le travailleur s'apprêtent à effectuer une opération de remorquage du tracteur JD 7930 enlisé dans le fossé. Pour réaliser cette tâche, ils utilisent le tracteur JD 7520, afin de le tirer de sa position à l'aide des accessoires de remorquage disponibles sur les lieux.

3.2.1 Tracteur de marque John Deere modèle 7930 (JD 7930)

Le certificat d'immatriculation confirme que l'année de fabrication est 2010. Selon TractorData, fournisseur des spécifications de tracteurs aux agriculteurs, aux propriétaires et à l'industrie de la machinerie agricole, le poids du tracteur est estimé à 8 042 kilogrammes. Il est équipé de pesées de 825 kilogrammes sur chacune des roues arrière. À l'avant est fixé un système de relevage de marque Zuiberg. Son poids est estimé à 816 kilogrammes. Le poids d'une roue est estimé à 316 kilogrammes. Chaque roue contient un produit de lestage liquide. Considérant l'ajout de tous ces équipements, le poids total du tracteur est alors majoré à 11 140 kilogrammes.

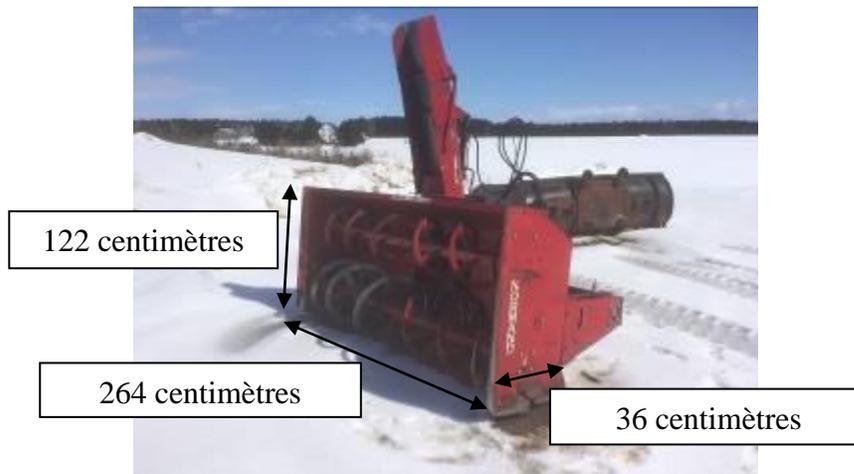


(Source : CNESST)

Tracteur JD 7930

3.2.2 Souffleuse à neige de marque Normand modèle N104-342TR

Le poids de la souffleuse est de 1 111 kilogrammes. Elle est équipée de deux vis sans fin. Les dimensions de l'éventail sont : 264 centimètres de largeur de coupe par 122 centimètres de hauteur de coupe par 36 centimètres de profondeur de l'éventail.

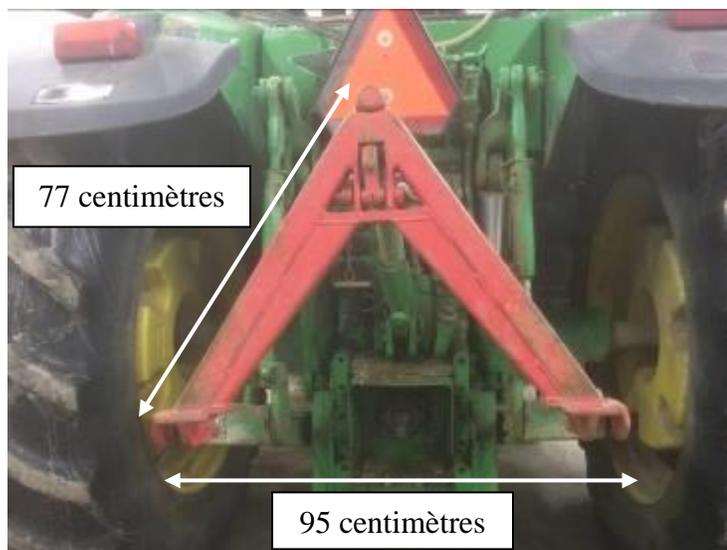


(Source : CNESST)

Souffleuse à neige

3.2.3 Triangle d'attelage

Le triangle d'attelage ou châssis en « A » fixé sur l'attelage hydraulique à trois points situés à l'arrière du tracteur JD 7930 provient de l'équipement hache-paille de marque Teagle Machinery Ltd.



(Source : CNESST)

Triangle d'attelage

3.2.4 Tracteur de marque John Deere modèle 7520 (JD 7520)

Le certificat d'immatriculation confirme que l'année de fabrication est 2004. Selon TractorData, le poids du tracteur est estimé à 6 036 kilogrammes. Il est équipé de pesées de 205 kilogrammes sur chacune des roues arrière. Il est muni d'une chargeuse auto nivelant de marque John Deere dont le poids est estimé à 1 360 kilogrammes. Considérant l'ajout de tous ces équipements, le poids total du tracteur est alors majoré à 7 793 kilogrammes.



(Source : Sûreté du Québec)

Tracteur JD 7520

3.2.5 Accessoires de remorquage

Une chaîne de grade 70 d'une longueur estimée à 184 centimètres, un câble de nylon à trois torons ayant un diamètre de 60 millimètres et une longueur estimée à 405 centimètres, puis finalement, un ensemble manille (1 X 5-5/16) munie d'une goupille à barrure/épingle ont été utilisés pour effectuer le remorquage du tracteur JD 7930. La tige de la goupille a un diamètre inférieur au diamètre de la manille.

SECTION 4

4 ACCIDENT : FAITS ET ANALYSE

4.1 Chronologie de l'accident

Le 17 mars 2017, vers 22 h 15, l'employeur déblaie le chemin menant à la cabane à sucre d'un [D], à l'aide du tracteur JD 7930. Lors du retour, l'employeur s'endort au volant du tracteur, puis s'enlise dans le fossé près du [...] à Saint-Isidore.

Le matin du 18 mars 2017 vers 7 h 30, en compagnie de monsieur [E], ci-après nommé le travailleur, l'employeur planifie de sortir le tracteur JD 7930 de sa position à l'aide du tracteur JD 7520. D'abord, il prépare et transporte sur les lieux le matériel nécessaire afin de sortir le tracteur enlisé. Ensuite, sur les lieux, il positionne le tracteur JD 7520 derrière celui qui est enlisé. Par la suite, l'employeur enroule une chaîne au niveau du triangle d'attelage ou châssis en « A » sur le côté inférieur droit, qui lui est fixé sur l'attelage hydraulique à trois points situés à l'arrière du tracteur JD 7930. La chaîne est reliée par la boucle du câble de nylon. Pendant ce temps, le travailleur passe la manille dans la boucle du câble de nylon, puis fixe la manille avec la goupille à la barre d'attelage du tracteur JD 7520. La souffleuse à neige est demeurée fixée sur le devant du tracteur JD 7930 pendant toute l'opération.

Une fois les préparatifs terminés, l'employeur prend place dans le tracteur JD 7930 alors que le travailleur s'installe dans le tracteur JD 7520. Les vitres arrière des deux tracteurs sont ouvertes afin que les opérateurs puissent communiquer entre eux. Lors de la première manœuvre, le travailleur fait marche avant tranquillement jusqu'à ce que le câble soit sous tension et fasse patiner les pneus de son tracteur. Pendant ce temps, l'employeur fait marche arrière avec le sien. Il regarde par-dessus son épaule droite. Suite à cette tentative infructueuse, le travailleur recule à une distance approximative de 2.1 ou 2.4 mètres de celui enlisé pour recommencer les manœuvres de remorquage.

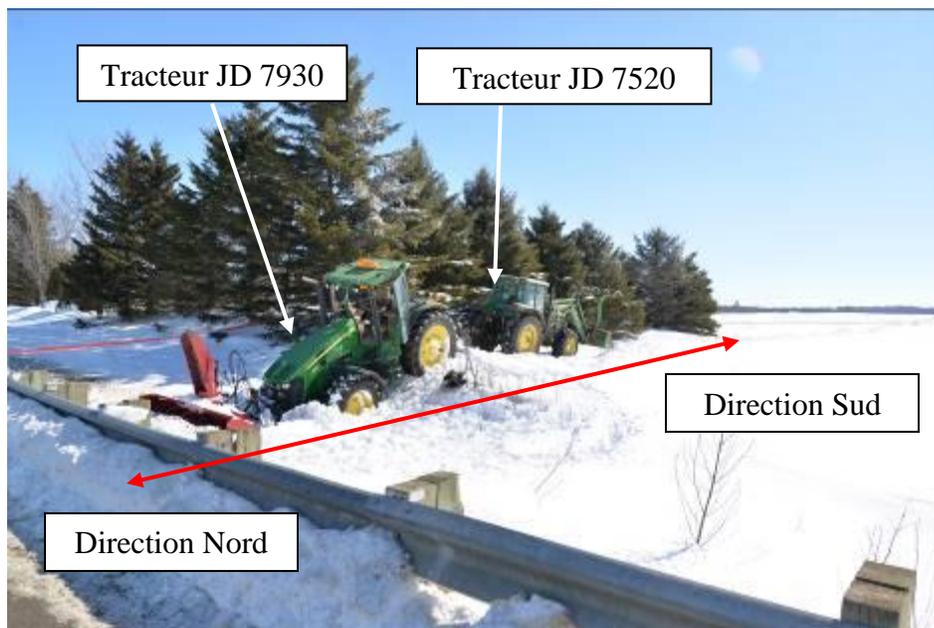
À la deuxième et à la troisième manœuvre, le travailleur fait marche avant jusqu'au bout du câble, mais cette fois par à-coups. Le tracteur JD 7520 patine sur place à chaque fois. La force générée par le tracteur JD 7520 pour extirper le tracteur JD 7930 de sa position ne parvient pas à le désenliser. À chacune des tentatives, la vitesse du tracteur est déterminée à la sensation du moment ou « au feeling ». Avant chacune des manœuvres, l'employeur et le travailleur communiquent entre eux, verbalement et visuellement. À chaque fois, de la neige s'accumule entre les roues avant et arrière du tracteur de l'employeur, puis entre les roues avant et le derrière de la souffleuse. Le tracteur enlisé glisse peu à peu vers la gauche.

À la quatrième manœuvre, le travailleur accélère toujours jusqu'au bout du câble, puis la manille et la goupille cèdent. Une partie de la manille est projetée en direction de l'employeur. Les vitres arrière et avant sont fracassées. Il est atteint à la tête et suite à l'impact, il fait une chute par l'avant, côté gauche de l'habitacle du tracteur JD 7930 puis s'effondre au sol. Le travailleur se rend auprès de l'employeur afin de lui prodiguer les premiers soins et premiers secours. Les services d'urgence sont contactés, puis il est conduit à l'hôpital de l'Enfant-Jésus. Il décède des suites de ses blessures quelques semaines plus tard, soit le 9 mai 2017.

4.2 Constatations et informations recueillies

4.2.1 Observations sur les lieux de l'accident

Le tracteur JD 7930 est enlisé dans le fossé près du [...] à Saint-Isidore. Il est en direction nord. La route fait un axe est – ouest. Le tracteur JD 7520 est en direction sud.



(Source : Sûreté du Québec)

Scène de l'accident

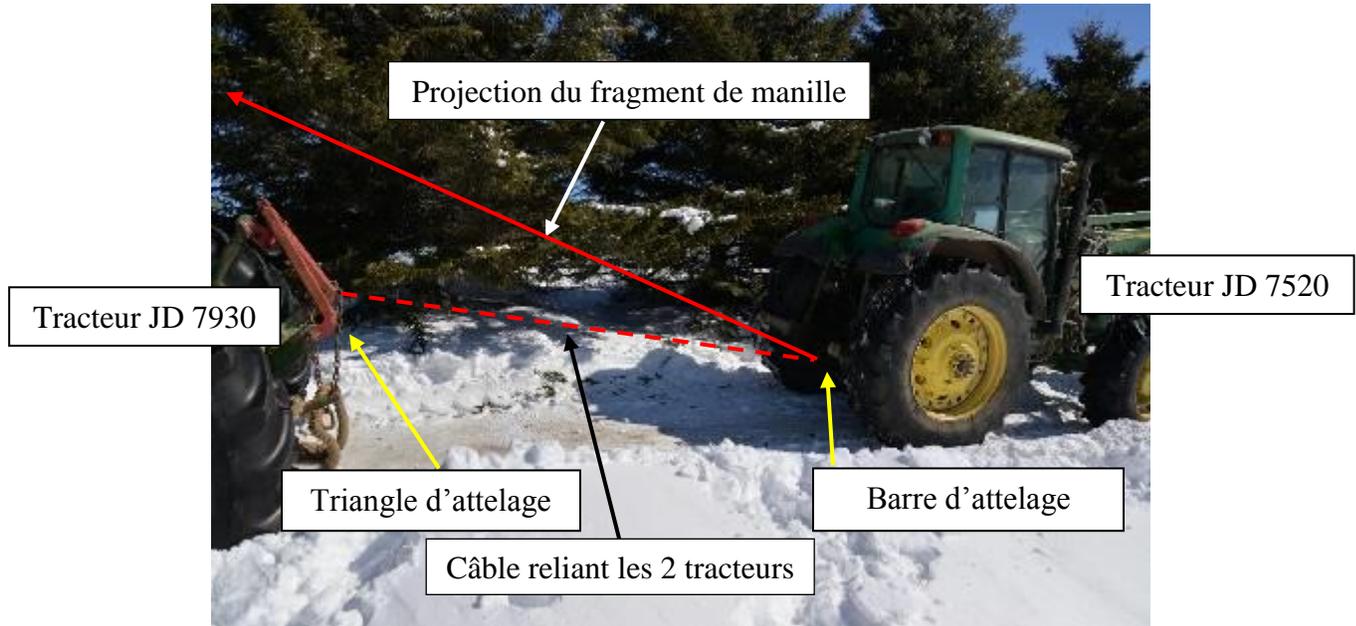
Les roues arrière du tracteur enlisé sont au sommet du fossé. Ses roues avant ainsi que la souffleuse qui est fixée à l'attelage hydraulique située à l'avant du tracteur sont dans le fossé. La pente du fossé dans lequel le tracteur est enlisé est estimé à 50% ou 26°. Le tracteur est incliné vers la gauche de près de 14,2% ou 8,1°.



(Source : CNESST)

Inclinaisons du tracteur JD 7930

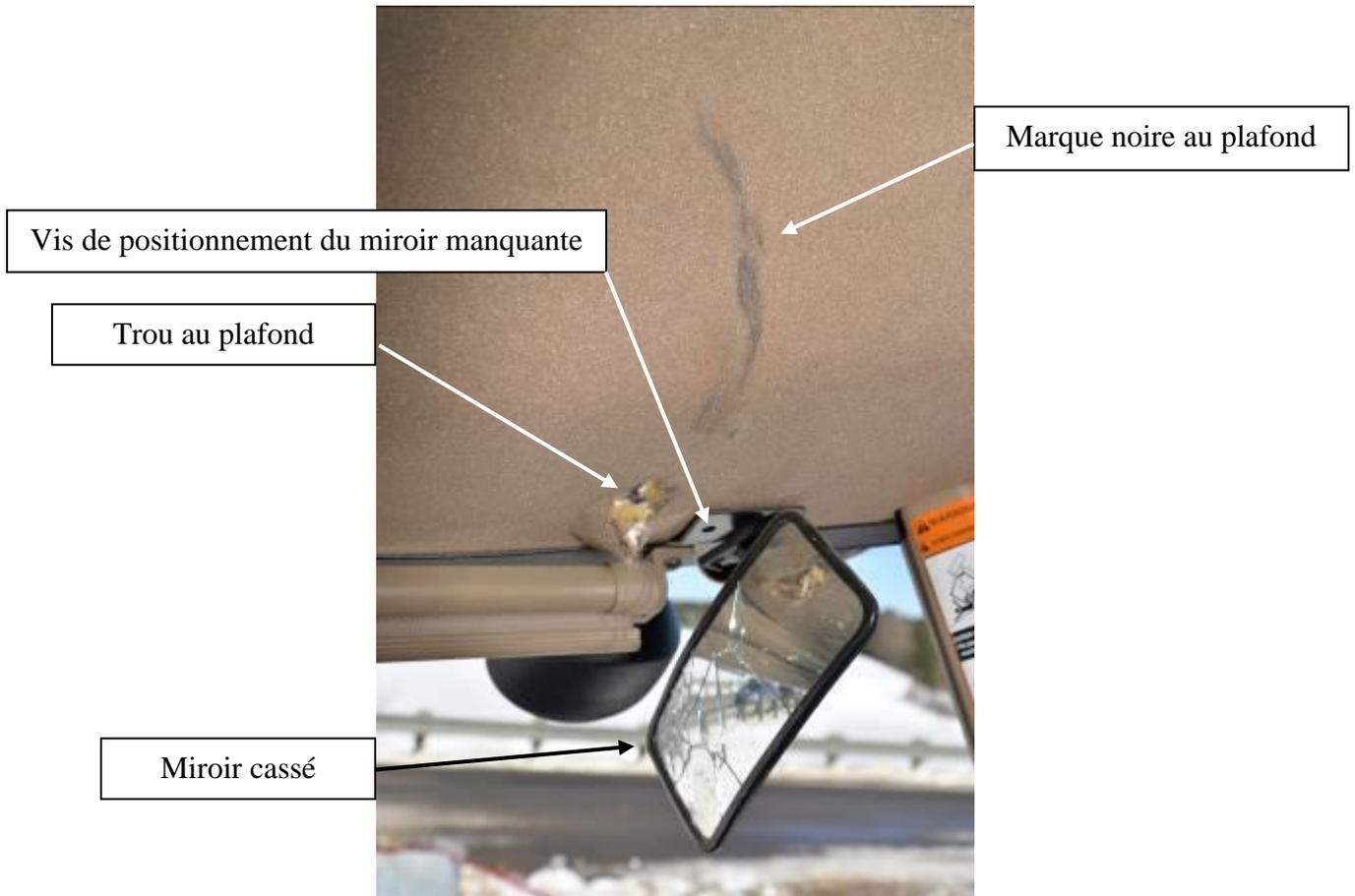
Le tracteur JD 7930 enlisé et le tracteur JD 7520 de tire sont reliés entre eux à l'aide d'un câble, d'une chaîne et d'une manille. Le tracteur enlisé est attaché au niveau du triangle d'attelage qui est fixé à l'attelage hydraulique à trois points à une hauteur de 110 centimètres du sol. Il est relié au tracteur de tire au niveau de sa barre d'attelage par rapport au sol de 53.5 centimètres.



(Source : CNESST)

Positionnement des tracteurs pour l'opération de remorquage

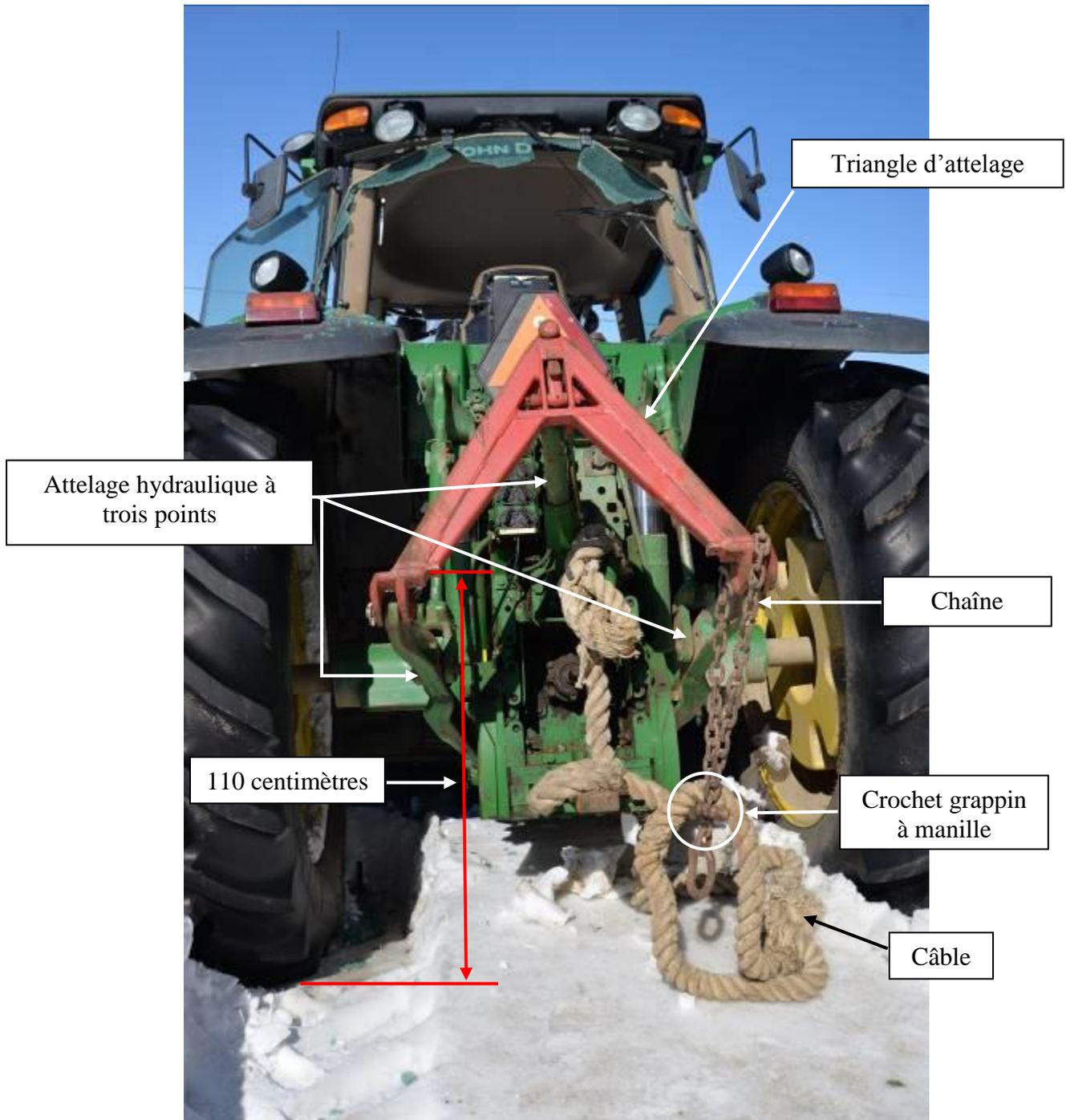
Le fragment de manille projeté est passé au travers de la vitre arrière du tracteur JD 7930, atteignant au passage l'employeur. Par la suite, le fragment percute le plafond de l'habitacle du tracteur (marque noire, trou au plafond et miroir cassé), puis poursuit sa course au travers du pare-brise et termine celle-ci sous la roue avant droite du tracteur.



(Source : CNESST)

Traces d'impact au niveau du plafond à l'intérieur de la cabine du tracteur JD 7930

Une chaîne est enroulée autour de la partie inférieure droite du triangle d'attelage, qui est fixé à l'attelage hydraulique à trois points du tracteur JD 7930. La hauteur de cette partie par rapport au sol est de 110 centimètres. La chaîne est passée par la boucle du câble. Le crochet grappin à manille avec loquet est venu se verrouiller à la maille de la chaîne.



(Source : CNESST)

Vue arrière du tracteur JD 7930

Les traces des roues arrière du tracteur JD 7930 démontrent un glissement latéral vers la gauche de 34 centimètres.



(Source : CNESST)

Vue arrière du tracteur JD 7930

Selon le témoignage du travailleur, le câble est relié par sa boucle à la manille, qui elle est fixée à la barre d'attelage du tracteur JD 7520 à l'aide de la goupille. La hauteur de celle-ci par rapport au sol est estimée à 53 centimètres. L'ouverture dans la barre d'attelage a les dimensions suivantes : 32 millimètres par 33 millimètres et son épaisseur est de 37 millimètres.



(Source : CNESST)

Vue arrière du tracteur JD 7520

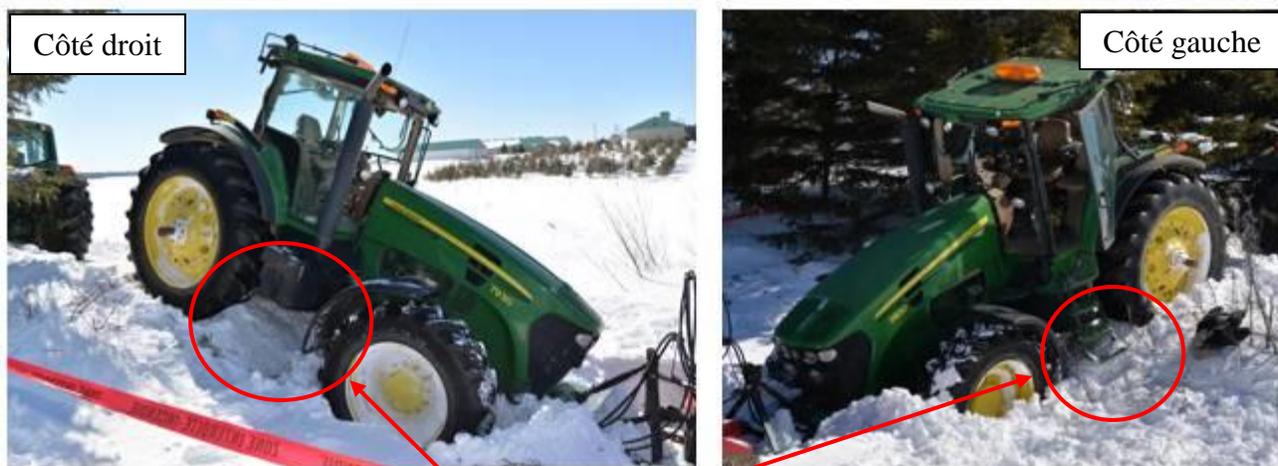
De la neige s'est accumulée entre le tracteur JD 7930 et la souffleuse qui y est fixée.



(Source : Sûreté du Québec)

Vue entre le tracteur JD 7930 et la souffleuse à neige

De la neige s'est également accumulée entre les roues avant et arrière du tracteur JD 7930.

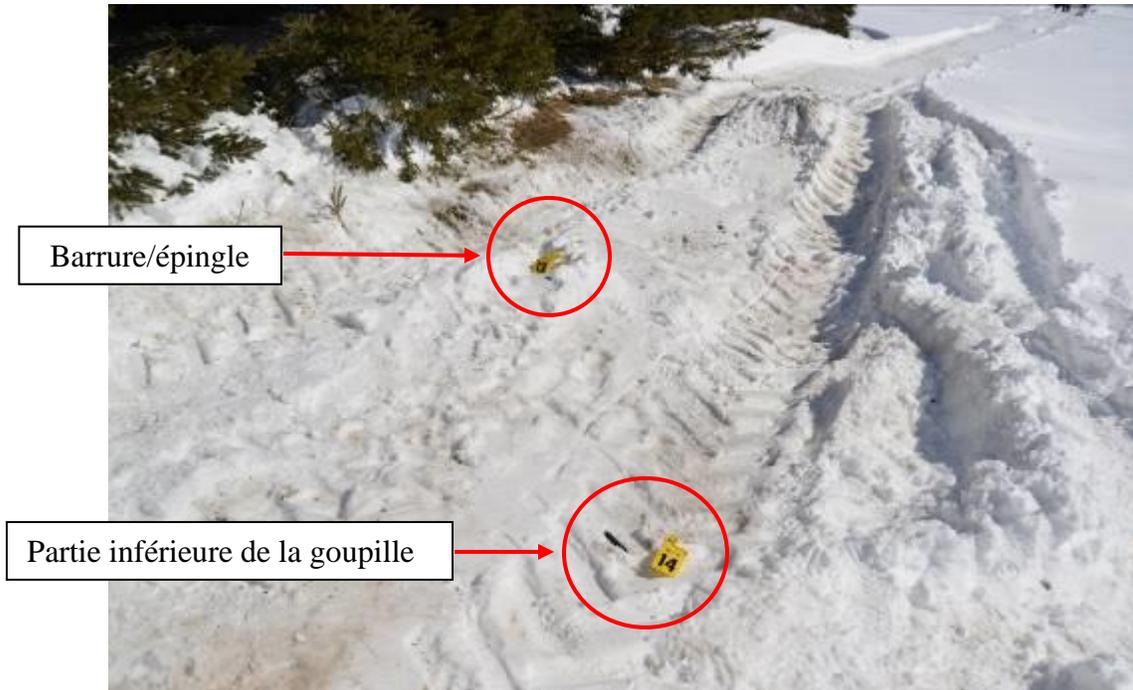


(Source : CNESST)

Accumulation de neige entre les roues

Vues latérales du tracteur JD 7930

Lors du déplacement du tracteur JD 7520, la barrure/épingle et la partie inférieure de la goupille ont été retrouvées tel que présenté au schéma ci-dessous.



(Source : CNESST)

Emplacement de la goupille et de la barrure/épingle dans le chemin

La barrure/épingle a été retrouvée intacte. Elle a une longueur de 95 millimètres. Le travailleur mentionne qu'il ne se souvient pas si la barrure/épingle ou « *cotter pin* » a été installée sur la goupille.



(Source : Sûreté du Québec)

Barrure/épingle

La partie inférieure de la goupille (numéro 14) présente une cassure (photo du centre) et une courbure (photo de droite). Cette partie a une longueur estimée de 125 millimètres et un diamètre de 20 millimètres. On ne retrouve aucune inscription sur la partie inférieure de la goupille.



(Source : Sûreté du Québec)

Partie inférieure de la goupille

La partie supérieure de la goupille (numéro 15) a été retrouvée dans la neige sous les branches de la rangée de conifères situées à proximité du tracteur JD 7930. Cette partie a une longueur estimée de 89 millimètres et un diamètre de 20 millimètres. On ne retrouve aucune inscription sur la partie supérieure de la goupille.



(Source : Sûreté du Québec)

Partie supérieure de la goupille

La partie supérieure de la goupille présente une cassure et une courbure à sa base.



(Source : Sûreté du Québec)

Partie supérieure de la goupille

Un fragment de manille (numéro 16) a été retrouvé dans la neige sous les branches de la rangée de conifères près de la partie supérieure de la goupille (numéro 15), situées à proximité du tracteur JD 7930.



(Source : Sûreté du Québec)

Premier fragment de manille retrouvé sous les branches de la rangée de conifères

L'autre fragment de manille (numéro 17) a été retrouvé dans la neige sous la roue avant droite du tracteur JD 7930 suite à son remorquage.



(Source : Sûreté du Québec)

Deuxième fragment de manille retrouvé sous la roue avant droite du tracteur JD 7930

La première partie de manille (numéro 16) porte l'inscription 1 X 5-5/16. Elle mesure approximativement 200 millimètres de long et son diamètre est de 25 millimètres. L'œillet a un diamètre approximatif de 27 millimètres.



(Source : Sûreté du Québec)

Fragments de manille

Il n'y a aucune inscription sur la deuxième partie de manille (numéro 17). Elle mesure approximativement 220 millimètres de long et son diamètre est de 25 millimètres. L'œillet a un diamètre approximatif de 27 millimètres.



(Source : Sûreté du Québec)

Fragment de manille ayant atteint l'employeur

Une fois réunies, les parties présentent l'aspect de la photo de gauche ci-dessous. Un morceau de métal manquant n'a pas été retrouvé.



(Source : Sûreté du Québec)

Morceau de métal manquant au niveau de la manille réunifiée

La chaîne a une longueur totale estimée à 184 centimètres. À l'une des extrémités, il y a un crochet grappin à manille avec loquet où il y est inscrit Alloy et 1/2. À l'autre extrémité, s'y retrouve le maillon de tête. La chaîne n'est pas munie d'une plaque descriptive.



(Source : CNESST)

Chaîne

Le câble a une longueur approximative de 405 centimètres. Il est composé de trois torons et son diamètre est de 60 millimètres. Celui-ci est en nylon et plusieurs brins sont rompus ou effilochés. Il y a des boucles à chacune de ses extrémités composées d'épissures.



(Source : CNESST)

Câble

4.2.2 Caractéristiques techniques des accessoires utilisés pour l'opération de remorquage

4.2.2.1 Le câble

Selon « Samson Rope Technologies inc. » spécialisée dans le développement et la fabrication de cordage, ce type de câble présente une capacité moyenne à la rupture de 61 200 kilogrammes. Il n'est pas conçu pour le remorquage d'une machine ou d'un équipement enlisé.

4.2.2.2 La chaîne

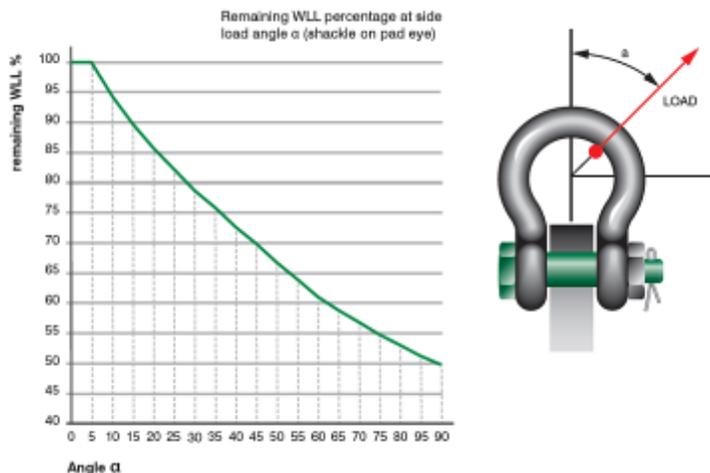
Selon les données techniques obtenues auprès des entreprises « Ben-Mor inc. » et « Groupe Lam-É St-Pierre », tous les deux étant des fabricants et distributeurs d'accessoires de levage et d'arrimage, il s'agit d'une chaîne de sécurité pour les machines agricoles de grade 70 pouvant être utilisée comme accessoire d'arrimage pour le transport ou pour le remorquage d'équipement de fermes sur les routes. En fonction de ces données, la charge nominale est de 18 143 kilogrammes.

4.2.2.3 La manille et la goupille

Selon les données techniques obtenues auprès des entreprises « Groupe Lam-É St-Pierre », « Dynalyne » et « Tractor Supply Co », ces composantes sont à usage agricole. Il s'agit en fait d'une manille droite avec goupille en « T » (barrure/épingle). Lors de nos premières observations, nous avons constaté sur la manille l'inscription 1 X 5-5/16. Ces mesures indiquent que l'étrier est d'approximativement 135 millimètres de diamètre (5 5/16 po.) et que la section est de 25 millimètres de diamètre (1 po.). En fonction de ces données, la charge nominale est de 11 340 kilogrammes.

L'entreprise « The Crosby Group LLC », fabricant d'accessoires de levage, met en garde les utilisateurs concernant l'utilisation d'une manille avec goupille à barrure/épingle avec l'avertissement suivant : « *Do not side load round pin shackles* ». Traduction : « *Ne pas charger latéralement les manilles à goupille ronde* ». Selon les chartes des fabricants ou fournisseurs telles que « The Crosby Group LLC » ou « Groupe Lam-É St-Pierre », plus l'angle est prononcé, plus sa charge nominale diminue.

L'entreprise « Van Beest », œuvrant également dans la fabrication et la fourniture d'accessoires de levage, fait la démonstration à l'aide de la charte ci-dessous, que la charge nominale de la manille est réduite en fonction de son angle par rapport à son axe.



(Source : Van Beest)

Graphique de l'entreprise Van Beest

4.2.3 Encadrement législatif

L'article 51 de la *Loi sur la santé et la sécurité du travail [L.R.Q., c.-2.1]* précise que l'employeur doit prendre les mesures nécessaires pour protéger la santé et assurer la sécurité et l'intégrité physique du travailleur. Il doit notamment :

- Selon l'article 51.3, s'assurer que l'organisation du travail et les méthodes et techniques utilisées pour l'accomplir sont sécuritaires et ne portent pas atteinte à la santé du travailleur.
- Selon l'article 51.5, utiliser les méthodes et techniques visant à identifier, contrôler et éliminer les risques pouvant affecter la santé et la sécurité du travailleur.
- Selon l'article 51.7, fournir un matériel sécuritaire et assurer son maintien en bon état.
- Selon l'article 51.9, informer adéquatement le travailleur sur les risques liés à son travail et lui assurer la formation, l'entraînement et la supervision appropriés afin de faire en sorte que le travailleur ait les habiletés et les connaissances requises pour accomplir de façon sécuritaire le travail qui lui est confié.

4.2.4 Les règles de l'art

4.2.4.1 Recommandations de l'Université Purdue, État d'Indiana (États-Unis) pour désembourber un véhicule ou un équipement

Le document de l'Université Purdue met en garde les opérateurs concernant l'improvisation d'une méthode de travail, alors que le poids de la charge qui s'est embourbée est inconnu ou sous-estimé. En plus du poids du véhicule ou de l'équipement, le poids brut total de tout le matériel immobilisé doit être pris en considération. Il en est de même pour la force de préhension ou de succion, ainsi que la résistance due à la crête ou bourrelet en raison de l'accumulation de matériel devant ou derrière les roues du véhicule à tracter.

Le « *Wreckmaster's flow chart* » présenté dans le document de l'Université Purdue, expose également un ensemble de facteurs que l'Association professionnelle du dépannage du Québec (ADPQ) utilise pour estimer les forces de résistance lors d'une opération de remorquage. Ces facteurs sont : la résistance de surface (au roulement); la résistance à l'embourbement (l'adhérence) et la résistance en pente (l'inclinaison).

Les auteurs du document proscrivent l'utilisation d'un câble de traction tel qu'utilisé par l'employeur le jour de l'accident. Ils précisent qu'il n'est pas conçu pour s'étirer ou ne permet aucune souplesse sous tension et ne peut absorber les chocs. Dans le cas d'une opération de remorquage d'un équipement enlisé, un véhicule de remorquage qui tire par à-coups (accélération brusques) à l'aide de ce type de câble brusque l'accessoire. Il y a un risque que celui-ci se casse ou présente un risque de coup de fouet.

En ce qui a trait aux recommandations, les auteurs du document préconisent l'utilisation d'une corde de récupération. Ils mentionnent qu'elle est conçue pour permettre l'étirement sous tension et pour absorber les contraintes en mouvement ou des coups. Lorsqu'un véhicule de remorquage tire vers l'avant, elle continue de s'étirer jusqu'à ce qu'elle accumule suffisamment de tension pour aider à tirer un véhicule enlisé. Selon leurs propos, l'utilisation d'une telle corde a l'avantage que le véhicule de remorquage ne fait pas patiner ses roues. Si le véhicule à remorquer est immobilisé après plusieurs tentatives de remorquage, c'est que le véhicule utilisé pour le tirer n'a pas la capacité requise pour faire le travail.

Le document de l'Université Purdue présente deux types de manilles utilisées pour relier une corde de récupération à l'équipement enlisé. D'abord, la manille à goupille vissée dont la conception assure un produit plus solide et plus fiable, selon les auteurs, en raison du mécanisme à vis avec filetage. Ensuite, la manille avec goupille à barrure/épingle qui ne garantit pas le maintien en place de la goupille dans la manille. Elle peut tomber et s'en retirer et n'empêche pas la manille de se disloquer sous une force exercée.

Ces mêmes auteurs affichent l'avertissement suivant : « *Never replace the original pin that came with your device with bolts from your bins or local hardware stores. If you need to replace the pin, replace it with a pin that is comparable to the pin that came with the original equipment at the time of purchase.* »

Traduction : « *Ne remplacez jamais la goupille d'origine fournie avec votre appareil par des boulons en votre possession ou achetés à la quincaillerie locale. Si vous devez remplacer la goupille, remplacez-la par une goupille comparable à celle fournie avec l'équipement d'origine au moment de l'achat.* »

4.2.4.2 Directives du fabricant

Le manuel du fabricant John Deere, « Livret d'entretien tracteurs 7630, 7730, 7830 et 7930 (no de série 020000--), édition pour l'Amérique du Nord OMRE299298 édition A9 (FRENCH) », que ce soit pour le tracteur JD 7930 ou le tracteur JD 7520, prévoit dans la section sécurité et transport, une directive pour désembourber une machine qui est la suivante :

Désembourber une machine peut être une source de dangers. Il est ainsi possible que le tracteur utilisé pour désembourber une machine se renverse ou que la chaîne/la barre rompe (l'utilisation d'un câble est déconseillée) et que la chaîne se détende de façon brutale.

Désembourber le tracteur en marche arrière. Décrocher les équipements attelés au tracteur. Retirer la boue en creusant derrière les roues arrière, poser des planches solides sur le sol et reculer lentement. Si nécessaire, retirer la boue en creusant devant toutes les roues et avancer lentement.

Si la machine embourbée doit être remorquée, utiliser une barre de remorquage ou une chaîne longue (l'utilisation d'un câble est déconseillée). S'assurer du bon état de la chaîne et vérifier que la taille et la résistance de tous les éléments du dispositif de remorquage sont adaptées à la charge à tracter.

Toujours accrocher la machine embourbée à la barre d'attelage du véhicule tracteur. Ne pas accrocher la machine embourbée à la chape formée par les masses frontales. S'assurer qu'il n'y a personne à proximité et avancer lentement pour que la chaîne ou le câble se tende progressivement. Une accélération brusque risque de casser net le dispositif de remorquage, le faisant fouetter ou reculer dangereusement.

Dans un autre manuel du fabricant John Deere, intitulé « *Farm and ranch management* » *FBM18105NC*, d'autres mises en garde sont évoquées concernant le remorquage, notamment, sur l'utilisation d'un câble en nylon. Dans la section « *Towing tractors and self-propelled machines* », il y est notamment inscrit : « *Never use a nylon rope. Nylon stretches and produces a slingshot effect, which jerks the towed vehicle suddenly. Hooks or chains attached to ends of nylon rope will break before stronger nylon. Then, the rope « slingshots » the hook or chain, injuring or killing people in its way. Always attach tow chains with hooks up. Then if the hook spreads under load, it flies down, not up* ».

Traduction : « *N'utilisez jamais un câble en nylon. Le nylon s'étire et produit un effet de fronde, qui brusque le véhicule remorqué soudainement. Les crochets ou les chaînes attachés aux extrémités du câble en nylon se briseront avant. L'effet de frondes des crochets ou de la chaîne peuvent blesser ou tuer des gens. Fixez toujours la chaîne de remorquage avec les crochets vers le haut. Si le crochet est projeté sous la charge, il se couchera vers le sol* ».

4.2.4.3 Norme ASME B30.26-2015 : « Rigging Hardware – Safety Standard for Cableways, Cranes, Derricks, Hoists, Hooks, Jacks, and Slings »

La norme ASME B30.26-2015 s'applique au matériel de gréage. Plus précisément, il s'agit d'une norme de sécurité pour les câbles, les grues, les derricks, les palans, les crochets, les vérins et les élingues. Comme il n'y a pas de normes spécifiques concernant les accessoires de remorquage, la présente norme est utilisée à titre de référence seulement.

Le chapitre 26-1, s'applique aux manilles, notamment, à leur sélection, à l'utilisation et à leur maintenance. Les articles suivants viennent préciser les caractéristiques des manilles, leur utilisation et des conseils de prudence.

Art. 26-1.1.1 Types

- c) Les manilles autres que celles décrites dans le présent chapitre ne doivent être utilisées que conformément aux recommandations du fabricant des manilles ou d'une personne qualifiée.

Remarque : Les manilles à goupilles rondes ne sont pas couvertes par la portée de ce volume, car elles ont une application limitée en levage. Elles ne sont retenues que par une goupille et une barrure/épingle et peuvent présenter un danger dans des conditions de charge en angle.

Art. 26-1.5.1 Identification de la manille

L'identification du fabricant doit figurer sur chaque manille et doit être durable.

- a) Nom du fabricant
- b) Charge nominale
- c) Taille

Art. 26-1.5.2 Identification de la goupille

L'identification du fabricant doit figurer sur chaque goupille et doit être durable.

- a) Nom du fabricant
- b) Grade, type de matériau ou charge nominale

Art. 26-1.8.6 Réparations et modifications

- b) Les pièces de rechange, telles que les goupilles doivent respecter ou dépasser les spécifications du fabricant de l'équipement d'origine.

Art. 26-1.9.1 Sélection des manilles

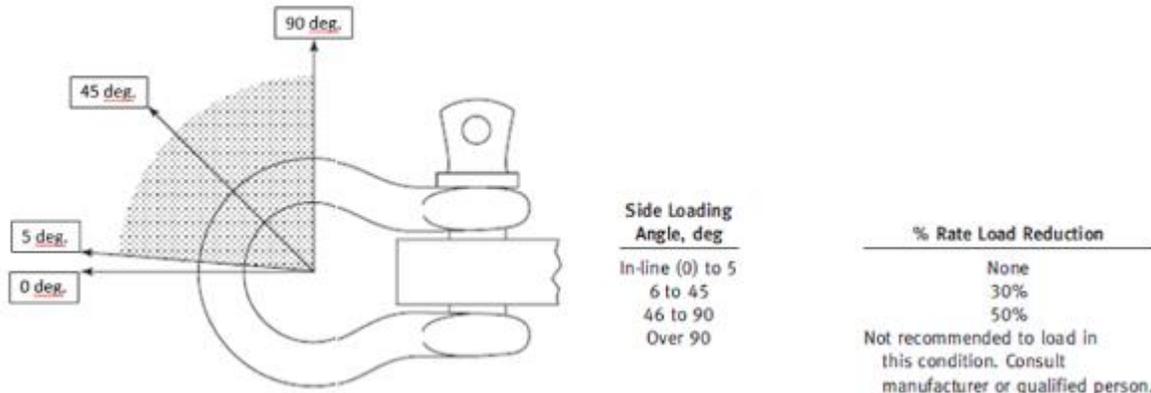
- a) Les manilles ayant des caractéristiques adaptées au type de sangle, à la charge, à l'angle de chargement et à l'environnement doivent être choisies conformément aux recommandations du fabricant d'une manille ou d'une personne qualifiée.

Remarque : l'angle de levage influence la tension dans la manille. Lorsque l'angle diminue, la tension augmente dans la manille.

- b) La charge nominale des manilles ne doit pas être dépassée.

Art. 26-1.9.4 Pratiques de gréage

- d) Le choc devrait être évité
- e) La charge appliquée à la manille doit être centrée sur l'avant de celle-ci, afin d'éviter un chargement latéral.
- g) Si les manilles doivent être chargées latéralement, la charge nominale doit être réduite conformément à la figure 26-1.9.4-2 ou à la recommandation du fabricant ou d'une personne qualifiée.



(Source : ASME B30.26-2015, modifié CNESST)

4.2.5 Rapports d'expertise

4.2.5.1 Rapport d'expertise du Centre métallurgique du Québec (CMQ)

Le CMQ a été mandaté afin de procéder à différents examens sur la manille et la goupille pour déterminer si celles-ci possèdent des anomalies chimiques, mécaniques et métallurgiques.

L'un des examens a révélé que la goupille présente une formation de multiples fissures par déchirement lent de l'acier sur la surface pliée et en tension. Selon l'expertise réalisée, il semble qu'il y ait eu un essai de traction lent du tracteur JD 7520 sur celui enlisé. Il y a eu déchirement lent de l'acier par surcharge se traduisant par la formation de multiples fissures adjacentes au bris. Le phénomène de clivage sur plus de 95% de la surface de rupture indique un éclatement soudain de l'acier sous pression. Le morceau manquant au niveau de la manille, à l'emplacement de l'amorce, indique que l'acier a éclaté au moment du bris. La goupille est identifiée comme étant l'élément le plus faible de l'ensemble.

Les conclusions du rapport d'expertise du CMQ sont que la manille et la goupille ne présentent pas de défaut de fabrication. Ils se sont brisés en service sous les effets séquentiels d'une surcharge lente au moment de la tentative de tire entre les deux tracteurs, suivi de l'éclatement soudain des deux pièces sous l'effet du coup de fouet engendré par le tracteur JD 7520 déjà en déplacement alors que le câble n'est pas sous tension (mouvement de « swing »). Donc, ce scénario est la seule façon de briser au même moment deux pièces de résistance ultime différente, c'est-à-dire par impact.



(Source : CMQ, modifier CNESST)

Manilles et goupilles reconstituées

4.2.5.2 Rapport d'expertise de la Commission des normes, de l'équité, de la santé et sécurité du travail (CNESST)

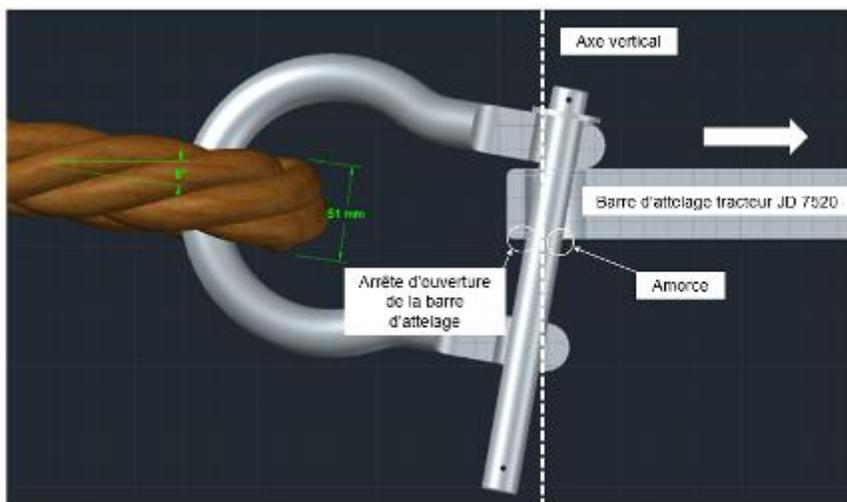
D'abord une estimation de la force de remorquage nécessaire pour extirper de sa position le tracteur JD 7930 et de la capacité de remorquage estimée du tracteur JD 7520 utilisé lors de l'opération de remorquage ont été effectuées. Ensuite, une identification des composantes et de leurs capacités, puis finalement une analyse de l'attache de la manille à la barre d'attelage ont été réalisées.

Afin d'extirper le tracteur JD 7930 muni d'une souffleuse à neige de sa position et selon les calculs présentés dans le rapport, la force estimée nécessaire pour l'opération de remorquage varie entre 66 800 N (6 800 kilogrammes) à 134 800 N (13 740 kilogrammes). Selon les spécifications du fabricant, le tracteur JD 7520 utilisé a une puissance de traction de 110.88 horse power (hp). L'estimation de la force de remorquage à la barre d'attelage au régime de puissance maximal du tracteur JD 7520 est de 154 500 N (15 754 kilogrammes). Par contre, le câble de nylon tirant vers le haut fait en sorte que la composante verticale de l'effort de traction allège l'essieu arrière et réduit la traction des roues sur le sol, ce qui diminue la force de remorquage disponible.

Ce rapport d'expertise mentionne que normalement, le diamètre d'une goupille est du même diamètre ou un peu plus gros que celui d'une manille. Ainsi, les capacités de la manille et de sa goupille sont reliées par le diamètre nominal. Dans ce cas-ci, l'utilisation d'une goupille de 20 millimètres par rapport à une manille de 25 millimètres, réduit la capacité nominale de l'ensemble à celui de la pièce la plus faible, soit la goupille. Cette capacité nominale est estimée à 71 300 N (7 270 kilogrammes).

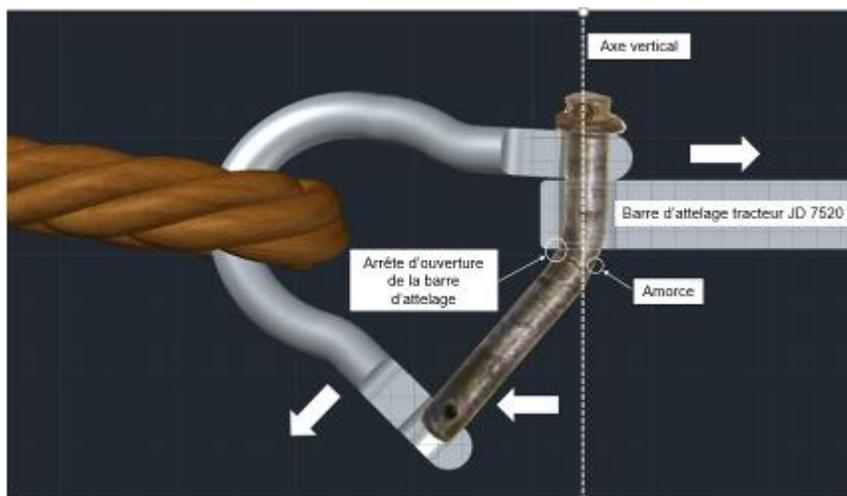
Pour ce qui est de la manille reliée à la barre d'attelage du tracteur JD 7520, il est précisé au rapport d'expertise que l'utilisation d'une goupille ayant un diamètre de 20 millimètres par rapport à l'ouverture de la barre d'attelage, ayant un diamètre de près de 33 millimètres, fait en sorte que la force de remorquage est transmise par les arrêtes de l'ouverture de la barre

d'attelage plutôt que par la surface de l'épaisseur de celle-ci. Il y est noté que cette particularité du montage a pour effet de doubler la contrainte appliquée au niveau de la tige de la goupille.



(Source : CNESST)

Désaxement de la manille et de la goupille



(Source : CNESST)

Déformation de la manille et de la goupille

Ainsi, selon les données obtenues dans le rapport d'expertise, il est à considérer que l'attache de la manille à la barre de remorquage a une capacité nominale d'approximativement 35 650 N (71 300 N à la rupture), les efforts auxquels étaient soumis la manille pouvaient excéder la résistance à la rupture. L'utilisation d'une manille avec une goupille d'une dimension inférieure à celle prévue et sans ajustement pour centrer la tige de celle-ci lors d'une traction non axiale cause une contrainte excessive sur la goupille qui a cédé en projetant des débris.

4.2.5.3 Principes généraux recommandés pour désembourber un véhicule ou un équipement

Les principes généraux recommandés présentés ci-dessous découlent des directives du fabricant John Deere, du rapport d'expertise de la CNESST, du document de l'Université Purdue pour désembourber un véhicule ou un équipement, des recommandations des fabricants et distributeurs d'accessoires de gréage et de levage, ainsi que de la norme ASME B30.26-2015. Il est à noter que chaque opération de remorquage est unique et possède ses propres particularités. Ainsi, les employeurs et les travailleurs doivent effectuer une analyse de la situation dans chaque cas.

D'abord, si la capacité de réaliser de façon sécuritaire l'opération de remorquage n'est pas assurée, les employeurs et les travailleurs doivent faire appel à une entreprise spécialisée dans le domaine ;

Ensuite, si après l'analyse de la situation, il est déterminé que l'opération de remorquage peut être faite de façon sécuritaire sans recourir aux services d'un remorqueur professionnel, suivre les principes généraux suivants :

Diminuer la force de remorquage nécessaire en allégeant et dégageant le véhicule ou l'équipement enlisé ;

Estimer la force de remorquage nécessaire, les difficultés liées à la situation et choisir les accessoires appropriés ;

Utiliser un équipement fixe avec un treuil plutôt que le remorquage par un véhicule remorqueur ;

Utiliser les points d'attache sur le véhicule ou l'équipement enlisé qui sont prévus par le fabricant ou tous autres points identifiés par une personne qualifiée. Il en est de même si un véhicule remorqueur est utilisé pour le remorquage ;

Ne pas utiliser une chaîne ou un câble de traction lorsque le véhicule ou l'équipement à remorquer est enlisé. Ces accessoires peuvent être utilisés pour remorquer un véhicule ou un équipement sur une surface offrant peu de résistance. Ils doivent être utilisés conformément aux recommandations du fabricant ou d'une personne qualifiée ;

Utiliser une corde de récupération lorsque le véhicule ou l'équipement à remorquer est enlisé. Celle-ci doit être utilisée conformément aux recommandations du fabricant ou d'une personne qualifiée ;

Utiliser une manille conforme à la norme ASME B30-26 d'une capacité supérieure à la capacité de remorquage ;

Utiliser une manille avec goupille vissée ou retenue par écrou afin d'éviter que les charges non axiales puissent ouvrir l'étrier qui, s'il n'est pas retenu, peut céder ;

Utiliser une manille avec une goupille de la grosseur de l'ouverture de la barre de remorquage et/ou utiliser des cales pour centrer la goupille.

Si le véhicule ou l'équipement à remorquer demeure immobilisé après plusieurs tentatives de remorquage, c'est que le véhicule remorqueur utilisé ou le moyen prévu pour l'extirper de sa position n'a pas la capacité requise pour faire le travail. L'opération de remorquage doit cesser. Les employeurs et les travailleurs doivent alors procéder à une analyse de la situation afin de modifier la méthode de travail. S'ils se voient dans l'incapacité de réaliser l'opération de façon sécuritaire, ils doivent faire appel à un professionnel du domaine du remorquage.

4.3 Énoncés et analyse des causes

4.3.1 Les forces excessives liées à la méthode de remorquage entraînent la projection d'un fragment de la manille en direction de l'opérateur du tracteur enlisé.

L'utilisation d'une manille avec une goupille d'une dimension inférieure à celle prévue et sans ajustement pour centrer la tige de celle-ci dans l'ouverture de la barre d'attelage du tracteur JD 7520 lors d'une traction non axiale, cause une contrainte excessive sur la goupille. Celle-ci a cédé sous les effets séquentiels d'une surcharge lente au moment de la tentative de tire entre les deux tracteurs, suivi de l'éclatement soudain des deux pièces sous l'effet du coup de fouet engendré par tracteur JD 7520 déjà en déplacement.

Les efforts auxquels étaient soumis la manille lors de l'opération de remorquage excédaient cette résistance à la rupture. La Norme ASME B30.26-2015, précise que la charge nominale d'un ensemble manille et goupille ne doit jamais être dépassée. Afin d'extirper le tracteur JD 7930 de sa position, le travailleur a procédé par à-coups ou par accélérations brusques. Cette façon de faire va à l'encontre de la norme et des directives du fabricant John Deere qui précisent que le choc au niveau de l'ensemble manille et goupille devrait être évité. Il y a un risque de casser net le dispositif de remorquage.

Ces faits démontrent que les forces excessives liées à la méthode de remorquage entraînent la projection d'un fragment de la manille en direction de l'opérateur du tracteur.

Cette cause est retenue.

4.3.2 Le choix et l'installation des accessoires de remorquage sont inadaptés à la situation

L'employeur a utilisé des accessoires ayant des capacités de rupture à la charge qui sont inconnus et différents les uns des autres. Le câble utilisé présente une capacité de rupture à la charge supérieure à celle de l'ensemble manille et goupille ainsi qu'à celle de la chaîne. De plus, l'utilisation du matériel va à l'encontre des directives des fabricants ou des distributeurs. La chaîne utilisée est un accessoire d'arrimage pour le transport ou pour le remorquage d'équipement de fermes sur les routes. Le câble de nylon à trois torons utilisé est un câble de traction qui n'est pas conçu pour absorber des chocs ni pour s'étirer ou ne permet aucune souplesse sous tension. Il est conçu pour remorquer des véhicules en bordure de la route ou sur une surface offrant peu de résistance au roulement.

Pour ce qui est de l'ensemble manille et goupille, il présente un diamètre différent. Les règles de l'art et la norme ASME B30.26-2015 précisent qu'il doit être équivalent, car les capacités de la manille et de sa goupille sont reliées par le diamètre nominal. Les pièces de rechange, telles que les goupilles, doivent respecter ou dépasser les spécifications du fabricant de l'équipement d'origine. Les manilles doivent être choisies conformément aux recommandations du fabricant ou d'une personne qualifiée. Le choix de l'employeur d'utiliser une goupille ayant un diamètre inférieur à la manille a réduit la capacité à la rupture de l'ensemble selon l'expertise de la CNESST. Celle-ci révèle également que le fait de ne pas ajuster la goupille afin de centrer la tige de celle-ci lors d'une traction à angle réduit de moitié sa capacité nominale.

Ces faits démontrent que le choix et l'installation des accessoires de remorquage sont inadaptés à la situation.

Cette cause est retenue.

4.3.3 La planification et l'exécution de l'opération de remorquage sont déficientes en matière de sécurité

Selon le témoignage du travailleur, aucune directive n'a été dictée par l'employeur pour la répartition du travail. Les accessoires récupérés pour l'opération de remorquage ont été installés selon leurs expériences respectives. La neige n'a pas été retirée au niveau des roues du tracteur enlisé. La souffleuse à neige est demeurée accrochée au tracteur. Cette façon de faire est proscrite dans les directives du fabricant. Aucune évaluation n'a été faite en regard des contraintes liées à l'enlèvement du tracteur JD 7930. Le poids de la charge à remorquer n'a ainsi pas été estimé correctement, de même que le poids brut total de tout le matériel immobilisé. La configuration du terrain, notamment le fossé en pente de 26 degrés, la présence de neige et de la glace au sol présentent plusieurs contraintes au remorquage. Ces données n'ont pas été prises en considération lors de la planification de l'opération de remorquage incluant le choix des accessoires à utiliser. Les capacités de rupture à la charge de chacun des accessoires sont inconnues et différentes. Le câble, la chaîne, l'ensemble manille et goupille ne peuvent être utilisés pour désembourber un équipement. Ils ne sont pas conçus pour effectuer ce type de tâche.

Dès la première manœuvre, le tracteur JD 7520 fait du surplace en raison d'un manque d'adhérence. En même temps, le tracteur JD 7930 participe à l'effort en faisant marche arrière, mais il fait également du surplace. Selon les règles de l'art, l'opération de remorquage aurait dû cesser et être réévaluée. Une autre méthode aurait dû être envisagée. Au lieu de changer de stratégie, trois manœuvres par accélérations brusques ont été exécutées jusqu'au point de rupture de la manille et de la goupille. Cela va à l'encontre des directives du fabricant John Deere et de la Norme ASME B30.26-2015 qui précisent que le choc au niveau de l'ensemble manille et goupille doit être évité en raison d'un risque de casser net le dispositif de remorquage. Un câble de traction n'est pas conçu pour s'étirer ou ne permet aucune souplesse sous tension ni pour absorber des chocs.

Ces faits démontrent que la planification et l'exécution de l'opération de remorquage sont déficientes en matière de sécurité.

Cette cause en retenue.

SECTION 5

5 CONCLUSION

5.1 Causes de l'accident

- Les forces excessives liées à la méthode de remorquage entraînent la projection d'un fragment de la manille en direction de l'opérateur du tracteur enlisé;
- Le choix et l'installation des accessoires de remorquage sont inadaptés à la situation;
- La planification et l'exécution de l'opération de remorquage sont déficientes en matière de sécurité.

5.2 Autres documents émis lors de l'enquête

Une décision est émise sur les lieux afin de suspendre l'opération de remorquage du tracteur de marque John Deere modèle 7930 (JD 7930) à l'aide d'un autre tracteur. Le remorquage du tracteur JD 7930 a été effectué par une entreprise spécialisée dans le domaine. Le rapport d'intervention RAP1090405 émis le 18 mars 2017 fait état de l'intervention effectuée.

5.3 Suivi de l'enquête

- Afin d'éviter qu'un tel accident ne se reproduise, la CNESST informera l'Union des producteurs agricoles du Québec et l'Association canadienne de sécurité agricole des conclusions de cette enquête afin qu'elles sensibilisent leurs membres aux dangers liés à l'opération de remorquage qui consiste à désembourber un véhicule ou un équipement.
- Le rapport d'enquête sera diffusé dans les établissements de formation offrant les programmes d'études en agriculture pour sensibiliser les futurs travailleurs
- La CNESST transmettra son rapport aux associations suivantes pour qu'elles informent leurs membres de ses conclusions : l'Association de la construction du Québec (ACQ), l'Association des professionnels de la construction et de l'habitation du Québec (APCHQ), l'Association des constructeurs de routes et grands travaux du Québec (ACRGQTQ), l'Association québécoise des entrepreneurs en infrastructure (AQEI), l'Association patronale des entreprises en construction du Québec (APECQ), et l'Association des entrepreneurs en construction du Québec (AECQ).
- La CNESST transmettra son rapport au Comité paritaire de prévention du secteur forestier pour qu'elles informent leurs membres de ses conclusions.
- La CNESST transmettra son rapport à l'Association des professionnels du dépannage du Québec pour qu'elles informent leurs membres de ses conclusions.
- La CNESST transmettra son rapport à l'Association du camionnage du Québec, à l'Association nationale des camionneurs artisans inc., à l'Association des routiers professionnels du Québec et au Regroupement des entrepreneurs et des camionneurs indépendants du Québec, pour qu'elles informent leurs membres de ses conclusions.
- La CNESST fera traduire pour diffusion le guide pour désembourber un véhicule produit par l'Université Américaine de Purdue.
- La CNESST informera le fabricant sur les notions de câble de traction et corde de récupération afin de mettre à jour le manuel du fabricant John Deere, « Livret d'entretien tracteurs 7630, 7730, 7830 et 7930 (no de série 020000--), édition pour l'Amérique du Nord OMRE299298 édition A9 (FRENCH) » et le manuel intitulé « *Farm and ranch management* » FBM18105NC.

ANNEXE A

Accidenté

ACCIDENTÉ

Nom, prénom : [B]

Sexe : Masculin

Âge : [...]

Fonction habituelle : [...]

Fonction lors de l'accident : Conducteur du tracteur JD 7930

Expérience dans cette fonction : S/O ans

Ancienneté chez l'employeur : S/O ans

Syndicat : S/O

ANNEXE B

Liste des témoins et personnes rencontrées

- Monsieur [E], [...];
- Monsieur [F], [...];
- Madame [G], [...];
- Monsieur Martin Poulin, enquêteur Sûreté du Québec;
- Agent Marco Giroux, Sûreté du Québec;
- Agente Jocelyne Chevrier, Sûreté du Québec;
- Monsieur Dany Godin, technicien en scène d'accident, Sûreté du Québec;
- Monsieur Philippe Martin, technicien en scène d'accident, Sûreté du Québec;
- Monsieur Sébastien Drolet, reconstitutionniste et enquêteur en scène d'accident, Sûreté du Québec;
- Monsieur [H], Remorquage Cantin;
- Monsieur [I], Remorquage Cantin;
- Monsieur [J], [...], JNB;
- Monsieur [K], [...], Émile Larochelle inc. John Deere;
- Monsieur [L], [...], Lam-É St-Pierre;
- Monsieur [M], [...], APDQ;
- Monsieur [N], [...], APDQ.

ANNEXE C

Rapports d'expertise interne et externe



RÉSEAU D'EXPERTISE
EN PRÉVENTION-INSPECTION

RAPPORT D'EXPERTISE

Rupture d'une manille lors du remorquage d'un tracteur

Rapport présenté à

Yannick Boutin, inspecteur
Direction régionale de la Chaudière-Appalaches

Préparé par

Jean François Desmarais, ing.
Conseiller PI / DGPIP

Josée Ouellet, ing.
Conseillère PI / DGPIP

2018-07-31

CNESST

SOMMAIRE

1. Mise en contexte
2. Description du mandat
3. Méthodologie
4. Informations recueillies
5. Analyse
 - 5.1. Estimation de la force de remorquage nécessaire
 - 5.2. Estimation de la capacité de remorquage du tracteur JD7520
 - 5.3. Identification des composantes et de leurs capacités
 - 5.3.1 *Manille et goupille*
 - 5.3.2 *Câble de fibre*
 - 5.3.3 *Barre de remorquage (point d'attache)*
 - 5.4. Analyse de l'attache de la manille à la barre de remorquage
 - 5.5. Analyse des résultats
6. Conclusion
7. Références
8. Annexes
 - Annexe 1 : Norme ASME B30-26
 - Annexe 2 : Estimation de la force de remorquage minimale en situation libre
 - Annexe 3 : Estimation de la force de remorquage selon le guide de remorquage « Handbook of winching techniques for recovery »
 - Annexe 4 : Estimation de la capacité de remorquage du John Deere 7520
 - Annexe 5 : Assemblage de la « clevis » à la barre de remorquage
 - Annexe 6 : Spécifications tracteur John Deere 7520
 - Annexe 7 : Spécifications manille, clevis et cordage

1. Mise en contexte

Le 18 mars 2017 lors de tentatives pour sortir un tracteur enlisé dans un fossé enneigé, la manille du câble de remorquage cède. Le câble fouette et projette des fragments de manille dont l'un frappe mortellement l'opérateur du tracteur enlisé.



2. Description du mandat

À la demande de l'équipe d'enquête, le mandat consiste à :

- Analyser la situation de remorquage pour identifier la (les) cause(s) de la rupture de la manille;
- Estimer la force nécessaire pour sortir le tracteur enlisé John Deere 7930;
- Estimer la capacité de remorquage du tracteur utilisé John Deere 7520;
- Identifier les composantes utilisées et estimer leurs capacités respectives.

3. Méthodologie

À partir des informations et mesures prises sur le terrain, de la recherche des spécifications des matériaux, des accessoires et des équipements, un diagramme des forces impliquées montrant la situation de travail au moment du bris a été reconstitué afin d'estimer les forces et les capacités impliquées.

Une analyse des résultats a été effectuée afin de déterminer les causes les plus probables du bris.

4. Informations recueillies

- Les informations disponibles notamment : les notes, les photographies, les rapports d'intervention, les mesures prises par les inspecteurs et les témoignages;
- Le rapport d'expertise métallurgique des fragments qui confirme l'absence de défaut et la surcharge comme étant la nature du bris (réf.1).

5. Analyse

5.1 Estimation de la force de remorquage nécessaire

Selon les informations, le tracteur JD 7930 muni d'un souffleur à l'avant est enlisé dans un fossé incliné à 26° et le câble de remorquage est incliné d'environ 7° à 9° vers le bas. L'avant du tracteur avec le souffleur est dans le fond du fossé et l'essieu des roues arrière est vis-à-vis le sommet de la pente. La masse estimée combinée de 12 251 kg (tracteur 11 140 kg + souffleur 1 111 kg) est utilisée dans les calculs des forces de remorquage.

Les calculs de la force de remorquage minimale tiennent compte de l'absence de restriction au roulement sur le plan incliné à 26°. La force calculée est de 63 540 N pour la charge estimée (annexe 2).

Si l'on considère les paramètres de l'enlèvement selon le guide sur le remorquage (réf. 2), la force nécessaire est d'environ 1,07 fois le poids du tracteur. La force nécessaire au remorquage est donc légèrement supérieure au poids du tracteur, soit 128 580 N (annexe 3).

Force requise (estimée) : 63 540 N (14 285 lb) à 128 580 N (28 907 lb)

5.2 Estimation de la capacité de remorquage du tracteur (JD7520)

Le tracteur John Deere 7520 utilisé pour le remorquage a une puissance de 110.88 hp (selon le fabricant, voir annexe 6).

Il est possible de convertir cette puissance en force de traction en calculant le travail équivalent à la vitesse minimale de remorquage possible en utilisant la formule 7-3 « Draw bar horsepower » (réf. 3).

La force de remorquage calculée au régime de puissance maximal (annexe 4) est de 154 500 N. Cette force pourrait ne pas être complètement disponible si les roues patinent.

De plus, le câble de remorquage tirant vers le haut, la composante verticale de l'effort de traction allège l'essieu arrière et réduit la traction des roues sur le sol ce qui diminue la force de remorquage disponible.

Cet effet est difficilement estimable compte tenu des informations disponibles et n'est pas inclus dans le calcul actuel.

Force maximale disponible (estimée) : 154 500 N (34 700 lb)

5.3 Identification des composantes et de leurs capacités

5.3.1 Manille et goupille

Les dimensions et marquages de la manille et de la goupille rapportées par les inspecteurs et le rapport d'expertise métallurgique (réf. 1) ne permettent pas d'identifier la manille à un produit en particulier. Il n'y a pas de marque du fabricant ou d'indication de la capacité.

L'ensemble est constitué d'une boucle en forme d'étrier avec des œillets de 25 mm de diamètre et d'une goupille avec barrure en épingle de 20 mm de diamètre. La goupille peut être retenue en place par une barrure épingle de sécurité amovible à une extrémité et d'une tête d'un diamètre supérieur à l'autre (réf. 1 et photo no.1). La goupille n'a pas de retenue mécanique, soit un écrou ou une partie filetée dans la boucle telle que requise par la norme ASME B30-26 (annexe 1, fig. 26-1.1.1-1 illustrations des manilles).

Les mesures indiquent que la boucle est d'approximativement 135 mm de diamètre (5 5/16 po) et que la section est de 25 mm de diamètre (1 po). Ces dimensions corroborent le marquage « 1 x 5 5/16 » sur la boucle (annexe 7.1).

Ces dimensions ne sont pas « standards » pour des manilles. La boucle est beaucoup trop grande pour une manille de levage conçue pour les câbles d'acier et des chaînes. Les dimensions sont proches des manilles pour utilisation avec des câbles non métalliques du type « large diameter ou wide mouth shackle » (annexe 7.2).

Une recherche auprès de fabricants de ce type de manille indique que pour une boucle avec une section de 25 mm de diamètre et une goupille de 28 mm de diamètre, la capacité est de l'ordre de 6.5 T métrique (6 500 kg) soit 63 800 N (annexe 7.2).

Considérant les informations précédentes, il apparaît que cette manille n'est pas fabriquée selon les spécifications de la norme ASME B30-26 (annexe 1) et ne devrait pas être utilisée pour le levage. C'est une manille d'usage général tel que pour l'arrimage et le remorquage. Considérant l'absence de retenue mécanique de la goupille, ce type de manille ne devrait pas être utilisé pour des charges non axiales.

La nomenclature anglaise différencie les manilles appelées « shackle » pour le levage, des manilles appelées « clevis » d'usage général. Ce type d'accessoire est identifié à une manille droite avec goupille en « T » avec barrure épingle.

Une recherche dans la catégorie d'accessoires pour le remorquage plutôt que le levage permet d'identifier une manille similaire, soit la « 1 in. X 5 5/16 » (annexe 7.3). Cet accessoire est identifié comme étant une « manille droite » (straight clevis) et sert pour l'arrimage et le remorquage. La charge maximale permise est de 111 500 N (25 000 lb).

Les informations et mesures indiquent que la goupille est d'une section de 20 mm de diamètre (approximativement 13/16 po) ce qui est beaucoup trop petit pour la manille « 1 in. x 5 5/16 » utilisée. Le diamètre de l'ouverture pour la goupille est de 25 mm. Il semble que la goupille provienne d'une autre manille de dimension et capacité inférieure. Normalement, la goupille est du même diamètre ou un peu plus grosse que le diamètre nominal de la manille. Aux fins de comparaison, une manille de ¾ po (annexe 7.4) est sélectionnée pour estimer les capacités nominales.

Les capacités de la manille et de sa goupille sont reliées par le diamètre nominal (manille et goupille de 25 mm). L'utilisation d'une goupille plus petite réduit considérablement la capacité nominale de l'ensemble à celui de la pièce la plus faible. La capacité nominale d'une manille ayant une goupille de 20 mm comme la « straight clevis ¾ in. » (annexe 7.4) est de 71 300 N (16 000 lb).

Capacité (estimée) de la manille 25 mm avec goupille 20 mm : 71 300 N (16 000 lb)

5.3.2 Câble de fibre

Le câble de fibre a été identifié à un type de nylon. Une recherche sommaire pour du cordage de fibre d'usage général de 60 mm de diamètre ou 2.5 po nominal (annexe 7.5) indique une capacité moyenne de 602 000 N (135 000 lb).

Capacité nominale (estimée) du câble : 602 000 N (135 000 lb)

5.3.3 Barre de remorquage (point d'attache)

La barre de remorquage du tracteur JD7520 est une attache standard SAE J1548 de type II ou 2 (annexe 6) de 60 mm de large par 37.5 mm d'épaisseur. Elle est munie d'une ouverture de 33 mm de diamètre pour une tige maximale de 30 mm de diamètre.

5.4 Analyse de l'attache de la manille à la barre de remorquage

La barre de remorquage du tracteur JD 7520 sert de point d'attache à la manille qui s'est brisée.

Le diamètre de l'ouverture de l'attache prévue de la barre de remorquage est de 33 mm pour une tige maximale de 30 mm. La tige utilisée est la goupille de 20 mm de diamètre et celle-ci n'est pas centrée par des rondelles ou des cales (annexe 5, illustration # 1).

La force de remorquage est ainsi transmise par les arêtes de l'ouverture plutôt que par la surface de l'épaisseur (annexe 5, illustration # 3). Lorsque la tension est appliquée à la goupille, celle-ci est soumise à une charge ponctuelle plutôt que répartie. Cette particularité du montage a pour effet de doubler la contrainte appliquée sur la goupille (réf.4, diagramme fig. 1 et 7).

Considérant la capacité nominale estimée d'une manille avec une goupille de 20 mm, soit 71 300 N, celle-ci en est donc réduite de moitié par l'application de forces concentrées plutôt que réparties. Sa capacité réelle est donc approximativement de 35 650 N.

Considérant la conception des attaches d'usage général comme ayant un facteur de sécurité de 2, la charge nominale est 50% de la charge de rupture. La charge de rupture peut être estimée à approximativement 71 300 N.

Capacité à la rupture (estimée) avec goupille de 20 mm : 71 300 N (16 000 lb)

5.5 Analyse des résultats

La manille utilisée, identifiée « 1 po x 5-5/16 » avec goupille de 20 mm, n'est pas utilisée conformément aux spécifications et règles de l'art, notamment :

- L'utilisation de manille avec goupille non retenue (vissée) réduit considérablement la capacité de l'accessoire et n'est pas recommandée pour le levage et des charges non axiales (annexe 1, norme ASME B30-26).
- L'application d'une charge non axiale sur une manille à goupille non retenue (goupille avec barrure épingle et non vissée) n'est pas recommandée par les fabricants, car l'étrier lorsque soumis à ce type de charge peut s'ouvrir à une charge inférieure à la capacité de la manille.
- La goupille n'est pas de la bonne dimension et provient probablement d'une manille plus petite ce qui réduit la capacité nominale de l'attache de 36 % soit de 111 400 N à 71 300 N.

- L'insertion de la goupille dans le trou de la barre de remorquage sans utiliser des cales pour centrer la goupille cause une concentration de contraintes qui a pour effet de doubler les contraintes appliquées et conséquemment réduit la capacité nominale de 50% à 35 650 N (approximativement).
- La force de remorquage nécessaire (estimée) peut varier de 63 540 N à 128 580 N selon le degré de rétention du site (neige, pente, etc.) et la capacité de remorquage maximale disponible est d'au plus 154 000 N.

L'estimation de l'effort de traction pour sortir le tracteur enlisé ne tient pas compte du contexte du remorquage.

6. Conclusion

Considérant que l'attache de la manille à la barre de remorquage a une capacité nominale approximative de 35 650 N (71 300 N à la rupture), les efforts auxquels était soumise la manille pouvaient excéder la résistance à la rupture.

Le rapport d'expertise métallurgique (réf. 1) confirme l'absence de défaut métallurgique ou de fabrication et que le bris est le résultat d'une surcharge.

L'utilisation d'une manille avec une goupille d'une dimension inférieure à celle prévue et sans ajustement pour centrer la tige de la goupille lors d'une traction non axiale cause une contrainte excessive sur celle-ci qui a cédé en projetant des débris.

7. Références

1. Rapport d'expertise CMQ 721-17-753 « Étude de bris d'une manille et d'un manillon à l'origine d'un accident mortel à St-Isidore », Projet CMQ 721-17-753, 28 novembre 2017, Centre de Métallurgie du Québec « CMQ », 3095 rue Westinghouse, Trois-Rivières, Québec
2. Guide « Handbook of winching techniques for recovery », «Handbook of winching techniques for vehicle recovery», Manual 5-001-031, Superwinch inc. , Winch drive, Putnam, Connecticut USA
3. Drawbar horsepower, Drawbar horsepower equation 7-3, «An introduction to agricultural engineering» second edition» (1999), Chapman & Hall food science book, Aspen Publishers Inc., Gaithersburg, Maryland, USA
4. Information d'ingénierie, Figure 1 «simple beam - uniformly distributed load», Figure 7 «simple beam – concentrated load at center», Beam design formulas with shear and moment diagrams, design aid no. 6, American Forest & Paper Association

Annexe 1

Extrait de la norme ASME B30-26

RIGGING HARDWARE

Chapter 26-0 Scope, Definitions, Personnel Competence, Translations, and References

(15)

SECTION 26-0.1: SCOPE

Volume B30.26 includes provisions that apply to the construction, installation, operation, inspection, and maintenance of detachable rigging hardware used for load handling activities in conjunction with equipment described in other volumes of the B30 Standard. This hardware includes shackles, links, rings, swivels, turn-buckles, eyebolts, hoist rings, wire rope clips, wedge sockets, rigging blocks, and load-indicating devices. Detachable hardware used in applications other than those detailed in this Volume shall only be used in accordance with the recommendations of the manufacturer or a qualified person.

(15) SECTION 26-0.2: DEFINITIONS

abnormal operating conditions: environmental conditions that are unfavorable, harmful, or detrimental to or for the operation of a piece of detachable hardware, such as excessively high or low ambient temperatures, exposure to weather, corrosive fumes, dust laden or moisture laden atmospheres, and hazardous locations.

adjustable hardware: threaded detachable rigging hardware that is adjustable in length, orientation, or position by the user to handle a load.

angle of loading: the acute angle between horizontal and the leg of the rigging, often referred to as the horizontal angle (see Fig. 26-1.9.1-1).

NOTE: A stress multiplier produced by the angle of loading is also present when the rigging is used in nonvertical applications.

bow, shackle: the curved portion of the shackle body opposite the pin, often referred to as the bail, the body, the dee, or the bowl (see Fig. 26-1.9.4-1).

crane scale: see *load-indicating device*.

dead end: the section of wire rope that is not tensioned under load (see Figs. 26-3.1.1-1 and 26-3.1.1-2).

design factor: ratio between nominal or minimum breaking strength and rated load of the rigging hardware.

dynamometer: see *load-indicating device*.

ears, shackle: portion of the shackle body that supports the shackle pin (see Fig. 26-1.9.4-1).

hardware service

normal: service that involves use of loads at or below the rated load.

severe: service that involves normal service coupled with abnormal rigging or operating conditions.

special: service that involves operation, other than normal or severe, that is approved by a qualified person.

hitch, choker: a method of rigging a sling in which the sling is passed around the load, then through one loop eye, end fitting, or other device with the other loop eye or end fitting attached to the load handling device.

in-line loading: condition where the load is applied through the centerline of the rigging hardware at the intended bearing points.

jaw: a U-shaped, load-bearing connection designed for use with a removable pin (see Fig. 26-2.1.1-1).

LID: see *load-indicating device*.

line pull: the tension load in a rope entering a rigging block (see Fig. 26-5.3-1).

live end: the section of wire rope that is tensioned under load (see Figs. 26-3.1.1-1 and 26-3.1.1-2).

load-indicating device: a device that measures and displays applied load or force.

manufacturer: the entity responsible for the physical production of an item.

pin, shackle: a steel bolt made to span the two shackle ears (see Fig. 26-1.9.4-1).

primary load fitting: the fitting on a rigging block that carries the highest applied load during use (see Fig. 26-5.3-1).

proof load: the specific load applied in performance of the proof tests.

proof test: a nondestructive load test made to a specific multiple of the rated load of the rigging hardware.



INTENTIONALLY LEFT BLANK



qualified person: a person who, by possession of a recognized degree in an applicable field or certificate of professional standing or who, by extensive knowledge, training, and experience, has successfully demonstrated the ability to solve or resolve problems relating to the subject matter and work.

rated capacity: see *rated load*.

rated load: the maximum allowable working load established by the rigging hardware manufacturer. The terms *rated capacity* and *working load limit* are commonly used to describe rated load.

saddle: the base of a wire rope clip (see Fig. 26-3.1.1-1).

shackle: a U-shaped, load-bearing connector designed to be used with a removable pin (see Fig. 26-1.1.1-1).

shock load: a momentary increase in the force applied to lifting and/or load handling components caused by the sudden movement, shifting, or arresting of the load.

sling: an assembly used for lifting when connected to a lifting mechanism. The upper portion is connected to the lifting mechanism, and the lower supports the load, as described in the chapters of this Volume.

swivel hoist ring: a load-supporting device capable of pivoting and rotating, consisting of four components: a bolt, a swivel bearing, a bushing flange, and a load connection fitting, such as a bail or eye (see Fig. 26-2.1.1-4).

turnbuckle: an adjustable device consisting of three primary components: a body, a right-hand threaded end fitting, and a left-hand threaded end fitting (see Fig. 26-2.1.1-1).

wedge socket: an end fitting that terminates a wire rope by compressing the wire rope between a wedge and socket body (see Fig. 26-3.1.1-2).

wire rope clip: a fitting for clamping two parts of wire rope of the same diameter to each other by compressing the wire ropes between a saddle and a U-bolt or between two saddles (see Fig. 26-3.1.1-1).

double saddle type: wire rope clip using two saddles.

U-bolt type: wire rope clip using one saddle and a U-bolt.

working load limit (WLL): see *rated load*.

(15) SECTION 26-0.3 PERSONNEL COMPETENCE

Persons performing the functions identified in this Volume shall, through education, training, experience, skill, and physical ability, as necessary, be competent

and capable to perform the functions as determined by the employer or employer's representative.

SECTION 26-0.4: TRANSLATIONS

(15)

(a) *Translation of Non-English Documentation Into English*

(1) The wording of written non-English safety information and manuals regarding use, inspection, and maintenance shall be translated into English by professional translation industry standards, which include, but are not limited to the following:

(-a) translation of the complete paragraph message, instead of word by word

(-b) grammatical accuracy

(-c) respectfulness of the source document content without omitting or expanding the text

(-d) accurate translation of the terminology

(-e) reflection of the level of sophistication of the original document

(2) The finished translation shall be verified for compliance with paras. 26-0.4(a)(1)(-a) through (a)(1)(-e) by a qualified person having an understanding of the technical content of the subject matter.

(3) Pictograms used to identify controls shall be described in the manuals, if required. The pictograms should comply with ISO 7000, or other recognized sources, if previously defined. The text of the description shall meet the criteria of paras. 26-0.4(a)(1) and (a)(2).

(b) Any non-English documentation provided in addition to English shall be translated and reviewed in accordance with the requirements listed above.

SECTION 26-0.5: REFERENCES

(15)

Within the text, references are made to the following publications, copies of which may be obtained from the publishers indicated:

ASME B30.9-2010, Slings

ASME B30.10-2009, Hooks

Publisher: The American Society of Mechanical Engineers (ASME), Two Park Avenue, New York, NY 10016-5990 (www.asme.org)

ISO 7000-2012, Graphic symbols for use on equipment-registered symbols

Publisher: International Organization for Standardization (ISO), Central Secretariat, Chemin de Blandonnet 8, Case Postale 401, 1214 Vernier, Geneva, Switzerland (www.iso.org)



Chapter 26-1

Shackles – Selection, Use, and Maintenance

SECTION 26-1.0: SCOPE

This Chapter applies to shackles.

SECTION 26-1.1: TYPES AND MATERIALS

26-1.1.1 Types

(a) Body types covered are anchor, chain, and synthetic sling (see Fig. 26-1.1.1-1).

(b) Pin types covered are screw pin and bolt type (see Fig. 26-1.1.1-1).

(c) Shackles other than those detailed in this Chapter shall be used only in accordance with recommendations of the shackle manufacturer or a qualified person.

NOTE: Round pin shackles are not covered by the scope of this Volume, because they have limited application in lifting. They are only restrained by a cotter pin and may present a hazard in odd angle loading conditions.

(15) **26-1.1.2 Materials**

The shackle shall have sufficient ductility to permanently deform before losing the ability to support the load at the temperatures the manufacturer has specified for use.

SECTION 26-1.2: DESIGN FACTOR

(a) The design factor for shackles up to and including a 150-ton (136-metric ton) rated load shall be a minimum of 5.

(b) The design factor for shackles over a 150-ton (136-metric ton) rated load shall be a minimum of 4.

SECTION 26-1.3: RATED LOADS

Rated load shall be in accordance with the recommendation of the shackle manufacturer. The terms *rated capacity* and *working load limit* are commonly used to describe rated load.

SECTION 26-1.4: PROOF TEST

26-1.4.1 Proof Test Requirements

(15)

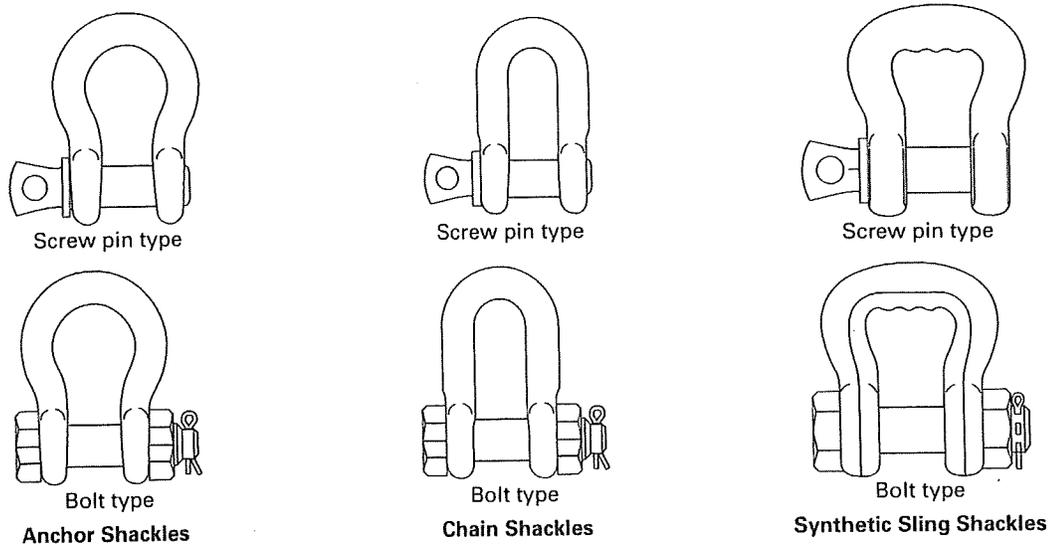
(a) Shackles are not required to be proof tested unless specified by the purchaser.

(b) Proof tested shackles shall be inspected after the test for the conditions stated in para. 26-1.8.5.

26-1.4.2 Proof Load Requirements

(a) The proof load for a shackle up to and including a 150-ton (136-metric ton) rated load shall be a minimum

Fig. 26-1.1.1-1 Shackle Types



of 2 and a maximum of 2.2 times the rated load unless approved by the manufacturer.

(b) The proof load for a shackle over a 150-ton (136-metric ton) rated load shall be a minimum of 1.33 and a maximum of 2 times the rated load unless approved by the manufacturer.

SECTION 26-1.5: IDENTIFICATION

(15) 26-1.5.1 Shackle Body Identification

Each shackle body shall have durable markings by the manufacturer to show

- (a) name or trademark of manufacturer
- (b) rated load
- (c) size

(15) 26-1.5.2 Shackle Pin Identification

Each shackle pin shall have durable markings by the manufacturer to show

- (a) name or trademark of manufacturer
- (b) grade, material type, or load rating

26-1.5.3 Maintenance of Identification

Shackle identification should be maintained by the user so as to be legible throughout the life of the shackle.

SECTION 26-1.6: EFFECTS OF ENVIRONMENT

26-1.6.1 Temperature

When shackles are to be used at temperatures above 400°F (204°C) or below -40°F (-40°C), the shackle manufacturer or a qualified person should be consulted.

26-1.6.2 Chemically Active Environments

The strength of shackles can be affected by chemically active environments, such as caustic or acidic substances or fumes. The shackle manufacturer or a qualified person should be consulted before shackles are used in chemically active environments.

SECTION 26-1.7: TRAINING

Shackle users shall be trained in the selection, inspection, cautions to personnel, effects of environment, and rigging practices as covered by this Chapter.

(15) SECTION 26-1.8: INSPECTION, REPAIR, AND REMOVAL

26-1.8.1 General

All inspections shall be performed by a designated person. Any deficiencies identified shall be examined and a determination made by a qualified person as to whether they constitute a hazard.

26-1.8.2 Initial Inspection

Prior to use, all new, altered, modified, or repaired shackles shall be inspected to verify compliance with the applicable provisions of this Chapter. Written records are not required.

26-1.8.3 Frequent Inspection

(a) A visual inspection shall be performed each shift before the shackle is used. Rigging hardware in semi-permanent and inaccessible locations where frequent inspections are not feasible shall have periodic inspections performed.

(b) Conditions such as those listed in para. 26-1.8.5 or any other condition that may result in a hazard shall cause the shackle to be removed from service. Shackles shall not be returned to service until approved by a qualified person.

(c) Written records are not required.

26-1.8.4 Periodic Inspection

(a) A complete inspection of the shackle shall be performed. The shackle shall be examined for conditions such as those listed in para. 26-1.8.5 and a determination made as to whether they constitute a hazard.

(b) *Periodic Inspection Frequency*

(1) Periodic inspection intervals shall not exceed 1 yr. The frequency of periodic inspections should be based on

- (-a) frequency of use
- (-b) severity of service conditions
- (-c) nature of lifting or load handling activities
- (-d) experience gained on the service life of shackles used in similar circumstances

(2) Guidelines for the time intervals are

- (-a) normal service — yearly
- (-b) severe service — monthly to quarterly
- (-c) special service — as recommended by a qualified person

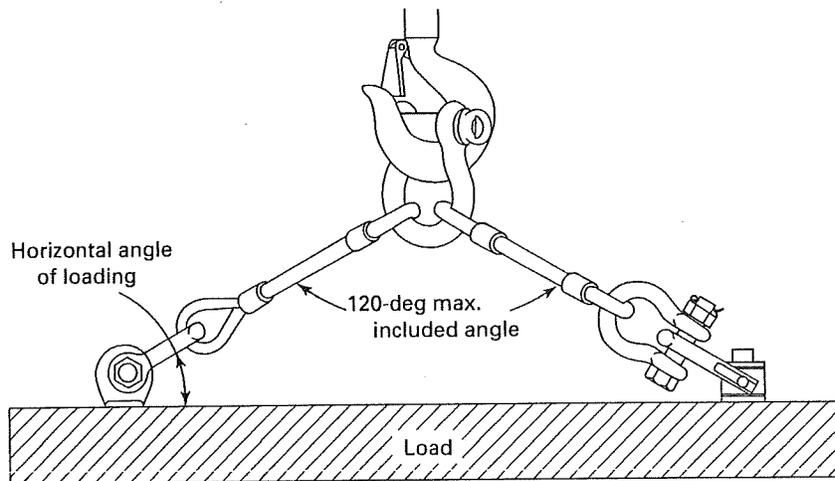
(c) Written records are not required.

26-1.8.5 Removal Criteria

Shackles shall be removed from service if conditions such as the following are present and shall only be returned to service when approved by a qualified person:

- (a) missing or illegible identification
- (b) indications of heat damage, including weld spatter or arc strikes
- (c) excessive pitting or corrosion
- (d) bent, twisted, distorted, stretched, elongated, cracked, or broken load-bearing components
- (e) excessive nicks or gouges
- (f) a 10% reduction of the original or catalog dimension at any point around the body or pin
- (g) incomplete pin engagement

Fig. 26-1.9.1-1 Angle of Loading (Shackles)



Horizontal Angle, deg	Stress Multiplier
90	1.000
60	1.155
45	1.414
30	2.000

- (h) excessive thread damage
- (i) evidence of unauthorized welding or modification
- (j) other conditions, including visible damage, that cause doubt as to the continued use of the shackle

26-1.8.6 Repairs and Modifications

(a) Repairs, alterations, or modifications shall be as specified by the shackle manufacturer or a qualified person.

(b) Replacement parts, such as pins, shall meet or exceed the original equipment manufacturer's specifications.

SECTION 26-1.9: OPERATING PRACTICES

(15) 26-1.9.1 Shackle Selection

(a) Shackles having suitable characteristics for the type of sling, load, hitch, angle of loading, and environment shall be selected in accordance with the recommendations of the shackle manufacturer or a qualified person.

NOTE: The angle of loading affects the stress in the shackle. As the horizontal angle decreases, the stress increases in the shackle (see Fig. 26-1.9.1-1).

- (b) The rated load of the shackle shall not be exceeded.
- (c) Shackles that appear to be damaged shall not be used until inspected and accepted as usable under Section 26-1.8.

26-1.9.2 Cautions to Personnel

(a) All portions of the human body shall be kept from between the shackle, the load, and any other rigging during the lifting or load handling activities.

(b) Personnel should stand clear of the suspended load.

(c) Personnel should stand clear of rigging when it is under tension.

(d) Personnel shall not ride the shackle.

26-1.9.3 Storage and Work Environments

(a) Shackles should be stored in an area where they will not be subjected to damage, corrosive action, or extreme heat.

(b) If extreme temperatures or chemically active environments are involved, the guidance provided in para. 26-1.6.1 or 26-1.6.2 shall be followed.

26-1.9.4 Rigging Practices

(a) The screw pin threads shall be fully engaged and tight, and the shoulder should be in contact with the shackle body (see Fig. 26-1.9.4-1).

(b) If a shackle is designed for a cotter pin, the cotter pin shall be used and maintained in good working condition.

(c) Contact with sharp edges that could damage the shackle should be avoided.

(d) Shock loading should be avoided.

(e) The load applied to the shackle should be centered in the bow of the shackle to prevent side loading of the shackle.

(f) Multiple sling legs should not be applied to the shackle pin.

(g) If the shackle is to be side loaded, the rated load shall be reduced according to Fig. 26-1.9.4-2 or the recommendations of the manufacturer or a qualified person.

(h) Screw pin shackles shall not be rigged in a manner that would cause the pin to unscrew.

(i) For long-term installations, bolt-type shackles should be used; if screw pin-type shackles are used, the pin shall be secured from rotation or loosening.

(j) Shackles should not be dragged on an abrasive surface.

(k) Multiple slings in the body of a shackle shall not exceed 120-deg included angle (see Fig. 26-1.9.1-1).

(l) When a shackle is used in a choker hitch, the pin shall be connected to the choking eye of the sling.

Fig. 26-1.9.4-1 Typical Shackle Components

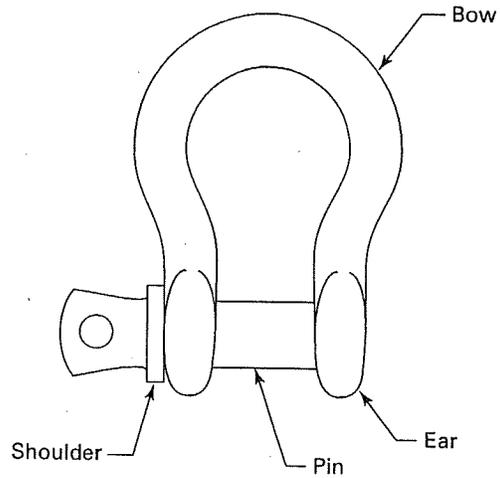
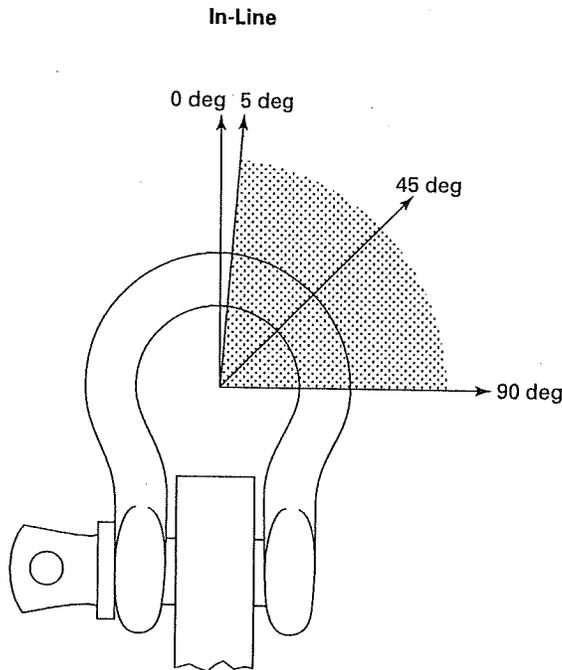


Fig. 26-1.9.4-2 Side Loading



Side Loading Angle, deg	% Rate Load Reduction
In-line (0) to 5	None
6 to 45	30%
46 to 90	50%
Over 90	Not recommended to load in this condition. Consult manufacturer or qualified person.



Chapter 26-2

Adjustable Hardware – Selection, Use, and Maintenance

SECTION 26-2.0: SCOPE

This Chapter applies to adjustable hardware, including turnbuckles, eyebolts, eye nuts, and swivel hoist rings.

SECTION 26-2.1: TYPES AND MATERIALS

26-2.1.1 Types

- (a) Turnbuckles, including open and pipe body types with hook, eye, or jaw end fittings (see Fig. 26-2.1.1-1).
- (b) Eyebolts, including shoulder nut, nonshoulder nut, nonshoulder machinery, and shoulder machinery types (see Fig. 26-2.1.1-2).
- (c) Eye nuts (see Fig. 26-2.1.1-3).
- (d) Swivel hoist rings (see Fig. 26-2.1.1-4).
- (e) Adjustable hardware other than those detailed in this Chapter shall be used only in accordance with recommendations of the manufacturer or a qualified person.

(15) 26-2.1.2 Materials

The hardware, excluding bushings and bearings, shall have sufficient ductility to permanently deform before losing the ability to support the load at the temperatures the manufacturer has specified for use.

SECTION 26-2.2: DESIGN FACTOR

The design factor for adjustable hardware shall be a minimum of 5.

SECTION 26-2.3: RATED LOADS

Rated load shall be in accordance with the recommendation of the hardware manufacturer. The terms *rated capacity* and *working load limit* are commonly used to describe rated load.

SECTION 26-2.4: PROOF TEST

(15) 26-2.4.1 Proof Test Requirements

- (a) New adjustable hardware is not required to be proof tested unless specified by the purchaser.
- (b) All repairs to swivel hoist rings with bushings or bearings should be proof tested.
- (c) Proof tested adjustable hardware shall be inspected after the test for the conditions stated in para. 26-2.8.5.

26-2.4.2 Proof Load Requirements

The proof load shall be a minimum of 2 times the rated load.

SECTION 26-2.5: IDENTIFICATION

(15)

26-2.5.1 Turnbuckle, Eyebolt, and Eye Nut Identification

Each turnbuckle, eyebolt, and eye nut shall be durably marked by the manufacturer to show

- (a) name or trademark of manufacturer
- (b) size or rated load
- (c) grade for alloy eyebolts

26-2.5.2 Swivel Hoist Ring Identification

Each swivel hoist ring shall be durably marked by the manufacturer to show

- (a) name or trademark of manufacturer
- (b) rated load
- (c) torque value

26-2.5.3 Maintenance of Identification

Turnbuckle, eyebolt, eye nut, and swivel hoist ring identification should be maintained by the user so as to be legible throughout the life of the hardware.

SECTION 26-2.6: EFFECTS OF ENVIRONMENT

26-2.6.1 Temperature

(a) When adjustable hardware, excluding swivel hoist rings and carbon steel eyebolts, is to be used at temperatures above 400°F (204°C) or below -40°F (-40°C), the hardware manufacturer or a qualified person should be consulted.

(b) When swivel hoist rings are to be used at temperatures above 400°F (204°C) or below -20°F (-29°C), the hardware manufacturer or a qualified person should be consulted.

(c) When carbon steel eyebolts are to be used at temperatures above 275°F (135°C) or below 30°F (-1°C), the hardware manufacturer or a qualified person should be consulted.

26-2.6.2 Chemically Active Environments

(15)

The strength of adjustable hardware can be affected by chemically active environments such as caustic or acidic substances or fumes. The adjustable hardware



Annexe 2

Estimation de la force de remorquage minimale en situation libre



Charge :

Masse du tracteur et souffleur JD7930 = 12 251 kg

Inclinaison de la pente = 26°

Hauteur du point d'attache JD 7930 = 110 cm

Remorqueur :

Hauteur du point d'attache du tracteur JD7520 = 52 cm

Longueur du câble = 450 cm (corde 405 cm + approx. ½ chaine , soit 45 cm)

La différence de hauteur des points d'attache (110 cm – 52 cm = 58 cm) entre la charge (JD 7930) et le remorqueur (JD7520) pour la longueur du câble de 450 cm donne une inclinaison de 7.34°. Considérant la précision des mesures l'inclinaison est d'environ 7° à 9 °, l'inclinaison utilisée pour les estimations sera de 8°.

L'effort «F» pour sortir la charge de 12 251 kg dans l'axe de la pente à 26° est donc de :

$$F = (\text{masse de la charge} \times G) \times \sin 26^\circ$$
$$F = 12\,251 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 \times \sin 26^\circ = 52\,680 \text{ N}$$

Le câble de remorquage étant incliné vers le bas de 8° ceci s'ajoute à l'inclinaison de la pente pour une inclinaison totale de $26^\circ + 8^\circ$, soit 34° .

L'effort «Fr» de remorquage du câble avec une inclinaison de 34° est donc de :

$$Fr = (\text{effort «F»}) \div \cos 34^\circ = 52\,680 \text{ N} \div \cos 34^\circ = 63\,540 \text{ N}$$

La force de remorquage minimale requise du tracteur JD7520 en situation libre de retenue est :

Force requise (situation libre) = 63 540 N

Annexe 3

Estimation de la force de remorquage selon le guide de remorquage
« Handbook of winching techniques for recovery » (réf. 2)

Selon les informations :

Masse estimée du John Deere 7930 avec souffleur ; 12 251 kg

Inclinaison de la pente : 26°

Inclinaison du câble (annexe 2) : 8°

Type de sol neige molle sur fond gelé, roues enlisées

4 roues libres de tourner

Effort de remorquage selon guide :

$$\text{Effort} = (Wt \times Fs) + (Wt \times \text{angle} / 60) + (Wt \times Rb / RI)$$

$$= Wt \times (Fs + \text{angle} / 60 + Rb/RI) \times G$$

où : Wt = masse du véhicule à remorquer ; 12 251 kg

Fs = Facteur du sol (pour un sol mou valeur suggérée selon guide) : 1/2

Angle = inclinaison de la pente + inclinaison du câble ; 26 ° + 8 ° = 34 °

Rb = nombre de roues bloquées ; aucune, soit 0

RI = nombre de roues libres ; toutes , soit 4

G = accélération gravitationnelle, 9.81 m/ sec²

$$\text{Effort} = 12\,251 \text{ kg} \times (1/2 + 34/60 + 0/4) \times G$$

$$= 12\,251 \text{ kg} \times 1.07 \times 9.81 \text{ m/ sec}^2$$

$$= 128\,580 \text{ N}$$

Force requise (estimée) = 128 580 N

Annexe 4

Estimation de la capacité de remorquage du John Deere 7520

Équation 7-3, « Drawbar horsepower »; extrait de « An introduction to agricultural engineering »

L'équation permet de convertir la puissance du moteur du tracteur disponible pour la traction en force linéaire de traction à la vitesse de déplacement.

$$\text{Équation 7-3} \quad \text{Dbhp} = F \times S / 375$$

Où ;

Dbhp = force de traction (en lb), « draw bar horse power »

F = Force de traction (en lb)

S = vitesse (en mph)

375 = constante de conversion pour les unités

L'équation peut être réécrite sous la forme suivante pour évaluer la force de traction ;

$$F = \text{Dbhp} \times 375 / S$$

Pour la situation de remorquage, les informations de la fiche du tracteur John Deere 7520 (annexe 6) disponibles sont :

Dbhp = 110.88 (fiche du John Deere 7520)

S = 1.2 mph (maximum à la position A1 de la transmission)

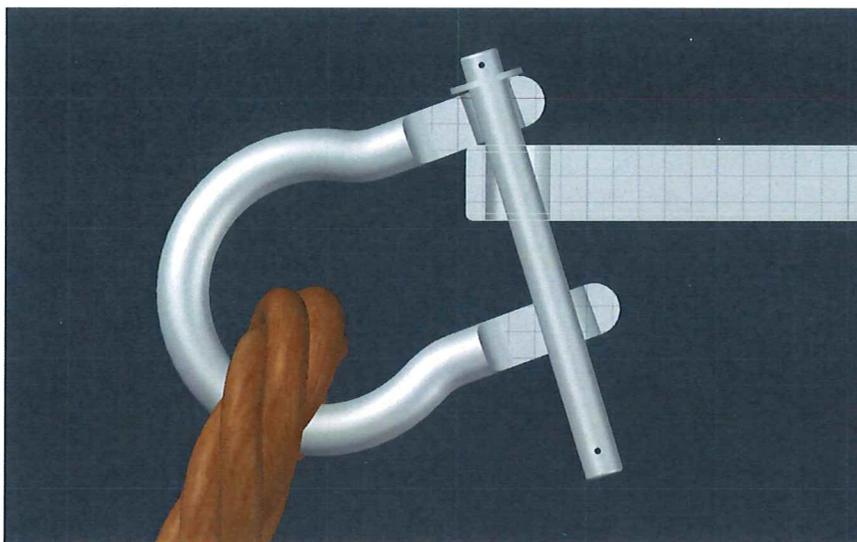
$$F = 110.88 \times 1.2 / 375 = 34\,650 \text{ lb}$$

$$\mathbf{F = 154\,500 \text{ N}}$$

Cette force maximale est disponible sous réserve que le régime du moteur soit à son maximum opérationnel et que les roues ne patinent pas.

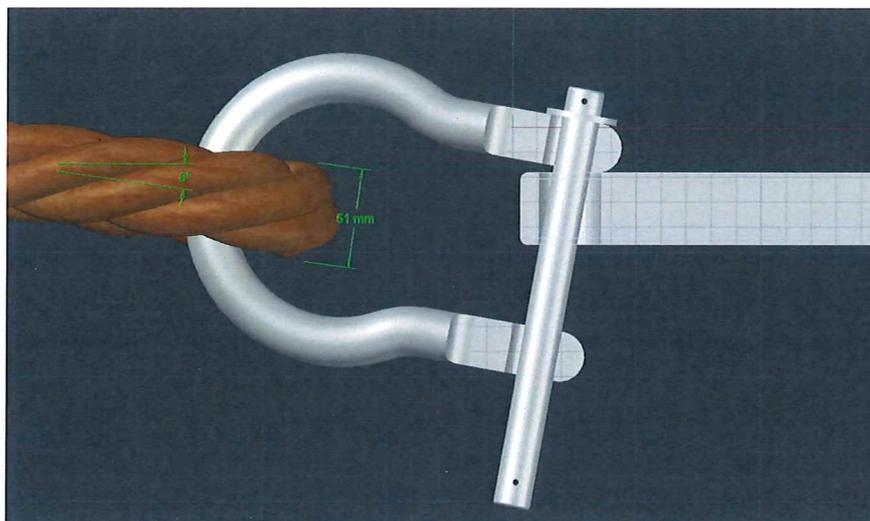
Annexe 5

1 Assemblage de la manille droite à la barre de remorquage



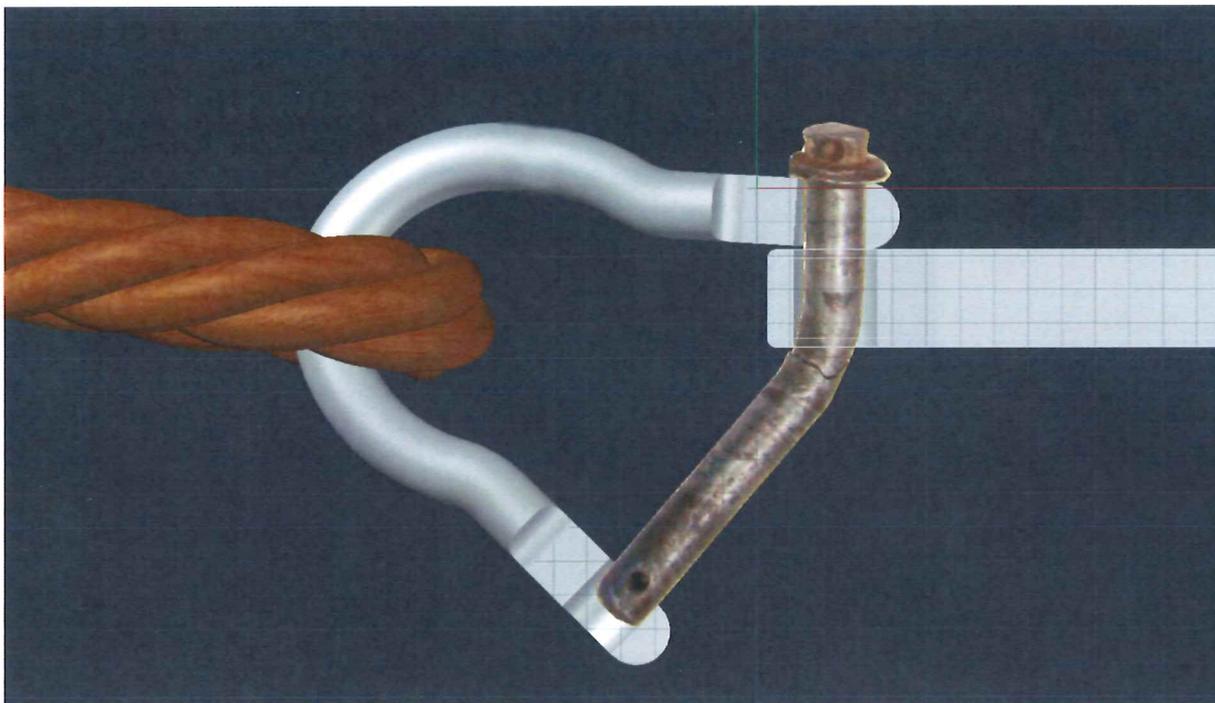
Câble libre / aucune traction

2 Début de la traction



La goupille s'appuie sur l'arrête de la barre de remorquage

3 Début de la rupture



Position de la goupille montrant la zone de rupture



Goupille reconstituée

Annexe 6

Spécifications du tracteur John Deere 7520

Manufacturer: John Deere
Factory: Waterloo, Iowa, USA

John Deere 7520 Engine:
John Deere 6.8L 6-cyl diesel
[full engine details ...](#)

Capacity:
Fuel: 66 gal [249.8 L]

3-Point Hitch:
Rear Type: II, 3N
Rear lift: 7,450 lbs [3379 kg]
8,700 lbs [3946 kg] (optional)

Power Take-off (PTO):
Rear PTO: independent
Clutch: electro-hydraulic
Rear RPM: 540/1000 (1.375)
Front PTO: independent
Front RPM: 1000

Dimensions & Tires:
Wheelbase: 104.3 inches [264 cm]
Weight: 13,280 lbs [6023 kg]
Front tire: 14.9R28
Rear tire: 18.4R38
[full dimensions and tires ...](#)

7520 Serial Numbers:
Location: On the main tractor frame, right side,
above the front axle.

2003: 1001
2004: 10001
2005: 30001
2006: 45001
2007: 60001
[how to read serial numbers...](#)

John Deere 7520 Power:
Engine: 150 hp [111.9 kW]
PTO (claimed): 125 hp [93.2 kW]
Drawbar (tested): 110.88 hp [82.7 kW]
PTO (tested): 143.97 hp [107.4 kW]
[power test details ...](#)

Mechanical:
Chassis: 4x4 MFWD 4WD
Steering: power
Brakes: hydraulic wet disc
Cab: ComfortGard Cab standard with air-conditioning. Open station with two-post ROPS available.

Hydraulics:
Type: closed-center PFC
Valves: 4

Pump flow: 26.7 gpm [101.1 lpm]

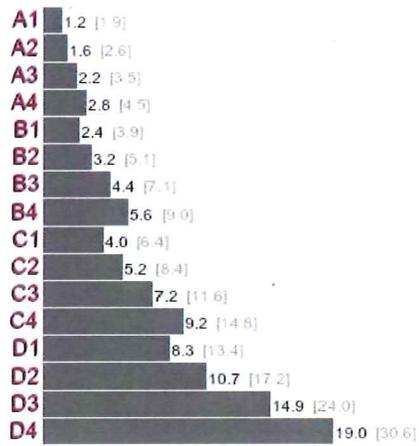
Electrical:
Ground: negative
Charging system: alternator
Charging amps: 115
150

Battery:
Cold-cranking amps: 850
Volts: 12

Page information:
Last update: June 26, 2015
Copyright: Copyright 2016 TractorData LLC
Contact: Peter@TractorData.com

Transmission:
Transmission: John Deere PowrQuad
Type: partial power shift
Gears: 16 forward and reverse
Oil capacity: 59.2 qts [56.0 L]
Four power shift speeds (1-4) in four ranges (A-D) with left-hand reverser.

Speeds: With 20.8-38 rear tires.

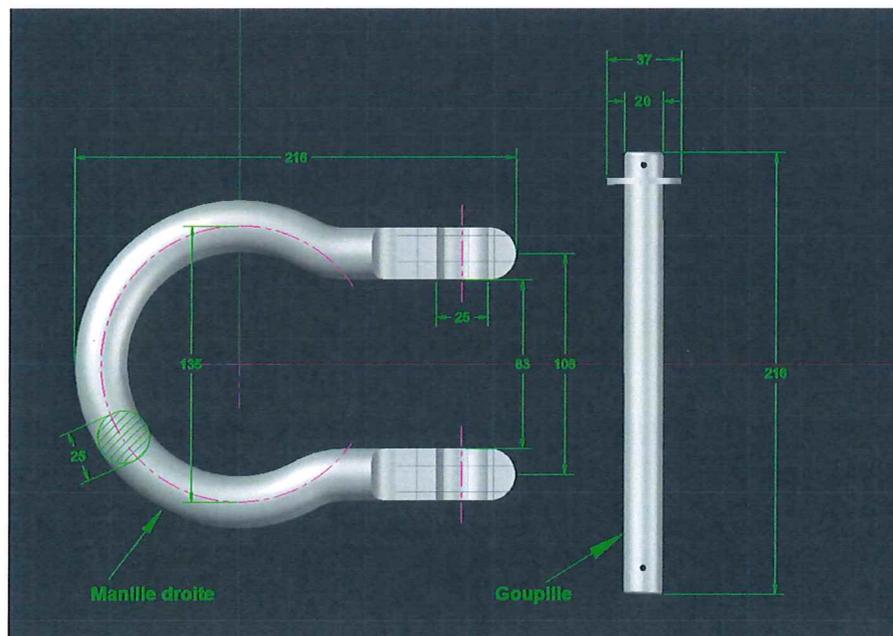
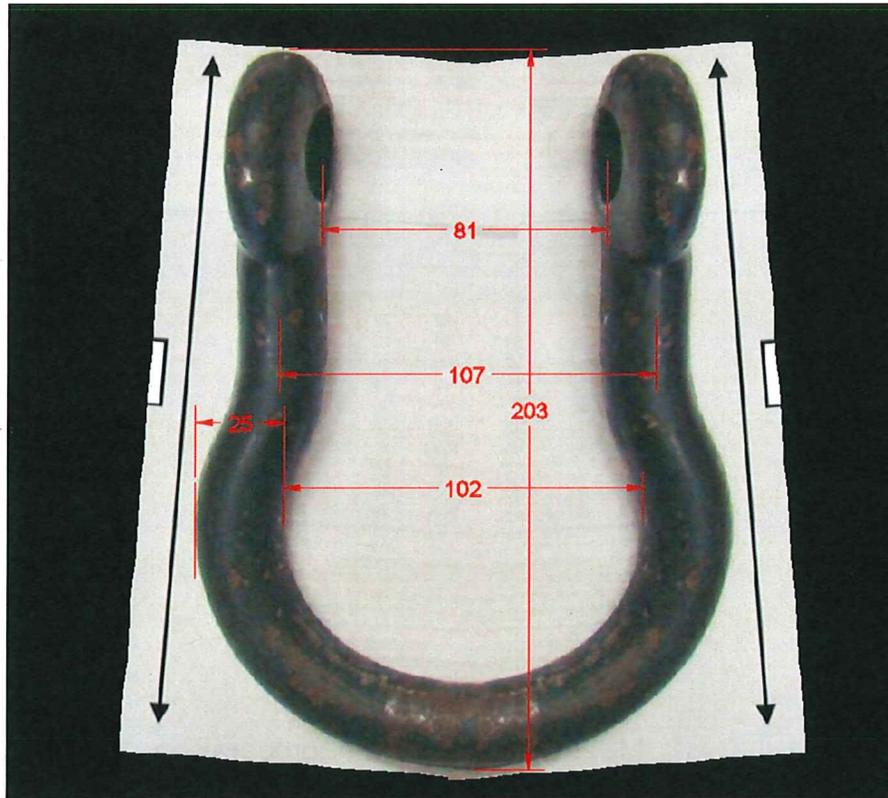


Miles per hour [kph] Copyright TractorData.com

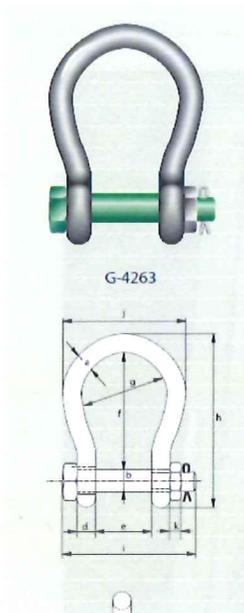
Annexe 7

Spécifications : manille droite, goupille et cordage

1. Manille de l'accident reconstituée



2. Manille « wide mouth » ou « large diameter »



Green Pin® Wide Mouth Shackles

bow shackles with safety bolt

- Material : bow and pin alloy steel, Grade 8, quenched and tempered
- Safety Factor : MBL equals 6 x WLL
- Finish : hot dipped galvanized
- Temperature Range : -20 °C up to +200 °C
- Certification : at no extra charges this product can be supplied with a works certificate, material certificate, manufacturer test certificate and/or EC Declaration of Conformity

working load limit	diameter bow	diameter pin	diameter eye	width eye	width inside	length inside	width bow	length	length bolt	width	thickness nut	weight each
t	a mm	b mm	c mm	d mm	e mm	f mm	g mm	h mm	i mm	j mm	k mm	kg
4.75	22	25	52	22	63	112	88	173	157	132	22	2.08
6.5	25	28	59	25	75	135	105	204	183	155	25	3.14
8.5	28	32	66	28	82	148	115	225	205	171	27	4.36
9.5	32	35	72	32	90	162	126	248	224	190	30	5.95
12	35	38	79	35	100	180	140	274	245	210	33	7.87
16	38	42	88	38	106	216	159	319	248	235	19	12.5
25	45	50	103	45	127	248	175	370	296	265	23	16.7
30	50	57	118	50	146	273	207	411	332	307	26	25
55	65	70	145	65	165	314	213	487	391	343	32	45
75	83	83	164	83	184	330	254	537	460	420	39	70

Modèle similaire pour comparaison

		« wide mouth »	accident
Diamètre nominal de l'étrier « g »	:	135 mm	135 mm
Longueur totale « h »	:	204 mm	203 mm
Diamètre de la manille « a »	:	25 mm	25 mm
Diamètre de la goupille « b »	:	28 mm	20 mm
Capacité nominale « WLL »	:	6.5 T (métrique)	inconnue

3. Manille droite avec goupille en « T » et barrure épinglé

« Clevis 1 in x 5 5/16 »

CountyLine 1 in. x 5-5/16 in. Straight Clevis

The CountyLine 1 in. x 5-5/16 in. Straight Clevis features a durable steel construction.

- 25,000 lb. working load limit
- Includes 1 in. dia. clevis pin and R-clip pin
- Usable length of clevis: 5-5/16 in.



Specification

Brand:
Clip Type:
Pin Diameter:
Pin Length:
Pins Type:
Product Type:
Working Load Limit:
Manufacturer Part Number

Description

CountyLine
R-Clip Pin
1 in.
5-5/16 in.
Straight Clevis Pin
Clevis Pins
25,000 lb.
S490108TSC

4. « Clevis 3/4 in. »

CountyLine Straight Clevis, 3/4 in. dia., S490105TSC

CountyLine® Straight Clevis is a durable replacement part

- 16000 lb. working load limit
- Includes 3/4 in clevis pin and clip pin
- Clevis pins are yellow zinc plated
- Designed and engineered totally forged straight clevis with heat treated pins
- Total forging provides better grain structure without built-in stresses and more consistency in strength, quality and conformity



Specification [Write a review](#)

Brand:
Pin Length:
Pins Type:
Product Finish:
Product Type:
Usable Pin Length:
Working Load Limit:
Manufacturer Part Number:

Description

CountyLine
3-1/4 in.
Straight Clevis Pin
Powder Coat
Clevis Pins
3-1/4 in.
16000 lb.
S490105TSC

5. Cordage

3-Strand Pro-Set Rope



Product Code:170

Fiber:Nylon

Specific Gravity:1.14

Splice:3-Strand Class 1

Applications

- General Working Line / Vessel Mooring
- Hand Line
- Secondary Mooring Line
- Shock Line
- Tug Pendant
- Winch Line / Tug

Features and Benefits

- Durable
- Excellent shock mitigation
- Heat stabilized
- High elasticity
- High strength
- Hockle resistant
- Low stretch
- Remains flexible with use

Pro-Set-3 is a premium 3-strand, 4-stage rope. It is manufactured to minimize shrinkage, snagging, and hocking, and maximize strength, durability, and flexibility. Pro-Set-3 is easy to handle and splice.

Elastic Elongation:

	10%	20%	30%
5.50%	10.00%	12.10%	

Specifications:

DIAM. (inch)	CIRC. (inch)	WEIGHT PER 100 FT. (lbs)	AVG. STRENGTH (lbs)	MIN. STRENGTH (lbs)	DIAM. (mm)	CIRC. (mm)	WEIGHT PER 100 M (kg)	AVG. STRENGTH (kg)	MIN. STRENGTH (kg)	ISO 2307 STRENGTH (metric tons)
3/16	9/16	1	1,200	1,100	5	15	1.5	540	490	0.54
1/4	3/4	1.5	1,600	1,400	6	18	2.2	730	650	0.73
5/16	1	2.5	2,600	2,300	8	24	3.7	1,200	1,100	1.2
3/8	1 1/8	3.5	3,600	3,200	9	27	5.2	1,600	1,500	1.6
7/16	1 1/4	5	4,800	4,300	11	33	7.4	2,200	2,000	2.2
1/2	1 1/2	6.5	6,300	5,700	12	36	9.7	2,900	2,600	2.9
9/16	1 3/4	8.1	7,900	7,100	14	42	12.1	3,600	3,200	3.6
5/8	2	10.5	10,000	9,000	16	48	15.6	4,500	4,100	4.5
3/4	2 1/4	14.5	13,500	12,200	18	54	21.6	6,100	5,500	6.1
13/16	2 1/2	17	15,300	13,800	20	60	25.3	6,900	6,200	6.9
7/8	2 3/4	20	19,000	17,100	22	66	29.8	8,600	7,800	8.6
1	3	26	25,000	22,500	24	72	38.7	11,300	10,200	11.3
1 1/16	3 1/4	29	27,200	24,500	26	78	43.2	12,300	11,100	12.3
1 1/8	3 1/2	34	32,000	28,800	28	84	50.6	14,500	13,100	14.5
1 1/4	3 3/4	40	37,500	33,800	30	90	59.5	17,000	15,300	17
1 5/16	4	45	41,500	37,400	32	96	67	18,800	16,900	18.8
1 1/2	4 1/2	55	52,000	46,800	36	108	81.8	23,600	21,200	23.6
1 5/8	5	66.5	63,000	56,700	40	120	99	28,600	25,700	28.6
1 3/4	5 1/2	83	78,000	70,200	44	132	124	35,400	31,800	35.4
2	6	95	89,000	80,100	48	144	141	40,400	36,300	40.4
2 1/8	6 1/2	109	101,000	90,900	52	156	162	45,800	41,200	45.8
2 1/4	7	129	121,000	109,000	56	168	192	54,900	49,400	54.9
2 1/2	7 1/2	149	135,000	122,000	60	180	222	61,200	55,100	61.2
2 5/8	8	168	153,000	138,000	64	192	250	69,400	62,500	69.4
2 3/4	8 1/2	189	173,000	156,000	68	204	281	78,500	70,600	78.5
3	9	210	190,000	171,000	72	216	312	86,200	77,600	86.2
3 1/4	10	264	240,000	216,000	80	240	393	109,000	98,000	109
3 5/8	11	312	280,000	252,000	88	264	464	127,000	114,000	127

Specifications are for spliced strengths.

Étude de bris d'une manille et d'une goupille à l'origine d'un accident mortel à St-Isidore

Rapport rédigé pour
M. Yannick Boutin
Inspecteur enquêteur

CNESST
835 rue de la Concorde, étage 2
Lévis, Qc
G6W 7P7

No bon de commande : 710894
No projets CMQ : 721-17-753

Préparé par

Luc Lafrenière, ing.
Gabriel Bordeleau, techn.

Le 30 novembre 2017

Sommaire

La CNESST enquête sur les circonstances entourant un accident mortel survenu le 18 mars 2017 à St-Isidore.

À partir des examens en laboratoire, nous sommes d'avis que les bris de la manille et de sa goupille ont été causés par un effet en traction subite et puissante au moment de la tentative de tire entre les deux tracteurs.

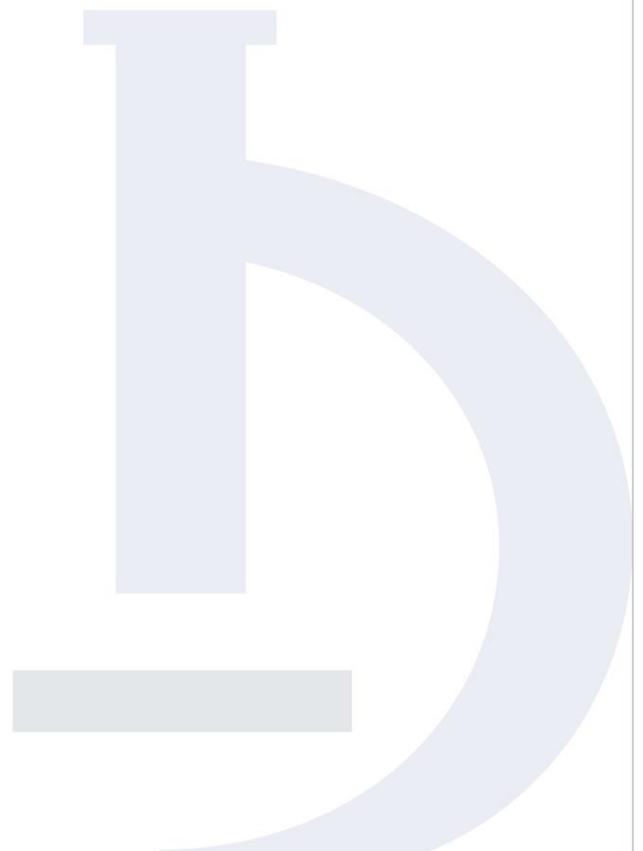


Table des matières

1. Mise en situation	1
2. Méthodologie	2
3. Résultats	3
3.1 Les analyses chimiques des composantes	3
3.2 Les mesures de dureté des composantes	4
3.3 Les examens métallographiques des composantes.....	5
3.4 L'examen visuel de la manille et de la goupille	6
3.5 L'examen microscopique des surfaces de rupture.....	8
4. Conclusion	10

1 Mise en situation

La CNESST enquête sur les circonstances entourant un accident mortel survenu le 18 mars 2017 à St-Isidore. Une manille et une goupille se sont brisées (photo 2) en tentant de tirer un tracteur de 11772 kg hors d'un banc de neige à l'aide d'un second tracteur de 7793 kg (photo 1). La CNESST requiert l'expertise du CMQ afin de confirmer le bris des deux composantes par surcharge, sinon d'identifier le facteur ayant contribué à leurs bris.



Photo 1. Lieu de l'accident montrant les deux tracteurs (photo de la CNESST).

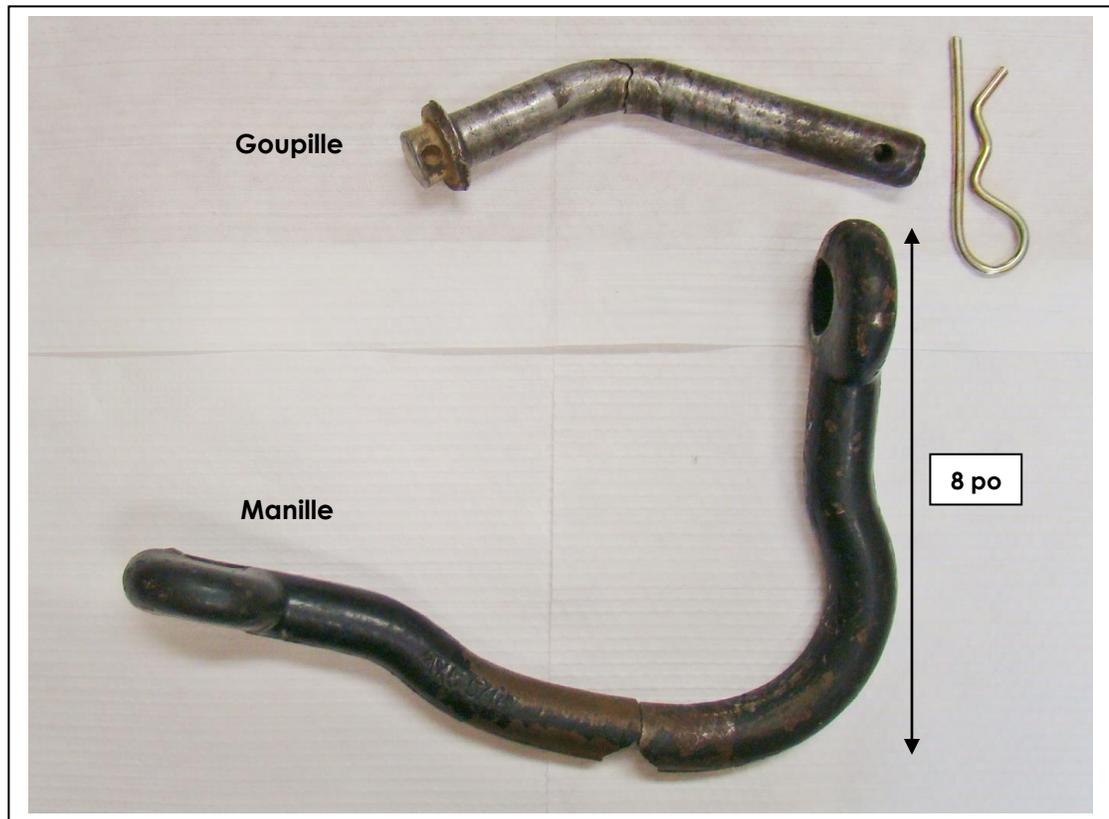


Photo 1. Manille et goupille brisées en service au moment de l'accident.
Dimensions de 8" long x 1" Ø de la manille et de 8" long x 3/4" Ø de la goupille.
Manille mesurée en position repliée d'origine.

2 Méthodologie

Afin de déterminer si la manille et la goupille possèdent des anomalies chimiques, mécaniques ou métallurgiques, nous avons utilisé cinq différentes techniques d'évaluation en laboratoire, soit des analyses chimiques, des mesures de dureté, des examens visuels, microscopiques et métallographiques de la manille et de la goupille.

3 Résultats

3.1 Les analyses chimiques des composantes

Les analyses chimiques ont révélé que la composition de la manille rencontrait les spécifications du grade d'acier SAE 1045 et la composition de la goupille celles de l'acier SAE 1018 (Tableau 1). Le petit excès de phosphore dans la composition de la manille n'a pas de conséquence sur l'intégrité de l'acier et la solidité de la manille.

Éléments	Manille (%)	Spécifications SAE 1045 (%)	Goupille (%)	Spécifications SAE 1018 (%)
Carbone	0,46	0,43 – 0,50	0,16	0,15 – 0,20
Manganèse	0,73	0,60 – 0,90	0,63	0,60 – 0,90
Phosphore	0,053	0,040 max	0,025	0,040 max
Soufre	0,036	0,050 max	0,029	0,050 max
Silicium	0,25	0,15 – 0,30	0,14	0,15 – 0,30
Chrome	0,17	-	-	-
Nickel	0,06	-	-	-
Molybdène	0,01	-	-	-
Fer	Balance	Balance	Balance	Balance

Tableau 1. Compositions chimiques des aciers des deux composantes.

3.2 Les mesures de dureté des composantes

Les mesures de dureté ont démontré que les deux composantes possédaient une dureté identique (Tableau 2) équivalant à une résistance ultime en traction de 102 Ksi. Par ailleurs, comme la manille avait 1 pouce de diamètre, alors sa résistance maximale était donc de 80 Ksi, et de son côté comme la goupille n'avait que $\frac{3}{4}$ pouce de diamètre, alors sa résistance maximale était de 45 Ksi (Tableau 3).

La dureté de 96 HRB (216 HB) de la manille et de la goupille permet de les classer comme acier forgé de grade ASTM A668 classe H, soit des aciers normalisés de dureté variant de 187-235 HB.

Composantes	Mesures de dureté (HRB)	Dureté moyenne (HRB)	Résistance équivalente à la dureté (psi)
Manille	97,7 – 95,3 – 95,0	96	102 000
Goupille	97,8 – 97,1 – 95,4	97	102 000

Tableau 2. Résultats moyens de trois essais de dureté effectués sur les deux composantes brisées. Résistance ultime équivalente des deux aciers **sans tenir compte** de leurs dimensions.

Composantes	Diamètre (pouce)	Surface (po ²)	Résistance maximale réelle des composantes (psi)
Manille	1	0,7854	80 000
Goupille	$\frac{3}{4}$	0,4418	45 000

Tableau 3. Résultats moyens de trois essais de dureté effectués sur les deux composantes brisées avec résistance ultime équivalente des deux pièces **en tenant compte** de leurs dimensions.

3.3 Les examens métallographiques des composantes

L'examen des microstructures des deux composantes n'a rien révélé de particulier, simplement que les microstructures étaient sans anomalie particulière (photos 2 et 3).

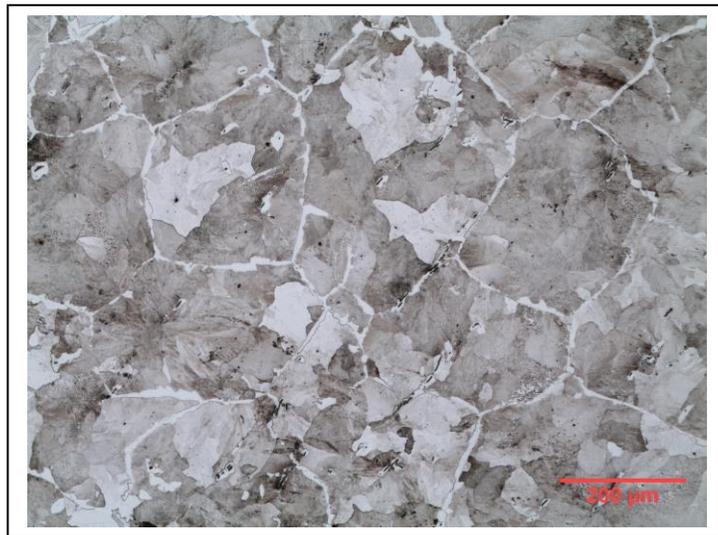


Photo 2. Microstructure perlitique de la manille en acier 1045 (100X – nital 3%).

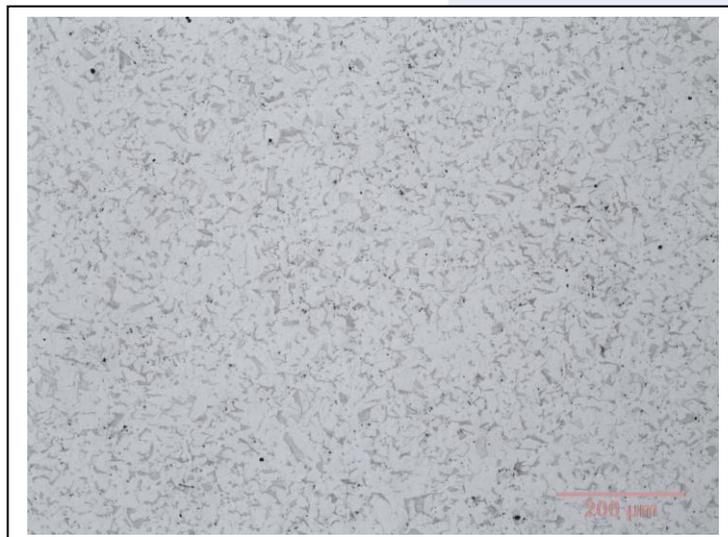


Photo 3. Microstructure ferritique de la goupille en acier 1018 (100X – nital 3%).

3.4 L'examen visuel de la manille et de la goupille

Quatre observations importantes ont pu être faites lors de l'examen visuel des deux composantes et de leurs surfaces de rupture, soit :

- 1) L'emplacement des amorces sur la manille et sa goupille se situe du côté des surfaces qui étaient en tension (photo 4) au moment de l'étirement du câble entre les deux tracteurs.



Photo 4. Emplacements des amorces de fissures sur les surfaces en tension de la manille et de la goupille avant leur bris (flèches rouges).

- 2) Il y a un morceau manquant à l'emplacement de l'amorce sur la manille (photo 5), indication que l'acier a éclaté au moment du bris.



Photo 5. Morceau éclaté dans la zone d'amorce de la manille.

- 3) Formation de multiples fissures par déchirement lent de l'acier sur la surface pliée et en tension de la goupille (photo 6). Ceci témoigne d'un essai de traction lent du second tracteur sur celui enlisé.



Photo 6. Déchirement lent de l'acier par surcharge se traduisant par la formation de multiples fissures adjacentes au bris de la goupille.

- 4) Marque d'écrasement de l'acier à la surface de la goupille (photo 7) survenu lors d'un mouvement en compression de la goupille appuyée contre un obstacle ou un autre véhicule. Cet événement s'est possiblement produit à une date antérieure à celle de l'accident du 18 mars 2017. La marque donne l'impression qu'il pourrait s'agir d'une soudure, mais l'examen métallographique a démontré qu'il n'en était rien.

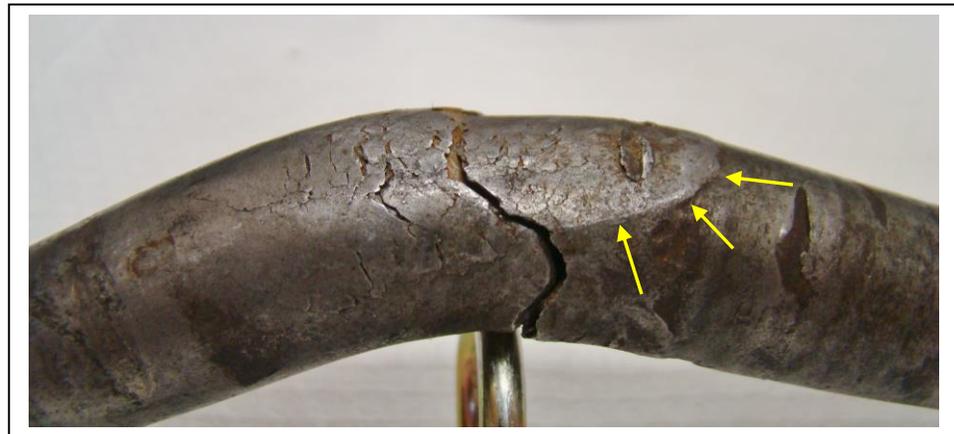


Photo 7. Marque d'écrasement de la goupille en zone d'amorce du bris.

3.5 L'examen microscopique des surfaces de rupture

Nous avons concentré notre examen sur le maillon le plus faible des composantes, c'est-à-dire la goupille afin de mieux comprendre son mécanisme de rupture. Dans la zone d'amorce, son faciès de rupture est couvert de cupules (photo 8) indiquant un déchirement lent de l'acier au départ. Par la suite apparaît le phénomène de clivage (photo 9) sur plus de 95% de la surface de rupture, indiquant un éclatement soudain de l'acier sous tension.

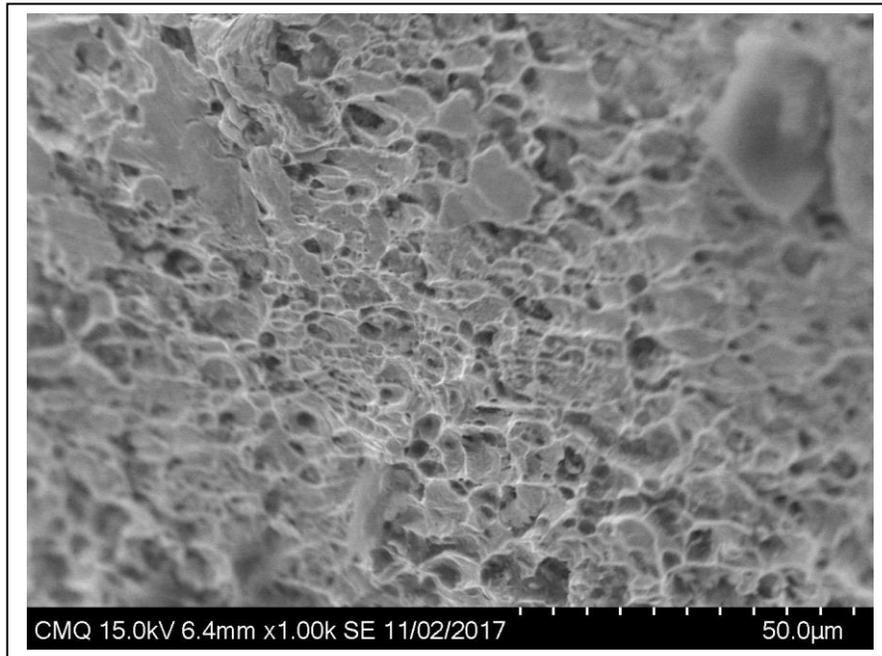


Photo 8. Cupules de ductilité en zone d'amorce de bris de la goupille témoignant d'un déchirement lent de l'acier en début de bris (comme s'il s'agissait de plasticine).

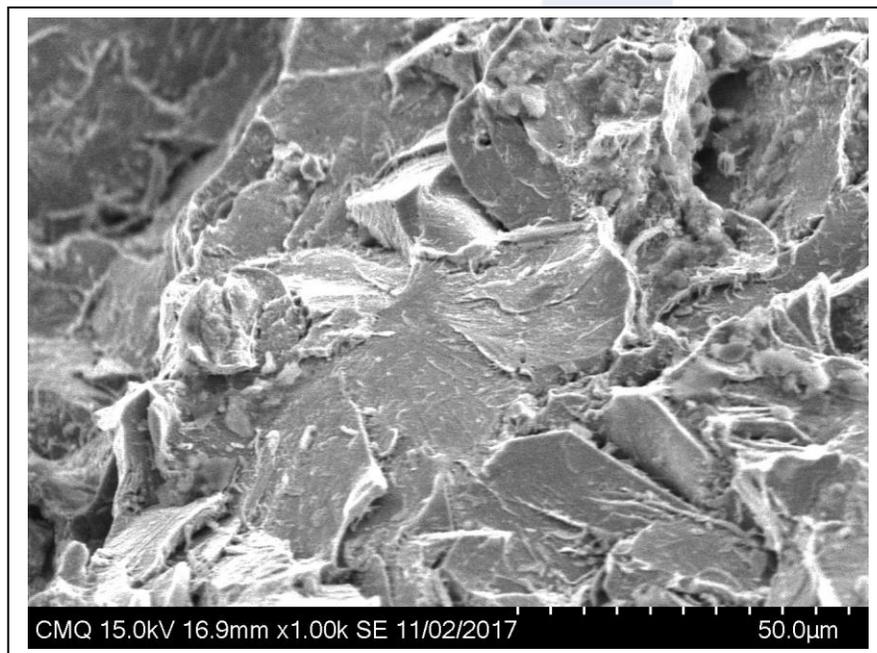


Photo 9. Faciès de clivage sur 95% de la surface de rupture de la goupille témoignant d'un éclatement rapide de l'acier (comme s'il s'agissait de verre).

4 Conclusion

Basés sur les mesures de dureté, les examens visuels, microscopiques et métallographiques des composantes, nous avons déterminé que la manille et la goupille ne présentaient aucun défaut de fabrication et qu'ils s'étaient brisés en service sous les effets séquentiels d'une surcharge lente au moment de la tentative de tire entre les deux tracteurs, suivi de l'éclatement soudain des deux pièces sous l'effet du coup de fouet engendré par le second tracteur déjà en déplacement alors que le câble n'était pas sous tension (mouvement de swing). Ce scénario est la seule façon de briser au même moment deux pièces de résistance ultime différente, c'est-à-dire par impacts.

De plus, comme l'accident est survenu au mois de mars, il faut aussi considérer que la basse température de l'hiver réduit la résistance à l'impact des aciers.

Si nous désirions trouver un lien entre la résistance ultime en traction et la résistance à l'impact de la manille et de la goupille, ceci ne serait pas possible pour deux raisons :

- 1) D'abord parce que l'essai de traction est un essai statique, c'est-à-dire qu'il s'agit d'un essai qui se fait à basse vitesse, alors que l'essai d'impact est un essai dynamique, c'est-à-dire qu'il s'agit d'un essai qui se fait à haute vitesse.
- 2) Ensuite, comme la résistance ultime en traction s'exprime en livres/pouce carré (psi), alors que la résistance à l'impact s'exprime en livres · pied (joules), il n'existe pas d'équivalence entre elles.

En résumé, nous pouvons déduire les événements du 18 mars en se basant sur les deux faciès de rupture adjacents de la goupille, soit un petit faciès de ductilité (photo 8) suivi d'un grand faciès de clivage (photo 9) traduisant le scénario suivant :

- Essai de traction lent entre les deux tracteurs, mais sans succès;
- Essai de traction par coups (swings) entre les deux tracteurs afin de tenter de sortir le tracteur enlisé.


Signature numérique de Luc Lafrenière
DN : cn=Luc Lafrenière, o, ou, email=luc.lafreniere@cegeptr.qc.ca, c=CA
Date : 2018.06.14 09:29:59 -04'00'

Luc Lafrenière, ing.

ANNEXE D

Références bibliographiques

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. *Rigging hardware : Safety standard for cableways, cranes, derricks, hoists, hooks, jacks, and slings*, New York, ASME, 2015, xiv, 36, I-2 p. (ASME B30.26).

ARSENAULT, J. *Gréage et appareils de levage*, Longueuil, ASPHME, 2010, 92p.

BELLIGER, Page Leroy. *Farm and ranch safety management : a vital tool for creating a safe environment within your agricultural enterprises*, 5^e éd., Moline, Ill., John Deere Publishing, 2009, 1 vol.

BEN-MOR INC. *Catalogue industriel*, St-Hyacinthe, Ben-Mor inc., 2018, 136 p.

BOUCHARD, Pierre, et autres. *Gréage et levage : guide de sécurité*, Québec, Publications du Québec, 2006, 174 p.

CENTRE CANADIEN D'HYGIÈNE ET DE SÉCURITÉ DU TRAVAIL. *Fiche d'information SST : Manutention : utilisation des manilles*, [En ligne], 2013, [http://www.cchst.ca/oshanswers/safety_haz/materials_handling/shackles.html?wbdisable=true] (Consulté le 2018-10-05).

CHAÎNES DE TRACTION QUÉBEC. *Chaîne, câble et accessoires : catalogue 2004*, Anjou, Chaînes de traction Québec, 2004, 106 p.

COMMISSION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL DU QUÉBEC. *Interventions sécuritaires en dépannage routier : à l'intention des entreprises de dépannage routier et des conducteurs de dépanneuse*, [Montréal], CSST, 2007, 43 p. (DC:200-16267-2).

DICKIE, Donald Edward. *Manuel du gréeur*, [Québec], Éditeur officiel du Québec, 1981, vii, 196 p.

GRUPE LAM-É/ST-PIERRE. *Catalogue*, Montréal, Groupe Lam-é/St-Pierre, [s.d.], 320 p.

QUÉBEC. *Loi sur la santé et la sécurité du travail, RLRQ, chapitre S-2.1, à jour au 5 juin 2018*, Québec, Éditeur officiel du Québec, 2018.

SAMSON ROPE TECHNOLOGIES INC. *Home page*, [En ligne], 2018, [<http://www.samsonrope.com/Pages/Default.aspx>] (consulté le 2018-10-05).

Tracteurs 7630, 7730, 7830 et 7930, [En ligne], éd. Amérique du Nord, [s.l.], Deere & company, 2009. (OMRE299298).

TRACTORDATA LLC. *Home*, [En ligne], 2000,2018, [<http://www.tractordata.com/>] (Consulté le 2018-10-05).

VAN BEEST B.V. *Side loads Shackles* [En ligne], [s.d.], [http://www.vanbeest.nl/mwg-internal/de5fs23hu73ds/progress?id=fUx0a1rE1Iua9ZsEpSEq9Pp2vEB_JprQloSg2UP-gFU,&dl] (Consulté le 2018-10-05).

WHITFORD, Fred, et autres. *Extracting stuck equipment safely : how to avoid expensive and painful incidents*, West Lafayette : Ind., 2012, 96 p. (PPP-98).

WRECKMASTER INC. *Sceau d'excellence du remorquage – Cahier d'exercice de niveau 2/3*, P.O. Box 473, Lewiston, New York 14092, Wreckmaster inc., 40 p.

WRECKMASTER INC. *Sceau d'excellence du remorquage – Cahier d'exercice de niveau 4/5*, P.O. Box 473, Lewiston, New York 14092, Wreckmaster inc., 40 p.