

EN004395**RAPPORT D'ENQUÊTE**

**Accident ayant causé la mort d'un travailleur
de l'entreprise 3075109 Canada inc., le 9 mai 2023
au 47, boul. Marie-Victorin à Candiac**

Service de la prévention-inspection – Rive-Sud

Rapport dépersonnalisé

Inspecteur :

Richard Laplante

Inspectrice :

Stéphanie Paquin

Date du rapport : 28 novembre 2023

Rapport distribué à :

- Monsieur Louis-Charles Rondeau, président, 3075109 Canada inc.
 - Comité de santé et de sécurité
 - Maître Nathalie Lefebvre, coroner
 - Docteure Julie Loslier, directrice de la santé publique
-

TABLE DES MATIÈRES

1	<u>RÉSUMÉ DU RAPPORT</u>	1
2	<u>ORGANISATION DU TRAVAIL</u>	3
2.1	STRUCTURE GÉNÉRALE DE L'ÉTABLISSEMENT	3
2.2	ORGANISATION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL	3
2.2.1	MÉCANISMES DE PARTICIPATION	3
2.2.2	GESTION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ	4
3	<u>DESCRIPTION DU TRAVAIL</u>	5
3.1	DESCRIPTION DU LIEU DE TRAVAIL	5
3.2	DESCRIPTION DU TRAVAIL À EFFECTUER	5
4	<u>ACCIDENT : FAITS ET ANALYSE</u>	7
4.1	CHRONOLOGIE DE L'ACCIDENT	7
4.2	CONSTATATIONS ET INFORMATIONS RECUEILLIES	7
4.2.1	INFORMATIONS RECUEILLIES SUR LES LIEUX	8
4.2.2	INFORMATIONS SUR LE TRAVAILLEUR	9
4.2.3	INFORMATIONS SUR LE REFROIDISSEUR	10
4.2.4	INFORMATIONS SUR L'ENVIRONNEMENT ET L'ORGANISATION DU TRAVAIL	11
4.2.5	INFORMATIONS SUR LA PALETTE ET SES COMPOSANTES	11
4.2.6	INFORMATIONS SUR L'INSTRUCTION D'EMBALLAGE DE L'EMPLOYEUR	14
4.2.7	EXPERTISE SUR LA PALETTE ET SES COMPOSANTES	15
4.2.8	INFORMATIONS SUR LE TOILAGE	16
4.2.9	INFORMATIONS SUR LE CHARIOT ÉLÉVATEUR	16
4.2.10	DISPOSITIONS LÉGISLATIVES ET NORMATIVES	17
4.3	ÉNONCÉS ET ANALYSE DES CAUSES	20
4.3.1	LE REFROIDISSEUR DE 3 334 KG SE RENVERSE SUR LE TRAVAILLEUR EN RAISON DE LA RUPTURE DE LA PALETTE QUI LE SUPPORTE.	20
4.3.2	L'ABSENCE DE CRITÈRE DE CONCEPTION DES RENFORTS SUR LA PALETTE, COMBINÉE À UNE MÉTHODE D'EMBALLAGE IMPROVISÉE, EXPOSE LE TRAVAILLEUR À LA CHUTE DE LA CHARGE.	20
4.3.3	UNE GESTION DÉFICIENTE DE LA MANUTENTION DES REFROIDISSEURS ENGENDRE DES RISQUES DE CHUTES DE CHARGE.	21
5	<u>CONCLUSION</u>	23
5.1	CAUSES DE L'ACCIDENT	23
5.2	AUTRES DOCUMENTS ÉMIS LORS DE L'ENQUÊTE	23
5.3	SUIVI DE L'ENQUÊTE	23

ANNEXES

ANNEXE A :	Travailleur décédé	24
ANNEXE B :	Liste des personnes interrogées	25
ANNEXE C :	Rapport d'inspection du chariot élévateur	26
ANNEXE D :	Rapport d'expertise	33
ANNEXE E :	Références bibliographiques	55

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

Le 9 mai 2023, un travailleur s'affaire à l'emballage d'un refroidisseur d'un poids de 3 334 kg (7 350 livres) fixé sur une palette de bois. Il est soulevé et maintenu à une hauteur d'environ un mètre du sol, sur les fourches d'un chariot élévateur. Alors qu'il fixe la toile, la palette cède et le refroidisseur se renverse sur le travailleur.

Conséquences

Le travailleur décède.



Figure 1 – *Photo de la scène d'accident*
Source : CNESST

Abrégé des causes

L'enquête a permis de retenir les causes suivantes pour expliquer cet accident :

- Le refroidisseur de 3 334 kg se renverse sur le travailleur en raison de la rupture de la palette qui le supporte.
- L'absence de critère de conception des renforts sur la palette, combinée à une méthode d'emballage improvisée, expose le travailleur à la chute de la charge.
- Une gestion déficiente de la manutention des refroidisseurs engendre des risques de chutes de charge.

Mesures correctives

À la suite de l'accident, la CNESST interdit le levage et la manutention des refroidisseurs (tubes et calandres). La CNESST exige qu'une méthode de travail pour la manutention sécuritaire des refroidisseurs soit élaborée afin de permettre la levée de l'interdiction. Le rapport d'intervention RAP1425263 émis le 9 mai 2023 fait état de cette interdiction.

La reprise des travaux de levage et de manutention des refroidisseurs est autorisée après que l'employeur ait soumis une méthode sécuritaire signée et scellée par un ingénieur. Cette levée de décision est consignée au rapport d'intervention RAP1425264 du 11 mai 2023.

Le présent résumé n'a pas 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 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

La compagnie 3075109 Canada inc., ci-après nommée Thermofin, est située au 47, boul. Marie-Victorin à Candiac. Elle se spécialise dans la conception et la fabrication d'échangeurs de chaleur sur mesure et de vaisseaux sous pression, comprenant la fabrication de tubes à ailettes.

En 2020, l'acquisition de l'entreprise 193862 Canada inc., ci-après nommée Docal, permet à Thermofin de se spécialiser aussi dans la conception et la fabrication de refroidisseurs sur mesure destinés notamment aux arénas.

L'établissement est classé dans le secteur d'activités *Fabrication de produits en métal*. On y emploie 85 travailleurs non syndiqués répartis sur 2 quarts de travail.

Dans l'usine, les travailleurs sont supervisés par un chef d'équipe qui relève lui-même d'un contremaître. Les contremaîtres du quart de jour et du quart de soir se rapportent au directeur d'usine.

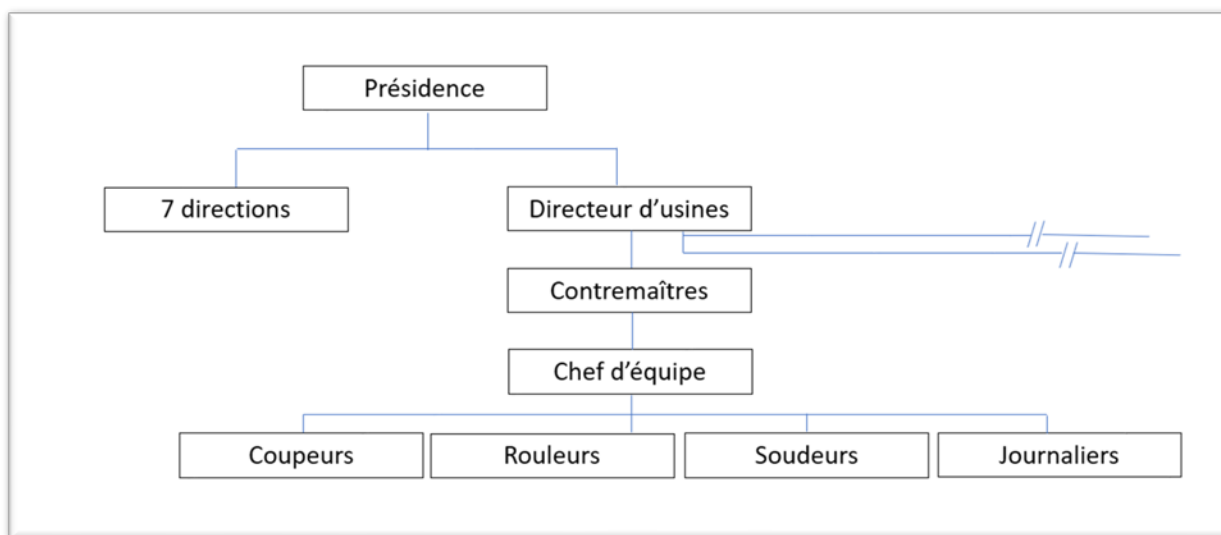


Fig. 2 – Extrait de l'organigramme de l'entreprise
Source : CNESST

2.2 Organisation de la santé et de la sécurité du travail

2.2.1 Mécanismes de participation

Au 9 mai 2023, un comité de santé et sécurité est en place, mais il n'est pas actif. Il n'y a pas de représentant en santé et sécurité nommé parmi les travailleurs.

2.2.2 Gestion de la santé et de la sécurité

Une politique corporative en matière de santé et sécurité est en place. Elle mise essentiellement sur la responsabilisation de tous pour l'identification et le contrôle des risques.

Un programme de prévention sous forme de plan d'action révisé annuellement est mis en application.

Un plan d'accueil des nouveaux travailleurs est en place.

Des inspections du milieu de travail sont menées de façon informelle par les [REDACTED], par [REDACTED], ainsi que ^A [REDACTED]. Le résultat n'est pas colligé par écrit.

SECTION 3

3 DESCRIPTION DU TRAVAIL

3.1 Description du lieu de travail

L'établissement est constitué de deux bâtiments reliés par un passage. Le bâtiment situé au nord-est comprend notamment des bureaux administratifs, un atelier mécanique, un atelier d'assemblage et un département de réception. Le bâtiment situé au sud-ouest, communément appelé la grande usine, comprend un atelier d'assemblage et un département d'expédition. L'accident se produit dans ce bâtiment, près de la porte de garage donnant sur une cour d'entreposage.



Fig. 3 – Vue en plan de l'établissement et lieu de l'accident
Source : Google Maps, modifié par la CNESST

Au moment de l'accident, le refroidisseur en cours d'emballage est positionné en bordure de l'allée centrale de la grande usine, à proximité des postes de soudage.

3.2 Description du travail à effectuer

Une fois assemblés, testés et inspectés, les refroidisseurs sont emballés à l'aide d'une toile de style film rétractable (*shrink wrap*) afin de prévenir leur empoussièremement lors de l'entreposage dans la cour extérieure, dans l'attente de leur expédition chez le client. Cette étape est requise par la procédure « Instruction Emballage » du département du contrôle qualité.

L'emballage est effectué par les journaliers.

Les étapes du toilage ne sont pas définies. Les journaliers procèdent selon leur propre méthode et connaissance. De façon générale, la palette est déposée au sol pour cette étape.

L'accident se produit au moment où le travailleur complète l'installation de la toile.



Fig. 4 – *Exemple de refroidisseurs emballés et prêts pour l'expédition*
Source : CNESST

SECTION 4

4 ACCIDENT : FAITS ET ANALYSE

4.1 Chronologie de l'accident

Le 24 avril 2023, le travailleur est attiré à la tâche de préparation à l'expédition du refroidisseur #15592. Il fabrique des cales et des renforts et les ajoute à la palette, pour permettre la manutention sur les fourches d'un chariot élévateur. Les supports du refroidisseur sont ensuite déposés sur les deux cales et y sont ancrés.

Le 25 avril 2023, le refroidisseur est expédié chez un fournisseur externe pour la peinture par camion-remorque.

Le 9 mai 2023, le refroidisseur sur palette est réexpédié chez l'employeur et il est entreposé dans la cour.

Le même jour, le travailleur manutentionne le refroidisseur, à l'aide d'un chariot élévateur, de la cour vers la grande usine, et le dépose au sol dans l'allée centrale. Il s'affaire à la préparation de l'expédition du refroidisseur. Il appose des fer-angles métalliques contre les cales situés sous les supports du refroidisseur et il teste la solidité des renforts à l'aide de son pied.

Au retour de la pause, vers 18 h 15, le travailleur déroule partiellement une toile par-dessus le refroidisseur avec l'aide d'un collègue.

Vers 18 h 23, il utilise un chariot élévateur et soulève la charge. Il maintient les fourches à environ un mètre du sol et quitte le chariot. Il débute la fixation de la toile contre la palette à l'aide de ruban adhésif et d'une agrafeuse à percussion.

Huit minutes plus tard, soit à 18 h 31, il descend la charge au sol et déplace le chariot élévateur afin de prendre la palette du côté opposé.

À 18 h 35, il soulève de nouveau la charge et maintient les fourches approximativement à 1 m du sol. Il quitte le chariot et poursuit la pose de la toile.

Vers 18 h 38, le **B** s'approche et indique au travailleur qu'il remarque un fléchissement de la palette. Il lui indique que ceci peut avoir un impact sur le niveau de tension de la toile qui sera plus lâche lorsque la palette sera placée au sol. Le travailleur ignore la remarque du **B** et poursuit sa tâche.

À 18 h 59, alors qu'il s'affaire à agraffer la toile sur la palette, celle-ci cède et le refroidisseur se renverse sur le travailleur.

4.2 Constatations et informations recueillies

Les informations contenues dans cette section proviennent de constatations faites sur les lieux, des témoignages des personnes rencontrées, des images obtenues ainsi que des résultats d'expertise réalisée à l'interne.

4.2.1 Informations recueillies sur les lieux

À l'arrivée sur les lieux, nous constatons les éléments suivants sur la scène de l'accident :

- Le chariot élévateur est positionné en angle dans l'allée centrale de la grande usine;
- Les fourches du chariot élévateur sont positionnées à environ 102 cm (40 po) du sol avec un angle d'environ 2 degrés vers l'avant et un espacement d'environ 105 cm (41 po);
- La palette de bois servant à la manutention du refroidisseur est sectionnée en deux parties, soit une section présente au sol et une autre en appui contre une des fourches du chariot et le sol;



Fig. 5 – État de la palette à la suite de l'accident

Source : CNESST

- Le refroidisseur fait face au sol du côté où se trouve la plaque d'identification, à proximité de la palette (il a été quelque peu déplacé à l'aide du pont roulant immédiatement après l'accident).



Fig. 6 – Position du refroidisseur à l'arrivée des inspecteurs
Source : CNESST

4.2.2 Informations sur le travailleur

M. ^C [REDACTED] était en poste en tant que journalier chez Thermofin [REDACTED].

Il travaillait sur le quart de soir de 15 h 30 à 1 h 30.

Il a suivi un programme d'intégration chez Thermofin le [REDACTED]. Ce programme inclut un volet santé et sécurité portant notamment sur les procédures à suivre en cas d'urgence, le port des équipements de protection individuelle, la manutention manuelle des charges, les produits dangereux et la propreté des lieux.

En tant que journalier, ses tâches étaient liées notamment à l'assemblage de composantes, la finition et l'emballage des produits finis pour l'expédition.

La formation pour certaines tâches relatives au travail de journalier lui a été transmise par compagnonnage [REDACTED].

Il effectuait des tâches de fabrication de renforts pour les palettes ainsi que l'emballage des refroidisseurs [REDACTED]. Il avait effectué à quelques reprises ces tâches pour des refroidisseurs de dimensions et de poids similaires à celui impliqué dans l'accident au cours des dernières années.

Il avait pris l'habitude de maintenir en hauteur des refroidisseurs de plus petit format (exemple : diamètre de 30,5 cm (12 po)) lors de leur emballage.

[REDACTED]

4.2.3 Informations sur le refroidisseur

Le refroidisseur impliqué dans l'accident est un refroidisseur de type noyé (*Flooded chiller*) modèle DLEGA-24-15-2, portant le numéro de travail #15592.

Il s'agit d'un refroidisseur étagé à deux cylindres comprenant un cylindre de 61 cm (24 po) de diamètre au bas et un cylindre de 45 cm (18 po) au haut. Une fois assemblé, le refroidisseur a une largeur à sa base d'environ 457 cm (180 po) et une hauteur totale d'environ 145 cm (57½ po).

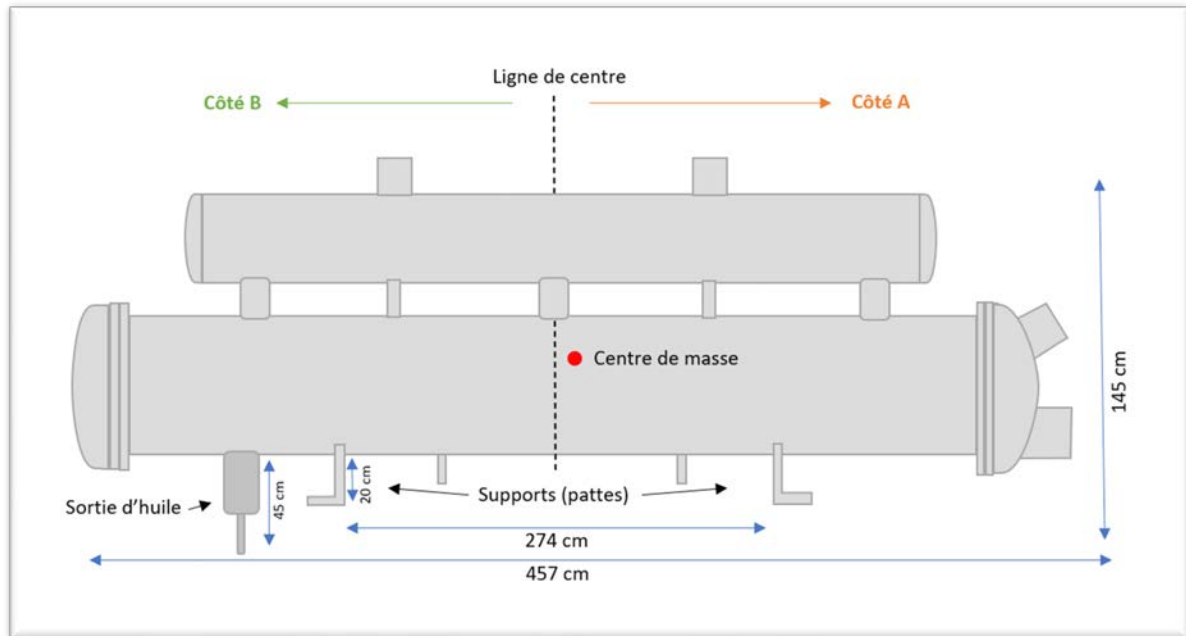


Fig. 7 – Croquis du refroidisseur noyé #15592
Source : CNESST

Il repose sur 2 supports en forme de « L », ayant une distance entre eux d'environ 274 cm (108 po) et d'une hauteur de 20 cm (8 po).

Il a une masse d'environ 3 334 kg (7 350 lbs) et son centre de gravité est légèrement décalé vers le côté A.

Des dimensions particulières peuvent être observées sur certains échangeurs, selon les critères de conception, d'un point de vue d'ingénierie ou à la demande de la clientèle de l'entreprise.

Dans le cas présent, le puisard (*sump*) est muni d'une sortie d'huile (*Oil outlet*), formant un élément sous le cylindre du bas d'une longueur d'environ 18 pouces (45 cm), soit plus bas que les supports du refroidisseur.

Une vingtaine d'unités similaires (type et dimensions) sont fabriquées par année.

4.2.4 Informations sur l'environnement et l'organisation du travail

L'espace intérieur de l'usine est occupé par différents postes de travail et la configuration des lieux s'adapte à la dimension des différentes unités en fabrication.

La manutention des refroidisseurs s'effectue à l'aide du pont roulant à l'intérieur de l'usine jusqu'à ce qu'ils soient prêts pour l'entreposage extérieur. L'absence de pont roulant dans la cour d'entreposage ne permet pas la manutention à l'aide de cet appareil à l'extérieur.

Les refroidisseurs sont alors mis sur une palette en position debout. Ceci permet leur manutention sur les fourches d'un chariot élévateur.

Les refroidisseurs fabriqués et testés doivent ensuite être préparés pour l'expédition. Les refroidisseurs en attente de préparation à l'expédition et ceux prêts à être expédiés sont entreposés à l'extérieur pour des durées variables. L'entreposage extérieur expose les refroidisseurs à la poussière. Puisque l'entreprise offre un produit dont les standards de qualité de peinture nécessitent une attention particulière, ceux-ci sont toilés.

4.2.5 Informations sur la palette et ses composantes

La tâche d'emballage est effectuée sur les refroidisseurs noyés depuis que la compagnie Thermofin en a débuté la fabrication en 2020. Cette tâche comprend plusieurs étapes, dont la mise sur palette.

La palette impliquée dans l'accident est de forme rectangulaire, a une longueur de 525 cm (17 pi 6 po) et une largeur de 122 cm (48 po). Elle est composée de madriers de 2 x 6 en bois d'épinette de classe 3, de 487 cm de long (16 pi), coupés au besoin. Des traverses sont présentes sous le plancher.

Dans le cas présent, des cales sont nécessaires sous les supports du refroidisseur compte tenu de la sortie d'huile plus longue que la hauteur de ses supports.

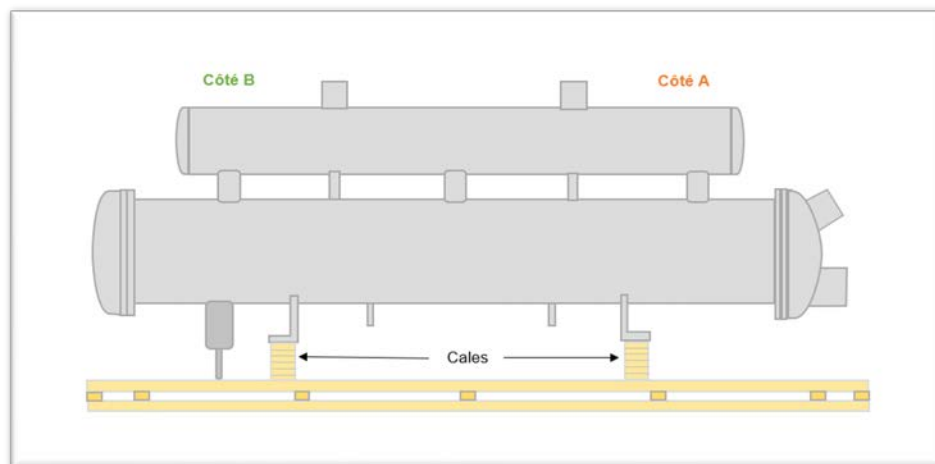


Fig. 8 – Illustration des cales sous les supports du refroidisseur
Source : CNESST

Ces cales sont utiles uniquement lorsque la palette est sol puisque le poids du refroidisseur est distribué sur ses deux supports.

En effet, la distance entre les supports étant plus grande que la distance entre les fourches du chariot élévateur, l'ajout de renforts est alors nécessaire pour combler le vide formé par le dessous du cylindre du bas, le plancher de la palette et la distance entre les deux supports.

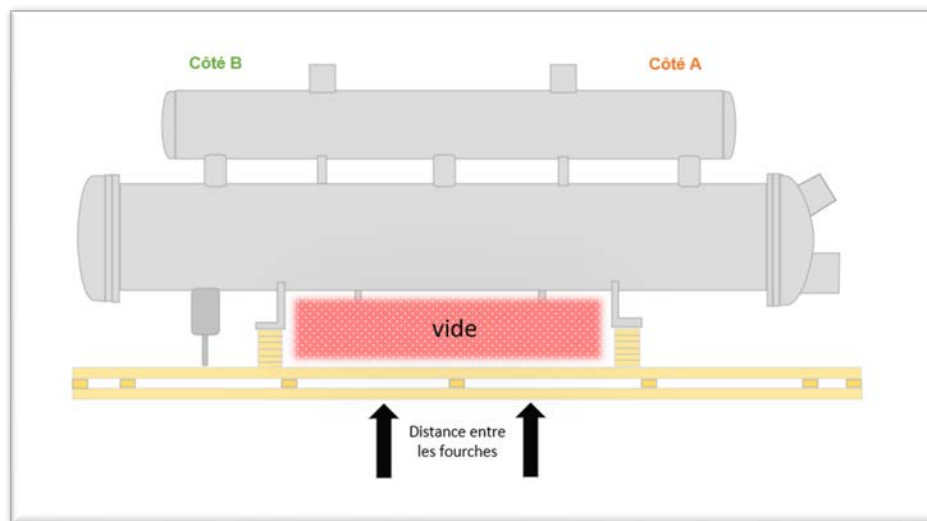


Fig. 9 – Illustration du vide et du positionnement des fourches pour la manutention du refroidisseur
Source : CNESST

Les renforts permettent ainsi d'éviter le fléchissement de la palette lors de sa manutention sur les fourches du chariot élévateur. Le poids du refroidisseur est alors complètement transféré sur les renforts lors de la manutention.

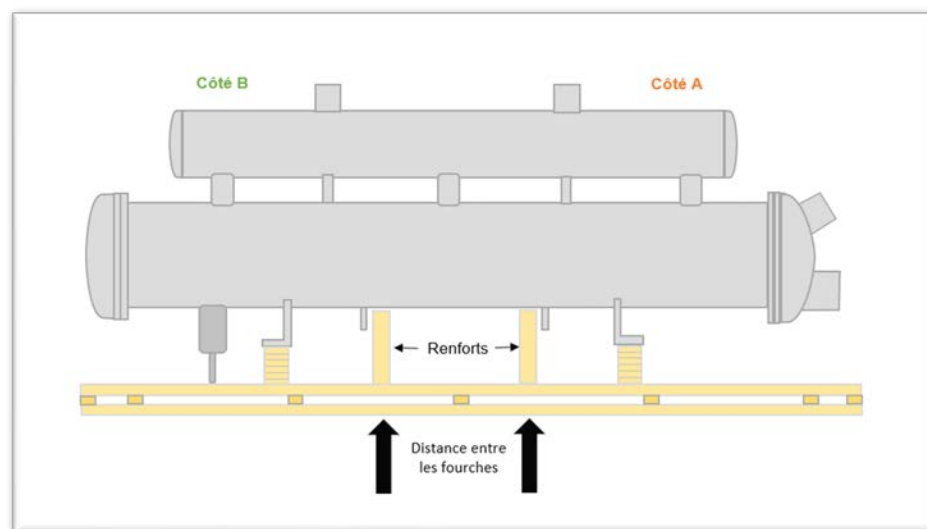


Fig. 10 – Croquis du refroidisseur déposé sur l'ensemble palette-renforts
Source : CNESST

Dans le cas présent, les renforts sont des cadres fabriqués en 2 x 6 comprenant 2 pièces horizontales et parallèles de 85 cm de longueur avec 3 montants d'environ 35 cm les reliant de manière perpendiculaire, soit 2 aux extrémités et 1 au centre. Ils sont à une distance d'environ 105 cm l'un de l'autre sur le plancher de la palette.

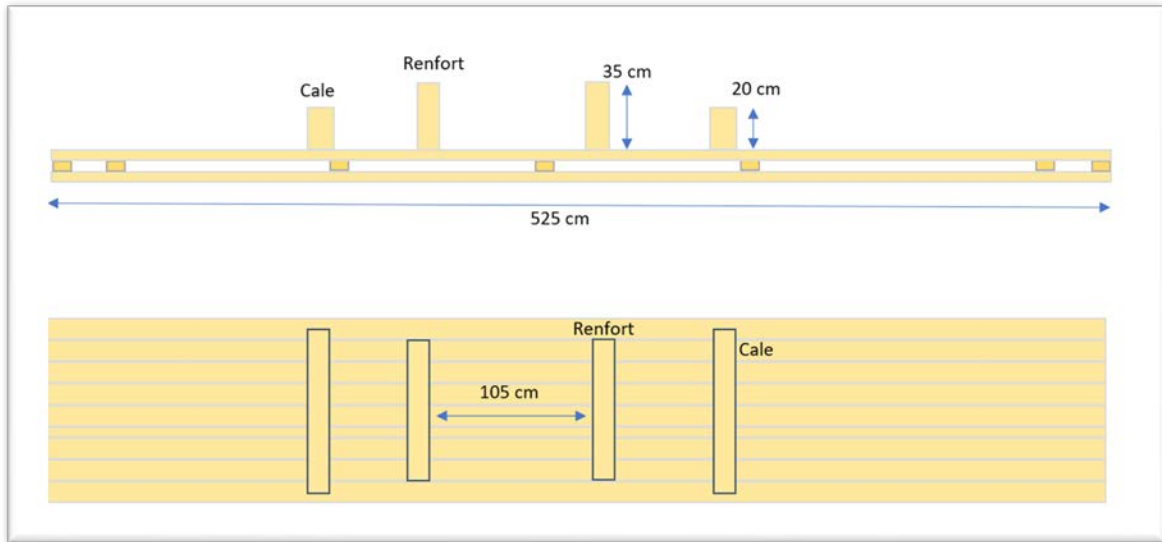


Fig. 11 – Vues de côté et en plan de la palette et de ses composantes

Source : CNESST

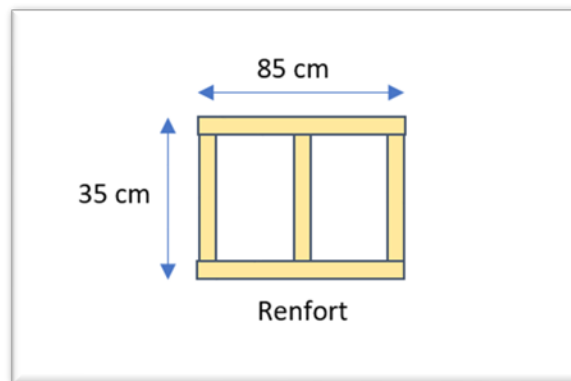


Fig. 12 – Dimensions du renfort

Source : CNESST

On peut voir la palette et ses composantes reconstituées à la figure ci-dessous.



Fig. 13 – *Vue de la palette reconstituée
partiellement post-accident*

Source : CNESST

4.2.6 Informations sur l'instruction d'emballage de l'employeur

Une instruction d'emballage est présente. Celle-ci a été mise en place par le département de qualité et vise principalement les échangeurs fabriqués par Thermofin avant l'acquisition de la compagnie Docal.

Les refroidisseurs noyés ne sont pas inclus dans cette instruction. Une annexe a cependant été produite pour orienter les journaliers concernant l'ajout de renforts pour la manutention sur palette. On y indique ceci :





Fig. 14 – *Extrait de l'annexe à l'instruction d'emballage spécifique aux refroidisseurs Docal*
Source : Thermofin

L'instruction d'emballage citée ci-haut est applicable pour tous les types de refroidisseurs.

Elle ne spécifie pas comment combler l'espace entre le plancher et le cylindre. Les renforts servant au levage sur les fourches du chariot élévateur sont donc fabriqués selon l'expérience du journalier.

Il appartient à chaque journalier de décider de la construction et de la conception des renforts en fonction de l'unité à emballer et à expédier. D'ailleurs, dans le cadre de cette enquête, différentes configurations de renforts ont pu être observées.

Aucun contrôle de qualité n'est effectué sur la fabrication des renforts par l'employeur ou les travailleurs impliqués, outre qu'un repérage visuel si une défaillance est facilement apparente et observable.

4.2.7 Expertise sur la palette et ses composantes

La CNESST a demandé une expertise interne afin notamment de déterminer le mode de défaillance de la palette et la séquence de rupture de celle-ci. Cette expertise révèle les éléments suivants :

- Le refroidisseur, d'une masse de 3 334 kg, applique une force de 32,6 kN en appui décentré sur 2 renforts.
- Le renfort A supporte environ 75% de la force du refroidisseur (24,3 kN).
- La membrure supérieure des renforts est sollicitée en flexion.

- En considérant la conception des renforts et la qualité de bois utilisée, la résistance en flexion de leur membrure supérieure est de 341 kN·mm.
- La sollicitation en flexion de la membrure supérieure du renfort A est estimée à 496 kN·mm, dépassant ainsi sa résistance.
- La membrure supérieure du renfort A cède, ce qui déstabilise le refroidisseur et génère un moment sur le plancher de la palette au droit du renfort B. Ce moment est largement supérieur à la résistance du plancher qui cède à son tour.

On constate donc que la conception des renforts engendre une sollicitation excessive de leur membrure supérieure. En effet, selon les résultats de l'expertise, nous constatons que, même avec une charge balancée, soit 50% de charge répartie sur les 2 renforts, chacun d'entre eux aurait supporté une charge de 331 kN·mm. Cette valeur est à la limite de la résistance de leur membrure supérieure.

Il importe de mentionner que ces calculs représentent un cadre théorique. Plusieurs variables peuvent échapper à ce cadre et c'est pourquoi l'ajout d'un facteur de sécurité est normalement nécessaire.

Le rapport d'expertise de la palette est annexé au présent rapport.

4.2.8 Informations sur le toilage

L'emballage du refroidisseur se termine par le toilage de celui-ci. Pour ce faire, une toile protectrice de style film rétractable (*shrink wrap*) est installée sur le refroidisseur.

Le jour de l'accident, le journalier débute cette tâche alors que la palette est au sol. Il place une section de toile sur le refroidisseur qu'il soulève ensuite sur les fourches du chariot élévateur. Il attache la section de toile sur la palette en l'agrafant à celle-ci. Il procède ainsi au toilage de l'une des faces du refroidisseur. Il s'exécute de la même manière pour l'autre face en ayant préalablement changé de côté avec le chariot élévateur.

Cette méthode de travail n'est pas documentée dans l'entreprise. Il n'y a pas d'indication spécifique sur la manière de procéder au toilage des refroidisseurs noyés. Il semble que la manière habituelle consiste à laisser la palette au sol, mais il n'y a pas d'interdiction formelle de soulever la charge et de la maintenir en hauteur sur les fourches du chariot élévateur.

4.2.9 Informations sur le chariot élévateur

Le chariot élévateur impliqué dans l'accident est un chariot élévateur à fourches à conducteur assis de marque Caterpillar modèle P11000.

Selon le registre d'entretien de l'employeur, la dernière inspection de routine du chariot élévateur est effectuée par un travailleur D de l'entreprise en date du 11 avril 2023.



Fig. 15 – Chariot élévateur Caterpillar, modèle P11000 utilisé lors de l'accident
Source : CNESST

Afin de vérifier la condition mécanique du chariot élévateur, la CNESST a mandaté l'entreprise CAT/Toromont pour faire l'inspection mécanique du chariot élévateur. Cette inspection mécanique a eu lieu le 10 mai 2023. Bien que le rapport d'inspection mécanique relève des points d'inspection nécessitant des correctifs quant à l'entretien d'usage du chariot élévateur par rapport aux normes d'inspection du fabricant, les résultats de cette inspection ne révèlent pas de défaillance mécanique pouvant expliquer l'accident.

Le rapport d'inspection du chariot élévateur est annexé au présent rapport.

4.2.10 Dispositions législatives et normatives

4.2.10.1 Loi sur la santé et la sécurité du travail (LSST)

La *LSST* oblige l'employeur à prendre les mesures nécessaires pour assurer la sécurité du travailleur. On y indique les obligations générales de l'employeur à l'article 51 :

51. L'employeur doit prendre les mesures nécessaires pour protéger la santé et assurer la sécurité et l'intégrité physique et psychique du travailleur. Il doit notamment :

[...]

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;

[...]

5° utiliser les méthodes et techniques visant à identifier, contrôler et éliminer les risques pouvant affecter la santé et la sécurité du travailleur;

[...]

9° informer adéquatement le travailleur sur les risques reliés à son travail et lui assurer la formation, l'entraînement et la supervision appropriés afin de faire en sorte que le travailleur ait l'habileté et les connaissances requises pour accomplir de façon sécuritaire le travail qui lui est confié;

[...]

4.2.10.2 Conformité et règles d'utilisation des chariots élévateurs

Le *Règlement sur la santé et la sécurité du travail (RSST)* établit les règles de conformité des chariots élévateurs :

256. Chariot élévateur: *Un chariot élévateur fabriqué à compter du 2 août 2001 doit être conforme à la norme Safety Standard for Low Lift and High Lift Trucks, ASME B56.1-1993.*

Celui fabriqué avant le 2 août 2001 doit être conforme à la norme Low Lift and High Lift Trucks, CSA B335.1-1977 ou à la norme Low Lift and High Lift Trucks, ANSI B56.1-1975.

D. 885-2001, a. 256.

La norme ASME B56.1 (1993) – Norme de sécurité concernant les chariots élévateurs à petite levée et à grande levée inclus des règles d'utilisation. On y indique notamment ceci :

5.2.11 Avant de s'éloigner du poste de conduite, le cariste doit :

[...]

d) abaisser complètement le dispositif de prise de charge [...]

De son côté, la norme CSA B335 (2015, confirmée en 2020) – Norme de sécurité pour les chariots élévateurs spécifie ce qu'un programme de sécurité devrait notamment inclure à la section 4.3 :

Le développement et la mise en œuvre d'un programme de sécurité pour l'utilisation des chariots élévateurs constituent une première étape pour l'amélioration de la sécurité des chariots élévateurs. Il est important de reconnaître que la formation, même si elle est essentielle, n'est pas suffisante pour éliminer les accidents. Pour être vraiment efficace, la formation du cariste devrait faire partie d'un programme plus général de sécurité pour l'utilisation des chariots élévateurs, qui devrait comporter les éléments suivants :

a) l'identification des dangers

b) les conditions du milieu de travail

[...]

e) les pratiques générales de sécurité

f) la formation (des caristes, des surveillants et autres personnes travaillant près des chariots)

[...]

4.2.10.3 Palette pour la manutention de charge

Selon la norme ISO 445 : 2013, Palettes pour la manutention et le transport de marchandises – Vocabulaire, une palette est une :

plate-forme horizontale rigide, de hauteur minimale compatible avec la manutention au moyen de transpalettes et/ou de chariots élévateurs ou d'autres équipements appropriés, utilisée comme support pour le rassemblement, le chargement, l'entreposage, la manutention, le gerbage, le transport ou la présentation de marchandises et de charges.

Peu de documentation technique ou de norme aborde la conception des palettes sur mesure à usage unique. La norme ISO 8611 – Palettes pour la manutention – Palettes plates, spécifie les méthodes d'essai visant à déterminer les charges nominales et les charges maximales des palettes plates neuves sans préciser de critère de conception. Il revient donc à l'employeur de s'assurer que la résistance du système palette-renforts est suffisante pour la charge appliquée et l'utilisation qui en est faite.

4.3 Énoncés et analyse des causes

4.3.1 Le refroidisseur de 3 334 kg se renverse sur le travailleur en raison de la rupture de la palette qui le supporte.

Le refroidisseur impliqué dans l'accident est un refroidisseur noyé à deux étages, d'un poids de 3 334 kg, d'une hauteur d'environ 1,45 m et d'une largeur de 457 cm. Ses supports ont une distance entre eux de 274 cm. Le refroidisseur est manutentionné debout à l'aide d'une palette de bois.

Pour éviter le fléchissement de la palette lors de sa manutention sur les fourches d'un chariot élévateur, deux renforts sont ajoutés afin de combler le vide formé par la distance entre les deux supports du refroidisseur.

Lors du soulèvement du refroidisseur, son poids est complètement supporté par les deux renforts. En supposant une répartition de charge parfaite, soit 50% de charge sur chacun des deux renforts, chacun d'entre eux aurait supporté une charge de 331 kN·mm. Selon l'expertise réalisée, cette charge est près de la limite de leur résistance.

En effet, il apparaît que la membrure supérieure des renforts (madrier de bois posé à plat) a une résistance à la flexion de 341 kN·mm.

Le jour de l'accident, la répartition de la charge n'est pas égale sur les deux renforts. Le centre de masse du refroidisseur est décentré vers le renfort A (vers le côté A). Ce décentrage fait en sorte de surcharger le renfort A à environ 75% de la charge totale du refroidisseur, soit 496 kN·mm. Ceci représente un dépassement de 45% de la résistance du renfort.

Le renfort A cède dû à cette surcharge. Cela transfère ainsi une force en flexion sur la palette au niveau du droit du renfort B. La palette cède donc à cet endroit, engendrant le renversement du refroidisseur sur le travailleur, qui est situé à l'avant.

Cette cause est retenue.

4.3.2 L'absence de critère de conception des renforts sur la palette, combinée à une méthode d'emballage improvisée, expose le travailleur à la chute de la charge.

Dans un premier temps, la conception de l'ensemble palette-renforts ne suit pas de critère défini. Il n'y a pas de plan de fabrication pour les renforts qui supportent l'ensemble du poids du refroidisseur lors de sa manutention sur les fourches d'un chariot élévateur.

En effet, la seule indication fournie au journalier responsable de la fabrication des renforts consiste à combler le vide sous le cylindre du refroidisseur. En l'absence de critères de conception, ces renforts sont fabriqués selon les connaissances et les habiletés du journalier. Celles-ci ayant été acquises au fil de son expérience de travail chez Thermofin.

Les renforts sont fabriqués par le travailleur et présentent une résistance correspondant à la limite du poids du refroidisseur lorsque celui-ci est réparti également. Or, le travailleur installe les renforts de sorte que le centre de masse du refroidisseur est décentré vers le renfort A. Ce dernier

est donc surchargé dès qu'il est sollicité lors de la manutention. Bien que la membrure supérieure (horizontale) du renfort A n'ait pas cédé dès sa mise en charge, il était probable que cela se produise considérant les propriétés physiques du bois et de son utilisation.

Dans un deuxième temps, bien que le toilage soit habituellement effectué alors que la palette est au sol, le travailleur prend l'habitude de la soulever. Il n'y a aucune consigne de sécurité établie à cet effet. L'absence de directives claires sur la méthode de toilage laisse le journalier libre d'improviser sa propre méthode de travail. De surcroît, le jour de l'accident, le travailleur décide d'ignorer la suggestion du **B** d'abaisser la palette au sol pour effectuer un toilage plus ajusté.

Le jour de l'accident, il soulève la charge à l'aide d'un chariot élévateur. Le point le plus élevé du refroidisseur se situe alors à environ 2,44 m (8 pi) du sol. Il effectue ensuite la tâche devant celle-ci en quittant le poste de conduite du chariot élévateur, ce qui est contraire à la norme CSA B56.1. L'article 5.2.11 de cette norme précise d'abaisser complètement le dispositif de prise de charge avant de quitter le poste de conduite.

Le toilage effectué en présence d'une charge maintenue en hauteur sur les fourches d'un chariot élévateur expose le travailleur à la chute de cette charge puisqu'il travaille directement dans le périmètre de chute du refroidisseur.

L'absence de directive de conception des renforts mène à une fabrication de ceux-ci comportant des lacunes de sécurité. Ceci, combiné à la méthode de toilage improvisée, compromet la sécurité du travailleur.

Des directives de fabrication ayant préalablement fait l'objet d'une analyse par une personne compétente et des directives de toilage assurant la stabilité de la charge auraient permis d'éviter la chute de celle-ci sur le travailleur.

Cette cause est retenue.

4.3.3 Une gestion déficiente de la manutention des refroidisseurs engendre des risques de chutes de charge.

La conception et la forme des refroidisseurs génèrent une problématique de manutention à l'extérieur de la zone de production. En effet, la manutention à l'aide du pont roulant permet l'élingage des refroidisseurs sans requérir à l'utilisation d'une palette. Cet élingage n'est cependant pas possible au moment d'entreposer les refroidisseurs à l'extérieur préalablement à l'expédition chez le client.

Afin de pallier cette problématique, l'employeur choisit de déposer les refroidisseurs en position debout, sur une palette. L'utilisation d'un chariot élévateur permet ensuite de manutentionner les refroidisseurs sur palette dans la cour. Pour ce faire, des renforts sont ajoutés pour soutenir le poids du refroidisseur lors de son soulèvement sur les fourches d'un chariot élévateur.

Bien qu'elle permette une certaine versatilité d'expédition, la manutention des refroidisseurs sur palette présente des risques. Ceux-ci ne sont cependant pas identifiés par l'employeur.

En effet, lors de la manutention, la totalité du poids du refroidisseur est soutenue uniquement par des renforts ajoutés à la palette. Or, ceux-ci sont fabriqués sans critère de conception qui assure une sécurité. De plus, des règles de manutention mal définies et l'absence d'encadrement font en sorte que les journaliers sont libres de déterminer leur méthode de travail lors de l'exécution des tâches liées à l'expédition.

Une organisation du travail comprenant une méthode de manutention ayant préalablement fait l'objet d'une analyse de risque aurait permis d'éviter que la charge se renverse sur le travailleur.

Cette cause est retenue.

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

- Le refroidisseur de 3 334 kg se renverse sur le travailleur en raison de la rupture de la palette qui le supporte.
- L'absence de critère de conception des renforts sur la palette, combinée à une méthode d'emballage improvisée, expose le travailleur à la chute de la charge.
- Une gestion déficiente de la manutention des refroidisseurs engendre des risques de chutes de charge.

5.2 Autres documents émis lors de l'enquête

À la suite de l'accident, la CNESST interdit le levage et la manutention des refroidisseurs (tubes et calandres). La CNESST exige qu'une méthode de travail pour la manutention sécuritaire des refroidisseurs soit élaborée afin de permettre la levée de l'interdiction. Le rapport d'intervention RAP1425263 émis le 9 mai 2023 fait état de cette interdiction.

La reprise des travaux de levage et de manutention des refroidisseurs est autorisée après que l'employeur ait soumis une méthode sécuritaire signée et scellée par un ingénieur. Cette levée de décision est consignée au rapport d'intervention RAP1425264 du 11 mai 2023.

5.3 Suivi de l'enquête

Afin d'éviter qu'un tel accident se reproduise, la CNESST transmettra les conclusions de son enquête aux organismes suivants afin qu'ils sensibilisent leurs membres :

- Les associations sectorielles paritaires;
- Les gestionnaires de mutuelle de prévention;
- L'Association des manufacturiers de palettes et de contenants du Québec;
- L'Association canadienne de palettes et de contenants en bois.

ANNEXE A**Travailleur décédé**

Nom, prénom : C [REDACTED]

Sexe : Masculin

Âge : [REDACTED]

Fonction habituelle : [REDACTED]

Fonction lors de l'accident : Journalier

Expérience dans cette fonction : [REDACTED]

Ancienneté chez l'employeur : [REDACTED]

Syndicat : [REDACTED]

ANNEXE B**Liste des personnes interrogées****Thermofin**

- M. Louis-Charles Rondeau, président
M. Jean-Francois Roy, vice-président
M. Patrick Goupil, directeur d'usine
Mme Mélanie Archer, directrice des ressources humaines
M. Maxime Séguin, directeur de l'ingénierie
M. Marc Bouchard, directeur Assurance qualité
M. Jonathan Perron, directeur TI
M. E [REDACTED]
M. F [REDACTED]
M. Michel Tremblay, contremaître de production
M. Kevin Labonté, contremaître de production
M. B [REDACTED]
M. G [REDACTED]
M. H [REDACTED]
M. I [REDACTED]

Caterpillar/Toromont

- M. J [REDACTED]

ANNEXE C

Rapport d'inspection du chariot élévateur



INSPECTION DE SECURITE

PM Checklist

● 9 ● 0 ● 56 ● 9

n° de Inspection	12640766	Nom du client	THERMOFIN
Marque	CATERPILLAR LIFT TRUCKS	Ordre de travail	cc34680
Numéro de série	[REDACTED]	Date de fin	2023-05-10 13:36:27
modèle	P11000	Inspecteur	J [REDACTED]
famille Équipement	FORKLIFT	PDF généré sur	2023-05-10
SMU	9678 Heures	COORDONNÉES	0, 0, 0

General Info & Comments

● **General info/Comments** ACTION

Comments: -Code moteur E-43-26-24
 -Portes de cab tiens pas
 -Bushing pas du mast finis
 -4 bearings du bas du mast cassés
 -Cyl primaire coule(drift)
 -Épaisseur fourches maximum Spec 90%
 -plaque capacité absente plus de l'attacheement
 -petite suintage valve transmission
 -suintage tube pos/fourches
 -shrad de fan cassé plus palme de fan endommagées
 -suintage Cyl de direction,seal en train de sortir
 -air filter sale
 -bras s-s branché mauvais sens





Description de chariot

● 1.1 Type carburant / voltage / Fuel type/ voltage PROPANE

● 1.2 Mât OUI

1.2.1 Modèle/Model	cat .
1.2.2 No série du mât/Mast serial number	██████████
1.2.3 Angle d'inclinaison avant/ Front tilt angle	6 degrés/degrees
1.2.4 Angle d'inclinaison arrière/ Rear tilt angle	6 degrés/degrees

● 1.3 Fourches/Forks OUI

Comments: Percées au bout et marque 1"

1.3.1 Épaisseur/Thickness	2 inches
1.3.2 Largeur/Width	6 inches
1.3.3 Longueur/Length	48 inches
1.4 Pneus/Tires	<i>OUI</i>
1.4.1 Type	solideal .
1.4.2 Traction/Drive	300-15 .
1.4.3 Direction/Steer	7.00-12 .
1.4.4 Quantité/Quantity	4 unités/units
1.5 Attachement/Attachment	<i>OUI</i>
Comments: Pas de plaque sur attachement	
1.5.1 Marque/Brand	???? .
1.5.2 Modèle/Model	???? .
Plaque de capacité	
2.1 Plaque de capacité/Capacity plate	<i>ÉCHOUÉ</i>
Comments: Absent	
Mât	
3.1 Attache/Fastener	<i>APPROUVÉ</i>
3.2 Section fixe du mât/Fixed mast section	<i>ÉCHEC</i>
Comments: .	
3.3 Rouleau / glisseur / Roller /slider	<i>ÉCHEC</i>
Comments: .	
3.4 Loquet / arrêt/ lock/stop	<i>APPROUVÉ</i>
3.5 Boyau / poulie/ Hose/ pulley	<i>APPROUVÉ</i>
3.6 Soudures/Welds	<i>APPROUVÉ</i>
Tablier	

● 4.1 Soudures/Welds APPROUVÉ

● 4.2 Fourches / arbre/ Forks/ shaft APPROUVÉ

● 4.3 Arrêt de fourche/ Fork lock S.O.

● 4.4 Dossier appui charge/ Backrest S.O.

● 4.5 Rouleau / glisseur/ Roller/ slider ÉCHEC

Comments: .

● 4.6 Condition & ajust chaîne/ Chaines condition & adjust APPROUVÉ

● 4.7 Ancre de chaîne/Chain anchor APPROUVÉ

● 4.8 Jeu de tablier/Carriage play ÉCHEC

Comments: .

Fourche

● 5.1 Verrou de fourche/ fork bolt APPROUVÉ

● 5.2 Rectitude/Straightness APPROUVÉ

● 5.3 Épaisseur (jaugée)/Thickness (gauged) APPROUVÉ

● 5.4 Condition APPROUVÉ

● 5.5 Angle APPROUVÉ

● 5.6 Crochet / tube /Hook/tube APPROUVÉ

Cylindre de levage

● 6.1 Attache/Fastener APPROUVÉ

Toit protecteur		
<input checked="" type="radio"/>	12.1 Attache/Fastener	APPROUVÉ
<input checked="" type="radio"/>	12.2 Condition	APPROUVÉ
Roues / pneus		
<input checked="" type="radio"/>	13.1 Boulonnerie/Bolts	APPROUVÉ
<input checked="" type="radio"/>	13.2 Roulement de roue/Wheel bearing	APPROUVÉ
<input checked="" type="radio"/>	13.3 Usure / condition/Wear/condition	APPROUVÉ
<input type="radio"/>	13.4 Pression/Pressure	S.O.
Test d'émission		
<input type="radio"/>	14.1 Test d'émission/Emissions test	N/A
Batterie / électrique		
<input checked="" type="radio"/>	15.1 Compartiment/Compartment	APPROUVÉ
<input checked="" type="radio"/>	15.2 Poids specs/Dry weights	APPROUVÉ
<input checked="" type="radio"/>	15.3 Coulisse/Leak	APPROUVÉ
<input type="radio"/>	15.4 Niveau batterie/Battery level	S.O.
<input checked="" type="radio"/>	15.5 Borne batterie/Battery post	APPROUVÉ
<input type="radio"/>	15.6 Pointe de contacteur/Contacter point	S.O.
<input type="radio"/>	15.7 Brosse de moteur si accessible /Motor brush, if accessible	S.O.

Divers

- 16.1 Condition du siège/Seat condition *APPROUVÉ*

- 16.2 Ceinture de sécurité/Seatbelt *APPROUVÉ*

- 16.3 Niveau des liquides/Fluid levels

- 16.4 Coulisse d'huile/Oil leak

- 16.5 Conduit de carburant /Fuel pipe

- 16.6 Attache réservoir/Reservoir lock

- 16.7 Graisseur/greaser

- 16.8 Lumière/Light

- 16.9 Bruit anormal/Abnormal noise

- 16.10 Ressort & suspension/Spring & suspension

- 16.11 Panneau/Panel

- 16.12 Essieu direction/Steer axle

- 16.13 Joints en U/U joint

ANNEXE D

Rapport d'expertise

**RAPPORT
D'EXPERTISE**

*Rapport sur les causes techniques de
l'effondrement d'une palette lors du
levage d'un refroidisseur.*

Rapport présenté à

Stéphanie PAQUIN et Richard LAPLANTE
Inspecteurs
Direction générale de la prévention inspection Centre-Sud,
point de service Rive-sud
CNESST

Préparé par

Hussein ELAHMED, ing.
Direction du génie-conseil secteur construction
CNESST



2023-06-19

CNESST

Table des matières

1. Mise en contexte.....	4
2. Description du mandat.....	4
3. Méthodologie.....	4
4. Informations recueillies.....	5
4.1 Description de la palette :	5
4.2 Description des renforts.....	6
5. Analyse	7
5.1 Calcul des réactions dans les renforts.....	7
5.2 Calcul des forces axiales dans les membrures verticales du renfort A	10
Résistance à la compression perpendiculaire au fil	12
Moment résistant.....	13
Résistance au cisaillement	14
Résistance en compression des membrures verticales	15
5.4 Interprétation des résultats obtenus sur la capacité de la membrure supérieure du renfort A	15
5.5 Rupture de la surface de la palette.....	18
5.6 Capacité nominale de la palette :	19
6. Conclusion et recommandations	20
7. Références.....	21

Tables des photos :

Photo 1: La palette accidentée avec les renforts et les piles qui ont été installés pour appuyer le refroidisseur, une brisure transversale est observée au droit d'un des renforts d'appui. (source : CNESST)	5
Photo 2: Plaques d'appuis soudées au refroidisseur et reliées par des tiges à des madriers qui sont installés en piles sur la palette (source CNESST).....	6
Photo 3: Deux ruptures de chaque côté de la membrure supérieure du renfort brisé (source : CNESST)	7
Photo 4: Délimitation de la zone de contact entre le refroidisseur et le renfort A (source : CNESST)	9
Photo 5: Endommagement de la membrure inférieure du renfort A à cause d'une résistance insuffisante en compression perpendiculaire au fil (source : CNESST).....	16
Photo 6: Endommagement de la membrure supérieure du renfort A à cause d'une résistance insuffisante en compression perpendiculaire au fil (source : CNESST).....	16
Photo 7: Les lignes de ruptures sur chaque moitié de la membrure supérieure (source : CNESST).....	18

Table des figures :

Figure 1: Dimensions des membrures du renfort.....	6
Figure 2: Position de levage de la palette avec le refroidisseur sur les fourches du chariot élévateur	8
Figure 3: Forces de réactions dans les renforts A et B	8
Figure 4: Distribution de la force de réaction sous la membrure inférieure et la distance de contact entre le refroidisseur et le renfort A.....	10
Figure 5: Répartition des réactions dans les membrures verticales du renfort A.....	11
Figure 6: Diagramme du moment de la membrure supérieure du renfort A.....	12
Figure 7: Lignes potentielles de rupture sur chaque moitié de la membrure supérieure en fonction de la répartition des forces	17

1. Mise en contexte

Lors du levage avec un chariot élévateur, une palette s'est effondrée sous le poids d'un refroidisseur d'une masse totale de 3334 Kg (7350 lb). Le refroidisseur de forme cylindrique a été posé sur quatre points d'appui installés sur la surface de la palette. Deux points d'appui sont constitués de renforts en bois cloués à la surface de la palette. Les deux autres points d'appui sont constitués par deux piles de six madriers posés horizontalement sur la surface de la palette. Le refroidisseur repose sur ces piles grâce à deux plaques métalliques qui y sont soudées. Il est appuyé directement sur les deux renforts. Il est à noter que la palette et les renforts sont fabriqués dans un atelier situé dans l'usine.

Au moment de l'accident, la palette et le refroidisseur sont soulevés par un chariot élévateur. Pour procéder au levage, les fourches sont placées sous les renforts.

2. Description du mandat

L'objectif du présent mandat est de déterminer les causes de défaillance de la palette et des renforts, ainsi que la séquence de rupture de ces principales composantes. La charge maximale de levage de la palette sera également estimée.

3. Méthodologie

Dans le cadre de ce mandat, une visite en usine a été effectuée.

Cette visite avait pour but de mesurer les dimensions de la palette et des renforts, et d'identifier la classe du bois de la palette et de ses composantes. Par ailleurs, les ruptures de chaque composante de la palette ont été documentées.

Une simulation théorique du levage de la palette sur le chariot a été réalisée pour déterminer les réactions transmises aux points d'appuis, précisément au renfort qui a subi la force de réaction la plus élevée.

Le bois qui a été utilisé dans la fabrication de la structure composée de la palette, les renforts et les piles de madriers, est un bois de charpente appartenant au groupe d'essence Épinette de classe 3. Les composantes principales de cette structure sont des 2"x 6", groupées dans la catégorie "solives et madriers". Conséquemment, le calcul et la détermination de tous les paramètres de la résistance de ces éléments de charpente doivent s'effectuer selon la norme CSA-O86 : F19 Règles de calcul des charpentes en bois.

Les capacités suivantes des membrures de ce renfort ont été calculés selon la norme CSA-O86 : F19 Règles de calcul des charpentes en bois :

- Les capacités de ces membrures en matière de compression perpendiculaire et parallèle au fil,
- Les capacités de résistance en cisaillement
- Les capacités de résistance en flexion

Finalement, les valeurs de chaque type de résistance ont été comparées avec les efforts dans les membrures. Cette comparaison a permis de déterminer les modes de ruptures

anticipés. Ces derniers ont été confirmés par les observations sur les composantes accidentées.

4. Informations recueillies

4.1 Description de la palette :

La palette utilisée lors de l'accident est de forme rectangulaire composée de madriers en 2" x 6" et en 2" x 4". Les dimensions de la palette sont de 5334 mm de longueur et sa largeur est de 1220 mm. Les madriers sont en bois d'épinette sec de classe 3. Deux renforts en bois ont été fabriqués en usine et installés sur la palette afin d'appuyer le refroidisseur. Les renforts sont composés de morceaux de bois en 2" x 6" de même catégorie que les madriers de la palette. Ils sont assemblés par des clous d'une longueur de 81 mm et d'un diamètre de 3 mm. L'espacement entre les renforts est d'environ 1045 mm centre à centre.

L'inspection de la palette a montré une brisure transversale juste à côté d'un des renforts d'appui comme illustré par la flèche rouge sur la photo 1.

D'autres bris sont aussi observés à différents endroits sur la palette.

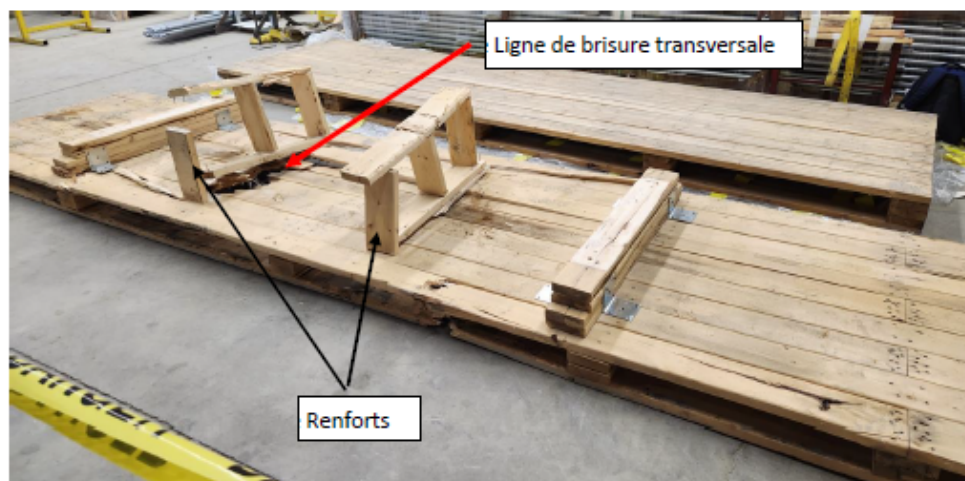


Photo 1: La palette accidentée avec les renforts et les piles qui ont été installés pour appuyer le refroidisseur, une brisure transversale est observée à l'endroit d'un des renforts d'appui. (source : CNESST)

En plus des renforts, deux piles de madriers en 2" x 6" ont été installées sur la palette pour appuyer le refroidisseur. À cet effet, deux plaques d'appui métalliques sont soudées au refroidisseur (photo 2) pour lui permettre de s'appuyer sur les deux piles.



Photo 2: Plaques d'appuis soudées au refroidisseur et reliées par des tiges à des madriers qui sont installés en piles sur la palette (source CNESST)

4.2 Description des renforts

Comme mentionné, les renforts sont fabriqués en usine et sont constitués de membrures de bois en 2" x 6" de classe 3. La figure suivante montre les dimensions de ces membrures. L'assemblage des membrures est réalisé avec des clous. En moyenne, deux clous sont utilisés à chaque joint.

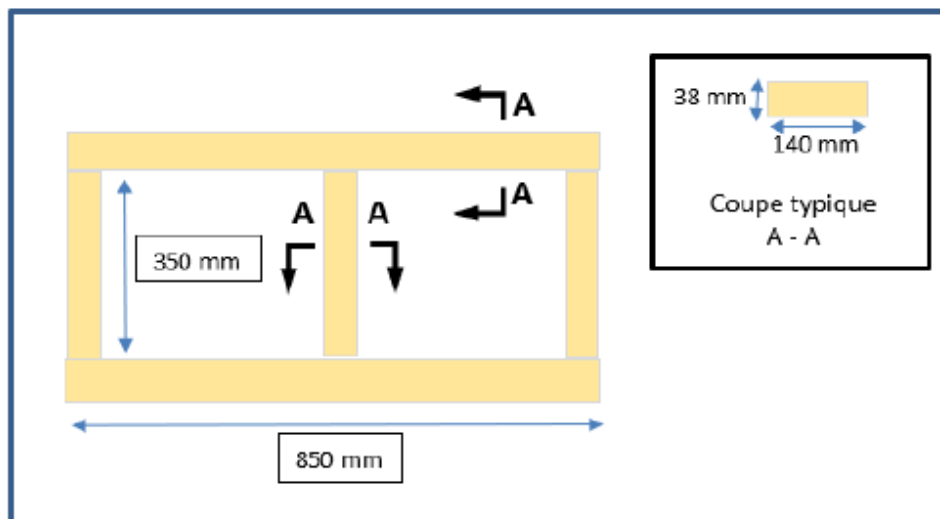


Figure 1: Dimensions des membrures du renfort

Selon les observations sur place, toutes les membrures des deux renforts sont décloquées. Le renfort présenté à la photo 3 montre deux ruptures au niveau de la membrure supérieure.

Les lignes de ruptures commencent à partir de chaque face de la membrure d'appui central. Cette dernière était placée directement sous le refroidisseur.



Photo 3: Deux ruptures de chaque côté de la membrure supérieure du renfort brisé (source : CNESST)

Sur l'autre renfort, aucune rupture dans les membrures n'a été observée.

Selon les ruptures observées, on peut conclure que l'effondrement de la palette a été initié par la rupture du renfort illustré dans la photo 3, suivie par la rupture de la surface de la palette (photo 1). Cette conclusion est justifiée par le fait que la rupture de la surface de la palette est survenue entre les deux renforts d'appui, ce qui implique que cette rupture ne se serait pas produite si les deux renforts étaient restés en place et n'avaient subi aucune rupture. Il faut donc que l'un des renforts se brise en premier pour que la rupture de la palette se produise à l'endroit observé.

5. Analyse

5.1 Calcul des réactions dans les renforts

Dans une position de levage sur les fourches d'un chariot élévateur, le poids du refroidisseur sera repris par les deux renforts (A et B) puisqu'ils sont situés directement sur les fourches. Le schéma suivant illustre la répartition des forces de réaction ainsi que l'espacement entre les renforts. La position du centre de masse a été déterminée à partir du dessin technique du refroidisseur dont le numéro est : 15592-1, (ce dessin nous a été fourni par la compagnie Thermofin).

Les mesures des distances dans la figure 2 sont en mm.

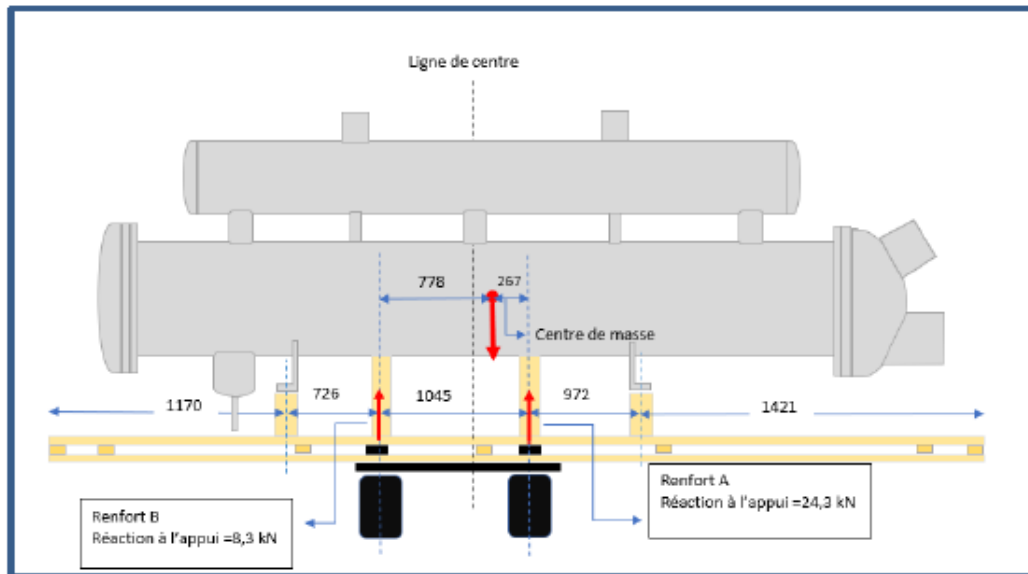


Figure 2: Position de levage de la palette avec le refroidisseur sur les fourches du chariot élévateur

Pour déterminer les réactions des fourches transmises aux deux renforts, il est possible d'utiliser le schéma simplifié présenté à la figure 3.

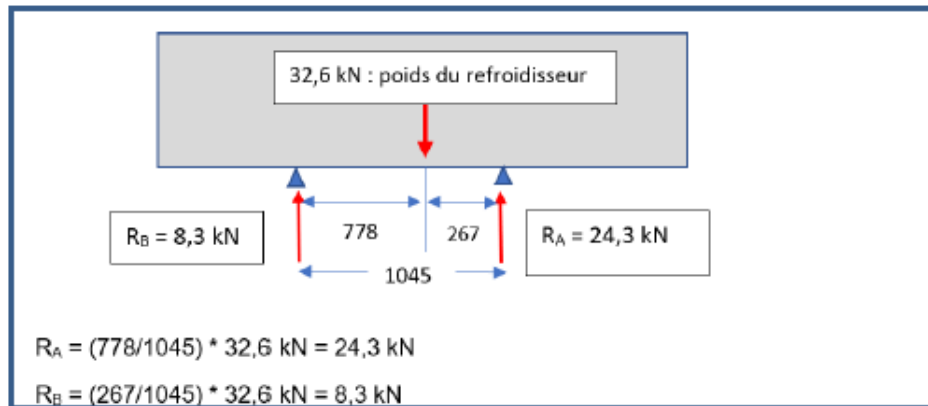


Figure 3: Forces de réactions dans les renforts A et B

La force de réaction la plus élevée est transmise au renfort A. Cette force est appliquée par la fourche à travers la palette à la membrure inférieure de ce renfort. On peut assimiler cette force à une charge linéique appliquée sur la face inférieure de cette membrure. On peut également considérer que la distribution de cette charge est symétrique par rapport à la membrure verticale au centre du renfort. Cependant, cette distribution n'est pas nécessairement uniforme; elle est maximale sur une certaine distance sous la membrure

verticale puisque le renfort se trouve directement sous le refroidisseur et elle diminue en s'éloignant du centre vers les extrémités.

Au niveau de la membrure supérieure, les traces de l'appui du refroidisseur ont été observées et mesurées (photo 4). La longueur de l'appui du refroidisseur est d'environ 150 mm (6"). Cette longueur excède l'épaisseur de la membrure verticale centrale qui est égale à 38mm. Dans ce cas, le poids du refroidisseur ne sera pas repris entièrement par la membrure centrale. Une partie de la charge sera reprise par les deux autres membrures verticales.



Photo 4: Délimitation de la zone de contact entre le refroidisseur et le renfort A (source : CNESST)

En résumé, le renfort A est soumis à une force appliquée sur une longueur de 150 mm causée par le poids du refroidisseur et à une réaction transmise par la fourche du chariot à travers la palette. Cette réaction est répartie sur toute la longueur de la membrure inférieure. En conséquence, le poids du refroidisseur ne sera pas repris par la membrure verticale seulement. Bien que la majeure partie de ce poids soit acheminée à cette membrure, un certain pourcentage sera transmis aux deux autres membrures verticales. La figure 4 illustre cette situation.

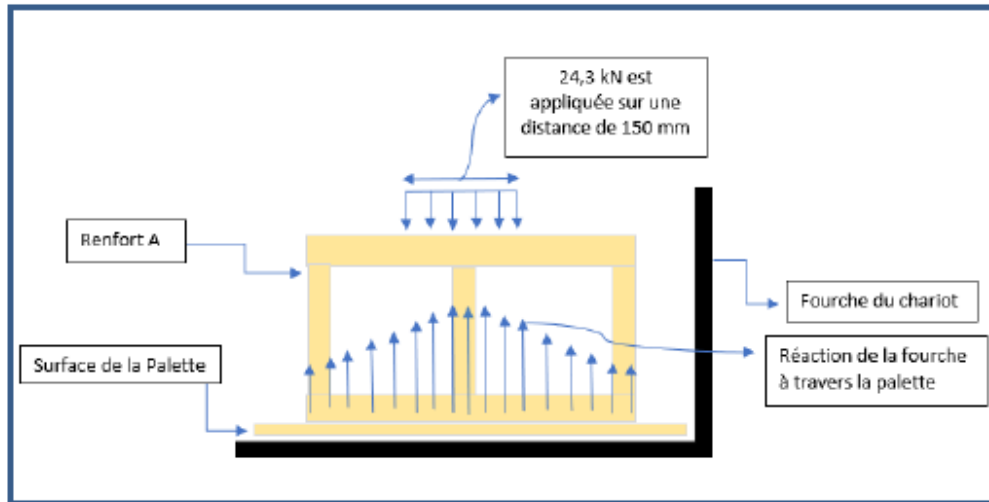


Figure 4: Distribution de la force de réaction sous la membrure inférieure et la distance de contact entre le refroidisseur et le renfort A

5.2 Calcul des forces axiales dans les membrures verticales du renfort A

Dépendamment de la longueur d'appui du refroidisseur, la force de compression dans la membrure verticale varie entre deux valeurs limites :

- Si la longueur d'appui est égale à 38 mm (épaisseur de la membrure verticale), la force de compression dans la membrure est égale à 24,3 kN. Autrement dit, toute la force de réaction transmise au renfort A sera reprise complètement par la membrure verticale.
- Si le poids du refroidisseur est réparti sur toute la longueur de la membrure supérieure, les forces de compression dans les membrures verticales seront toutes égales à : $(24,3 \text{ kN}) / 3 = 8,1 \text{ kN}$, donc : $R_1 = R_2 = R_3 = 8,1 \text{ kN}$

Dans un cas intermédiaire, la force R_3 sera calculée par interpolation entre les deux valeurs 24,3 et 8,1 kN, donc :

$$R_3 = 24,3 - \frac{(24,3 - 8,1)}{406} * x \text{ , } x \text{ distance qui varie entre 0 et 406 mm}$$

La formule précédente est une interpolation linéaire en fonction de la moitié de la distance d'appui vue que le chargement est symétrique.

- Si $x = 0$, $R_3 = 24,3 \text{ kN}$ ce qui correspond au cas d'un poids repris complètement par l'appui.
- Si $x = 406$, $R_3 = 8,1 \text{ kN}$ ce qui correspond au cas d'un poids réparti sur toute la longueur de la membrure supérieure.
- Si $x = 150/2 = 75 \text{ mm}$, $R_3 = 21,3 \text{ kN}$ cette force représente 87,65% de 24,3 kN

Par la suite, on peut calculer les forces R_1 et R_2 :

$$R_1 = R_2 = (24,3 - 21,5) / 2 = 1,5 \text{ kN}$$

Cette force est égale à 6,17% de 24,3 kN

Finalement, la figure 5 illustre la répartition des réactions dans les membrures verticales du renfort A.

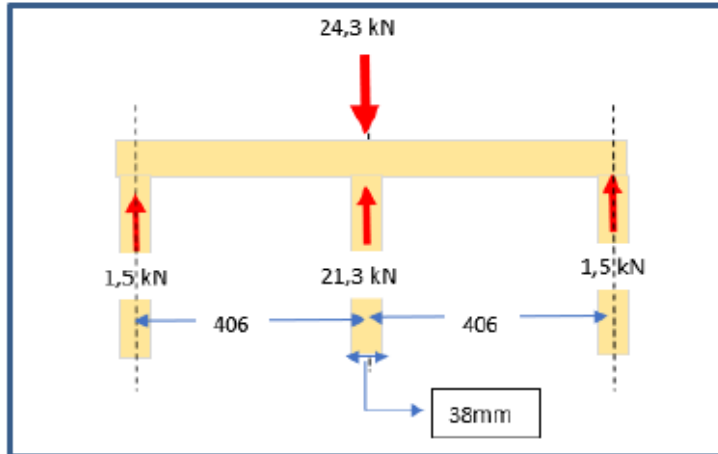


Figure 5: Répartition des réactions dans les membrures verticales du renfort A

On pourrait aussi calculer les forces de compression dans les membrures verticales par une méthode alternative en se basant sur une hypothèse qui prend en considération la distribution de la réaction sous la membrure inférieure du renfort.

On peut remarquer que la force de compression dans la membrure centrale est plus élevée que les forces de compression dans les autres membrures. Toutefois, ces forces sont susceptibles de provoquer une flexion de chaque moitié de la membrure supérieure. Théoriquement, les moments créés par les forces R_1 et R_2 à chaque côté de l'appui central de la membrure supérieure sont égaux à : $1,5 * (406 - 19) = 580 \text{ kN}\cdot\text{mm}$

Cependant, ces moments seront calculés à deux points situés à 75 mm du centre de la membrure verticale pour tenir compte de la longueur d'appui du refroidisseur, donc ces moments seront égaux à $1,5 * (406 - 75) = 496 \text{ kN}\cdot\text{mm}$

Par conséquent, le diagramme de moment de la membrure supérieure est présenté à la figure suivante.

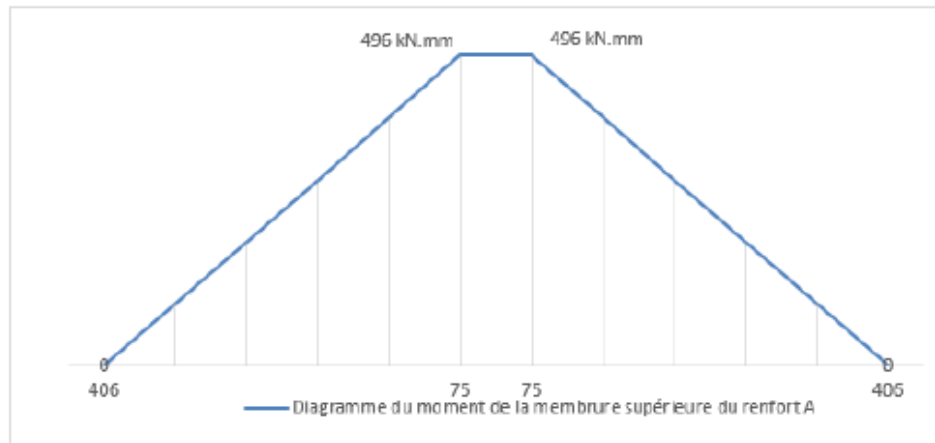


Figure 6: Diagramme du moment de la membrure supérieure du renfort A

L'étape suivante est de déterminer la résistance de la membrure supérieure.

5.3 Calcul de la résistance de la membrure supérieure du renfort A

Résistance à la compression perpendiculaire au fil

Selon l'article 6.5.6.2 de la norme CSA-O86, la résistance à la compression perpendiculaire au fil est calculée selon la formule suivante :

$$Q_r = \Phi F_{cp} A_b K_B K_{Zcp}$$

$$\Phi = 0,8$$

$$F_{cp} = f_{cp}(K_D K_{Scp} K_T)$$

où

f_{cp} : résistance prévue en compression perpendiculaire au fil, cette résistance est déterminée à partir le tableau 6.4 de la norme CSA-O86.

A_b : surface d'appui

K_B : coefficient de longueur d'appui

K_{Zcp} : coefficient de dimensions pour l'appui

Selon le tableau 6.4 de la norme CSA-O86 :

Tableau 6.4
Résistances prévues et modules d'élasticité, MPa, des solives et madriers, des charpentes légères et des montants (colombages)

(Voir les articles [6.3.1.1](#), [6.3.1.2](#), [6.3.2](#), [6.5.3.1](#), [6.5.5.2.4](#), [6.5.5.2.5](#), [6.5.6.2](#), [6.5.8](#), [10.5.3](#) à [10.5.5](#), [10.6.3.1](#), [10.6.3.6](#), [12.4.4.4](#), [12.4.4.5](#), [A.6.5.5.3.6](#), et [A.5.4.2.2](#) et les tableaux [6.8](#), [6.9](#) et [8.2](#).)

Groupe d'essences	Classe	Flexion, f_b	Cisaillement longitudinal, f_c	Compression			Module d'élasticité	
				Parallèle au fil, f_c	Perpendiculaire au fil, f_{cp}	Traction parallèle au fil, f_t	E	E_{95}
Sapin de Douglas-mélèze	SS	16,5		19,0		10,6	12 500	8500
	n° 1/n° 2	10,0	1,9	14,0	7,0	5,8	11 000	7000
	n° 3/Stud	4,6		7,3		2,1	10 000	5500
Pruche-sapin	SS	16,0		17,6		9,7	12 000	8500
	n° 1/n° 2	11,0	1,6	14,8	4,6	6,2	11 000	7500
	n° 3/Stud	7,0		9,2		3,2	10 000	6000
Épinette-pin-sapin	SS	16,5		14,5		8,6	10 500	7500
	n° 1/n° 2	11,8	1,5	11,5	5,3	5,5	9500	6500
	n° 3/Stud	7,0		9,0		3,2	9000	5500
Essences nordiques	SS	10,6		13,0		6,2	7500	5500
	n° 1/n° 2	7,6	1,3	10,4	3,5	4,0	7000	5000
	n° 3/Stud	4,5		5,2		2,0	6500	4000

Donc : $f_{cp} = 5,3$ MPa

K_D = coefficient de durée d'application de charge, selon le tableau 5.1 de la norme CSA-O86, ce coefficient est égal à 1,15 pour les charges de courte durée¹. Cette valeur sera utilisée dans le calcul de la résistance.

K_{Scp} = coefficient de conditions d'utilisation = 1 (utilisation en milieu sec)

K_T = coefficient de traitement = 1 (bois non traité en milieu sec, tableau 6.11 de la norme CAS-O86)

Donc : $F_{cp} = 5,3 * 1,15 * 1 * 1 = 6$ MPa

$A_b = 38 * 140 = 5320$ mm²

$K_B = 1$, car la surface d'appui est soumise à de fortes contraintes de flexion (article 6.5.6.5 de la norme CSA-O86)

$K_{Zcp} = 1$ selon le tableau 6.15 de la norme CSA-O86 (la largeur de l'appui = hauteur de la membrure = 38 donc le rapport entre les deux largeurs = 1)

Finalement, la résistance à la compression perpendiculaire au fil :

$$Q_r = \Phi F_{cp} A_b K_B K_{Zcp} = 0,8 * 6 * 5320 * 1 * 1 = 25,9 \text{ kN}$$

Moment résistant

Le moment résistant est calculé selon l'article 6.5.3,

$$M_r = \Phi F_b S K_{Zb} K_L$$

¹ Selon la norme CSA-O86 :F19, durée d'application courte correspond à une durée ne dépassant pas 7 jours de façon consécutive ou cumulative pendant toute la vie utile de la charpente.

où

$$\Phi = 0,9$$

$$F_b = f_b(K_D K_H K_{Sb} K_T)$$

f_b = résistance prévue en flexion (selon le tableau 6.4 de la norme CSA-O86) = 7 MPa

K_D = coefficient de durée d'application de charge = 1,15

K_H = coefficient de système = 1 (tableau 6.12 de la norme CAS-O86)

K_{Sb} = coefficient de conditions d'utilisation = 1 (pour une utilisation en milieu sec, tableau 6.10 de la norme CAS-O86)

K_T = coefficient de traitement = 1 (bois non traité en milieu sec, tableau 6.11 de la norme CAS-O86)

$$\text{Donc : } F_b = 7 * 1,15 * 1 * 1 * 1 = 8,05 \text{ MPa}$$

$$S = \text{module de section} = (bh^2)/6 = (140 * (38)^2)/6 = 33693 \text{ mm}^3$$

K_{Zb} : coefficient de dimensions en flexion = 1,4 (selon le tableau 6.13 de la norme CSA-O86)

K_L = coefficient de stabilité latérale = 1, car la rapport hauteur/largeur est $\leq 2,5 : 1$ (38/140 est inférieur à 2,5 : 1).

Le moment résistant de la membrure est égal alors à :

$$M_r = 0,9 * 8,05 * 33693 * 1,4 * 1 = 341 \text{ kN.mm}$$

Résistance au cisaillement

La résistance en cisaillement est calculée selon la formule suivante :

$$V_r = \Phi * 0,67 * F_v A_n K_{Zv}$$

où

$$\Phi = 0,9$$

$$F_v = f_v(K_D K_H K_{Sv} K_T)$$

f_v = résistance prévue en cisaillement (selon le tableau 6.4 de la norme CSA-O86) = 1,5 MPa

K_D = coefficient de durée d'application de charge = 1,15

K_H = coefficient de système = 1

K_{Sv} = coefficient de conditions d'utilisation = 1 (pour une utilisation en milieu sec, tableau 6.10 de la norme CAS-O86)

K_T = coefficient de traitement = 1 (bois non traité en milieu sec)

Donc : $F_v = f_v(K_D K_H K_{Sv} K_T) = 1,5 * 1,15 * 1 * 1 * 1 = 1,7 \text{ MPa}$

A_b : aire de la section transversale nette = $38 * 140 = 5350 \text{ mm}^2$

K_{Zv} : coefficient de dimensions en cisaillement = 1,4 (selon le tableau 6.13 de la norme CSA-O86)

Donc :

$$V_r = 0,9 * 0,67 * 1,7 * 5350 * 1,4 = 7,6 \text{ kN}$$

Résistance en compression des membrures verticales

$$P_r = \Phi * F_c A K_{Zc} K_c$$

où

$$\Phi = 0,8$$

$$F_c = f_c(K_D K_H K_{Sc} K_T)$$

f_c = résistance prévue en compression parallèle au fil (selon le tableau 6.4 de la norme CSA-O86) = 9 MPa

$$K_{Zc} = 6,3(dL)^{-0,13} \leq 1,3$$

$$d = 38 \text{ mm ou } 140 \text{ mm}$$

$$L = 350 \text{ mm}$$

$$\text{Donc : } K_{Zc} = 1,3$$

K_c est calculé par la formule suivante de la norme CSA-O86 :

$$K_c = \left[1,0 + \frac{F_c K_{Zc} C_c^3}{35 F_{05} K_{Sc} K_T} \right]^{-1}$$

$K_c = 1$ (calculé selon la formule précédente).

$$F_c = 9 * 1,15 * 1 * 1 * 1 = 10,35 \text{ MPa}$$

$$A = 5320 \text{ mm}^2$$

$$P_r = 0,8 * 10,35 * 5320 * 1,3 * 1 = 57 \text{ kN}$$

5.4 Interprétation des résultats obtenus sur la capacité de la membrure supérieure du renfort A

- a) Concernant la résistance perpendiculaire au fil, il est possible de remarquer qu'elle est supérieure à la réaction transmise au renfort A, en effet : $24,3 \text{ kN} \leq Q_r = 25,9 \text{ kN}$. Donc en principe, la résistance est adéquate. Cependant, cette résistance a été calculée en considérant que la surface d'appui de la membrure verticale A_b est égale à :

38 mm * 140 mm. En réalité, cette surface est inférieure à cette valeur. Elle est réduite soit à cause des coins arrondis, soit à cause des entailles pratiquées sur certains coins de la membrure verticale comme montré sur les photos 5 et 6.



Photo 5: Endommagement de la membrure inférieure du renfort A à cause d'une résistance insuffisante en compression perpendiculaire au fil (source : CNESST)



Photo 6: Endommagement de la membrure supérieure du renfort A à cause d'une résistance insuffisante en compression perpendiculaire au fil (source : CNESST)

Les réductions observées dans les dimensions de la surface d'appui ont diminué la résistance en compression perpendiculaire au fil de la membrure supérieure et inférieure. Il est possible de remarquer sur les photos 5 et 6 que les fibres de ces membrures sont excessivement comprimées.

- b) La résistance au cisaillement n'était pas problématique étant donné que les réactions dans les membrures verticales sur chaque côté de la membrure centrale sont inférieures à la résistance en cisaillement de la membrure supérieure. Quant à la membrure inférieure, elle n'est pas sollicitée en cisaillement.
- c) La résistance à la compression verticale des membrures verticales est adéquate. Elle a été calculée à $Pr = 57 \text{ kN}$, cette valeur étant bien supérieure au poids du refroidisseur. D'ailleurs aucune déformation en flambage n'a été observée.

Parmi toutes les valeurs de résistance qui ont été calculées, c'est la résistance en flexion de la membrure supérieure qui est la plus faible, cela est attribuable aux deux facteurs suivants :

- La qualité du bois : comme mentionné, le bois des renforts et de la palette est de classe 3. Cette classe est la plus faible dans le groupe d'essence Épinette -pin-sapin, selon le tableau 6.4 de la norme CSA-O86.
- La membrure supérieure est posée sur sa face large. Dans ce cas, la résistance en flexion sera limitée puisque le paramètre S (module de section), qui intervient dans l'équation du moment résistant, sera calculé à sa valeur minimale comparativement au cas où la membrure est installée sur sa face étroite. Dans ce cas, le module de section sera à sa valeur maximale.

Par conséquent, la membrure ne devrait pas être sollicitée en flexion. Les caractéristiques du bois et la méthode d'installation de cette membrure ne sont pas favorables pour que cette membrure résiste à une flexion. Étant donné que le poids du refroidisseur s'applique directement au-dessus de la membrure verticale et que la résistance en compression de cette membrure est supérieure à la force appliquée, la membrure verticale va reprendre la majorité de cette force. Elle va aussi empêcher la flexion au centre de la membrure supérieure. Cependant, les forces de réactions des autres membrures verticales vont engendrer une flexion de chaque moitié de la membrure supérieure. En fait, chaque moitié de la membrure va se comporter comme une poutre en porte-à-faux puisque l'appui au centre de la membrure n'a aucun degré de liberté et ce sont les deux autres points d'appuis qui sont libres de fléchir.

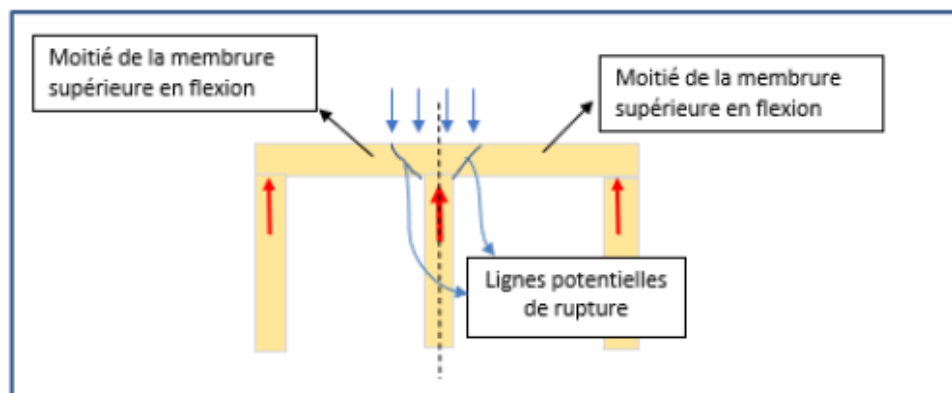


Figure 7: Lignes potentielles de rupture sur chaque moitié de la membrure supérieure en fonction de la répartition des forces

Comme mentionné, théoriquement le moment de flexion aux points situés sur chaque côté de l'appui central est égal à : $1,5 * (406 - 19) = 580 \text{ kN.mm}$. Toutefois, il faut prendre en considération que le poids du refroidisseur est appliqué sur une distance de 150 mm, donc le moment maximal est calculé au point situé à 75 mm à partir du centre, ce qui donne un moment égal à : $1,5 * (406 - 75) = 496 \text{ kN.mm}$

On peut remarquer que, même à cette valeur, le moment résistant de la membrure est nettement inférieur à la sollicitation en flexion : $341 \text{ kN.mm} \leq 496 \text{ kN.mm}$. En effet, la sollicitation en flexion dépasse de 45% le moment résistant de la membrure. Il est à noter aussi qu'un coefficient de durée de charge correspondant à une courte durée a été utilisé dans le calcul du moment résistant. Cela se traduit par une augmentation de 15% de la résistance pondérée en flexion. Pourtant, la résistance en flexion reste inférieure à la sollicitation.

En conséquence, la rupture de la membrure supérieure a été initiée aux deux points situés sur chaque côté de l'appui central comme on peut remarquer sur la photo 7.



Photo 7: Les lignes de ruptures sur chaque moitié de la membrure supérieure (source : CNESST)

5.5 Rupture de la surface de la palette

Deux conséquences immédiates de la rupture du renfort A sur la surface de la palette :

- Le refroidisseur est appuyé essentiellement sur les deux renforts A et B au moment du levage. L'effondrement de l'un de ces deux éléments a pour effet de déstabiliser le refroidisseur et peut causer son renversement.
- Un moment de force à l'endroit du renfort B sera créé par la force de réaction de la fourche sous le renfort A à cause de l'écrasement de ce dernier. Ceci explique la rupture de la palette à cet endroit. Ce moment est de l'ordre de : $24,3 * 1045 = 25393 \text{ kN.mm} = 25,4 \text{ kN.m}$. Ce moment excède largement la résistance en flexion de la palette.

En effet, la surface de la palette est composée de 8 madriers en 2 x 6 et un madrier en 2x4. La résistance en flexion de chaque madrier est la suivante:

$$Mr \text{ (madrier en 2x6)} = 341 \text{ kN.mm} = 0,34 \text{ kN.m}$$

$$Mr \text{ (madrier en 2x4)} = 217 \text{ kN.mm} = 0,21 \text{ kN.m}$$

$$\text{Donc } Mr \text{ (palette)} = 0,34 * 8 + 1 * 0,21 = 2,94 \text{ kN.m} < 25,4 \text{ kN.m}$$

La résistance en flexion de la palette est inférieure au moment de force créé par la rupture du renfort A (2,94 kN.m < 25,4 kN.m) La rupture de la palette est donc inévitable.

En résumé, la rupture du renfort A a déstabilisé le refroidisseur. En plus, une rupture transversale de la surface de la palette a été causée par un moment excessif de la force de réaction qui était appliquée sous le renfort écrasé.

5.6 Capacité nominale de la palette :

La capacité nominale de la palette est conditionnée par la résistance des renforts d'appui, précisément la résistance en flexion des membrures supérieures. Cette résistance a été déterminée à 341 kN.mm. Pour que cette valeur ne soit pas dépassée, il faut que les forces de réaction dans les membrures verticales de chaque côté des cadres ne dépassent pas la valeur suivante :

$$341 / (406 - 75) = 1 \text{ kN}$$

On a déjà remarqué à la section 5.2 que cette force représente 6,17% de la réaction du cadre A, donc : $1 / 0,0617 = 16,2 \text{ kN}$

Finalement le poids maximal du refroidisseur pour ne pas dépasser cette réaction est : $16,2 * (32,67 / 16,2) = 21,78 \text{ kN}$, ce qui représente 66,7% du poids actuel du refroidisseur. On peut remarquer que ce ratio est approximativement proche du ratio du moment résistant et le moment de la sollicitation de chaque moitié de la membrure supérieure : $(341 \text{ kN.mm}) / (496 \text{ kN.mm}) = 68,7\%$.

En conclusion, la surcharge de la palette correspond à : $(32,67 - 21,78) / 21,78 = 50 \%$, autrement dit la palette était surchargée de 50% de sa capacité nominale.

6. Conclusion et recommandations

La palette s'est effondrée à cause de la rupture d'un renfort d'appui ajouté à la palette pour appuyer et maintenir le refroidisseur en place. Cette rupture est causée par une flexion excessive de chaque moitié de la membrure supérieure du renfort.

Cette rupture a provoqué instantanément un moment qui dépasse largement la résistance en flexion de la palette. Ce moment est engendré par la force de réaction de la fourche qui était située sous le renfort écrasé, ce qui a provoqué la brisure de la surface de la palette.

En effet, la résistance en flexion des membrures supérieures des renforts est limitée en raison des deux éléments suivants :

- L'installation des membrures supérieures des renforts sur la face large, cette mise en place, limite la résistance en flexion des membrures comparativement à une installation sur la face étroite.
- La qualité du bois de la palette qui est de classe 3. En fait, cette classe est la plus faible dans la catégorie Épinette – pin – sapin en termes de résistance en flexion. Du plus, le bois d'une classe 3 ne devrait pas être utilisé pour des éléments pouvant être sollicités en flexion, cette classe est souvent utilisé pour des éléments sollicités en simple compression.

Nous avons remarqué que le refroidisseur a été mis en place directement sur la membrure supérieure du renfort, en fonction de la distance de contact entre les deux éléments, des forces de réaction sont créées dans les membrures verticales, si ces forces ne sont pas déterminées, et si la membrure supérieure n'a pas une résistance suffisante en flexion, sa rupture serait inévitable. Nous pouvons ajouter aussi que les forces de réaction transmises aux renforts par les fourches du chariot élévateur n'étaient pas égales.

En résumé, les éléments suivants étaient déficients ou problématiques :

- La conception des renforts
- La méthode de l'installation des renforts sur la palette
- La méthode de la mise en place du refroidisseur sur les renforts

À la lumière de l'analyse précédente, et dans le but d'éviter des accidents similaires dans le futur, il serait fortement recommandé d'évaluer les éléments déjà énumérés, cette évaluation aurait une grande incidence sur la distribution des forces et les sollicitations dans les membrures des renforts, notamment lors du levage par un chariot élévateur. Par conséquent, la fabrication ainsi que le choix des matériaux de ces renforts, doivent être réalisés de sorte que les membrures aient les capacités nécessaires pour éviter toutes les ruptures potentielles.

7. Références

- ASSOCIATION CANADIENNE DE NORMALISATION. *Règles de calcul des charpentes en bois*, 11^e édition, Toronto, CSA, 2020, 353 p. (CSA O86-19).
- CONSEIL CANADIEN DU BOIS. *Manuel de calcul des charpentes en bois, 2018 : l'ouvrage de référence complet pour le calcul des charpentes en bois au Canada*, Ottawa, Conseil canadien du bois, 2018, 2 v.
- BEER, Ferdinand P., E. RUSSELL JOHNSTON JR, *Mécanique pour ingénieurs : volume 1, statique*, 3^e édition, Montréal, Chenelière/McGraw-Hill, 2004, 582 p.

ANNEXE E**Références bibliographiques****Loi et règlement**

QUÉBEC. *Loi sur la santé et la sécurité du travail, RLRQ, chapitre S-2.1, à jour au 1^{er} avril 2023*, [En ligne], 2023. [<http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/ShowDoc/cs/S-2.1>].

QUÉBEC. *Règlement sur la santé et la sécurité du travail (RSST), RLRQ, chapitre S-2.1 r.13, à jour au 1^{er} janvier 2023*, [En ligne], 2023. [<http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/showdoc/cr/S-2.1,%20r.%2013>].

Normes

ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION. *Palettes pour la manutention et le transport de marchandises – Vocabulaire*, 4^e édition, Genève, Suisse, ISO, 2013, 77 p. (ISO 445 : 2013).

ASSOCIATION CANADIENNE DE NORMALISATION. *Norme de sécurité pour les chariots élévateurs*, Toronto, Ontario, CSA, 2015, confirmée en 2020, 85 p. (CSA B335-2015).

THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. *Norme de sécurité concernant les chariots élévateurs à petite levée et à grande levée*. Version francophone pour la CSST, Bibliothèque nationale du Québec, ASME, 1993, 76 p. (ASME B56.1-1993).