

RAPPORT D'ENQUÊTE

**Accident mortel survenu à un travailleur de Construction
Techno-Bois inc., le 10 février 2010, au chantier
d'agrandissement du Manoir Notre-Dame au
680, boulevard St-Joseph à Roberval**

Direction régionale du Saguenay–Lac-Saint-Jean

Inspecteurs :

Suzanne Larouche, ing.

Michel Nemeth

Date du rapport : 7 juillet 2010

Rapport distribué à :

- Monsieur , Techno-Bois inc.
- Monsieur , Conception Habitat 2000 (maître d'œuvre)
- Monsieur Carol Gagné, coroner
- Monsieur Donald Aubin, directeur de la santé publique
- FTQ Construction
- CSN Construction
- CSD Construction
- Conseil provincial du Québec des métiers de la construction (CPQMC)
- Syndicat québécois de la construction

TABLE DES MATIÈRES

<u>1</u>	<u>RÉSUMÉ DU RAPPORT</u>	<u>1</u>
<u>2</u>	<u>ORGANISATION DU TRAVAIL</u>	<u>3</u>
2.1	STRUCTURE GÉNÉRALE DES ÉTABLISSEMENTS ET DU CHANTIER	3
2.1.1	CONSTRUCTION TECHNO-BOIS INC.	3
2.1.2	CONCEPTION HABITAT 2000 INC.	3
2.1.3	CHANTIER DU MANOIR NOTRE-DAME	3
2.2	ORGANISATION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL	4
2.2.1	MÉCANISMES DE PARTICIPATION (TECHNO-BOIS ET HABITAT 2000)	4
2.2.2	GESTION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ	5
2.2.2.1	Techno-Bois inc.	5
2.2.2.2	Conception Habitat 2000 inc.	5
2.2.2.3	Chantier du Manoir Notre-Dame	6
<u>3</u>	<u>DESCRIPTION DU TRAVAIL</u>	<u>7</u>
3.1	DESCRIPTION DU LIEU DE TRAVAIL	7
3.2	DESCRIPTION DU TRAVAIL À EFFECTUER	8
3.2.1	ACTIVITÉ IMPLIQUÉE	8
3.2.2	NACELLE À MÂT TÉLESCOPIQUE	9
<u>4</u>	<u>ACCIDENT: FAITS ET ANALYSE</u>	<u>10</u>
4.1	CHRONOLOGIE DE L'ACCIDENT	10
4.2	CONSTATATIONS ET INFORMATIONS RECUEILLIES	12
4.2.1	CONSTATATIONS LE JOUR DE L'ACCIDENT (10 FÉVRIER 2010)	12
4.2.2	EXPERTISE	13
4.2.3	LOIS, RÈGLEMENTS ET NORMES	14

4.2.3.1	Loi sur la santé et la sécurité du travail (L.R.Q., c. S-2.1)	14
4.2.3.2	Code de sécurité pour les travaux de construction (L.R.Q., c. S-2.1, r.6)	14
4.2.3.3	Norme canadienne Plates-formes de travail élévatrices automotrices à bras articulé (CAN/CSA-B354.4-02)	14
4.2.3.4	Manuel d'utilisation et de sécurité, Élévateurs à flèches, Modèles 600S, 600SJ, 660SJ de JLG	14
4.2.4	NACELLE À MÂT TÉLESCOPIQUE	15
4.2.5	LOCATEUR D'ÉQUIPEMENTS	15
4.2.6	FORMATION DES TRAVAILLEURS	16
4.2.7	AUTRES CONSTATATIONS	16
4.3	ÉNONCÉS ET ANALYSE DES CAUSES	17
4.3.1	LE TRAVAILLEUR EST ÉJECTÉ SOUS L'EFFET D'UN COUP DE FOUET.	17
4.3.2	LA GESTION EST DÉFICIENTE EN MATIÈRE D'UTILISATION D'UNE NACELLE.	18
4.3.3	LES CAPACITÉS DE TRACTION ET DE FREINAGE D'UNE NACELLE À DEUX ROUES MOTRICES SONT LIMITÉES SUR UN SOL GLACÉ.	19
5	<u>CONCLUSION</u>	21
5.1	CAUSES DE L'ACCIDENT	21
5.2	AUTRES DOCUMENTS ÉMIS LORS DE L'ENQUÊTE	21
 <u>ANNEXES</u>		
ANNEXE A:	L'accidenté	22
ANNEXE B:	Plan du relevé d'arpentage	24
	Plan de localisation de la nacelle	25
ANNEXE C:	Liste des témoins et des autres personnes rencontrées	26
ANNEXE D:	Rapport d'expertise	27
ANNEXE E:	Références bibliographiques	45

SECTION 1**1 RÉSUMÉ DU RAPPORT****Description de l'accident**

Le mercredi 10 février 2010, deux travailleurs complètent la pose du bardeau en bordure de la toiture de l'édifice en construction destiné à l'agrandissement du Manoir Notre-Dame à Roberval. Ils utilisent une nacelle à mât télescopique. Pour terminer leur travail, ils doivent avancer la nacelle d'environ 60 cm. Lors de la manœuvre de déplacement, au freinage, la nacelle dérape dans le talus situé devant les roues de l'appareil. En dérapant, la nacelle pivote et frappe le mur du bâtiment en construction. Le mât subit un coup de fouet. L'opérateur est alors éjecté du panier de la nacelle, il frappe le mur du bâtiment existant et tombe au sol.

Conséquence

L'opérateur décède.



Photo 1: La nacelle après l'accident.

Source: Sûreté du Québec

Abrégé des causes

- Le travailleur est éjecté sous l'effet d'un coup de fouet.
- La gestion est déficiente en matière d'utilisation d'une nacelle.
- Les capacités de traction et de freinage d'une nacelle à deux roues motrices sont limitées sur un sol glacé.

Mesures correctives

Le 10 février 2010, l'arrêt des travaux de toiture à partir d'une nacelle à mât télescopique est signifié par le biais du rapport . Les conditions de reprise des travaux y sont consignées.

Le 1^{er} mars 2010, le rapport autorise la reprise des travaux à la suite de la transmission à la CSST d'une méthode de travail sécuritaire.

Le rapport du 29 mars 2010 précise les conditions de remise en service de la nacelle accidentée, laquelle est remise au locateur après l'apposition d'un scellé.

Le présent résumé n'a pas comme tel de valeur légale et ne tient lieu ni de rapport d'enquête, ni d'avis de correction ou de toute autre décision de l'inspecteur. Il ne remplace aucunement les diverses sections du rapport d'enquête qui devrait être lu en entier. 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 des établissements et du chantier

2.1.1 Construction Techno-Bois inc.

L'entreprise Construction Techno-Bois inc., ci-après nommée Techno-Bois, est située à Saguenay, arrondissement de Jonquière. Elle emploie de 5 à 8 travailleurs au plus fort de la saison de construction. M. [redacted] en est le principal actionnaire et il agit à titre de président de la compagnie.

La construction résidentielle représente 80 % des activités de Techno-Bois, le reste étant de la construction de types commercial (15 %) et industriel (5 %).

2.1.2 Conception Habitat 2000 inc.

La compagnie Conception Habitat 2000 inc., ci-après nommée Habitat 2000, est située à Laval. Elle emploie de 10 à 25 personnes et gère les chantiers de construction de la société en commandite Réseau Sélection. Cette dernière administre des résidences de personnes âgées autonomes. Habitat 2000 réalise principalement les chantiers du Réseau Sélection.

En tout temps, trois ou quatre surintendants s'occupent des chantiers de l'entrepreneur. Lorsque des chantiers se trouvent dans les régions éloignées de la couronne de Montréal, un surintendant de la région concernée est embauché pour représenter la compagnie à temps plein sur le chantier.

Le service des ressources humaines du Réseau Sélection s'occupe des employés de Habitat 2000. [redacted] des ressources humaines et [redacted] santé et sécurité du travail, sont les deux personnes identifiées pour la gestion des activités de santé et de sécurité du travail.

2.1.3 Chantier du Manoir Notre-Dame

Pour le chantier du Manoir Notre-Dame, Habitat 2000 confie, en plus d'un contrat de sous-traitance, le mandat de gestion de projet à Techno-Bois. Le contrat de gestion stipule que Techno-Bois effectue aussi des tâches reliées à la gestion du programme de sécurité. À cet effet, M. [redacted] est présent sur le chantier à titre de surintendant depuis le début des travaux en septembre 2009, et ce, jusqu'au début 2010. Toutefois, à compter de 2010, M. [redacted] devient le surintendant du chantier tandis que M. [redacted] en demeure le chargé de projet. Dans ce rapport, lorsque nous référerons au surintendant du chantier, il peut s'agir de l'une ou l'autre de ces personnes, selon le contexte.

Depuis le début du chantier, Habitat 2000 loue les travailleurs de Techno-Bois pour effectuer des travaux non inclus dans le contrat de sous-traitance de cette dernière. L'organigramme ci-dessous représente la structure générale sur le chantier. Il a été réalisé à partir des informations recueillies au chantier le jour de l'accident de travail et, par la suite, auprès des intervenants de Habitat 2000 à Laval.

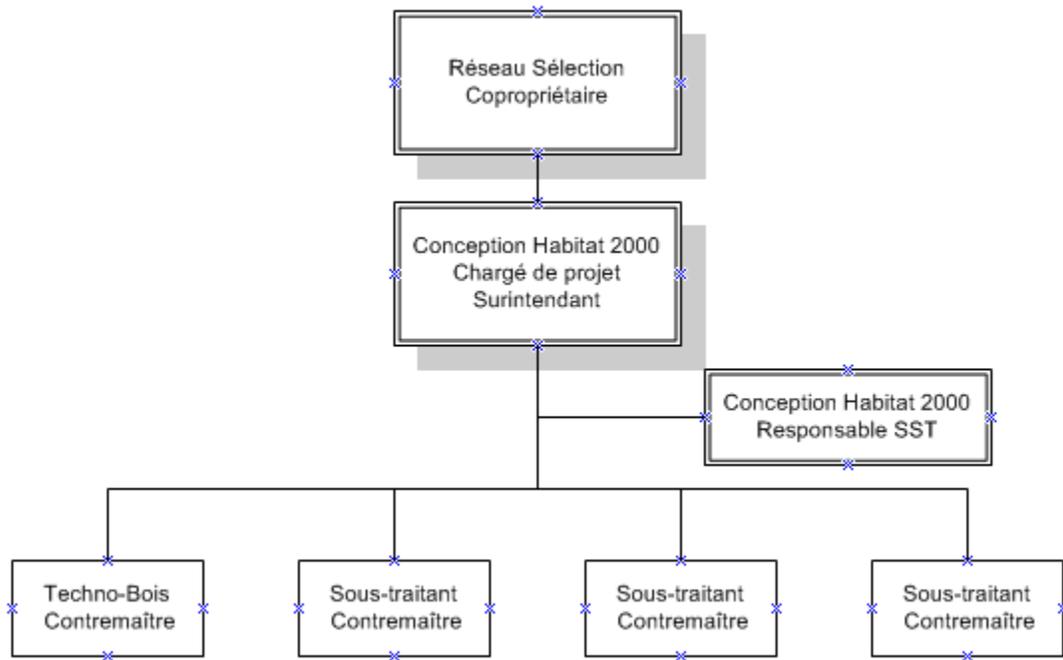


Figure 1 : Organigramme de la structure du chantier

Source : CSST

2.2 Organisation de la santé et de la sécurité du travail

2.2.1 Mécanismes de participation (Techno-Bois et Habitat 2000)

Les entreprises Techno-Bois et Habitat 2000 font partie du groupe prioritaire « Bâtiments et travaux publics » (BTP). Ce groupe comprend les entreprises œuvrant dans le domaine de la construction. L'inclusion dans ce groupe oblige les entreprises à avoir un programme de prévention. Depuis 2000, chacune des deux entreprises fait partie d'une mutuelle de prévention. Ce type de mutuelle est un regroupement d'employeurs dont le principal objectif est la prévention. Pour cela, ils unissent leur expérience en matière de santé et de sécurité du travail.

2.2.2 Gestion de la santé et de la sécurité

2.2.2.1 Techno-Bois inc.

L'entreprise possède un programme de prévention, lequel est utilisé sur les chantiers. Ce programme de prévention comprend le plan d'action permettant d'identifier les risques associés aux activités propres à l'entreprise. Il présente des mesures correctives et identifie les responsables de la réalisation du plan d'action. Pour consigner les différentes interventions effectuées sur les chantiers, le programme de prévention inclut entre autres, des formulaires d'enregistrement des accidents, des documents d'attestation de lecture des règles de sécurité et des comptes rendus des pauses sécurité. La liste des secouristes et les principaux numéros d'urgence complètent le programme de prévention.

Pour en vérifier l'application sur le chantier concerné, le propriétaire de l'entreprise se présente régulièrement sur place. C'est le surintendant du chantier qui anime les pauses sécurité, mais de l'entreprise est responsable du suivi des événements en santé et sécurité du travail. Pour s'acquitter de cette tâche, il a été formé en 2006 par sa mutuelle de prévention sur les activités de gestion en santé et sécurité du travail.

2.2.2.2 Conception Habitat 2000 inc.

L'entreprise possède un programme de prévention. Ce dernier est personnalisé pour chaque chantier en y insérant, par exemple, le plan de localisation du chantier et l'itinéraire de l'hôpital le plus proche. Il présente aussi des informations générales à propos du chantier concerné (ex. : échancier, effectifs, coût des travaux, principaux intervenants). Il n'y a pas de procédure concernant l'utilisation d'une nacelle.

Depuis l'automne 2009, l'entreprise procède à la mise à jour de son programme de prévention. En 2010, elle applique déjà des correctifs qu'elle a identifiés.

des ressources humaines du Réseau Sélection et santé et sécurité du travail, supervisent la mise à jour du programme de prévention. Mme s'assure que les outils de suivi tels les formulaires et comptes rendus, requis par le programme de prévention, sont complétés sur les chantiers et acheminés au siège social. Elle reçoit et lit ces documents chaque semaine. Elle intervient auprès du surintendant concerné dès qu'elle constate des points à corriger.

En 2009, les surintendants et les contremaîtres de Habitat 2000 ont reçu de la formation. Un conseiller de l'Association paritaire pour la santé et la sécurité du travail du secteur de la construction (ASP Construction) a donné des formations sur les sujets suivants :

- Protection contre les chutes;
- Le superviseur et la pause sécurité;
- Travaux à proximité des lignes électriques;
- Silice;
- Utilisation sécuritaire des échafaudages à cadrage métallique.

Depuis 2009, une politique de « Tolérance 0 » est mise en application par Habitat 2000. Ainsi, les travailleurs sont informés lors de leur accueil au chantier que le non-respect des règles de sécurité peut entraîner leur expulsion du chantier. Le non-respect des règles en matière de travail en hauteur amène l'expulsion automatique, sans avis préalable.

2.2.2.3 Chantier du Manoir Notre-Dame

Au chantier d'agrandissement du Manoir Notre-Dame à Roberval, Habitat 2000 est le maître d'œuvre. Ce dernier délègue la maîtrise d'œuvre à Techno-Bois par le contrat de gestion de projet qui comprend, entre autres, les tâches reliées à la gestion du programme de sécurité. Comme le nombre de travailleurs présents au même moment sur le chantier n'atteindra pas vingt-cinq (25), il n'y a pas d'obligation réglementaire en vertu de l'article 2.5.1 du *Code de sécurité pour les travaux de construction* de constituer un comité de chantier.

Le surintendant est le représentant du maître d'œuvre au chantier. Le chargé de projet se présente au chantier au moins une fois par semaine pour assurer le suivi des opérations avec le surintendant.

Depuis le début du chantier, le surintendant tient une rencontre tous les lundis matin avec les contremaîtres des différents sous-traitants. On y discute des travaux à venir au cours de la semaine et on rappelle les mesures de sécurité à mettre en place. Chaque contremaître doit présenter à ses travailleurs le compte rendu de cette rencontre. Chaque travailleur le signe pour attester qu'il a reçu les informations. Le compte rendu est retourné au maître d'œuvre avant la fin de la semaine.

Outre les réunions hebdomadaires du surintendant, le chargé de projet anime une fois par mois une rencontre de sécurité à laquelle tous les travailleurs du chantier doivent assister.

SECTION 3

3 DESCRIPTION DU TRAVAIL

3.1 Description du lieu de travail

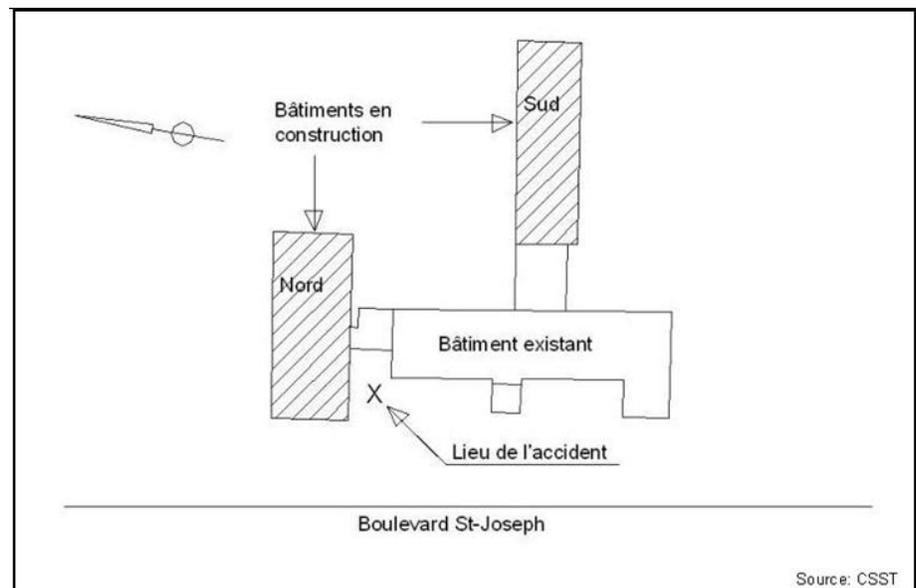
Le chantier où est survenu l'accident mortel se trouve au 680, boulevard St-Joseph à Roberval. Les travaux consistent en l'agrandissement du Manoir Notre-Dame, une résidence pour personnes âgées.



Source: Sûreté du Québec

Photo 2: Façade du Manoir Notre-Dame

Les travaux d'agrandissement se déroulent sur deux secteurs, soit au sud-est (section sud) et au nord (section nord) du bâtiment existant. L'accident survient entre la section nord et le bâtiment existant.



Source: CSST

Figure 2: Croquis du Manoir Notre-Dame

Le lieu de l'accident présente un terrain plat en continuité du stationnement situé en face du bâtiment existant. La zone plane se termine par un talus descendant vers la fondation du bâtiment. Le talus présente une pente de 40%, c'est-à-dire un dénivelé de 2 m sur une distance de 5 m. La photo 3 montre le talus et la position du véhicule après l'accident. Le sol est glacé au moment de l'accident.



Source: Sûreté du Québec

Photo 3: Lieu de l'accident vu à partir du bas du talus

Les jours précédant l'accident, des rebuts de bois ont été déposés au bord du talus.

3.2 Description du travail à effectuer

3.2.1 Activité impliquée

Au moment de l'accident, deux équipes de deux travailleurs s'affairent à couvrir la toiture du bâtiment de la section nord. Les quatre travailleurs sont des charpentiers menuisiers. Le toit comporte une partie centrale plate et une pente au pourtour de l'ordre de 19° (4V :12H) sur 4,4 m (14 pieds) de profondeur.

Une équipe travaille à partir du toit. Ces deux travailleurs portent un harnais de sécurité muni d'un lien de retenue et d'un absorbeur d'énergie et sont attachés à un ancrage individuel à l'aide d'une corde verticale. Le lien de retenue est relié à leur corde verticale à l'aide d'un coulisseau permettant d'en ajuster la longueur selon leur position sur le toit.

La deuxième équipe travaille en utilisant une plate-forme élévatrice à mât télescopique, aussi appelée nacelle à mât télescopique, que nous appellerons maintenant nacelle. Pour éviter à l'équipe sur le toit de travailler dans une position à risque de basculer dans le vide, l'équipe au sol installe les bardeaux d'asphalte en bordure du toit à l'aide de la nacelle, sur une profondeur d'environ 1 m.

L'accident survient en avançant la nacelle pour la rapprocher de la bordure du toit.

3.2.2 Nacelle à mât télescopique

La nacelle louée pour utilisation sur le chantier présente les caractéristiques suivantes :

- Marque JLG, modèle 660SJ à deux roues motrices et à deux roues directrices;
- Pneus gonflés de type construction;
- Vitesse maximale : 6,8 km/h (4,25 mph);
- Année de fabrication 1998, selon la plaque signalétique;
- Hauteur maximale : 20,1 mètres (66 pieds);
- Déclivité admissible 30 %. Cela indique le pourcentage de pente maximum que peut atteindre la nacelle.

La photo suivante permet d'identifier les différentes parties de la nacelle à mât télescopique.

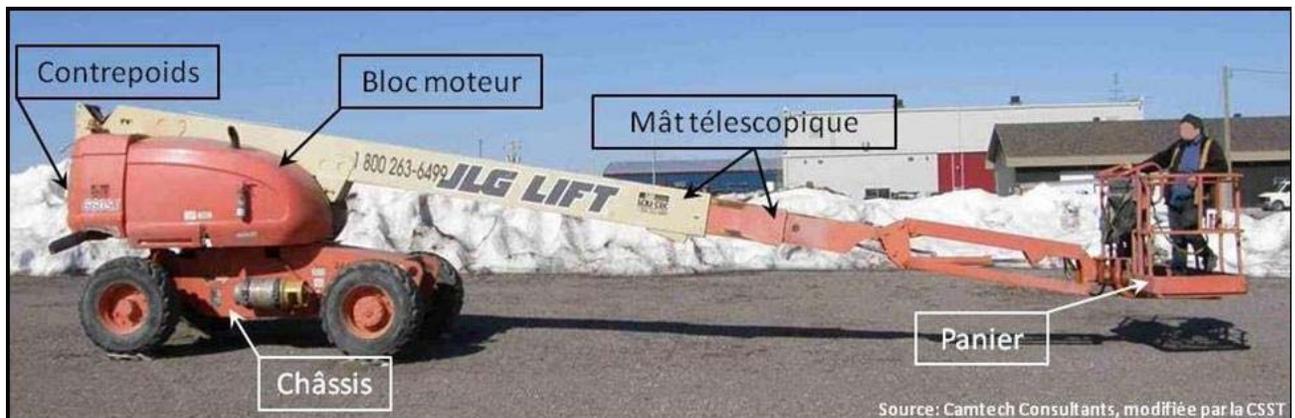


Photo 4: Nacelle à mât télescopique

SECTION 4

4 ACCIDENT: FAITS ET ANALYSE

Les informations relatives à la victime sont incluses à l'annexe A. Un plan de localisation du lieu de l'accident de même qu'un plan de levé d'arpentage se trouvent à l'annexe B.

4.1 Chronologie de l'accident

Les travaux de toiture de la section nord débutent le jeudi 4 février 2010. M. et M. forment l'équipe qui travaille à partir du sol à l'aide de la nacelle, tandis que deux autres travailleurs effectuent les travaux sur le toit. M. opère la nacelle. Son confrère agit comme signaleur au besoin.

Le mardi 9 février, l'équipe au sol finit la journée dans le secteur joignant la section nord au bâtiment existant. Avant de quitter les lieux, le panier de la nacelle est placé sur le côté de l'agrandissement, sans que le châssis ne soit bougé.

Le 10 février, il reste à compléter la noue (rencontre de deux versants de la toiture formant un angle rentrant) entre le toit de la section nord et celui du bâtiment existant.



Photo 5: Localisation de la zone de travail à compléter

Une fois la nacelle en marche, les deux travailleurs en font une inspection avant départ, montent dans le panier et s'attachent aux ancrages. Ils s'élèvent dans le coin sud-est de la section nord, ce qui constitue la zone la plus éloignée par rapport à la capacité d'extension du mât de la nacelle.

Rendus à ce point de travail, les deux travailleurs constatent qu'il leur manque environ 40 à 60 cm pour être en position confortable. En regardant au sol, ils constatent qu'avant d'atteindre le talus, il reste devant la nacelle un espace suffisant pour l'avancer vers le bâtiment.

Ils abaissent le panier au sol et en descendent. Ils s'approchent du châssis et inspectent le secteur pour planifier la manœuvre. Ils enlèvent une partie des débris de bois remisés en bordure du talus pour permettre d'avancer la nacelle sur une distance d'environ 60 cm. Le signaleur se place au

nord de la nacelle, entre l'arbre et le bâtiment en construction, pour indiquer les manœuvres de déplacement à son confrère (voir plan de localisation de la nacelle, annexe B).



Photo 6: Emplacement du châssis de la nacelle

L'opérateur remonte dans le panier de la nacelle et tente d'avancer vers le bâtiment. À la première tentative, les roues motrices tournent sur elles-mêmes. Pour se donner un élan, l'opérateur recule d'environ 30 à 60 cm et repart vers l'avant. Le signaleur lui indique d'arrêter la nacelle dès qu'elle atteint l'endroit prévu. Il voit alors les roues bloquer et l'appareil continuer à glisser par à-coups vers le bâtiment.

De sa position, le signaleur voit les roues directrices déraiper dans le talus et la nacelle se déstabiliser. La nacelle descend dans le talus en pivotant dans le sens antihoraire. Le contre poids termine sa course contre le mur de fondation du bâtiment en construction, ce qui provoque un coup de fouet au niveau du panier éjectant le travailleur (voir plan de localisation de la nacelle, annexe B). Le signaleur aperçoit son confrère au moment où il tombe en chute libre le long du mur de façade du bâtiment existant. Il accourt pour lui porter secours.



Photo 7: Trace de glissement des roues dans le haut du talus

Même s'ils n'ont pas vu l'accident, les deux confrères œuvrant sur le toit entendent l'appel du signaleur et se précipitent pour porter secours à la victime. Un travailleur entreprend les manœuvres de réanimation jusqu'à l'arrivée des services ambulanciers. La victime est transportée au centre hospitalier de Roberval où son décès est constaté.

4.2 Constatations et informations recueillies

Les constatations et informations recueillies proviennent de témoignages, d'observations, de plans, de relevés et de rapports des différents intervenants. La liste des personnes rencontrées ou contactées est incluse à l'annexe C.

4.2.1 Constatations le jour de l'accident (10 février 2010)

- Le panier est appuyé sur un des poteaux d'acier des balcons du bâtiment existant;
- Le poteau d'acier ne présente pas de trace d'impact dans la zone de contact avec le panier;
- Le panier est incliné vers le bâtiment existant;
- La porte du panier est ouverte;



Photo 8: Nacelle appuyée sur le balcon

- Le panier se situe à près d'un (1) mètre du mur du bâtiment existant et à environ 3,5 m du sol;
- Le cadre de PVC de la fenêtre située en face du panier est brisé;
- Le sélecteur de vitesse (pour le déplacement de la nacelle) du poste de commande dans le panier est en position centrale (bas régime);
- Le contrepoids de la nacelle est appuyé sur la fondation de la section nord;
- Les roues directrices de la nacelle se trouvent du côté du mur de fondation;
- Le mât de la nacelle est au-dessus des roues motrices (roues arrière);
- Le mât télescopique est allongé d'environ 1,1 m;
- Le sol est glacé dans le secteur où se trouvait la nacelle avant son dérapage.

4.2.2 Expertise

La CSST confie à un ingénieur mécanique spécialisé en équipement de transport et de levage un mandat d'expertise sur la nacelle accidentée. Ce rapport figure à l'annexe D.

Voici certains faits relevés lors de l'expertise :

- L'inspection de la nacelle démontre qu'elle est en bon état, en excluant les bris causés par l'accident;
- Seules les roues motrices sont équipées de freins;
- Les pneus de type construction sont en bon état;
- La longueur de flèche au moment de l'opération de déplacement est de 10,59 m;
- « Ce type d'équipement est propulsé par un moteur et une transmission hydraulique. Ce système fait aussi fonction de système de freinage. Cette nacelle est de type 4×2, c'est-à-dire que seul l'essieu arrière est moteur et conséquemment est équipé de freins. »;
- L'angle de rotation de la nacelle est estimé à environ 100° selon les photos;
- La vitesse d'expulsion de l'opérateur à la suite du coup de fouet est estimée entre 30 et 40 km/h;
- Le coefficient de friction de la glace varie de 0,05 (glace humide) à 0,25 (glace sèche);
- L'expert estime que, le jour de l'accident, le coefficient de friction sur la chaussée glacée non sablée est de 0,15 ou moins;
- Pour une vitesse de 2 km/h et un coefficient de friction de la chaussée de 0,15, une nacelle de type 4×4 arrête sur une distance de 20 cm tandis qu'une nacelle 4×2 ne réussit pas;
- La capacité de freinage d'une nacelle 4×4 est presque doublée par rapport à une 4×2;
- La traction est supérieure pour une nacelle 4×4 versus une 4×2.

Selon son analyse, l'expert considère que :

- « Il y a eu bien entendu une erreur puisqu'il y a eu l'accident mais celle-ci, une erreur d'appréciation de la capacité de freinage en fonction du coefficient de friction, est facilement compréhensible en fonction du niveau de formation et la compétence des opérateurs de ce type de machinerie.[...] il y a une méconnaissance générale des utilisateurs de véhicules motorisés de la problématique traction-freinage-friction. »;
- « ...l'opérateur n'aurait pas eu à reculer [avec une nacelle 4×4] avant d'avancer pour se positionner correctement. La traction supérieure d'un système 4×4 aurait permis d'avancer directement à la bonne position en roulant sur le très léger obstacle qui a empêché la nacelle

accidentée du type 4×2 de le faire. Cela aurait donc évité que l'opérateur prenne un élan avant de devoir freiner sur une courte distance avec un faible coefficient de friction. »;

- « ...la capacité de freinage d'un modèle 4×4 est largement supérieure puisque les freins sont seulement sur les roues motrices sur ce type d'équipement. Cette capacité est supérieure aussi bien pour la force de freinage du système, moins ou peu utile dans le cas de ce type de machine, que pour la force de friction disponible qui est presque doublée dans le cas présent et qui est, elle, absolument essentielle pour arrêter un véhicule circulant à basse vitesse sur la glace. Avec un système 4×4, chaque roue doit arrêter son propre poids porté, alors qu'avec un système 4×2 chaque roue freinée doit arrêter presque le double du poids porté. »

4.2.3 Lois, règlements et normes

4.2.3.1 *Loi sur la santé et la sécurité du travail (L.R.Q., c. S-2.1)*

L'article 51 de la Loi encadre les obligations de l'employeur. L'alinéa 5 stipule qu'il doit « utiliser les méthodes et techniques visant à identifier, contrôler et éliminer les risques pouvant affecter la santé et la sécurité du travailleur. »

4.2.3.2 *Code de sécurité pour les travaux de construction (L.R.Q., c. S-2.1, r.6)*

L'article 3.2.4 c) du *Code de sécurité pour les travaux de construction* stipule que « les voies de circulation, les allées et tout poste ou lieu de travail en général doivent être saupoudrés de sable ou d'un autre produit antidérapant afin de prévenir les glissades et les risques de chutes. »

4.2.3.3 *Norme canadienne Plates-formes de travail élévatrices automotrices à bras articulé (CAN/CSA-B354.4-02)*

L'article 6.4.1.2 de la norme signale que « tous les occupants de la plate-forme élévatrice doivent porter un dispositif antichute. Ce dispositif doit permettre aux travailleurs de se déplacer sur la plate-forme tout en laissant le minimum de mou dans la corde d'assurance. Le dispositif antichute doit être relié à l'ancrage de la plate-forme élévatrice conformément aux instructions du constructeur... »

4.2.3.4 *Manuel d'utilisation et de sécurité, Élévateurs à flèches, Modèles 600S, 600SJ, 660SJ de JLG*

Le manuel du fabricant précise les consignes de sécurité suivantes :

- « Pendant le fonctionnement, toute personne se trouvant à bord de la plate-forme doit porter un harnais de sécurité attaché par une sangle à un point de fixation agréé. Fixer une (1) seule sangle par point de fixation. » (Page 1-4);
- « Avant d'utiliser la machine, s'assurer que tous les portillons sont fermement fermés dans la position adéquate » (Page 1-4);

- « Garder le châssis de la machine à au moins 0,6 m (2 ft) des trous, bosses, dévers, obstructions, débris et revêtements susceptibles de dissimuler des trous et autres dangers au niveau du sol/de la surface. » (Page 1-7).

4.2.4 Nacelle à mât télescopique

Les informations suivantes ont été recueillies lors des témoignages, dans les documents du fabricant et à partir des constatations sur la nacelle accidentée :

- Durant la semaine d'utilisation de la nacelle, il est arrivé que les roues tournent sur elles-mêmes lors des déplacements autour du bâtiment en construction;
- Les utilisateurs considèrent normal le fait que les roues motrices tournent sur elles-mêmes;
- Selon un travailleur, les nacelles de type de construction sont toujours 4×4, deux roues en croisé assurant la traction selon la friction au sol;
- Les spécifications du fabricant de la nacelle indiquent que pour une 660SJ à 4 roues motrices, la déclivité admissible est de 45 %;
- La plaque signalétique de la nacelle accidentée indique une déclivité admissible de 30 %;
- Le même modèle existe en version à 4 roues motrices. Selon les spécifications techniques du fabricant, la seule différence entre les deux est la déclivité qui s'élève à 45 % pour la version à 4 roues motrices. De plus, le modèle 660SJ peut se présenter avec deux ou quatre roues directrices. Quatre roues directrices permettent de manœuvrer la plate-forme sur un espace restreint, toutes les roues tournant dans la direction de déplacement;
- Aucune indication sur la nacelle ne précise s'il s'agit d'une 4×2 ou 4×4;
- La vitesse de pointe de toutes les nacelles 660SJ est de 6,8 km/h (4,25 mph).
- La vérification théorique de la capacité de la nacelle à partir des spécifications du fabricant et du plan de levé d'arpentage détermine qu'à l'extension maximale du mât, le châssis de la nacelle se situe à une distance de 2 à 2,5 m du haut de talus.

4.2.5 Locateur d'équipements

Les informations suivantes proviennent de l'entreprise de location d'équipements et de l'entrepreneur :

- Le catalogue 2010 du locateur, élaboré pour tous les centres de location de la même bannière au Québec, décrit à la page 41 le modèle 660SJ avec la mention : nacelle à mât droit 4×4, alors que d'autres dans la même page n'ont pas cette mention;

- Une note inscrite au bas de la page 41 du catalogue du locateur indique que « les taux et les produits peuvent varier d'un centre à l'autre »;
- Selon les témoignages recueillis auprès du locateur, le comportement d'une nacelle 4×4 est semblable à celui d'un modèle 4×2;
- Le président de Techno-Bois est convaincu que la nacelle qu'il loue est de type 4×4.

4.2.6 Formation des travailleurs

- L'opérateur reçoit la formation *Plates-formes de travail élévatrices* à l'interne, le 5 septembre 2007;
- Le document utilisé par l'employeur pour former l'opérateur provient d'une mutuelle de prévention. Il spécifie que les voies de circulation doivent être exemptes de glace et de neige et recouvertes d'un produit antidérapant comme le sable pour éviter le glissement de la plate-forme lors des déplacements;
- Le signaleur a suivi une formation d'une durée de 14 heures portant sur les nacelles aériennes et les plates-formes élévatrices dans un centre de formation professionnelle, du 17 au 20 novembre 2008;
- Les deux travailleurs sont expérimentés en ce qui a trait à l'utilisation d'une nacelle.

4.2.7 Autres constatations

- Le 25 janvier, il tombe de la pluie verglaçante;
- Le maître d'œuvre fait sabler le chantier après l'épisode de pluie verglaçante;
- Entre le 26 janvier et le 10 février, il y a 10 jours où Environnement Canada enregistre des précipitations de neige;
- Il n'y a pas de document attestant d'opération de sablage du chantier après le 26 janvier.

4.3 Énoncés et analyse des causes

4.3.1 Le travailleur est éjecté sous l'effet d'un coup de fouet.

La nacelle, en dérapant dans le talus, glisse en pivotant vers la gauche. Le mât suit la même trajectoire et prend de la vitesse. L'arrêt brutal de la nacelle lorsque son contrepoids atteint le mur de fondation du bâtiment en construction provoque, au bout du mât, un coup de fouet qui éjecte l'opérateur du panier.

Le travailleur ne se rattache pas lorsqu'il remonte dans le panier à la suite de la vérification de la manœuvre de déplacement. C'est pourquoi il chute au sol, après avoir frappé le mur du bâtiment existant lors de sa projection.

La norme canadienne *CAN/CSA-B354.4-02 Plates-formes de travail élévatrices automotrices à bras articulé* signale à l'article 6.4.1.2 que « tous les occupants de la plate-forme élévatrice doivent porter un dispositif antichute [...] Le dispositif antichute doit être relié à l'ancrage de la plate-forme élévatrice conformément aux instructions du constructeur... » Dans son manuel, le fabricant fait la même mise en garde quant à la nécessité de s'attacher. De plus, il précise de fixer une seule sangle par point de fixation.

La faible distance entre le panier appuyé au poteau du balcon et le mur indique que le travailleur, même attaché, aurait percuté le bâtiment. Par contre, la chute de 3,5 m au sol aurait été évitée. On ne peut toutefois déterminer si l'issue de l'accident aurait été différente. En effet, la vitesse d'éjection estimée par l'expert suggère que la collision avec le mur se serait produite entre 30 et 40 km/h. Une telle vitesse de collision est suffisante pour engendrer des blessures graves, voire mortelles.

L'obligation de s'attacher dans une nacelle demeure la seule façon d'assurer la protection de travailleurs soumis à un coup de fouet. Les coups de fouet vont généralement se produire lorsqu'une roue de la nacelle rencontre un trou ou une bosse provoquant sa déstabilisation. Un petit déplacement au sol engendre une secousse de plus grande amplitude au bout du mât. Le travailleur éjecté dans ces conditions se trouve protégé contre les chutes.

La projection du travailleur hors du panier de la nacelle à la suite du coup de fouet a provoqué sa collision contre le mur et sa chute au sol, lui infligeant des blessures mortelles.

Cette cause est retenue.

4.3.2 La gestion est déficiente en matière d'utilisation d'une nacelle.

Le 25 janvier 2010, de la pluie verglaçante tombe à Roberval. Le surintendant ferme le chantier pour la journée. Il le fait entièrement sabler avant de reprendre les travaux le lendemain. Du 26 janvier au 10 février, selon les données d'Environnement Canada, il y a eu dix jours où la station de Roberval enregistre des averses de neige. Le surintendant ne fait pas sabler le chantier entre le 26 janvier et le 4 février, jour du début des travaux à l'aide de la nacelle.

Le 4 février, il aurait été essentiel de vérifier les endroits où la machine devait circuler afin de s'assurer de la sécurité des déplacements. En effet, la stabilité de ces appareils et leur capacité de se déplacer reposent grandement sur la nature de leurs assises.

Ainsi, avant de commencer des travaux avec une nacelle, une vérification systématique de l'environnement où elle circulera devrait faire partie d'un protocole de travail. Celui-ci aurait permis de déterminer les préparatifs requis, par exemple : la préparation de la chaussée par du nivellement, l'ajout de protection à proximité de talus, le sablage de la chaussée en période hivernale, etc. Un tel protocole de travail, inclus au programme de prévention de l'entrepreneur, permet d'identifier, d'éliminer et de contrôler les risques associés à l'utilisation d'une nacelle. Or, ni le maître d'œuvre ni l'employeur n'ont une telle procédure dans leur programme de prévention respectif.

Selon les témoignages, les utilisateurs observent souvent les roues tourner sur elles-mêmes lors de l'utilisation de nacelles. Leur interprétation de ce phénomène leur laisse croire que ce type d'appareil n'a pas une bonne traction, au lieu de les amener à vérifier l'état du sol où il circule. Leur perception confère davantage les problèmes de déplacement à la machine, plutôt qu'aux paramètres environnementaux dont l'importance est pourtant prépondérante sur le comportement du véhicule.

Un document, émis par la mutuelle de prévention et utilisé pour former l'opérateur, spécifie : « pour éviter le glissement de la plate-forme lors des déplacements, les voies de circulation doivent être exemptes de neige et de glace et recouvertes d'un produit antidérapant (ex. : sable) ». L'opérateur et son employeur connaissent donc l'importance de sabler les zones de circulation. La mise en application de ces mesures de prévention, pourtant préconisées par l'employeur lors de la formation de ses travailleurs, n'est pas systématique. Ces mesures devraient être incluses au programme de prévention et rappelées toutes les fois où ils utilisent cet équipement.

L'absence d'abrasif sous les roues de la nacelle contribue à l'obtention d'un coefficient de friction faible (0,05 à 0,25) pour la glace. De ce fait, la distance de freinage augmente, de telle sorte que les roues bloquées dérapent dans le talus, entraînant la perte de contrôle de l'appareil.

En somme, la gestion est déficiente en matière d'utilisation d'une nacelle, car aucun protocole de vérification n'est disponible pour assurer le contrôle de l'environnement de travail à l'aide de cet équipement.

Cette cause est retenue.

4.3.3 Les capacités de traction et de freinage d'une nacelle à deux roues motrices sont limitées sur un sol glacé.

Les nacelles équipées de pneus de type construction peuvent être mues par deux ou quatre roues motrices. Pour la nacelle 660SJ de JLG, les spécifications techniques des modèles 4×4 et 4×2 sont semblables hormis quelques distinctions. Par exemple, la vitesse de pointe est la même pour les deux (6,8 km/h). Par contre, la capacité de monter une pente (déclivité) est plus grande pour une nacelle 4×4 (45 %) que pour une 4×2 (30 %).

Du 4 au 9 février, alors que la nacelle est utilisée au chantier, il ressort que les roues tournent sur elles-mêmes lors de certains déplacements. Les travailleurs, jugeant ce comportement normal en saison hivernale, ne le signalent pas, d'autant que cela n'a pas engendré de problèmes particuliers, jusqu'au moment de l'accident.

Selon les témoignages recueillis, les travailleurs estiment que ce type d'équipement est toujours à 4 roues motrices. Les roues fonctionnent en croisé et celles ayant une meilleure traction assurent le déplacement. Pour eux, le fait que les roues tournent souvent sur elles-mêmes relève plus du fonctionnement normal que du mauvais choix de l'équipement.

Le président de Techno-Bois est convaincu que la nacelle louée modèle 660SJ comporte 4 roues motrices. Pour lui, la machine correspond à son besoin quant à la hauteur et c'est un appareil 4×4, tel que cela est spécifié au descriptif de ce modèle dans le catalogue.

Le catalogue 2010 du locateur est conçu pour l'ensemble des centres de location affiliés à la même bannière au Québec. La mention « les taux et les produits peuvent varier d'un centre à l'autre » figure en bas de page. Dans la liste présentée dans le catalogue, certaines nacelles sont identifiées comme étant des 4×4 et d'autres pas. Par exemple, la 660SJ est identifiée 4×4 même si le modèle existe aussi en 4×2. Cette inscription peut confondre le client présumant que le modèle est nécessairement 4×4, et ce, malgré la mention de variation des produits.

Sans mention sur la nacelle qu'il s'agit d'un modèle à 2 ou à 4 roues motrices, les perceptions erronées des travailleurs persistent. De plus, rien ne permet de distinguer si l'appareil loué est réellement muni de 4 roues motrices. Il est donc difficile de s'assurer que l'équipement correspond aux besoins du chantier. La seule inscription pouvant déterminer le type de nacelle est la déclivité sur la plaque signalétique (30 % pour une deux roues motrices, 45 % pour une quatre roues motrices).

La nacelle à 4 roues motrices présente une capacité de freinage supérieure au modèle 4×2. La particularité de ce type d'appareil est que seules les roues motrices sont munies de freins.

Le principe d'arrêt de la nacelle repose sur la force de friction plus élevée que la force d'arrêt nécessaire. Comme ce sont les roues motrices qui exercent le freinage, on comprend que 4 freins seront plus efficaces que 2 pour arrêter la même masse avançant à la même vitesse.

Les calculs de l'expert, basés sur des données théoriques, permettent de comprendre le comportement au freinage. Il établit que pour un coefficient de friction de 0,15 (glace humide), la nacelle 4×4 réussit à arrêter sur une distance de 20 cm si elle roule à 2 km/h, tandis que la 2×4 n'y parvient pas.

Bien que l'expertise démontre clairement la différence de comportement au freinage, elle n'établit pas, dans le cas de l'accident du 10 février 2010, si une nacelle 4×4 aurait réussi à freiner avant d'atteindre le talus.

Par contre, l'expert émet l'avis que la manœuvre de déplacement aurait différé avec une nacelle 4×4. Selon lui, « la traction supérieure d'un système 4×4 aurait permis d'avancer directement à la bonne position en roulant sur le très léger obstacle qui a empêché la nacelle accidentée de type 4×2 de le faire. Cela aurait donc évité que l'opérateur prenne un élan avant de devoir freiner sur une courte distance avec un faible coefficient de friction. »

L'expertise fait ressortir l'importance du système d'entraînement pour une nacelle, autant en ce qui a trait à la traction qu'à la capacité de freinage. Donc, les capacités de traction et de freinage d'une nacelle à deux roues motrices sont limitées et ont pu être des éléments déterminants dans la survenue de l'accident.

Cette cause est retenue comme probable.

SECTION 5**5 CONCLUSION****5.1 Causes de l'accident**

Nous retenons les causes suivantes pour expliquer l'accident mortel survenu à un opérateur de nacelle lors d'une manœuvre de déplacement :

- Le travailleur est éjecté sous l'effet d'un coup de fouet;
- La gestion est déficiente en matière d'utilisation d'une nacelle;
- Les capacités de traction et de freinage d'une nacelle à deux roues motrices sont limitées sur un sol glacé.

5.2 Autres documents émis lors de l'enquête

Le rapport du 10 février 2010 ordonne l'arrêt des travaux de toiture à partir de la nacelle. Les conditions de reprise des travaux y sont consignées.

La reprise des travaux est autorisée par le biais du rapport , émis le 1^{er} mars 2010.

Le rapport du 29 mars 2010 précise les conditions de remise en service de la nacelle accidentée, laquelle est remise au locateur après l'apposition d'un scellé.

ANNEXE A**L'ACCIDENTÉ**

Nom, prénom :

Sexe : Masculin

Âge :

Fonction habituelle :

Fonction lors de l'accident :

Expérience dans cette fonction :

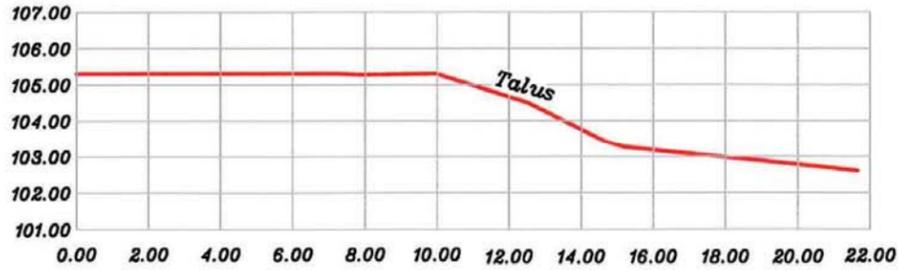
Ancienneté chez l'employeur :

Syndicat : F.T.Q. Construction

ANNEXE B

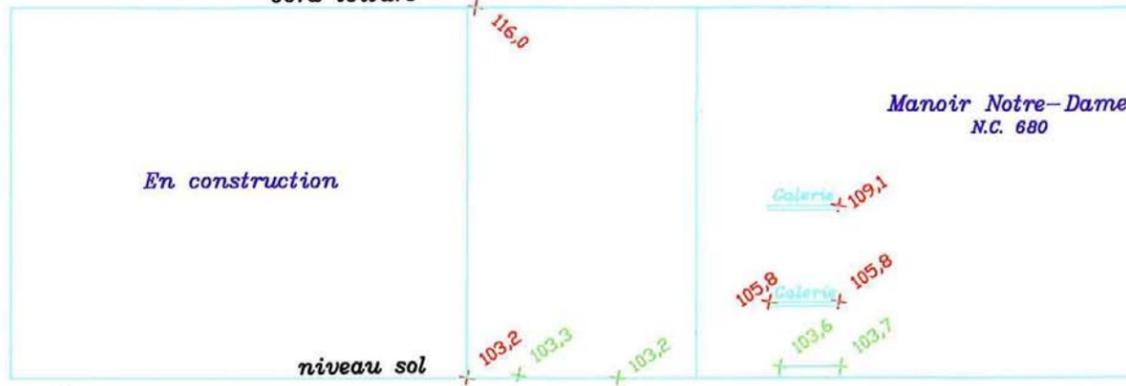
Plan du relevé d'arpentage
Plan de localisation de la nacelle

Profil du Talus



Échelle 1:200

Coupe A (élévation)



Échelle 1:250

CAOINETTE, THÉRIALULT & ASSOCIÉS
Arpenteurs-géomètres
1660, boul. Wallberg Dolbeau-Mistassini GBL 1H6 Tél.: 418-276-2478
773, boul. St-Joseph, suite 200 Roberval GBH 2L4 Tél.: 418-275-5151

TITRE DU PLAN

PLAN DE LEVÉ

LOCALISATION

Lot(s)
4 435 540 et 4 435 541

Cadastre
DU QUÉBEC

Circonscription foncière
LAC-SAINT-JEAN-OUEST

Municipalité
VILLE DE ROBERVAL

Municipalité régionale de comté
LE DOMAINE-DU-ROY

Arpentage fait le
16 Février 2010

LÉGENDE

- ⊙ Repère
- ⊗ Borne fontaine
- Ligne électrique
- ⋯ Haie
- Limites du terrain
- Limites des lots voisins
- x — Cloture

NOTES

- Les mesures indiquées sur ce document sont en mètres (SI).
- Ce plan fait partie intégrante du rapport qui l'accompagne ; il ne doit pas être utilisé ou invoqué à d'autres fins que celles aux quelles il est destiné.
- Les directions indiquées dans ce document sont des gisements basé sur le système SCOPQ, NAD 83 (fuseau 8, méridien central 73°30').
- Les mesures ont été prises à partir du revêtement extérieur des bâtisses.

PROPRIÉTAIRE(S)

Mandataire C.S.S.T.

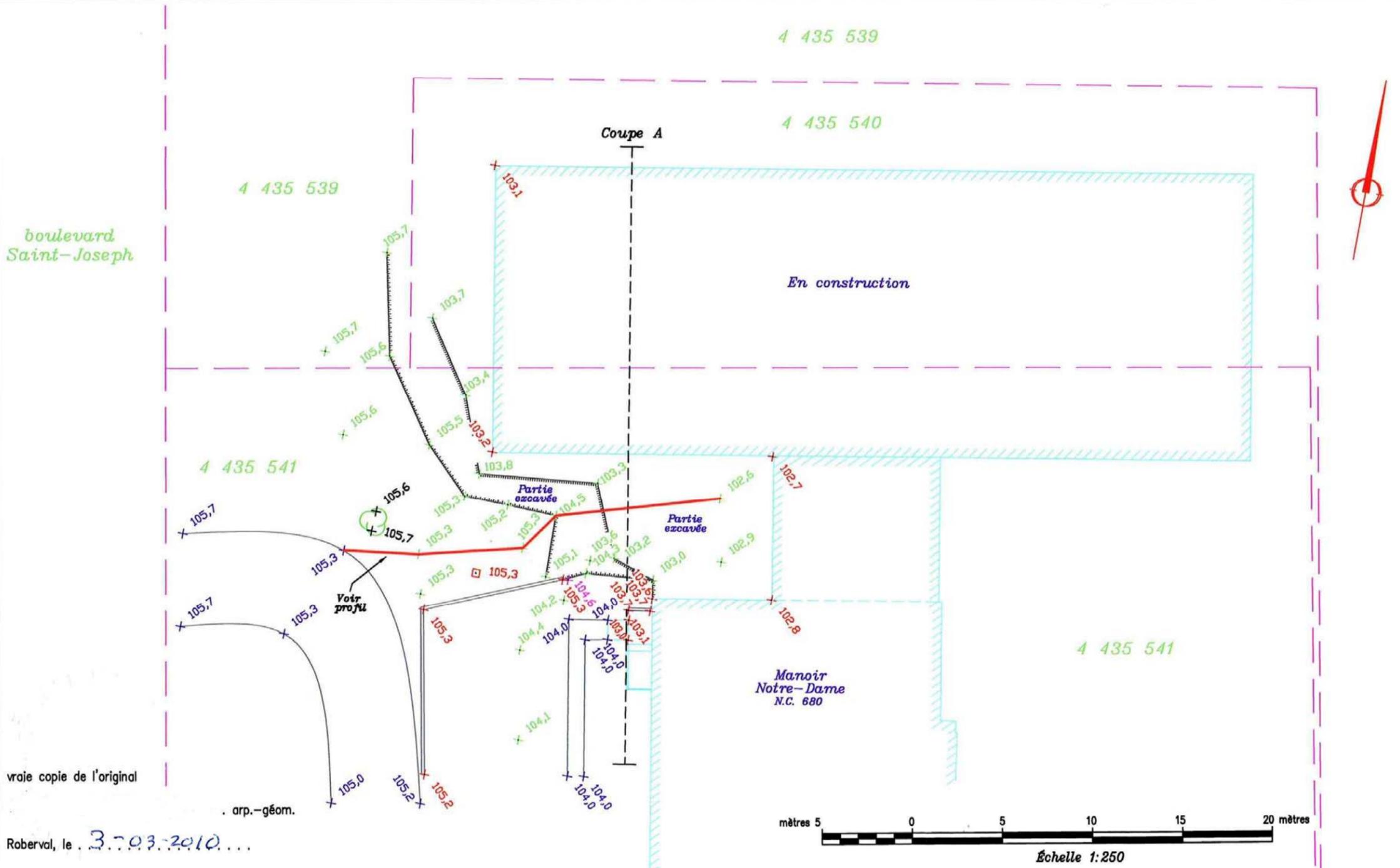
SIGNATURE

JEANNOT THÉRIALULT
Arpenteur-géomètre

Date Roberval, le 18 Février 2010	Dossier A-5032	Minute 6012
--------------------------------------	-------------------	----------------

ÉCHELLE

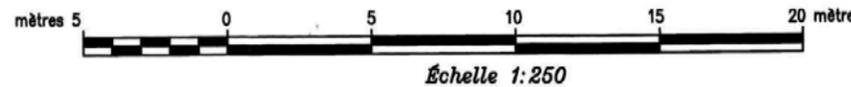
Indiquée



vraie copie de l'original

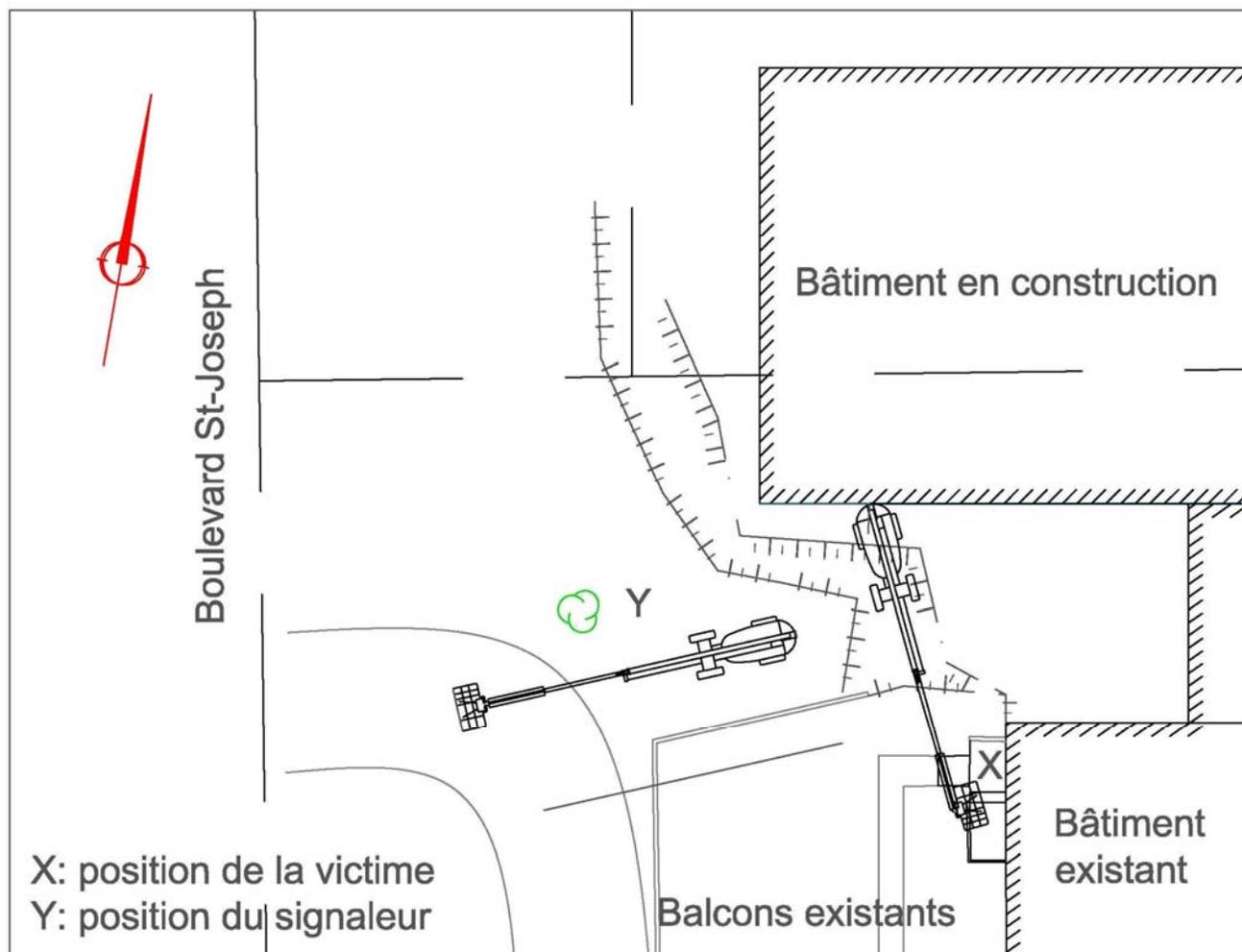
arp.-géom.

Roberval, le 3.03.2010...



Échelle 1:250

Plan de localisation de la nacelle



Aucune échelle

Source : CSST

ANNEXE C

Liste des témoins et des autres personnes rencontrées

M. Manoir Notre-Dame;

M. Conception Habitat 2000;

M. Techno-Bois;

M. Techno-Bois;

M. Techno-Bois;

M. Techno-Bois;

M. Techno-Bois;

M. Conception Habitat 2000;

Mme SST, Conception Habitat 2000;

Mme ressources humaines, Conception Habitat 2000;

M. Jean Grandbois, ingénieur, Camtech Consultants;

M. Lou-Tec Jonquière;

M. Lou-Tec Roberval;

M. Lou-Tec Roberval;

M. Éric Lou-Tec Roberval.

ANNEXE D

Rapport d'expertise

**CAMTECH
Consultants inc.**

Expertise

CSST

Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec

dossier :

EXPERTISE D'UNE NACELLE À BRAS TÉLESCOPIQUE

ET

MÉCANIQUE DU MOUVEMENT DE L'ACCIDENT

Roberval

10 février 2010

Jean Grandbois, ing.,

Mai 2010

Siège social:
1356, Saint-Laurent, St-Nicolas (Québec) Canada G7A 4K3
Téléphone: (418) 836-0515 - Télécopieur (418) 836-5379

Beauport:
1145, 87^e Rue, St-Georges (Québec) G5Y 7C8
Téléphone: (418) 221-1246 - Télécopieur (418) 222-0005

www.camtechconsultants.ca

CSST- Expertise- Rapport d'enquête d'accident mortel d'une nacelle à bras télescopique

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION.....	1
2. DESCRIPTION ET ÉTAT DE L'ÉQUIPEMENT ACCIDENTÉ.....	2
3. DESCRIPTION DU TERRAIN	4
4. DESCRIPTION DE LA MANOEUVRE ET DU DÉPLACEMENT LORS DE L'ACCIDENT.....	4
5. ESTIMATION DES FORCES EN JEU POUR L'ARRÊT DE LA NACELLE.....	6
6. ÉVALUATION DE LA VITESSE DE LA NACELLE JUSTE AVANT L'ARRÊT	8
7. DISCUSSION.....	9
8. CONCLUSION	10
10. Annexe	11
Annexe 1: Page couverture du livre de référence du tableau de l'annexe 2.....	12
Annexe 2: Coefficient de friction entre des pneus et différentes surfaces.....	13

LISTE DES PHOTOGRAPHIES

Photo 1: Nacelle à flèche télescopique lors de l'accident.....	1
Photo 2: Nacelle lors des tests	3
Photo 3: Terrain lors de l'accident	4
Photo 4: Nacelle arrêtée après l'accident.....	5
Photo 5: Plaque signalétique de l'équipement.....	14
Photo 6: Vue globale du terrain lors de l'expertise du 22 février 2010.....	14
Photo 7: Essieu arrière moteur de l'équipement.....	15
Photo 8: Essieu avant directeur de la nacelle	15

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Pression des pneus.....	2
Tableau 2: Pesées de la nacelle selon différentes configurations.....	3
Tableau 3: Force d'arrêt versus force de friction en fonction de variables.....	7
Tableau 4: Estimation de la vitesse de la plate-forme en fonction de variables.....	9

CAMTECH Consultants inc.

CSST- Expertise – Rapport d'enquête d'accident mortel d'une nacelle à bras télescopique

1. INTRODUCTION

Cette expertise concerne les aspects mécanique, statique et dynamique d'un accident survenu en utilisant une nacelle à bras télescopique le 10 février 2010 à Roberval. Durant une manœuvre pour positionner correctement le châssis de la machine en fonction du travail à effectuer avec la flèche, les roues ont glissé au freinage entraînant la machine dans un fossé et faisant effectuer à la flèche un mouvement en arc de cercle qui a éjecté l'opérateur lors de l'arrêt brusque de la machine au bas du fossé. Cette expertise a été effectuée par monsieur Jean Grandbois, ing., à la demande de la CSST en février et mars 2010.

La présente étude a pour but d'évaluer l'état mécanique de la nacelle, les facteurs ayant influencé les opérations de celle-ci lors de l'accident et les parties statique et dynamique du mouvement de la nacelle lors de l'accident. Les points suivants sont étudiés dans cette expertise: l'équipement en cause dans l'accident et son fonctionnement, le terrain, la manœuvre effectuée pour déplacer le châssis, l'état de la machine avant l'accident, la répartition des charges sur les pneus, une évaluation du déplacement du châssis, de la flèche et de la vitesse de déplacement de la nacelle juste avant son arrêt et finalement une analyse de l'ensemble de ces facteurs.



Photographie 1: Nacelle à flèche télescopique lors de l'accident

CSST - Expertise - Rapport d'enquête d'accident mortel d'une nacelle à bras télescopique

2. DESCRIPTION ET ÉTAT DE L'ÉQUIPEMENT ACCIDENTÉ

L'équipement en cause dans cet accident est une nacelle à flèche télescopique. Il est conçu pour permettre à un ou deux travailleurs de s'élever rapidement et facilement à une position variable. La plate-forme de travail est montée au bout de la flèche, elle-même installée sur une tourelle. Le châssis de l'ensemble est pourvu de quatre roues de type construction et l'équipement se déplace sur son propre pouvoir. La description de l'équipement est la suivante.

Marque: JLG
 Modèle : 660SJ
 année : 1998
 # série : 050123 030003446
 Poids : 12 700 kg
 Type: 4 × 2
 Hauteur maximale: 66 pieds
 Capacité: 227 kg (500 lb)
 Pente acceptable: 30 %

Par convention dans ce rapport, l'avant du châssis est l'extrémité équipée de roues directrices. Cette extrémité est indiquée par les flèches noires pleines sur le châssis et les commandes de la nacelle.

Ce type d'équipement est propulsé par un moteur et une transmission hydraulique. Ce système fait aussi fonction de système de freinage. Cette nacelle est de type 4 × 2, c'est à dire que seul l'essieu arrière est moteur et conséquemment est équipé de freins.

Lors de l'expertise, tous les éléments mécaniques pouvant avoir eu une influence sur l'accident étaient en bon état. L'état des pneus était normal et l'usure de ceux-ci parfaitement acceptable. La pression des pneus, lors de l'expertise du 22 février 2010, est présentée au tableau ci-bas.

unité: psi	gauche	droite
Avant:	75	81
Arrière:	74	53

Tableau 1: Pression des pneus

Les pressions observées le 22 février 2010 donne une approximation des pressions des pneus lors de l'accident puisque la pression diminue avec chaque chute de température. Les pressions étaient donc fort probablement plus élevées douze jours plus tôt. Il est quand même possible d'observer que les pressions étaient relativement correctes. Le pneu arrière droit était à 53 psi à l'inspection, ce qui est faible mais cela n'influence pas négativement l'adhérence au freinage dans le cas présent.

Le freinage du véhicule a aussi été testé et il fonctionnait parfaitement. Les deux roues motrices et freinées ont enfoncé dans la gravelle du terrain lors du test.

CSST- Expertise – Rapport d'enquête d'accident mortel d'une nacelle à bras télescopique



Photographie 2: Nacelle lors des tests

Lors de la seconde journée d'expertise, la nacelle a été pesée selon différentes configurations dont celle de l'accident. Les masses sont présentées aux tableaux ci-dessous.

Flèche vers l'arrière, extension de 1,07 m (configuration de l'accident)			
	gauche	droit	total
essieu avant directeur	3175	3050	6275
essieu arrière moteur	3050	3550	6600

Flèche vers l'arrière, rentrée			
	gauche	droit	total
essieu avant directeur	3350	3200	6550
essieu arrière moteur	2850	3400	6250

Flèche vers l'avant, rentrée			
	gauche	droit	total
essieu avant directeur	2850	2600	5450
essieu arrière moteur	3650	3750	7400

Tableau 2: Pesées de la nacelle selon différentes configurations

CSST- Expertise – Rapport d'enquête d'accident mortel d'une nacelle à bras télescopique

3. DESCRIPTION DU TERRAIN

Le terrain sur lequel l'accident est survenu est d'aspect horizontal, avec une sorte de promontoire s'avancant au centre entre les deux parties du bâtiment. C'est à cet endroit que la nacelle se situait. Selon les informations reçues, le terrain était glacé. Un relevé d'arpentage a été effectué suite à l'accident et il y a peut-être une très légère pente dans le sens du dérapage avant le bord du fossé qui est par contre avec une pente plus prononcée. Le terrain avait été sablé quelques jours avant l'accident mais cela n'était pas particulièrement visible pour les inspecteurs après l'accident.



Photographie 3: Terrain lors de l'accident

4. DESCRIPTION DE LA MANOEUVRE ET DU DÉPLACEMENT LORS DE L'ACCIDENT

Lors de la manœuvre précédant l'accident, la flèche était à l'horizontal, placée au-dessus des roues arrière, tel que recommandé par le manufacturier. Afin de faciliter le travail, l'équipement avait besoin d'être légèrement avancé vers le bâtiment. L'opérateur a voulu avancer directement, mais les roues motrices ont glissé, empêchant le véhicule d'avancer. L'opérateur a alors essayé à reculons, ce qu'il a pu exécuter sans problème. Cela signifie donc qu'il y avait un petit obstacle devant une des roues pour empêcher la nacelle d'avancer.

CSST - Expertise – Rapport d'enquête d'accident mortel d'une nacelle à bras télescopique

Une fois l'équipement reculé, l'opérateur a de nouveau fait avancer le véhicule, en se donnant possiblement un léger élan pour passer à l'endroit où il était bloqué auparavant. L'équipement a roulé sans difficulté vers la position voulue et l'opérateur a freiné la nacelle. C'est à ce moment que les deux roues équipées de freins (celles à l'arrière, les roues motrices) ont bloqué et que le dérapage a commencé.

Les roues avant se sont alors retrouvées au début du fossé et la descente de l'équipement dans le fossé a commencé. Les photos montrent que les roues directrices étaient tournées vers la gauche, pour une raison inconnue de nous. Cela a induit un mouvement de rotation du châssis de la nacelle. Cette rotation, combinée à la longueur de la flèche orientée vers l'arrière, a provoqué le mouvement rapide de la plate-forme qui s'est subitement arrêté lorsque le contrepoids de la nacelle a frappé le mur de béton, arrêtant du même coup la rotation du châssis et sa translation.



Photographie 4: Nacelle arrêtée après l'accident

CSST - Expertise - Rapport d'enquête d'accident mortel d'une nacelle à bras télescopique

5. ESTIMATION DES FORCES EN JEU POUR L'ARRÊT DE LA NACELLE

Le principe de base pour que la nacelle arrête est que la force de friction soit plus élevée que la force nécessaire pour décélérer la masse de la nacelle. Les calculs ci-dessous sont en fonction d'un terrain parfaitement horizontal. Une pente, même faible, dans le sens du déplacement augmentera la force d'arrêt nécessaire.

L'estimation de la force d'arrêt nécessaire vient des formules de base suivantes.

$$F_f = m A$$

$$A = \frac{-v^2}{2d}$$

où: F_f = force d'arrêt nécessaire en N
 m = masse totale de la nacelle en kg = 12875 kg avec conducteur
 A = accélération ou décélération si négatif en m/s^2
 v = vitesse au moment du freinage en m/s pour les calculs, en km/h pour le texte
 d = distance d'arrêt utilisée

La force nécessaire est donc variable en fonction de la vitesse (variation au carré) et de la distance disponible pour effectuer l'arrêt. Il faut préciser que la distance de freinage augmente de manière très importante si les roues bloquent et que le véhicule se met à glisser.

La force de friction disponible vient de la formule de base suivante:

$$F_f = \mu N$$

où: F_f = force de friction disponible en N
 μ = coefficient de friction
 N = force normale sur les roues équipées de frein
 $N = m \times g$
 m = masse sur les roues en kg = 6600 kg avec conducteur
 g = accélération gravitationnelle = $9.81 m/s^2$

La force de friction disponible varie donc de manière directement proportionnelle avec le coefficient de friction et la force normale, c'est-à-dire le poids sur les essieux équipés de frein. Le poids est connu de manière précise suite à l'expertise. Par contre, le coefficient de frottement peut seulement être estimé à cause de différentes variables non contrôlables. Selon les valeurs du tableau en annexe, le coefficient de friction sur la glace mouillée à moins de 30 mph est de 0.05 à 0.10 tandis qu'il est de 0.10 à 0.25 sur la glace sèche. Ces valeurs sont conformes à celles de différents ouvrages de référence. Il y a donc un facteur de 5 entre les valeurs possibles au niveau du coefficient de friction.

Puisque nous n'avons pas vu le terrain au moment de l'accident et qu'aucun test de friction n'a été effectué, il nous est impossible d'être plus précis à ce sujet.

CSST- Expertise – Rapport d'enquête d'accident mortel d'une nacelle à bras télescopique

Un cas typique a été calculé avec les données suivantes que nous estimons assez réalistes, bien que le coefficient de friction soit probablement plus faible en réalité.

Cas type:	Coefficient de friction:	0.2
	Vitesse:	2 km/h
	Distance d'arrêt:	0.20 m

La vitesse de 2 km/h a été établie en fonction du moteur et de la transmission hydraulique du véhicule, qui ont un fort couple de démarrage. La distance d'arrêt de 0.2 m est choisie en fonction de l'espace disponible lors de la manœuvre, si l'opérateur voulait se garder une petite marge.

Avec ces 3 valeurs, la décélération est de 0.77 m/s^2 [$A = -(0.56 \text{ m/s})^2 / (2 \times 0.2 \text{ m})$] ou 0.08 g, ce qui est un freinage très doux. Une voiture normale a un freinage maximum moyen d'environ 0.8 g. La force d'arrêt nécessaire avec ces valeurs est alors de 9894 N [$12875 \text{ kg} \times 0.77 \text{ m/s}^2$].

La force de friction disponible dans ce cas ($\mu=0.2$) est de 12949 N. Habituellement, la nacelle arrêterait donc dans cette situation. Par contre, avec un coefficient de friction de 0.15, la force de friction disponible descend à 9712 N, juste sous la force d'arrêt nécessaire. Un véhicule tel que celui accidenté (type 4×2) n'arrêterait donc probablement pas.

Coefficient de friction	Vitesse km/h	Distance d'arrêt m	Force d'arrêt nécessaire N	Force de friction disponible	
				modèle 2×4 N	modèle 4×4 N
0.10	1	0.20	2524	6475	12630
	2	0.20	9914	6475	12630
	4	0.20	39784	6475	12630
0.15	1	0.20	2524	9712	18945
	2	0.20	9914	9712	18945
	4	0.20	39784	9712	18945
0.20	1	0.20	2524	12949	25260
	2	0.20	9914	12949	25260
	4	0.20	39784	12949	25260

Tableau 3: Force d'arrêt versus force de friction en fonction de variables

Par contre, si la nacelle était d'un modèle avec des freins aux quatre roues, la force de friction disponible serait de 18871 N ($(6600+6225) \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 \times 0.15$), près du double de la force nécessaire. Le véhicule arrêterait donc.

Un coefficient de friction de 0.15 apparaît donc comme le point critique probable pour une nacelle de type 4×2. Avec une nacelle de type 4×4, le point critique diminue à un coefficient de friction d'environ 0.08.

Le tableau 3 à la page précédente donne les forces d'arrêt et de friction en fonction de différentes valeurs de coefficient de friction et de vitesse.

CSST - Expertise – Rapport d'enquête d'accident mortel d'une nacelle à bras télescopique

La présence de sable peut faire varier la valeur du coefficient de friction de manière notable et incontrôlable pour le besoin de cette évaluation. Cependant, pour être efficace dans le cas présent avec un seul freinage à très basse vitesse, le sable doit être en surface et non dans la glace, et disposé exactement au bon endroit dans la bonne quantité. De plus, un coefficient de 0.2 sur de la glace tient déjà compte d'un certain facteur abrasif.

6. ÉVALUATION DE LA VITESSE DE LA NACELLE JUSTE AVANT L'ARRÊT

La vitesse de la plate-forme de travail juste avant son arrêt est elle-aussi un estimé puisque la valeur de plusieurs variables sont des estimés. Il est entendu que les calculs suivants ne tiennent pas compte de la descente de l'équipement dans le fossé mais qu'ils sont plutôt effectués dans un plan horizontal, pour simplifier l'équation.

La vitesse linéaire de la plate-forme est fonction de la vitesse angulaire de rotation du châssis et de la longueur de la flèche.

$$V_m = R \times \varphi$$

avec V_m = vitesse linéaire à la platte-forme
 en km/h pour le texte
 en m/s pour les calculs

R = longueur de la flèche
 = 10,90 + 0,76 (au c.g.) + 0,45 (1/2 plate-forme) = 10,59 m

φ = vitesse angulaire
 en degré/s pour le texte
 en radian/s pour les calculs

Les photos montrent que le châssis de la nacelle a pivoté d'environ 100 degrés.

La durée de la descente et conséquemment du pivotement est approximative. Par contre, le relevé d'arpentage montre que la chute avait une hauteur de 2,0 m environ. Un objet en chute libre prend un temps minimum de 0,64 secondes pour atteindre le sol d'une hauteur de 2 m. C'est donc la durée minimale de la chute. Dans le cas réel, il est possible de voir que les pneus ont raclé le terrain latéralement de manière importante, ce qui a certainement ralenti la descente. Un temps plus réaliste de chute serait donc entre 1.5 et 3 secondes selon nous.

Un temps de 1.5 secondes pour une rotation de 100 degrés donne une vitesse angulaire de 66.7 °/s. Après conversion en rad/s, et multiplication par le rayon de 10,59 m, on obtient une vitesse en m/s qui peut être convertit en km/h., soit 44 km/h dans ce cas.

Il est aussi probable que la vitesse de rotation ait été plus élevée à la fin de la rotation qu'au début. Cela aurait une influence directe sur la vitesse linéaire. Le tableau ci-dessous donne différentes possibilités de résultats en fonction du temps de descente et de la vitesse angulaire finale.

CSST- Expertise – Rapport d'enquête d'accident mortel d'une nacelle à bras télescopique

Temps (s)	degré de rotation (°)	Vitesse de rotation finale (°/s)	Vitesse linéaire (km/h)
1.5	100	66.7	44
1.5	100	75	50
2.0	100	50	33
2.0	100	60	40
3.0	100	33	22
3.0	100	40	26

Tableau 4: Estimation de la vitesse de la plate-forme en fonction de variables

Une vitesse de 30 à 40 km/h apparaît comme probable à l'étude de ce tableau.

7. DISCUSSION

L'inspection du véhicule a permis de constater qu'il n'y avait pas de déféctuosité mécanique sur la nacelle. De même, aucune erreur évidente d'opération n'est apparue selon les témoignages recueillis par la CSST et les éléments techniques recueillis. Il y a eu bien entendu une erreur puisqu'il y a eu l'accident mais celle-ci, une erreur d'appréciation de la capacité de freinage en fonction du coefficient de friction, est facilement compréhensible en fonction du niveau de formation et de compétence des opérateurs de ce type de machinerie.

Au niveau de l'équipement, le type d'entraînement de la nacelle utilisée (4×2) a très probablement eu une influence sur l'accident mais cela ne peut être une certitude puisqu'il y a trop d'éléments approximatifs pour obtenir une réponse absolue. Cependant, plusieurs points montrent l'importance du système d'entraînement.

Premièrement, l'opérateur n'aurait probablement pas eu à reculer avant d'avancer pour se positionner correctement. La traction supérieure d'un système 4×4 aurait permis d'avancer directement à la bonne position en roulant sur le très léger obstacle qui a empêché la nacelle accidentée de type 4×2 de le faire. Cela aurait donc évité que l'opérateur prenne un élan avant de devoir freiner sur une courte distance avec un faible coefficient de friction.

Deuxièmement, la capacité de freinage d'un modèle 4×4 est largement supérieure puisque les freins sont seulement sur les roues motrices sur ce type d'équipement. Cette capacité est supérieure aussi bien pour la force de freinage du système, moins ou peu utile dans le cas de ce type de machine, que pour la force de friction disponible qui est presque doublée dans le cas présent et qui est, elle, absolument essentielle pour arrêter un véhicule circulant à basse vitesse sur la glace. Avec un système 4×4, chaque roue doit arrêter son propre poids porté, alors qu'avec un système 4×2 chaque roue freinée doit arrêter presque le double du poids porté.

CSST - Expertise – Rapport d'enquête d'accident mortel d'une nacelle à bras télescopique

L'évaluation de la vitesse linéaire de la nacelle juste avant son arrêt brusque est elle-aussi approximative puisque les calculs physiques ont été simplifiés et que les données de base sont des estimations. Cependant, le tableau des résultats de vitesses obtenues en fonction de différentes valeurs des variables permet tout de même d'obtenir un intervalle de vitesses possibles assez proche de la réalité.

8. CONCLUSION

Le décès du travailleur est survenu suite à son éjection de son poste de travail dans la nacelle. Cette éjection est due à la combinaison de l'arrêt brusque de la plate-forme de travail et de la vitesse linéaire atteinte par celle-ci suite à l'accélération angulaire du châssis et la longueur de la flèche.

Au niveau mécanique, il n'y avait pas de défectuosité mécanique sur l'équipement. L'opération de celui-ci ne présentait pas d'erreur notable, si ce n'est le harnais de sécurité non attaché. Il faut préciser à ce sujet que l'opérateur était à une hauteur d'environ seulement un mètre avant l'accident.

Toutefois, certains points ont influencé de manière importante, même si difficilement prévisible, les événements et l'accident subséquent.

- L'état glacé du terrain;
- L'utilisation d'une nacelle de type 4 × 2;
- Le manque de connaissance spécifique par rapport à la problématique traction-freinage-friction.

Ces trois points sont en rapport avec les connaissances générales ou plus spécifiques des utilisateurs en fonction de l'opération des équipements. Une formation générale plus poussée ainsi que des avertissements précis sur des points spécifiques permettraient peut-être d'éviter qu'un tel accident se reproduise.

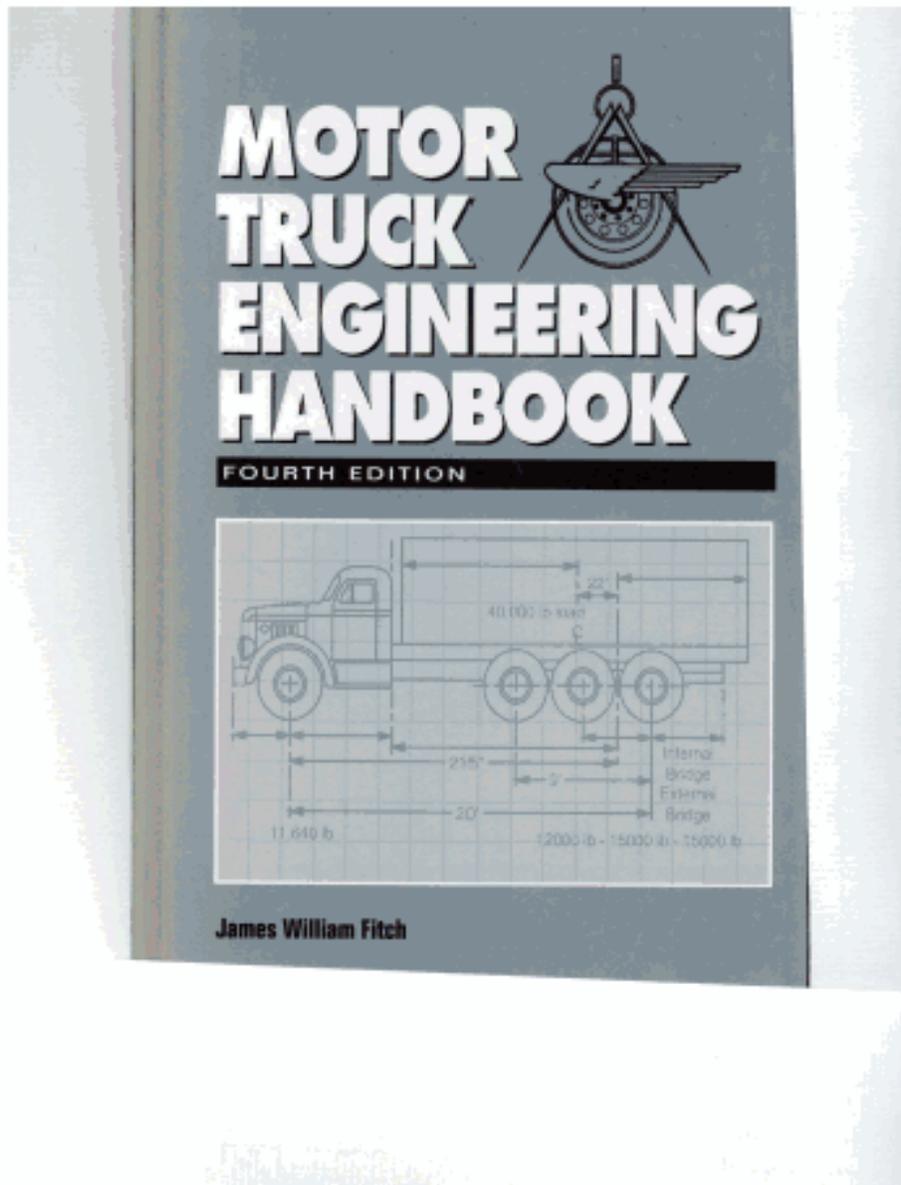
RAPPORT COMPLÉTÉ À ST-NICOLAS,
LE NEUVIÈME JOUR DE MAI DEUX MILLE DIX.

Jean Grandbois, ing.

CSST- Expertise – Rapport d'enquête d'accident mortel d'une nacelle à bras télescopique

Annexes

CSST- Expertise – Rapport d'enquête d'accident mortel d'une nacelle à bras télescopique



Annexe 1: Page couverture du livre de référence du tableau de l'annexe 2

CSST - Expertise - Rapport d'enquête d'accident mortel d'une nacelle à bras télescopique

DESCRIPTION OF ROAD SURFACE	DRY				WET			
	Less Than 30 m.p.h.		More Than 30 m.p.h.		Less Than 30 m.p.h.		More Than 30 m.p.h.	
	From	To	From	To	From	To	From	To
Cement								
New, Sharp	.80	1.00	.70	.85	.50	.80	.40	.75
Travelled	.60	.80	.60	.75	.45	.70	.45	.65
Traffic Polished	.55	.75	.50	.65	.45	.65	.45	.60
Asphalt								
New, Sharp	.80	1.00	.65	.70	.50	.80	.45	.75
Travelled	.60	.80	.55	.70	.45	.70	.40	.65
Traffic Polished	.55	.75	.45	.65	.45	.65	.40	.60
Excess Tar	.50	.60	.35	.60	.30	.60	.25	.55
Brick								
New, Sharp	.75	.95	.60	.85	.50	.75	.45	.70
Traffic Polished	.60	.80	.55	.75	.40	.70	.40	.60
Stone Block								
New, Sharp	.75	1.00	.70	.90	.65	.90	.60	.85
Traffic Polished	.50	.70	.45	.65	.30	.50	.25	.50
Gravel								
Packed, Oiled	.55	.85	.50	.80	.40	.80	.40	.60
Loose	.40	.70	.40	.70	.45	.75	.45	.75
Cinders								
Packed	.50	.70	.50	.70	.65	.75	.65	.75
Rock								
Crushed	.55	.75	.55	.75	.55	.75	.55	.75
Ice								
Smooth	.10	.25	.07	.20	.05	.10	.05	.10
Snow								
Packed	.30	.55	.35	.35	.30	.60	.30	.60
Loose	.10	.25	.10	.20	.30	.60	.30	.60
Metal Grid								
Open	.70	.90	.55	.75	.25	.45	.20	.35

Figure 13-12. Typical Coefficients of Friction Between Rubber Tires and Various Surfaces. (Courtesy of W.H.)

Annexe 2: Coefficient de friction entre des pneus et différentes surfaces

CSST, Expertise – Rapport d'enquête d'accident mortel d'une nacelle à bras télescopique



Photographie 5: Plaque signalétique de l'équipement



Photographie 6: Vue globale du terrain lors de l'expertise du 22 février 2010

CSST - Expertise - Rapport d'enquête d'accident mortel d'une nacelle à bras télescopique



Photographie 7: Essieu arrière moteur de l'équipement



Photographie 8: Essieu avant directeur de la nacelle

ANNEXE E**Références bibliographiques**

Norme CAN/CAS-B354.4-02, *Plates-formes élévatrices automotrices à bras articulé*, Norme nationale du Canada, Association canadienne de normalisation, 30 pages, 2002.

Norme CAN/CSA-C225-00, *Engins élévateurs à nacelle portés par un véhicule*, Norme nationale du Canada, Association canadienne de normalisation, 50 pages, 2001.

Manuel d'utilisation et de sécurité, Élévateurs à flèche, modèles 600S, 600SJ, 660SJ, édition du 5 juin 2008.