

**EN004392****RAPPORT D'ENQUÊTE**

**Accident ayant causé la mort d'un travailleur  
de l'entreprise Isolation M. Bouchard inc.,  
survenu le 17 décembre 2022 sur un chantier  
situé au 9183, boulevard Perras à Montréal**

**Service de la prévention-inspection de Montréal – Construction**

**Version dépersonnalisée**

**Inspecteur :**

\_\_\_\_\_  
**Marc Ayotte**

**Inspecteur :**

\_\_\_\_\_  
**Patrick Cyrenne**

**Date du rapport : 24 octobre 2023**

**Rapport distribué à :**

- Monsieur Salvatore Scalia, président, Scaltest inc.
- Monsieur Marcel Bouchard, président, Isolation M. Bouchard inc.
- Maître Steeve Poisson, coroner
- Docteure Mylène Drouin, directrice régionale de la santé publique, Centre intégré universitaire de santé et des services sociaux (CIUSSS) du Centre-Sud-de-l'Île-de-Montréal
- Monsieur **A**, Confédération des syndicats nationaux (CSN-Construction)
- Monsieur **B**, Syndicat québécois de la construction (SQC)
- Monsieur **C**, Conseil provincial des métiers de la construction international (CPQMCI)
- Monsieur **D**, Fédération des travailleurs du Québec (FTQ-Construction)
- Monsieur **E**, Centrale des syndicats démocratiques (CSD-Construction)

**TABLE DES MATIÈRES**

<b><u>1</u></b>	<b><u>RÉSUMÉ DU RAPPORT</u></b>	<b><u>1</u></b>
<b><u>2</u></b>	<b><u>ORGANISATION DU TRAVAIL</u></b>	<b><u>3</u></b>
2.1	STRUCTURE GÉNÉRALE DU CHANTIER	3
2.2	ORGANISATION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL	4
2.2.1	MÉCANISMES DE PARTICIPATION	4
2.2.2	GESTION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ	4
<b><u>3</u></b>	<b><u>DESCRIPTION DU TRAVAIL</u></b>	<b><u>5</u></b>
3.1	DESCRIPTION DU LIEU DE TRAVAIL	5
3.2	DESCRIPTION DU TRAVAIL À EFFECTUER	6
<b><u>4</u></b>	<b><u>ACCIDENT : FAITS ET ANALYSE</u></b>	<b><u>8</u></b>
4.1	CHRONOLOGIE DE L'ACCIDENT	8
4.2	CONSTATATIONS ET INFORMATIONS RECUEILLIES	8
4.2.1	ÉLÉMENTS RELATIFS AU TRAVAILLEUR ACCIDENTÉ	8
4.2.2	LA MACHINE À SOUFFLER LA CELLULOSE	8
4.2.3	ACCÈS À LA TRÉMIE	16
4.2.4	SÉCURITÉ DES MACHINES — DISTANCES DE SÉCURITÉ	17
4.2.5	LOI, RÈGLEMENTS ET RÈGLES DE L'ART	18
4.3	ÉNONCÉS ET ANALYSE DES CAUSES	20
4.3.1	LORS D'UNE INTERVENTION DANS LA TRÉMIE, LA MISE EN MARCHÉ INTEMPESTIVE DES BRAS AGITATEURS ENTRAÎNE ET COINCE LE TRAVAILLEUR	20
4.3.2	LA MÉTHODE DE TRAVAIL UTILISÉE POUR ACCÉDER À LA TRÉMIE EXPOSE LE TRAVAILLEUR À UN DANGER LORS DE LA MISE EN MARCHÉ INTEMPESTIVE DES BRAS AGITATEURS	21
<b><u>5</u></b>	<b><u>CONCLUSION</u></b>	<b><u>22</u></b>
5.1	CAUSES DE L'ACCIDENT	22
5.2	SUIVI DE L'ENQUÊTE	22

**ANNEXES**

<b>ANNEXE A :</b>	<b>Liste des accidentés / Accidenté</b>	<b>23</b>
<b>ANNEXE B :</b>	<b>Liste des personnes interrogées</b>	<b>24</b>
<b>ANNEXE C :</b>	<b>Rapport d'expertise</b>	<b>25</b>
<b>ANNEXE D :</b>	<b>Manuel d'opérations du fabricant</b>	<b>77</b>
<b>ANNEXE E :</b>	<b>Références bibliographiques</b>	<b>93</b>

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

Le 17 décembre 2022, un travailleur de l'entreprise 9271-7032 Québec inc., ci-après nommée Isolation M. Bouchard, procède en compagnie du **F**, monsieur **F**, à l'application de cellulose soufflée dans un immeuble résidentiel en construction situé au 9183, boulevard Perras, à Montréal. Alors que le travailleur effectue une intervention dans la trémie de la machine à souffler de la cellulose, les bras agitateurs se mettent en opération. Le travailleur est retrouvé dans la trémie, coincé et enroulé par les bras agitateurs.

**Conséquences**

Le travailleur décède des suites de ses blessures. Son décès est constaté sur place.



Figure 1 – *Lieu de l'accident*

Source : CNESST

**Abrégé des causes**

1. Lors d'une intervention dans la trémie, la mise en marche intempestive des bras agitateurs entraîne et coince le travailleur.
2. La méthode de travail utilisée pour accéder à la trémie expose le travailleur à un danger lors de la mise en marche intempestive des bras agitateurs.

**Mesures correctives**

Le jour de l'accident, le 17 décembre 2022, une décision interdisant l'utilisation de la machine à souffler de la cellulose de marque Heat Seal Equipment Ltd, modèle HS 5500, est émise. Cette décision se trouve au rapport d'intervention RAP1410451. Le scellé E23331 est apposé sur la machine.

*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 du chantier**

Sur le chantier situé au 9183, boulevard Perras à Montréal, Isolation M. Bouchard est la seule entreprise présente le jour de l'accident. Le maître d'œuvre du chantier est l'entreprise Scaltest inc. (RAP1410451). M. Salvatore Scalia est le président de cette entreprise.

Le siège social de la compagnie Scaltest inc. se situe au 1100, boulevard René-Lévesque Est à Montréal. Cette compagnie est spécialisée en construction de bâtiments. Elle existe depuis 2013 et n'a aucun salarié.

L'entreprise familiale Isolation M. Bouchard est située au 1380, rue Grande-Allée à Terrebonne. Elle est spécialisée en isolation et insonorisation de bâtiments. Cette entreprise est inscrite au Registraire des entreprises du Québec depuis 2012. Elle emploie [REDACTED] travailleurs.

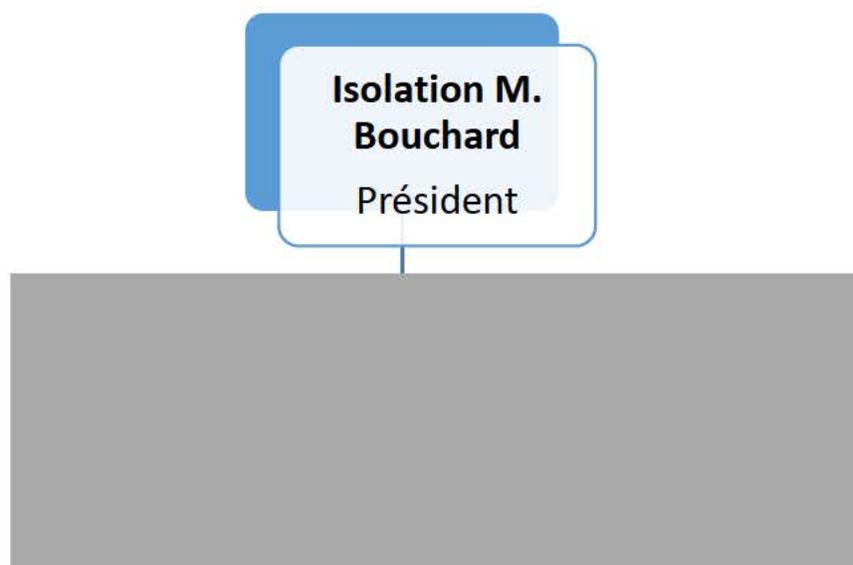


Fig. 2 – Organigramme de l'entreprise Isolation M. Bouchard inc.

Source : CNESST

## **2.2 Organisation de la santé et de la sécurité du travail**

### **2.2.1 Mécanismes de participation**

Isolation M. Bouchard n'a aucun mécanisme de participation en place. L'entreprise peut, au besoin, bénéficier des services de l'Association sectorielle paritaire pour la santé et la sécurité du travail du secteur de la construction (ASP-Construction) pour la soutenir dans la mise en place de mécanismes de participation dans son entreprise.

### **2.2.2 Gestion de la santé et de la sécurité**

Aucun programme de prévention propre à l'entreprise Isolation M. Bouchard inc. n'est élaboré.

Les travailleurs qui utilisent la machine à souffler de la cellulose ne bénéficient pas de formation spécifique concernant son utilisation de façon sécuritaire.

La gestion de la santé et de la sécurité du travail est informelle dans l'entreprise.

**SECTION 3**

**3 DESCRIPTION DU TRAVAIL**

**3.1 Description du lieu de travail**

L'accident est survenu au 9183, boulevard Perras, dans l'arrondissement Rivière-des-Prairies–Pointe-aux-Trembles, à Montréal. Des travaux de construction d'un immeuble résidentiel de quatre étages abritant des appartements sont en cours. On note deux phases au projet de construction, soit Olivia 1, qui comporte huit appartements et Olivia 2, qui comporte quatre appartements. Le jour de l'accident, des travaux d'isolation sont effectués dans la phase Olivia 2. Cette phase est située à la droite de la figure 3.

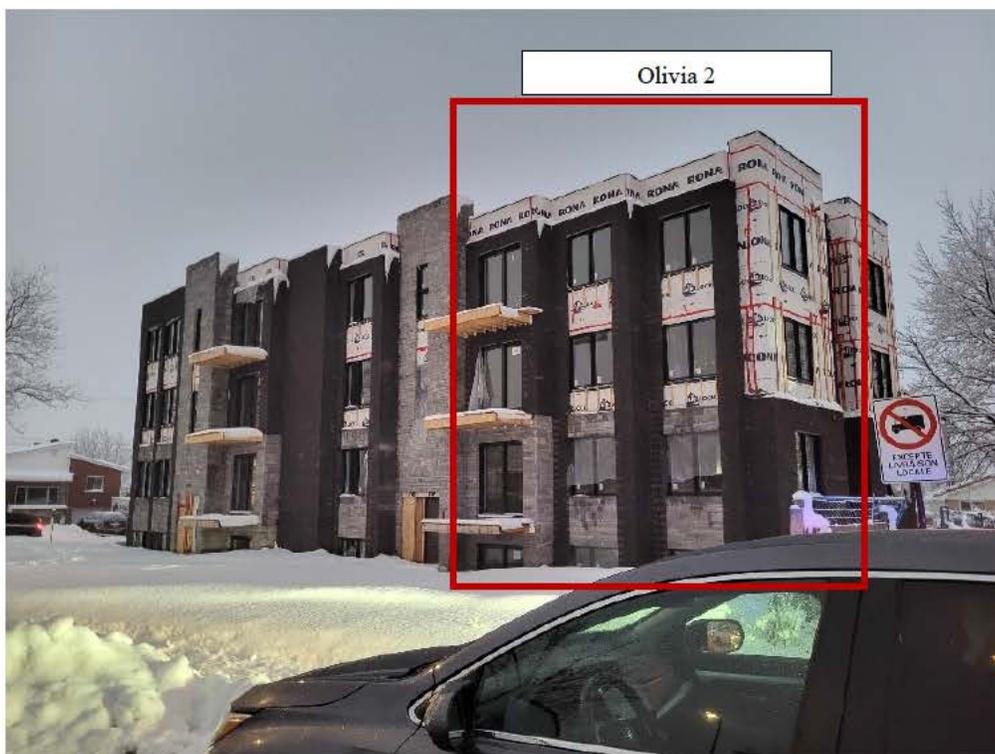


Fig. 3 – phase Olivia 2, située au 9183, boul. Perras, à Montréal  
Source : CNESST

### 3.2 Description du travail à effectuer

Les travaux d'isolation consistent à souffler de la cellulose dans les entre-plafonds de tous les étages. Peu avant l'accident, les travaux d'isolation de l'entre-plafond du garage sont effectués (voir figure 6). Afin d'exécuter ces travaux, une machine à souffler de la cellulose est utilisée. Cette machine se trouve dans le camion de service stationné à proximité du chantier. Le travailleur qui a comme tâche de souffler de la cellulose utilise une télécommande sans fils afin d'amorcer et d'arrêter le soufflage de la cellulose. Monsieur F participe aux travaux. Il alimente la machine en blocs de cellulose et il nettoie les lieux où sont effectués les travaux.



Fig. 4 – Localisation géographique du lieu de l'accident  
Source : Google map



Fig. 5 – *Camion cube d'Isolation M. Bouchard inc.*  
Source : CNESST

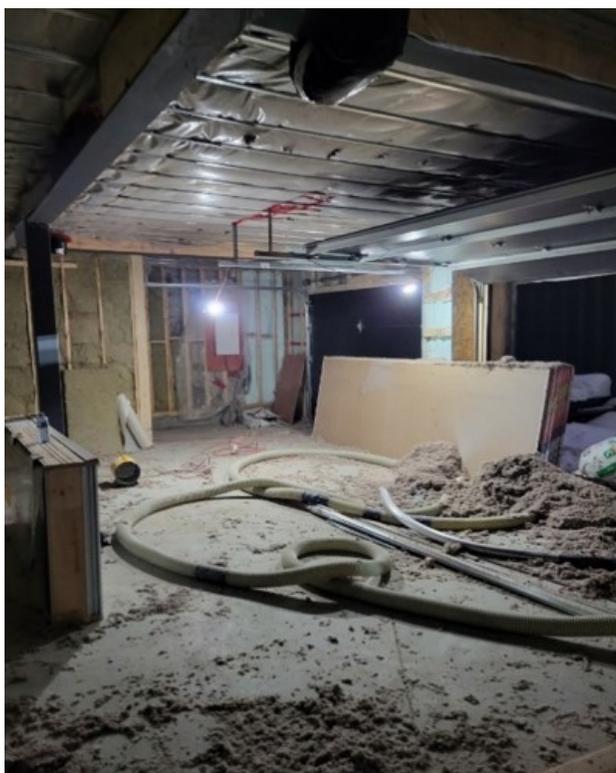


Fig. 6 – *Garage de la phase Olivia 2*  
Source : CNESST

**SECTION 4****4 ACCIDENT : FAITS ET ANALYSE****4.1 Chronologie de l'accident**

Le 17 décembre 2022, vers 7 h, monsieur F et un travailleur se rendent au 9183, boulevard Perras à Montréal, afin d'effectuer des travaux d'isolation dans le bâtiment, phase Olivia 2. Ils garent le camion de service au coin de la 49<sup>e</sup> Avenue et du boulevard Perras à Montréal. Le camion contient la machine à souffler ainsi que les blocs de cellulose. Par la suite, ils préparent les équipements et commencent les travaux au 4<sup>e</sup> étage.

Vers 13 h, le travailleur rejoint monsieur F au 3<sup>e</sup> étage et l'informe qu'il manque une petite quantité de cellulose pour terminer les travaux commencés en matinée. Monsieur F mentionne alors qu'ils reviendront une autre journée pour effectuer le travail et suggère de ramasser les équipements pour quitter le chantier. À la suite de cette discussion, le travailleur se rend dans le camion de service. Une quinzaine de minutes plus tard, monsieur F entend toujours le moteur de la machine à souffler fonctionner. À ce moment, il se rend au camion de service où il constate que le travailleur est enroulé autour de l'agitateur dans la trémie de la machine à souffler de la cellulose. Monsieur F contacte alors les services d'urgence; l'appel est enregistré à 13 h 16. Son décès est constaté sur place.

**4.2 Constatations et informations recueillies****4.2.1 Éléments relatifs au travailleur accidenté**

Le travailleur accidenté effectue diverses tâches d'isolation et d'insonorisation depuis environ

**4.2.2 La machine à souffler la cellulose**

La machine utilisée pour souffler l'isolant dans les entre-plafonds et les murs est fabriquée par l'entreprise Heat Seal Equipment Ltd. La place d'affaires est située en Ontario. La machine utilisée est un modèle HS5500, alimentée par un moteur diesel de marque Kubota.

À la suite de l'accident, une inspection mécanique effectuée par la compagnie les entretiens MCG démontre que les composantes de la machine et du système de télécommande sans fil étaient en bon état au moment de l'accident. Le dernier entretien de la machine a été effectué par le fournisseur Igloo Cellulose inc., en date du 29 mars 2022.

Le jour de l'accident, tous les protecteurs prévus par le fabricant, soit ceux pour limiter l'accès aux éléments de transmission d'énergie de la machine, sont en place.



Fig.7 – Machine à souffler la cellulose HS 5500 (protecteurs absents)  
Source : CNESST

À la suite de l'accident, une expertise mécanique qui s'intéresse au fonctionnement et à la conception de la machine est réalisée par monsieur Réal Bourbonnière, ingénieur de la firme Consultation Réal Bourbonnière.

Dans son rapport<sup>1</sup>, monsieur Bourbonnière décrit les principales composantes de la machine comme étant :

- Trémie

La trémie est la cuve servant à recevoir la cellulose.

- Bras agitateurs situés dans la trémie

Un arbre est situé au centre de la trémie. Des tiges d'acier, d'une longueur de 33 cm, sont fixées sur cet arbre. Ces tiges d'acier agissent comme des bras agitateurs. Lorsque l'arbre effectue un mouvement de rotation, les bras agitateurs cassent les fibres de cellulose comprimées et les acheminent vers une ouverture située au fond, à l'extrémité droite de la trémie.



Fig. 8 – Trémie et bras agitateurs  
Source : CNESST

- Plaque d'obturation ajustable située sous l'ouverture au fond de la trémie

La plaque d'obturation est localisée directement sous la trémie et sert à contrôler le débit d'isolant provenant de la trémie.

<sup>1</sup> Voir annexe C, Rapport d'expertise, Consultation Réal Bourbonnière.

- Boîte de déchiquetage située sous la plaque d'obturation

La boîte de déchiquetage est située sous la plaque d'obturation. Elle contient deux agitateurs qui tournent à des vitesses différentes. Ce mouvement rend la cellulose prête à être poussé dans la valve rotative.



Fig. 9 – Boîte de déchiquetage  
Source : CNESST

- Valve rotative située sous la boîte de déchiquetage (alimentateur Rotagg)

Les matériaux prétraités tombent de la boîte de déchiquetage dans un alimentateur rotatif. Cet alimentateur comporte six auges en forme de « V » qui tournent dans un flux d'air fourni par la soufflante.

- Soufflante située sous la valve rotative

La machine est équipée d'une soufflante qui crée une pression d'air pour déplacer le matériel vers le boyau.

- Boyau relié à la soufflante

Le boyau sert à l'alimentation de l'isolant jusqu'à une buse qui est manipulée par le travailleur. Cette buse est insérée dans les combles et les murs afin d'y mettre en place l'isolant.

- Embrayages

Deux embrayages sont utilisés pour le fonctionnement de la machine.

- Dispositif de commande du moteur diesel

« Un panneau de commande est relié au moteur diesel. Il permet le démarrage et l'arrêt du moteur. De plus, il affiche les informations nécessaires à son fonctionnement telles que la tension de la charge de la batterie et la pression d'huile. Situé directement sous ce panneau se trouve une tige qui permet l'ajustement de la vitesse du moteur diesel. Cette tige est reliée mécaniquement au carburateur du moteur. Un bouton au centre de la tige permet la coupure rapide de l'arrivée du carburant. »<sup>2</sup>



Fig. 10 – *Commande du moteur diesel*

Source : CNESST

- Limiteur de couple

Le moteur Kubota développe un couple de 58.4 N m 2400 RPM et fournit l'énergie nécessaire au fonctionnement de la machine.

La machine est équipée d'un limiteur de couple installé directement au pignon qui est relié à la valve rotative. Ce dispositif limite le couple appliqué à ce pignon ainsi qu'aux bras agitateurs. Le distributeur de la machine, Igloo Cellulose inc., nous informe que le couple est ajusté au moment de la livraison à 155 N m. Dans son rapport, monsieur Bourbonnière, évalue qu'une limitation du couple à 155 N m au niveau de la poulie de la valve rotative, limite à 327 N m le couple disponible pour les bras agitateurs de la trémie. Cette force est assez grande pour provoquer des blessures graves, voire la mort, à une personne présente dans la trémie.

<sup>2</sup> Voir annexe C, Rapport d'expertise, Consultation Réal Bourbonnière, page 22.

Le limiteur de couple, installé à la base du pignon de la valve rotative, n'a pas comme rôle de protéger les travailleurs, mais l'équipement lui-même dans l'éventualité où un blocage de la valve rotative se produisait dû à la présence d'un objet.



Fig. 11 – *Limiteur de couple*

Source : Rapport d'expertise Consultation Réal Bourbonnière

- Dispositifs de commande, fonctionnement et spécifications du dispositif de télécommande sans fil

La machine peut être commandée directement par le panneau de commande principal ainsi que par un dispositif de télécommande avec fil ou sans fil.

Le jour de l'accident, la télécommande sans fil de marque FALCON PRO est utilisée par le travailleur. L'utilisation de celle-ci lui donne une plus grande autonomie durant les travaux. Le travailleur qui souffle la cellulose porte à la taille la ceinture sur laquelle est fixée la télécommande sans fil. Cette télécommande est fabriquée par l'entreprise américaine RF HERO et est conçue pour être utilisée avec des machines de soufflage d'isolant.

La télécommande sans fil possède trois boutons : « AIR », « MATÉRIEL » et « ARRÊT ». Lorsque le bouton « AIR » est actionné, le récepteur alimente la soufflante. Lorsque le bouton

« MATÉRIEL » est actionné, ce sont les bras agitateurs de la trémie, la valve rotative et les bras du déchiqueteur qui sont alimentés.

Pour arrêter les mouvements de la soufflante ou la rotation des éléments mécaniques, on doit appuyer de nouveau sur le bouton correspondant. Lorsque le bouton « ARRÊT » est actionné, cela provoque l'arrêt de la soufflante et des autres composantes reliées par les deux embrayages.



Fig.12 – Télécommande sans fil  
Source : CNESST

La norme CEI 62745<sup>3</sup> porte spécifiquement sur l'utilisation sécuritaire des télécommandes sans fil. Elle énonce plusieurs prescriptions relatives à la fiabilité, à la transmission des données et à la prévention des ordres non intentionnels ou non autorisés. Les fonctions d'arrêt, de sécurité que le comportement attendu en cas de défaillance y sont énoncés.

D'après les prescriptions du fabricant du module interne composant la télécommande sans fil, ce module de communication ne devrait pas être utilisé dans des applications critiques de sécurité des machines. Par cet avertissement, le fabricant reconnaît que la fiabilité de la transmission des ondes de ces modules n'est pas adaptée à une utilisation où la sécurité des personnes est compromise. Cet avertissement illustre que ce modèle de télécommande sans fil n'est pas protégé contre les brouillages et que des dysfonctionnements sont possibles.

<sup>3</sup> Norme internationale CEI 62745:2017, Sécurité des machines – Exigences générales pour les systèmes de commande sans-fil des machines.

Le rapport d'expertise, à la section 4.5.6.1, aborde également la force nécessaire pour actionner les boutons de la télécommande sans fil. Cette force est d'approximativement 6,18 N (1,39 livre-force), tout juste au-dessus de la limite prescrite par l'article 8.3 de la norme ISO 9355-3, qui détermine que la force minimale afin de prévenir des instructions involontaires ne devrait pas être inférieure à 5 N (1,12 livre-force).

De plus, monsieur Bourbonnière évalue que les boutons de la télécommande sans fil ne nécessitent qu'un déplacement de 0,48 mm en deçà du niveau de la collerette du bouton « MATÉRIEL » pour émettre le signal au relais de la machine.

Ces éléments démontrent que la conception du dispositif de télécommande rend possible le départ intempestif de la machine. À cet effet, lorsqu'il est nécessaire d'empêcher l'actionnement involontaire d'un dispositif de commande, la force d'actionnement ne devrait pas, à elle seule, être considérée comme efficace et cette mesure devrait être conjuguée à d'autres, telle que la conception des boutons et leur protection contre l'actionnement involontaire. Les départs intempestifs de la machine sont d'ailleurs corroborés par le témoignage d'un autre travailleur qui précise qu'il arrive occasionnellement que la machine démarre accidentellement lorsque l'opérateur se penche et qu'il porte la télécommande sans fil à sa taille.

Enfin, la télécommande sans fil est retrouvée, après l'accident, sur le plancher du camion à proximité de la machine. Il est donc probable que le bouton de la télécommande sans fil ait été actionné accidentellement en heurtant une pièce rigide ou même actionnée involontairement par le travailleur.

Indépendamment de la conception de la télécommande, le fabricant de la machine prescrit l'application d'une méthode de contrôle des énergies, si un travailleur doit accéder à une zone dangereuse de la machine. À cet effet, le manuel du fabricant prévoit :

*« If something does fall into the hopper make sure to turn off engine and remove spark plug wire if applicable before removing foreign material from the machine [...] Prior to any maintenance of the machine, turn the key to the off position and remove. Then remove the wire from the spark plugs. This will eliminate the possibility of unintended ignition ».*<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Traduction libre : « Si quelque chose tombe dans la trémie, assurez-vous d'éteindre le moteur et de retirer le fil de la bougie d'allumage le cas échéant avant de retirer les corps étrangers de la machine [...] Avant tout entretien de la machine, tournez la clé en position d'arrêt et retirez-la. Retirez ensuite le fil des bougies. Cela éliminera la possibilité d'un allumage involontaire. ».

### 4.2.3 Accès à la trémie

La raison de la présence du travailleur dans la trémie repose sur des hypothèses dont la certitude ne peut être confirmée hors de tout doute. Cependant, la position dans laquelle le travailleur a été retrouvé dans la trémie démontre avec certitude que ce dernier a été entraîné par les pieds. Cet état de fait a permis d'exposer les hypothèses suivantes quant à sa présence dans la trémie :

1. Le travailleur s'est hissé dans la trémie pour récupérer un objet quelconque tombé dans le fond de celle-ci.
2. Le travailleur s'est hissé dans la trémie afin de retirer une pièce ayant coincé les bras agitateurs.
3. Le travailleur s'est hissé dans la trémie afin de pousser la cellulose accumulée dans le fond de la trémie vers la boîte de déchiquetage.

La première hypothèse suggère que le travailleur ait accédé à la trémie pour récupérer un objet qui y serait tombé. Au moment où le travailleur se serait trouvé dans la trémie, les bras agitateurs se seraient remis en marche après un actionnement involontaire d'un bouton du dispositif de la télécommande sans fil, l'entraînant et le coincant dans la trémie. Cette hypothèse est improbable puisqu'aucun objet n'est trouvé dans la trémie à la suite de l'accident.

La seconde hypothèse suggère que le travailleur ait accédé à la trémie pour retirer une pièce ayant coincé les bras agitateurs. La conception des dispositifs de commande n'exige pas le réarmement pour remettre les éléments de transmission d'énergie en fonction. Par conséquent, si les bras agitateurs sont coincés par une pièce, au moment où cette pièce est retirée, en l'absence de maîtrise des énergies, les bras agitateurs se remettront automatiquement en marche. Ainsi, le travailleur se serait exposé aux bras agitateurs en rotation lors de leur départ intempestif. Cette hypothèse est improbable pour la même raison que l'hypothèse précédente, c'est-à-dire qu'aucun objet ou pièce n'est trouvé dans la trémie à la suite de l'accident.

La troisième hypothèse suggère que le travailleur ait accédé à la trémie pour récupérer de la cellulose accumulée dans le fond de celle-ci. Cette accumulation de cellulose est rendue possible puisque les bras agitateurs ne parviennent pas à accéder, en tout point dans la trémie, à la cellulose pour la déplacer vers la boîte de déchiquetage. Dans un contexte où il manquait une petite quantité de cellulose pour terminer le contrat, il est probable et raisonnable de croire que le travailleur ait accédé à la trémie pour récupérer la cellulose qui s'y trouvait. Cette hypothèse est d'ailleurs retenue dans le rapport d'expertise de monsieur Réal Bourbonnière, à savoir :

*S'il est impossible d'affirmer pourquoi la victime y est entrée, on pourrait raisonnablement présumer que c'était pour pousser le reste de la cellulose vers la plaque d'obturation et éventuellement, vers le broyeur pour utiliser le maximum de la cellulose restante au fond de la trémie.*

Ainsi, après avoir arrêté, par l'entremise de la télécommande sans fil, le mouvement des bras agitateurs, le travailleur a accédé à la trémie et s'est exposé à la mise en marche intempestive des bras agitateurs.

**4.2.4 Sécurité des machines — Distances de sécurité**

La hauteur du plateau sur lequel sont déposés les ballots de cellulose est de 1264 mm (voir figure 13). Cette hauteur éloigne le travailleur de la zone dangereuse formée par les bras agitateurs, cette conception ne respecte pas les prescriptions de la norme ISO 13857:2019 qui prévoit que la hauteur minimale d'un protecteur qui éloigne le travailleur d'un risque élevé doit être de 1800 mm. Cette prescription est établie en fonction de la distance des bras agitateurs (766 mm) et de la hauteur de la structure de protection (1264 mm). Ces prescriptions sont reproduites à la figure 14.

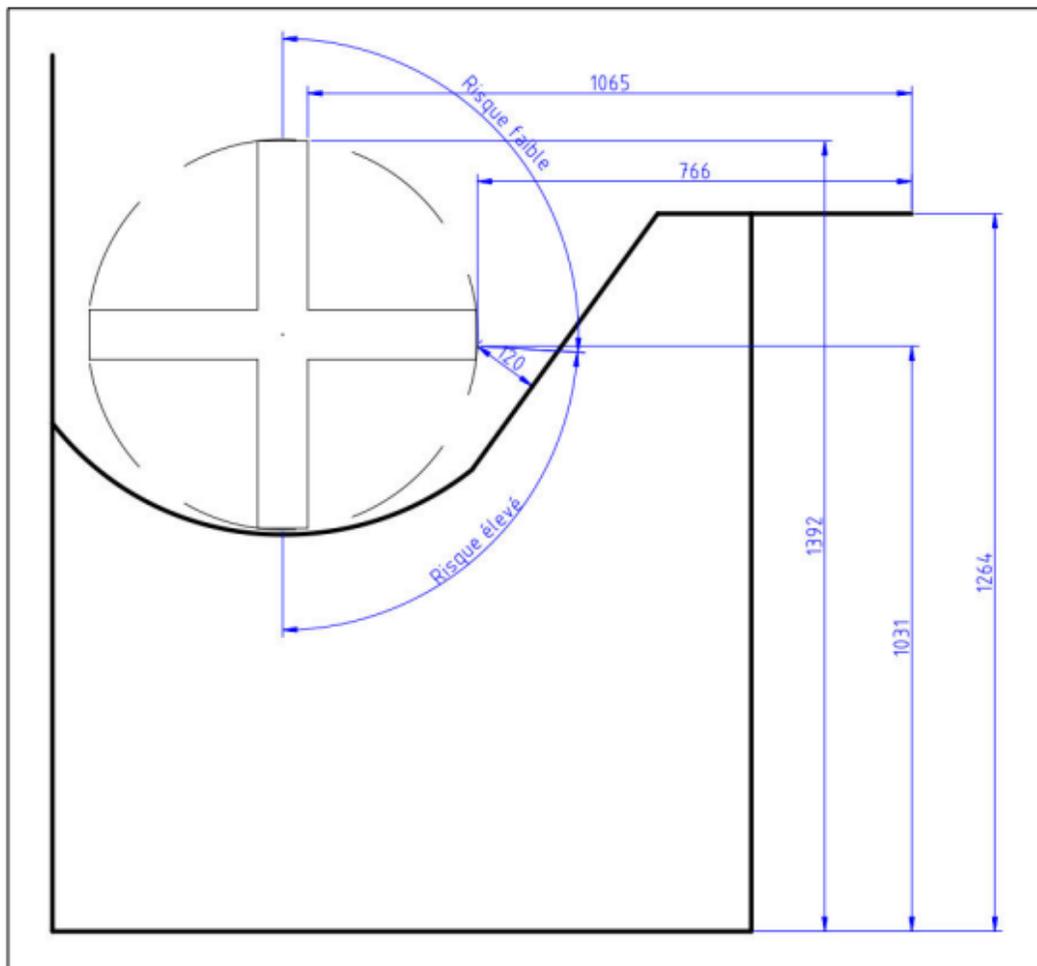


Fig. 13 – Hauteurs et distances des zones dangereuses (en mm)

Source : Rapport d'expertise de Consultation Réal Bourbonnière

Dans le cas du présent accident, la matérialisation du danger est indépendante à la non-conformité de la machine puisque l'intention vraisemblable du travailleur était bel et bien d'accéder à l'intérieur de la trémie pour pousser, à l'aide d'un de ses pieds, une quantité de cellulose vers l'ouverture située dans le fond de la trémie.

Tableau 2 — Accès par-dessus des structures de protection

Dimensions en millimètres

$h_h$ , hauteur du point de la zone dangereuse le plus proche de la zone d'accès des membres supérieurs <sup>a</sup>	$h_{ps}$ , hauteur de la structure de protection <sup>b,c</sup>									
	1 000	1 200	1 400	1 600	1 800	2 000	2 200	2 400	2 500	2 700
	$s_h$ , distance de sécurité horizontale du point de la zone dangereuse le plus proche de la zone d'accès des membres supérieurs									
2 700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 600	900	800	700	600	600	500	400	300	100	0
2 400	1 100	1 000	900	800	700	600	400	300	100	0
2 200	1 300	1 200	1 000	900	800	600	400	300	0	0
2 000	1 400	1 300	1 100	900	800	600	400	0	0	0
1 800	1 500	1 400	1 100	900	800	600	0	0	0	0
1 600	1 500	1 400	1 100	900	800	500	0	0	0	0
1 400	1 500	1 400	1 100	900	800	0	0	0	0	0
1 200	1 500	1 400	1 100	900	700	0	0	0	0	0
1 000	1 500	1 400	1 000	800	0	0	0	0	0	0
800	1 500	1 300	900	600	0	0	0	0	0	0
600	1 400	1 300	800	0	0	0	0	0	0	0
400	1 400	1 200	400	0	0	0	0	0	0	0
200	1 200	900	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1 100	500	0	0	0	0	0	0	0	0

<sup>a</sup> Pour les zones dangereuses au-delà de 2 700 mm, se référer au 4.2.1.

<sup>b</sup> Les structures de protection de hauteur inférieure à 1 000 mm ne sont pas prises en compte car elles ne limitent pas suffisamment les mouvements du corps.

<sup>c</sup> Les structures de protection inférieures à 1 400 mm ne doivent pas être utilisées sans mesures de protection supplémentaires.

Fig. 14 – Distance de sécurité d'une zone dangereuse à risque élevé

Source : Norme ISO 13857: 2019 Sécurité des machines – distances de sécurité empêchant les membres supérieurs et inférieurs d'atteindre les zones dangereuses.

#### 4.2.5 Loi, règlements et règles de l'art

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

L'article 51 de la Loi sur la santé et la sécurité du travail (LSST) précise les obligations générales de l'employeur en matière de santé et de sécurité du travail. Plus précisément les articles 51.3, 51.5 et 51.7 de la LSST prévoient :

51. L'employeur doit prendre les mesures nécessaires pour protéger la santé et assurer la sécurité et l'intégrité physique 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;*

7- *fournir un matériel sécuritaire et assurer son maintien en bon état;*

[...]

### **Code de sécurité pour les travaux de construction (CSTC)**

En complément à ces articles s'ajoutent ceux du *Code de sécurité pour les travaux de construction* (CSTC), plus précisément les articles 2.20.1 et suivants concernant le cadenassage et le contrôle des énergies.

À cet égard, une méthode de contrôle des énergies se veut « une méthode visant à maintenir une machine hors d'état de fonctionner de façon que cet état ne puisse être modifié sans l'action volontaire de toutes les personnes ayant accès à la zone dangereuse ».

Dans le même ordre d'idée, l'article 2.20.2 prévoit qu'« avant d'entreprendre dans la zone dangereuse d'une machine tout travail [...], le cadenassage ou, à défaut, toute autre méthode qui assure une sécurité équivalente doit être appliquée [...] ».

### **Règles de l'art**

La Loi et la réglementation sont complétées par les règles de l'art, qui, en l'occurrence, se trouvent dans la norme CSA Z460 : 20 – maîtrise des énergies dangereuses : cadenassage et autres méthodes.

Ainsi, l'exécution d'un travail dans la zone dangereuse d'une machine est étroitement liée à l'application de la norme Z460 : 20. Cette norme détermine, entre autres, *les exigences relatives aux procédures, aux techniques et aux méthodes de protection du travailleur contre le dégagement intempestif d'une énergie dangereuse. Cette norme reconnaît le cadenassage comme étant la principale méthode de maîtrise des énergies dangereuses.* Elle énonce les exigences relatives à la démarche, au développement et à la mise en œuvre d'un programme de maîtrise des énergies dangereuses. Un programme de maîtrise des énergies dangereuses s'appuie sur l'identification systématique de toutes les tâches et, par conséquent, à l'identification des phénomènes dangereux et à l'appréciation des risques. Cette démarche repose sur l'hypothèse selon laquelle un phénomène dangereux qui n'est pas contrôlé provoquera à court, à moyen ou à long terme, la matérialisation du danger.

Enfin, le contrôle des énergies dangereuses exige que toutes les personnes qui prennent part aux activités nécessitant l'application de la méthode de contrôle des énergies aient une connaissance approfondie des phénomènes dangereux auxquels elles sont exposées, la procédure de cadenassage à appliquer ainsi que le type d'isolement requis pour assurer leur propre sécurité.

### **4.3 Énoncés et analyse des causes**

#### **4.3.1 Lors d'une intervention dans la trémie, la mise en marche intempestive des bras agitateurs entraîne et coince le travailleur**

Afin d'exécuter les travaux d'isolation ayant commencé en matinée, le travailleur s'est hissé dans la trémie de la machine alors que les bras de l'agitateur étaient à l'arrêt. En se hissant dans la trémie, le travailleur souhaitait probablement récupérer la cellulose que les bras de l'agitateur ne parvenaient pas à déplacer.

Même s'il est impossible de déterminer la cause exacte de la remise en marche de la machine, il est raisonnable de croire, en raison des caractéristiques de la télécommande sans fil, qu'elle aurait été causée par l'actionnement involontaire du bouton « MATÉRIEL » de la télécommande alors que le moteur diesel de la machine était toujours en fonction.

Ainsi, au moment où le travailleur se trouvait dans la zone dangereuse formée par les bras agitateurs, la télécommande sans fil a ordonné la mise en marche des bras agitateurs. En l'absence d'une méthode de contrôle des énergies, les bras agitateurs se sont mis en fonction et ont happé les jambes du travailleur.

Cette cause est retenue.

#### **4.3.2 La méthode de travail utilisée pour accéder à la trémie expose le travailleur à un danger lors de la mise en marche intempestive des bras agitateurs**

Dans l'entreprise, aucune méthode de travail n'était documentée afin d'effectuer le nettoyage, la maintenance ou tous autres types d'opérations dans la trémie. Dans le cas de l'accident, le travailleur a accédé à la trémie probablement afin de récupérer une quantité de cellulose que les bras agitateurs ne parvenaient pas à déplacer vers l'entrée de la boîte de déchetage. L'accès à l'intérieur de la trémie est d'ailleurs facilité par une conception de la machine qui ne rencontre pas les principes d'éloignement prévus à la norme ISO 13857:2019 – Distances de sécurité empêchant les membres supérieurs et inférieurs d'atteindre les zones dangereuses. Bien que les dangers d'accéder à la trémie sont évidents lorsque la machine est en opération, le travailleur utilise uniquement la télécommande sans-fil pour arrêter le mouvement des bras agitateurs alors que le moteur est toujours en fonction et prêt à transmettre sa puissance aux bras agitateurs.

Ainsi, l'employeur n'a pas identifié et analysé les risques pour le travailleur d'accéder à l'intérieur de la trémie. L'article 51.5 de la LSST précise que *l'employeur doit identifier, corriger et contrôler les risques pouvant affecter la santé et la sécurité du travailleur*. Les conditions sécuritaires permettant au travailleur d'accéder à la trémie n'ont donc pas été identifiées et, par les faits même, appliquées.

À cet effet, l'analyse de risque aurait permis d'identifier la nécessité d'appliquer une méthode de contrôle des énergies pour accéder à la trémie. L'application d'une méthode de contrôle des énergies est d'ailleurs prescrite par le fabricant dans son manuel d'opération. De plus, la section 2.20 du Code de sécurité pour les travaux de construction traite du cadenassage et des autres méthodes de contrôle des énergies. L'article 2.20.2 précise qu'*avant d'entreprendre dans la zone dangereuse d'une machine tout travail [...], le cadenassage ou, à défaut, toute autre méthode qui assure une sécurité équivalente doit être appliquée [...]*. En complément à ces articles, s'ajoute la norme CSA Z460, qui vient baliser les responsabilités, l'appréciation des risques et l'application du cadenassage et des autres méthodes de contrôle des énergies.

Plutôt que de mettre en place une procédure de contrôle des énergies pour permettre au travailleur de continuer à travailler en toute sécurité sur la machine, l'employeur a laissé aux bons soins du travailleur d'assurer sa propre sécurité en comptant sur sa vigilance pour éviter la survenue d'un accident semblable. Si une analyse de risque liée à l'intervention du travailleur dans la trémie avait été effectuée, elle aurait mené à l'application d'une méthode de contrôle des énergies empêchant la mise en marche de la machine, et cet accident aurait ainsi pu être évité.

Cette cause est retenue.

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

L'enquête a permis de retenir les causes suivantes :

- Lors d'une intervention dans la trémie, la mise en marche intempestive de l'agitateur entraîne et coince le travailleur.
- La méthode de travail utilisée pour accéder à la trémie expose le travailleur à un danger lors de la mise en marche intempestive de l'agitateur.

**5.2 Suivi de l'enquête**

La CNESST transmettra les conclusions de son enquête aux associations suivantes afin qu'elles en informent leurs membres :

- L'Association de la construction du Québec;
- L'Association des professionnels de la construction du Québec;
- L'Association patronale des entreprises en construction du Québec;
- L'Association des entrepreneurs en construction du Québec;
- L'Association des constructeurs de routes et grands travaux du Québec;
- L'Association québécoise des entrepreneurs en infrastructures;
- Les associations sectorielles paritaires;
- Les gestionnaires de mutuelles de prévention.

Dans l'objectif de sensibiliser les futurs travailleurs, le rapport d'enquête sera acheminé au ministère de l'Éducation qui en assurera la diffusion dans les centres de formation professionnelle qui offrent des programmes de construction.

**ANNEXE A****Accidenté**

**Nom, prénom** : Monsieur **G**

**Sexe** : Masculin

**Âge** :

**Fonction habituelle** :

**Fonction lors de l'accident** : Manœuvre

**Expérience dans cette fonction** :

**Ancienneté chez l'employeur** :

**Syndicat** : International

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

- Monsieur Marc-André Gagné, administrateur, Isolation M. Bouchard inc.
- Monsieur Marcel Bouchard, président, Isolation M. Bouchard, inc.
- Monsieur Salvatore Scalia, président, Scaltest inc.
- Monsieur Sylvain Gagnon, directeur d'usine, Igloo Cellulose inc.

## ANNEXE C

### Rapport d'expertise

Consultation Réal Bourbonnière  
Expertise en sécurité des machines

CNESST  
Direction régionale de  
Montréal de la  
prévention-inspection

**Machine de soufflage d'isolant  
Heat Seal 5500  
Rapport d'expertise**

Version 1.2 du 2 octobre 2023

Réal Bourbonnière, ing.  
Consultation Réal Bourbonnière



## Table des matières

1	Introduction, mise en contexte et description du mandat .....	5
1.1	Limites du mandat .....	6
1.2	Visite et observations préliminaires .....	7
2	Documents de référence .....	7
2.1	Documents reçus .....	7
2.2	Documents légaux.....	8
2.2.1	Le Code civil du Québec .....	8
2.2.2	La Loi sur la santé et la sécurité du travail (LSST).....	8
2.2.3	Le Règlement sur la santé et la sécurité du travail (RSST).....	10
2.2.4	Code de sécurité pour les travaux de construction.....	11
2.3	Documents normatifs .....	12
2.3.1	Types de normes.....	12
2.3.2	Norme de type « C » sur les machines à soufflage d'isolant.....	13
2.3.3	Normes génériques en sécurité des machines de type « A ».....	13
2.3.4	Normes spécifiques en sécurité des machines de type « B » .....	15
3	Description des équipements .....	16
3.1	Fonctionnement général de la machine .....	16
3.1.1	Description générale .....	18
3.1.2	Trémie .....	18
3.1.3	Boîte de déchetage .....	19
3.1.4	Valve rotative.....	20
3.1.5	Embrayages .....	21
3.1.6	Commandes de la machine.....	22
3.1.7	Commande du moteur diesel .....	23
3.1.8	Opération.....	23
3.2	Fonctionnement et spécifications du limiteur de couple .....	24
3.3	Fonctionnement et spécifications du dispositif de commande sans fil.....	26
4	Constats, analyse, recommandations et commentaires .....	27
4.1	Dimensions de la trémie et accès aux bras mélangeurs .....	27
4.1.1	Pistes de solutions .....	29



4.2	Protecteurs .....	31
4.2.1	Protecteur fixe de la boîte de déchiquetage .....	31
4.3	Limiteur de couple .....	32
4.4	Circuit électrique de la machine HS 5500 .....	33
4.5	Télécommande radio.....	33
4.5.1	Module de communication radio.....	34
4.5.2	Utilisation de la télécommande de la machine de soufflage .....	36
4.5.3	Mode de fonctionnement de la télécommande.....	37
4.5.4	Fonctions de sécurité d'une télécommande .....	37
4.5.5	Bouton « ARRÊT ».....	37
4.5.6	Boutons de commande « AIR » et « MATÉRIEL ».....	38
4.6	Arrêt d'urgence.....	41
4.6.1	Fiabilité du circuit d'arrêt d'urgence.....	41
4.6.2	Arrêt d'urgence et emballement des moteurs diesel .....	41
4.7	Cadenassage.....	42
4.8	Manuel du fabricant.....	43
4.9	Démarche de sécurisation et rôle du fabricant Heat Seal .....	44
4.9.1	Attestation de sécurité.....	45
5	Conclusion .....	46
	Références.....	47
	Annexe A – Distances de sécurité et hauteurs des protecteurs.....	49
	Annexe B – Fiabilité des systèmes de commande en sécurité des machines .....	51

## Table des illustrations

Figure 1: Machine de soufflage Heat Seal HS 5500.....	5
Figure 2: Démarche d'appréciation du risque typique .....	14
Figure 3: Schéma de la notion de zone dangereuse.....	15
Figure 4: Machine de soufflage et détail de l'intérieur de la trémie.....	17
Figure 5: Intérieur de la trémie .....	19
Figure 6: Intérieur de la boîte de déchiquetage.....	20
Figure 7: Schéma d'une valve rotative .....	20



Figure 8: Embrayages (Éléments rotatifs et soufflante).....	21
Figure 9: Panneau de commande et télécommandes (avec et sans fil).....	22
Figure 10: Panneau de commande du moteur diesel.....	23
Figure 11: Vue explosée du limiteur de couple 700A de Morse .....	25
Figure 12: Détail du limiteur de couple.....	25
Figure 13: Hauteurs et distances des zones dangereuses (en mm) .....	28
Figure 14: Exemples de rebord allongé.....	29
Figure 15: Grillage de protection .....	30
Figure 16: Exemples de dispositifs dissuasifs.....	31
Figure 17: Protecteur fixe de la valve rotative .....	32
Figure 18: Module Xbee-Pro S3B .....	34
Figure 19: Extrait du manuel XBee-Pro.....	35
Figure 20: Conditions d'utilisation selon ISED Canada .....	35
Figure 21: Avertissement de la distance de l'antenne.....	36
Figure 22: Exemple de bouton de commande en retrait.....	40
Figure 23: Boutons de la télécommande Falcon Pro .....	40
Figure 24: Exemple de valve d'entrée d'air permettant d'éviter l'emballement.....	42
Figure 25: Exemple d'interrupteur pour moteur à combustion.....	43



## 1 Introduction, mise en contexte et description du mandat

Dans l'après-midi du 17 décembre 2022, un accident mortel s'est produit dans l'arrondissement Rivière-des-Prairies de la ville de Montréal lors duquel un travailleur a été retrouvé coincé dans une machine servant à souffler de l'isolant. Peu de détails sont disponibles sur les événements entourant cet accident pour le moment. Tel qu'indiqué dans la demande soumission<sup>1</sup> de la CNESST, selon les premières constatations, le travailleur a été retrouvé dans la trémie de la machine, emporté et enroulé par l'agitateur rotatif à axe horizontal auquel sont fixés les bras mélangeurs.

Les responsables de l'enquête de la CNESST cherchent à déterminer si la machine, fabriquée par la compagnie Heat Seal, illustrée à la figure 1, était conçue selon les règles de l'art et offrait toutes les protections auxquelles le travailleur aurait pu s'attendre.



Figure 1: Machine de soufflage Heat Seal HS 5500

Tel que spécifié dans le contrat abrégé<sup>2</sup> de la CNESST à ce sujet, l'expertise consiste à :

1. Expliquer le fonctionnement général de l'équipement, le fonctionnement et les spécifications de l'embrayage de sécurité ainsi

<sup>1</sup> Demande de soumission – Expertise sur une machine de soufflage d'isolation au diesel de marque Heat Seal 5500, CNESST, 20 janvier 2023.

<sup>2</sup> Les engagements présentés ici sont ceux inscrits au contrat signé le 11 novembre 2019.



*que le fonctionnement et les spécifications du dispositif de commande sans fil;*

2. *Donner son avis sur le respect des règles de l'art dans la conception de l'équipement;*
3. *Produire un rapport d'expertise.*

Mon mandat consiste donc à prendre connaissance de l'équipement sur lequel l'accident s'est produit, à faire l'analyse des éléments stipulés au contrat et à en faire l'évaluation en fonction des exigences réglementaires et des prescriptions normatives en vigueur et de faire état des résultats.

### 1.1 Limites du mandat

Même si l'analyse et les constats de ce rapport pourraient aborder d'autres aspects entourant le fonctionnement de la machine, ce rapport d'expertise portera spécifiquement sur les éléments de la machine ayant pu contribuer à l'accident mortel. Ce rapport porte principalement sur les risques mécaniques que présentait la machine de soufflage d'isolant. Il ne m'est tout simplement pas possible de prétendre que les résultats de ce rapport sont exhaustifs et constituent un recensement complet de tous les risques pouvant se présenter sur la machine analysée.

À moins de cas particuliers, ce rapport exclut les risques suivants:

- éléments sous tension électrique,
- chutes de hauteur,
- espaces clos,
- contraintes thermiques,
- bruit,
- vibrations,
- rayonnements (ex. ultra-violet, infrarouge, rayons X, rayons gamma, micro-ondes),
- combustion et à l'explosion des produits et poussières,
- non-respect des principes d'ergonomie (à moins de situations s'éloignant fortement des principes de base),
- gaz d'échappement,
- ventilation et au chauffage des locaux,
- risques structurels,
- risques toxicologiques causés par les produits (ex. liquides de refroidissement, huiles, antigel, etc.),
- agresseurs biologiques (ex. bactéries, champignons, virus, arthropodes, protozoaires),
- gaz et aux autres risques chimiques ou de poussières (ex. réfrigérants, CO<sub>2</sub>, amiante, fibre de verre, bran de scie, etc.),
- utilisation des outils à main.



Finalement, la recherche de solutions ne faisait pas partie de ce mandat, mais certaines recommandations seront toutefois présentées dans ce rapport.

## 1.2 Visite et observations préliminaires

Une visite a été réalisée dans l'avant-midi du 9 février 2022 dans les installations de l'entreprise Igloo Cellulose à Dorval qui distribue ces équipements. La machine y avait été entreposée suite à l'accident.

Lors de cette visite, j'étais accompagné de :

- Patrick Cyrenne, B.Sc., Inspecteur, Direction de la prévention-inspection Montréal – Construction, CNESST
- Marc Ayotte, Chef d'équipe, Direction régionale de Montréal de la prévention-inspection, CNESST
- Julie Boucher, ing., Conseillère en prévention-inspection, Direction générale de la gouvernance et du conseil stratégique en prévention, CNESST

Monsieur **H** de la compagnie Igloo Cellulose, nous accompagnait afin de répondre aux questions.

Des photos de la machine ont été prises, mais aucun essai n'a été réalisé compte tenu de l'état de la machine dont les courroies avaient été coupées suite à l'accident.

## 2 Documents de référence

### 2.1 Documents reçus

Trois documents issus du fabricant Heat Seal ou de la compagnie Igloo Cellulose m'ont été remis par les responsables du dossier à la CNESST :

- Un bon de travail rempli par un des employés de la compagnie Igloo Cellulose qui montre le détail des travaux d'entretien effectués sur la machine le 29 mars 2022 (ou le 28 mars 2022) [13].
- Le manuel de la machine du fabricant Heat Seal qui inclut également les informations relatives au fonctionnement du moteur diesel Kubota [14].
- Les schémas de branchement du panneau électrique principal et du moteur diesel Kubota [15].



## 2.2 Documents légaux

### 2.2.1 Le Code civil du Québec

Le Code civil du Québec [12] présente des prescriptions importantes dans le dossier présent. La lecture des articles 1468 et 1469 énonce qu'on devrait s'attendre à ce qu'un équipement (un bien meuble) soit conçu de façon à ne pas blesser les personnes qui l'utilisent.

L'article 1468 vise spécifiquement le fabricant de la machine et l'oblige à réparer un préjudice causé à un tiers s'il y a défaut de sécurité de la machine :

*1468. Le fabricant d'un bien meuble, même si ce bien est incorporé à un immeuble ou y est placé pour le service ou l'exploitation de celui-ci, est tenu de réparer le préjudice causé à un tiers par le défaut de sécurité du bien.*

*Il en est de même pour la personne qui fait la distribution du bien sous son nom ou comme étant son bien et pour tout fournisseur du bien, qu'il soit grossiste ou détaillant, ou qu'il soit ou non l'importateur du bien.*

Le Code définit le défaut de sécurité du bien et établit notamment la relation qui existe entre le « défaut de sécurité » et « l'absence d'indications suffisantes quant aux risques et dangers » que le bien comporte :

*1469. Il y a défaut de sécurité du bien lorsque, compte tenu de toutes les circonstances, le bien n'offre pas la sécurité à laquelle on est normalement en droit de s'attendre, notamment en raison d'un vice de conception ou de fabrication du bien, d'une mauvaise conservation ou présentation du bien ou, encore, de l'absence d'indications suffisantes quant aux risques et dangers qu'il comporte ou quant aux moyens de s'en prémunir.*

### 2.2.2 La Loi sur la santé et la sécurité du travail (LSST)

La Loi sur la santé et la sécurité du travail (LSST) [1] énonce les exigences et obligations relatives à la santé et à la sécurité des travailleurs du Québec.

Présenté à l'article 2, l'esprit de la LSST est l'élimination à la source des « dangers ». On tente ainsi d'inciter les employeurs à toujours tenter d'identifier les solutions qui offrent la meilleure efficacité possible pour la réduction des risques. Si le danger est « éliminé », le risque devient nul, ce qui s'avère donc la solution la plus efficace.

Les obligations générales de l'employeur sont présentées à l'article 51 et six de ses alinéas, portant notamment sur les équipements ainsi que sur les méthodes et techniques visant à identifier, contrôler et éliminer les risques peuvent être utilisés dans le domaine de la sécurité des machines et pourraient s'appliquer ici :



*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:*

*1° s'assurer que les établissements sur lesquels il a autorité sont **équipés** et aménagés de façon à assurer la protection du travailleur;*

...

*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;*

...

*7° fournir un matériel sécuritaire et assurer son maintien en bon état;*

...

*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;*

...

*11° fournir gratuitement au travailleur tous les moyens et équipements de protection individuels choisis par le comité de santé et de sécurité conformément au paragraphe 4° de l'article 78 ou, le cas échéant, les moyens et équipements de protection individuels ou collectifs déterminés par règlement et s'assurer que le travailleur, à l'occasion de son travail, utilise ces moyens et équipements;*



Pour sa part, l'article 63 de la LSST vise notamment les fabricants de machines en les obligeant à respecter les exigences réglementaires en vigueur afin de fournir des équipements sécuritaires :

*Nul ne peut fabriquer, fournir, vendre, louer, distribuer ou installer un produit, un procédé, un équipement, un matériel, un contaminant ou une matière dangereuse à moins que ceux-ci ne soient **sécuritaires et conformes aux normes prescrites par règlement.***

### 2.2.3 Le Règlement sur la santé et la sécurité du travail (RSST)

Si l'élimination des dangers préconisée dans la LSST n'était pas possible au moment de la conception d'un équipement, et qu'il présente des risques, le Règlement sur la santé et la sécurité travail (RSST) [2] préconise le recours à différents types de moyens de réduction du risque, présentés à sa section XXI.

Les premières solutions qui doivent être explorées reposent sur l'utilisation de mesures techniques telles que les protecteurs et les dispositifs de protection qui contrôlent l'accès aux zones dangereuses. Si une de ces mesures n'est pas raisonnablement applicable, on aura recours aux moyens procéduraux et organisationnels tels que le cadenassage ou aux procédures et méthodes de travail.

Si finalement aucune solution technique ne semble raisonnablement applicable, on aura recours aux moyens procéduraux et organisationnels.

Ces exigences sont d'application générale et s'appliquent à tout type d'équipement ou de machine, sauf les outils à main.

#### 2.2.3.1 L'article 182 du RSST : les moyens techniques

L'article 182 du RSST est celui qui présente les exigences les plus importantes et qui résume le mieux les objectifs à atteindre en sécurité des machines. L'esprit de cet article est de faire en sorte, si cela est raisonnablement faisable et qu'une solution est envisageable, que les travailleurs ne puissent être en mesure d'entrer en contact, même volontairement avec un phénomène dangereux (ex. pièce en mouvement) ou d'être atteints par un phénomène dangereux (ex. projection, rayonnement, bruit).

Les protecteurs fixes ou mobiles (incluant les enceintes) et les dispositifs sensibles (ex. rideaux optiques, détecteurs surfaciques) proposés à l'article 182 font partie des solutions les plus répandues et utilisées en industrie.

Ainsi, théoriquement, l'accès à toutes les zones dangereuses d'une machine devrait être « contrôlé », par un des moyens préconisés à l'article 182.

#### 2.2.3.2 L'article 183 du RSST : les moyens procéduraux

Si aucune des solutions préconisées à l'article 182 n'est raisonnablement applicable, on doit alors mettre en œuvre des solutions « *qui assurent une sécurité équivalente aux travailleurs* » reposant plutôt sur approche procédurale.



Ces solutions ne pourront généralement pas offrir un niveau de risque aussi élevé que les moyens de protections techniques peuvent apporter. L'application des principes énoncés à l'article 183 ne doit pas être considérée comme une « alternative »; on doit nécessairement être en mesure de faire la démonstration que les solutions préconisées à l'article 182 ne peuvent raisonnablement pas être mises en œuvre.

#### 2.2.4 Code de sécurité pour les travaux de construction

Au Québec, les prescriptions relatives à la sécurité des travailleurs œuvrant dans le domaine de la construction sont issues du Code de sécurité pour les travaux de construction (CSTC) [3]. Comme l'accident s'est produit sur un chantier de construction, les prescriptions du Code s'appliquent. C'est à l'article 3.10.13 du CSTC que sont présentées les obligations relatives à la protection des éléments mobiles des machines qu'utilisent les travailleurs.

##### *3.10.13. Dispositifs de sécurité et protecteurs:*

*1. Des dispositifs de sécurité doivent protéger les éléments mobiles des machines. Ils doivent être conçus, construits et utilisés de manière à:*

- a) assurer une protection efficace et à prévenir tout accès de la zone dangereuse pendant leur fonctionnement;*
- b) ne pas gêner le conducteur;*
- c) fonctionner automatiquement ou moyennant un minimum d'effort;*
- d) permettre facilement l'entretien et la réparation de la machine;*
- e) ne pas présenter d'arrêtes vives, d'aspérités ou de barbes et à ne pas constituer en eux-mêmes une source de dangers; et*
- f) être solidement fixés.*

*2. Si des éléments mobiles ne sont pas protégés du fait de leur emplacement ou par des protecteurs, on doit s'assurer que:*

- a) les extrémités saillantes des arbres de transmission sont protégées par des manchons ou des douilles;*
- b) les collets tournants sont cylindriques et sans saillie;*
- c) les vis de blocage, les boulons, les clavettes, les graisseurs et autres saillies d'éléments tournants sont noyés ou habillés de façon à empêcher tout contact; et*
- d) les rainures de clavette non utilisées sont obturées ou enfermées dans un protecteur.*



Ces obligations reprennent essentiellement l'esprit des articles 182 et 183 du RSST, mais en y ajoutant des précisions sur certains éléments de conception.

### 2.3 Documents normatifs

De manière générale, le RSST présente des exigences qui rejoignent l'esprit de la normalisation dans le domaine de la sécurité des machines. Cependant, compte tenu du niveau limité de détail qu'il est possible d'y intégrer, il ne reprend généralement que l'esprit de ces exigences et ne peut se substituer aux normes dans lesquelles les détails de ces solutions sont présentés.

Dans le contexte actuel où elles ne sont pas spécifiquement citées dans la section XXI du RSST, les normes ne sont pas considérées comme étant obligatoires. Elles servent plutôt de balises et guident les concepteurs sur les principes de conception qui auront comme effet de garantir un niveau minimal de risque pour les solutions à mettre en œuvre.

Bien qu'elles ne soient pas obligatoires, l'application de leurs prescriptions est aujourd'hui considérée comme incontournable afin de faire la démonstration d'un travail de conception professionnel et responsable. Le respect des règles de l'art commande l'application de ces prescriptions et le praticien compétent en sécurité des machines doit respecter et suivre ces guides de pratique.

#### 2.3.1 Types de normes

Suivant l'approche de la normalisation internationale, tirée de la norme ISO 12100, les normes sont présentées suivant les types suivants<sup>3</sup> :

- *Normes de type A (normes fondamentales de sécurité), contenant des notions fondamentales, des principes de conception et des aspects généraux relatifs aux machines;*
- *Normes de type B (normes génériques de sécurité), traitant d'un aspect de la sécurité ou d'un moyen de protection valable pour une large gamme de machines:*
  - *Normes de type B1, traitant d'aspects particuliers de la sécurité (par exemple distances de sécurité, température superficielle, bruit);*
  - *Normes de type B2, traitant de moyens de protection (par exemple commandes bimanuelles, dispositifs de verrouillage, dispositifs sensibles à la pression, protecteurs);*
- *Normes de type C (normes de sécurité par catégorie de machines), traitant des exigences de sécurité détaillées s'appliquant à une machine particulière ou à un groupe de machines particulier.*

<sup>3</sup> Extrait tiré de l'introduction de la norme ISO 12100:2010.



### 2.3.2 Norme de type « C » sur les machines à soufflage d'isolant

Aucune norme de sécurité spécifique (de type « C ») sur les machines telle que celle sur laquelle l'accident s'est produit n'a été identifiée pendant la rédaction de ce rapport. En l'absence d'un tel document, les prescriptions normatives seront donc tirées des normes de type A et B décrivant les principes d'application générale en sécurité des machines.

### 2.3.3 Normes génériques en sécurité des machines de type « A »

Deux normes « génériques » ou « générales » sont présentement en utilisation au Québec : la norme canadienne CSA Z432 « *Protection des machines* » [9] et la norme internationale ISO 12100 « *Sécurité des machines – Principes généraux de conception – Appréciation du risque et réduction du risque* » [6].

Ces deux documents présentent les étapes d'un processus de sécurisation des machines et s'adressent principalement aux concepteurs de machines, incluant les fabricants et les intégrateurs. On y présente toutes les notions de base relatives à une démarche structurée d'appréciation et de réduction du risque.

Le rôle de l'utilisateur de la machine dans cette démarche est limité à contrôler les risques résiduels s'ils sont présents après que les mesures de prévention ont été appliquées par le concepteur.

#### 2.3.3.1 Démarche à l'intention des concepteurs de machines

La démarche proposée par les deux normes est quasi identique et est divisée en deux étapes distinctes : l'appréciation du risque et la réduction du risque.

L'appréciation du risque, présentée à la figure suivante, consiste à déterminer si des risques existent, à en estimer le niveau et à porter un jugement afin de statuer s'ils sont tolérables ou non.



Figure 2: Démarche d'appréciation du risque typique<sup>4</sup>

Si des risques considérés comme étant intolérables sont présents, la démarche de réduction du risque est alors nécessaire. Elle consiste à choisir les solutions en misant sur celles qui offrent le potentiel de réduction du risque le plus élevé :

- 1) L'élimination des dangers (appelés phénomènes dangereux),
- 2) L'utilisation de moyens techniques tels que les protecteurs ou les dispositifs de protection, et finalement,
- 3) Le recours aux moyens de type procéduraux ou organisationnels tels que la formation, les avertissements et les méthodes de travail.

### 2.3.3.2 Définitions de phénomène dangereux et de zones dangereuses selon ISO 12100

La norme internationale ISO 12100 [6] est le document central dans lequel sont présentées les notions de base en sécurité des machines. Elle présente les définitions et les concepts importants nécessaires à une démarche de réduction des risques relatifs aux machines et aux équipements.

#### 3.11 zone dangereuse, ou zone de danger

*Tout espace, à l'intérieur et/ou autour d'une machine, dans lequel une personne peut être exposée à un phénomène dangereux.*

<sup>4</sup> Source : Sécurité des machines, Prévention des risques mécaniques, CNESST [10]



**3.6 phénomène dangereux**

Source potentielle de dommage.

*NOTE 1 L'expression « phénomène dangereux » peut être qualifiée de manière à faire apparaître l'origine (par exemple phénomène dangereux mécanique, phénomène dangereux électrique) ou la nature du dommage potentiel (par exemple phénomène dangereux de choc électrique, phénomène dangereux de coupure, phénomène dangereux d'intoxication, phénomène dangereux d'incendie).*

Les zones dangereuses d'une machine sont donc définies comme étant toutes zones ou tous espaces, à l'intérieur et/ou autour d'une machine, dans lesquels une personne peut être exposée à un phénomène dangereux. Selon la définition, le simple fait de pouvoir atteindre, ou d'être atteint par un phénomène dangereux est suffisant pour dire qu'une personne se trouve dans la zone dangereuse d'une machine.

Cette définition rejoint dans l'esprit, la notion de zone dangereuse d'une machine définie à l'article 172 du RSST selon lequel l'accès à ces parties devrait être empêché, ou contrôlé par l'utilisation d'un moyen de protection.

La Figure 5 montre la schématisation de la notion de zone dangereuse. On considère qu'il y a une zone dangereuse si la partie dangereuse de la machine (le phénomène dangereux) est accessible ou peut atteindre le travailleur.

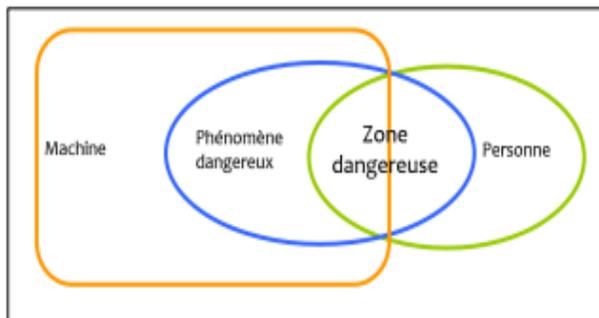


Figure 3: Schéma de la notion de zone dangereuse

**2.3.4 Normes spécifiques en sécurité des machines de type « B »**

Bien qu'aucun critère de conception ne soit présenté dans le RSST, les règles de l'art tirées de la normalisation doivent toujours s'appliquer. C'est ainsi que les normes pertinentes en sécurité des machines sont nécessaires afin de mettre en œuvre les solutions adaptées à tous les types d'équipements.



Les prescriptions de ces documents doivent être appliquées afin d'atteindre les résultats reflétant les règles de l'art actuelles dans le domaine.

La liste suivante présente les normes de type « B » les plus pertinentes et qui seront utilisées ou citées dans ce rapport :

- Norme internationale ISO 13857:2019, Sécurité des machines, Distances de sécurité empêchant les membres supérieurs et inférieurs d'atteindre les zones dangereuses [5].
- Norme internationale ISO 13854:2017, Sécurité des machines - Écartements minimaux pour prévenir les risques d'écrasement de parties du corps humain [11].
- Norme internationale ISO 14120:2015, Sécurité des machines, Protecteurs, Prescriptions générales pour la conception et la construction des protecteurs fixes et mobiles [7].
- Norme internationale ISO 13849-1:2015, Sécurité des machines - Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité - Partie 1: Principes généraux de conception [8].
- Norme internationale ISO 13850:2008, Sécurité des machines, Arrêt d'urgence, Principes de conception [4].
- Norme internationale CEI 62745:2017, Sécurité des machines - Exigences générales pour les systèmes de commande sans-fil des machines [16].
- Norme internationale 9355-3:2006, Spécifications ergonomiques pour la conception des dispositifs de signalisation et des organes de service - Partie 3: Organes de service [18].
- Norme internationale CEI 60204:2016, Sécurité des machines - Équipement électrique des machines - Partie 1 : Exigences générales [19].

Tous les documents normatifs auxquels réfère ce rapport sont présentés à la section « Référence » de ce document.

### 3 Description des équipements

#### 3.1 Fonctionnement général de la machine

La machine de soufflage d'isolant Heat Seal HS 5500 sert à projeter ou à insuffler du matériel isolant tel que de la fibre de bois cellulosique à bourrage lâche<sup>5</sup> (cellulose) dans les endroits tels que les murs et les plafonds.

<sup>5</sup> Source : Fiche technique du produit « Cellulose Igloo » de Igloo Cellulose [17].



La machine est constituée des éléments majeurs suivants :

- une trémie,
- des bras mélangeurs situés dans la trémie,
- une plaque d'obturation ajustable située au fond de la trémie,
- des bras de déchetage situés sous la plaque d'obturation (boîte de déchetage),
- une valve rotative située sous les bras de déchetage (alimentateur « Rotagg »),
- une soufflante située sous la valve rotative, et
- un boyau relié à la soufflante.

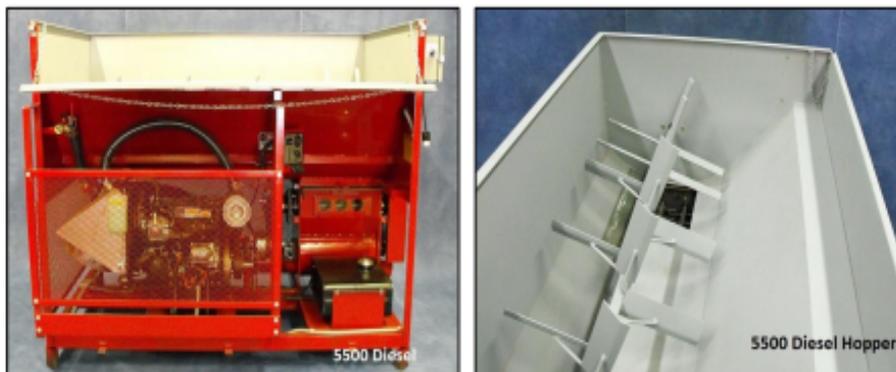


Figure 4: Machine de soufflage et détail de l'intérieur de la trémie<sup>6</sup>

Le mode de fonctionnement, tiré et traduit du manuel d'opération de la machine est le suivant<sup>7</sup> :

**Trémie :**

*Le sac est ouvert et vidé dans la trémie. Un arbre situé au centre de la trémie, auquel sont fixées des palettes, tourne et casse les fibres comprimées tout en les déplaçant vers une ouverture à la base de la trémie appelée boîte de déchetage.*

<sup>6</sup> Source : Site Web de la compagnie Heat Seal, <https://heatsealequipment.com>

<sup>7</sup> Traduction libre de "Heat Seal 5500/6000 Insulation blowing machine manual, Machine operation and application manual" [14]

**Plaque d'obturation ajustable :**

Directement sous la trémie, une plaque métallique horizontale contrôle le débit de la matière.

**Boîte de déchiquetage :**

La boîte de déchiquetage est située juste sous la trémie et contient 2 arbres munis de petits doigts. Les arbres se déplacent à des vitesses différentes. Cette action rotative transforme les fibres déjà détachées en nodules de la taille d'une noix.

**Alimentateur « Rotagg »**

Le matériau prétraité tombe du broyeur (boîte de déchiquetage) dans un alimentateur rotatif. Cet alimentateur comporte 6 auges en forme de « V » qui tournent dans un flux d'air fourni par la soufflante.

**Soufflerie :**

Chaque malaxeur est équipé d'une soufflante suffisamment grande pour créer une pression et un volume suffisant pour déplacer le matériau afin d'éviter le colmatage.

### 3.1.1 Description générale

Un moteur à combustion diesel de marque Kubota développe un torque de 58,4 N·m @ 2 400 RPM et fournit l'énergie nécessaire à la machine. La sortie du moteur est reliée par courroie à un premier arbre de transmission, puis, par l'entremise de poulies, de chaînes et de pignons successifs, entraîne tous les éléments mécaniques de la machine.

Suivant une estimation des dimensions de ces poulies et pignons, lorsque le moteur atteint une vitesse de 2 400 RPM, les torques et les vitesses de rotation théoriques des différents éléments avoisinent les valeurs suivantes (sans limiteur de couple) :

- Bras mélangeurs de la trémie : 3 819 N·m (2 816 lb-pi) @ 37 RPM
- Premier bras de la boîte de déchiquetage : 231 N·m (170 lb-pi) @ 606 RPM
- Second bras de la boîte de déchiquetage : 493 N·m (363 lb-pi) @ 284 RPM
- Valve rotative : 1 809 N·m (1 334 lb-pi) @ 77 RPM

### 3.1.2 Trémie

La trémie est constituée de parois métalliques permettant de recueillir le contenu des ballots de cellulose. Des bras mélangeurs, fixés à un arbre installé horizontalement au centre de la trémie, permettent de briser les ballots de cellulose et à en répartir le contenu.



Figure 5: Intérieur de la trémie

Par la forme des bras mélangeurs, la cellulose est amenée graduellement vers une ouverture au fond de l'extrémité de la trémie menant à la boîte de déchiquetage. Cette ouverture est ajustable par le mouvement d'une plaque ce qui permet d'ajuster la quantité de cellulose amenée vers la boîte de déchiquetage.

La rotation des bras mélangeurs crée des zones d'entraînement et de cisaillement.

### 3.1.3 Boîte de déchiquetage

Sous la plaque d'obturation ajustable se trouve la boîte de déchiquetage où la cellulose sera réduite en taille à l'aide de deux ensembles de bras de déchiquetage tournant à des vitesses différentes.

La rotation des bras de déchiquetage crée des zones d'entraînement et de cisaillement importants.



Figure 6: Intérieur de la boîte de déchiquetage

### 3.1.4 Valve rotative

La cellulose tombe ensuite dans la valve rotative (appelée « alimentateur Rotagg » dans le manuel du fabricant HeatSeal) située sous la boîte de déchiquetage.

Les valves rotatives servent notamment à séparer les produits pulvérulents présents dans un système ayant des pressions atmosphériques différentes. Ils sont utilisés par exemple sur des dépoussiéreurs ou d'autres équipements de manière à permettre l'expulsion du produit sans perte de pression à l'intérieur d'un procédé tel que le montre le schéma de la figure 7. Le joint étanche entre les deux parties est créé par des pales en rotation actionnées par un moteur. Le produit ainsi séparé du procédé ayant une pression différente tombe sous l'effet de la gravité et peut ainsi être acheminé dans une autre partie du procédé.

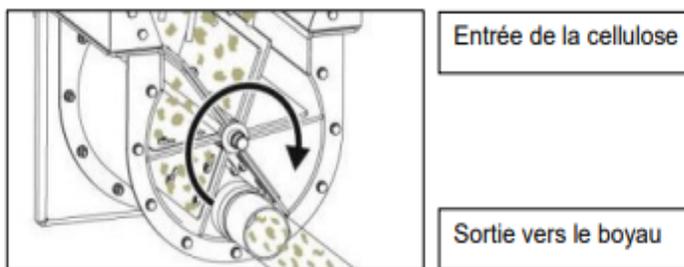


Figure 7: Schéma d'une valve rotative<sup>8</sup>

<sup>8</sup> Source : <https://www.x-floc.com>



Ces équipements sont conçus de manière à ne laisser passer que le minimum d'air entre les pales et le corps de la valve elle-même et entre les deux parties du procédé ayant des pressions différentes. Du fait de l'étanchéité requise et des forces de friction générées entre les pales et le corps de la valve, les forces motrices nécessaires pour entraîner la rotation des pales peuvent être importantes.

La rotation des pales génère notamment un phénomène dangereux de cisaillement à deux endroits entre les pales et le corps de la valve.

### 3.1.5 Embrayages

Deux embrayages sont utilisés pour permettre un fonctionnement adéquat de la machine et contrôler les éléments de manière indépendante. Ces deux embrayages sont installés à même le premier arbre de transmission auquel le moteur est relié par courroie.

1. Le premier de ces embrayages est relié par courroie à la soufflante (soufflerie) servant à produire le flux d'air nécessaire pour projeter la cellulose.
2. Le second embrayage est relié aux poulies et pignons servant à faire tourner les éléments rotatifs :
  - La valve rotative (alimentateur « Rotagg »),
  - Les deux bras de déchiquetage de la boîte de déchiquetage, et,
  - Les bras mélangeurs de la trémie.

Ces deux embrayages peuvent être commandés individuellement.

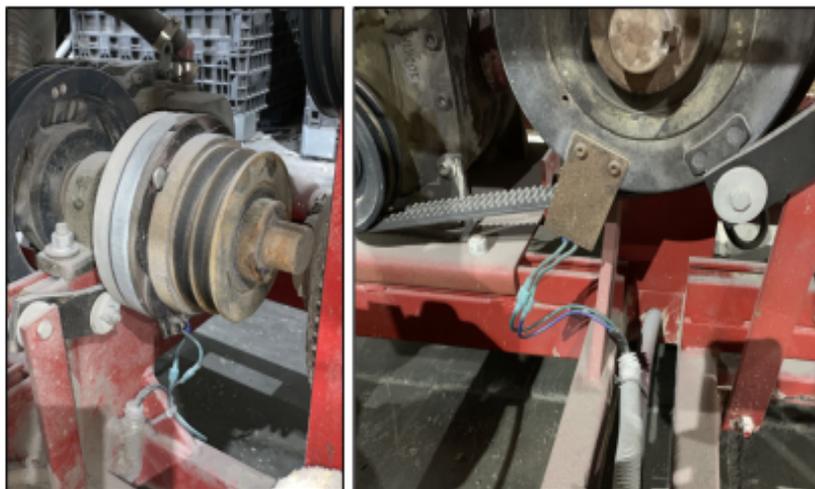


Figure 8: Embrayages (Éléments rotatifs et soufflante)



3.1.6 Commandes de la machine

La machine peut être commandée de trois manières; par le panneau de commande principal, par une télécommande à fil ou par une télécommande sans-fil.



Figure 9: Panneau de commande et télécommandes (avec et sans fil)

Suivant le manuel d'utilisation de la machine, les commandes suivantes sont possibles :

Panneau de commande	Télécommandes	Soufflante	Bras mélangeurs, bras de déchiquetage, valve rotative
« OFF »	« ARRÊT »	Arrêt	Arrêt
« BLOWER ONLY »	« AIR »	Marche	Arrêt
« BLOWER FEEDER »	« MATÉRIEL »	Marche	Marche

Le mode « Soufflante » permet d'amorcer le soufflage ou de vider le circuit, incluant le boyau servant à projeter la cellulose. Le mode « Matériel » permet de faire fonctionner tous les éléments de la machine et de procéder au soufflage de la cellulose.

Selon les informations obtenues et le schéma de câblage, le sélecteur du panneau principal doit être dans la position « BLOWER FEEDER » afin de permettre le fonctionnement de la soufflante et des éléments mécaniques avec l'une des deux télécommandes.



### 3.1.6.1 Arrêt d'urgence

L'arrêt d'urgence, installé sur le panneau de commande, coupe l'alimentation des deux embrayages et stoppe la soufflante ainsi que les bras mélangeurs de la trémie, de la boîte de déchiquetage et la valve rotative.

Le moteur diesel ne s'arrête pas lorsque l'arrêt d'urgence est activé.

### 3.1.7 Commande du moteur diesel

Un panneau de commande relié au moteur diesel permet son démarrage et son arrêt et affiche les informations importantes à son fonctionnement tel que la tension de la charge de la batterie et la pression d'huile.



Figure 10: Panneau de commande du moteur diesel

Situé directement sous ce panneau se trouve le mécanisme permettant l'ajustement de la vitesse du moteur diesel. Ce mécanisme est relié mécaniquement au carburateur du moteur. Un bouton au centre de la manette permet la coupure rapide de l'arrivée du carburant.

Lors de la visite, le bouton de ce mécanisme fonctionnait très difficilement. L'arrêt du moteur n'était à toute fin possible que par la rotation du sélecteur « Off/Run/Start » sur le panneau de commande du moteur diesel.

### 3.1.8 Opération

Deux travailleurs sont généralement nécessaires pour l'opération de cette machine.

Le premier travailleur doit alimenter la machine en cellulose en déposant le contenu des ballots dans la trémie. Selon les informations obtenues lors d'échanges avec des représentants de la compagnie Igloo Cellulose, les travailleurs peuvent insérer environ



100 ballots de cellulose à l'heure dans la trémie de la machine. Selon le fabricant HeatSeal, la capacité de la machine HS 5500 est de 135 ballots de cellulose à l'heure. Ces ballots, d'un poids de 11,3 kg (25 livres), sont premièrement placés sur un petit rebord d'une largeur de 448 mm (18 po) de la machine à une hauteur mesurée de 1 264 mm (49½ po).

Les travailleurs doivent couper l'enveloppe de plastique recouvrant le ballot avant de le pousser dans la trémie tout en prenant soin de la récupérer.

La présence constante d'un premier travailleur aux abords de la machine est donc nécessaire.

Le second travailleur manipule le boyau pouvant avoir un diamètre d'environ 102 mm (4 po) dans lequel la cellulose est projetée. À l'aide d'une télécommande (avec ou sans fil), il commande les différentes fonctions de la machine (soufflante, éléments mécaniques) pour éventuellement remplir les orifices de cellulose à l'aide de ce boyau.

### **3.2 Fonctionnement et spécifications du limiteur de couple**

La machine est pourvue d'un limiteur de couple installé à même le pignon qui est relié à la valve rotative. Ce dispositif limite ainsi le couple appliqué à ce pignon ainsi qu'aux bras mélangeurs de la trémie qui y sont également raccordés, mais ne limite pas la force appliquée aux bras de déchetage.

Le limiteur de couple « 700A » est fabriqué par la compagnie états-unienne Morse. Tel qu'illustré à la figure suivante, ce dispositif est principalement constitué de deux plaques de friction (A et D), d'une plaque de pression (E), d'un ressort (F) et d'un collet d'ajustement avec écrous (J).

Le principe de fonctionnement repose sur la friction exercée sur les plaques de friction et la plaque de pression en fonction de la force appliquée par le ressort, lui-même ajusté par les écrous. Plus les écrous sont serrés, plus la friction sur les plaques est grande et ainsi, plus le couple est élevé.

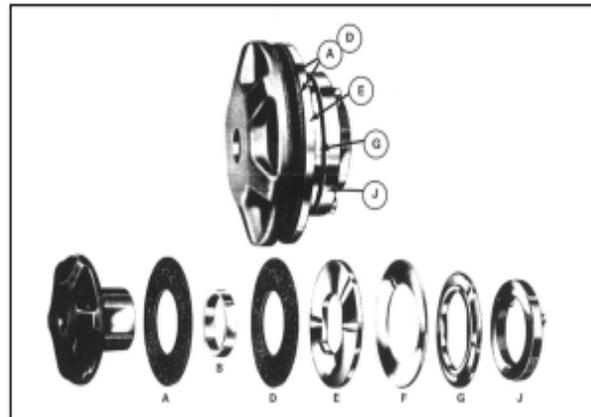


Figure 11: Vue explosée du limiteur de couple 700A de Morse<sup>9</sup>



Figure 12: Détail du limiteur de couple

Selon les informations obtenues lors de la visite du 9 février chez Igloo Cellulose, ce limiteur de couple sert essentiellement à empêcher les bris d'équipement si, par exemple, une pièce métallique tombe dans la valve rotative et la bloque. Certaines machines de ce genre sont plutôt équipées de goupilles de cisaillement (shear pin), mais le limiteur de couple installé sur la machine offre l'avantage d'un redémarrage plus rapide sans nécessiter le remplacement d'une goupille de cisaillement.

<sup>9</sup> Source : Torque Limiter Installation & Maintenance Instructions For 250A Thru 700A, Morse, 2016.



Cette configuration fait en sorte que la valve rotative et les bras mélangeurs de la trémie se remettraient à tourner dans l'éventualité où le déblocage de la valve rotative était effectué au moment où le moteur diesel est en fonctionnement et que les éléments mécaniques sont embrayés.

Ce modèle de limiteur de couple permet un ajustement allant de 115 N·m (85 lb-pi) à 569 N·m (420 lb-pi). Le limiteur est ajusté en usine à un couple maximal de 122 N·m (90 lb-pi). Le distributeur Igloo Cellulose mentionne augmenter cette valeur à 155 N·m (115 lb-pi) affirmant qu'en deçà de cette valeur, le limiteur glisse et ne permet pas un fonctionnement optimal de la machine.

Si les valeurs théoriques des ratios mentionnés à la section 3.1.1 de ce rapport sont bonnes, une limitation du couple à 155 N·m au niveau de la poulie de la valve rotative limiterait à 327 N·m (241 lb-pi) le couple disponible pour les bras mélangeurs de la trémie.

Cette force est assez grande pour provoquer des blessures graves à une personne et c'est ce qui a permis l'enroulement de la victime autour de l'arbre des bras mélangeurs.

### 3.3 Fonctionnement et spécifications du dispositif de commande sans fil

La télécommande utilisée sur cet équipement est un modèle sans-fil, dite « hertzienne », ou à ondes radio. Plus pratique que la télécommande à fil, elle ne limite pas les déplacements du travailleur et lui donne ainsi une plus grande autonomie.

Le modèle de la télécommande « Falcon Pro » est fabriqué par la compagnie états-unienne « RF Hero, a Nichols Electronics Company ». Ce modèle de télécommande est spécifiquement conçu pour être installé sur des machines de soufflage d'isolant. La télécommande est basée sur le principe d'une communication radio établie entre sa base et l'émetteur sans fil que transporte le travailleur.

Aucune information relative aux caractéristiques particulières de cet équipement n'a été divulguée par les représentants de la compagnie RH Hero consultés à ce sujet.

L'observation de la télécommande a toutefois permis d'établir que la transmission radio est réalisée par un module XBee-Pro de la compagnie Digi<sup>10</sup> à une fréquence porteuse de 900 MHz<sup>11</sup>. Il n'a pas cependant pas été possible de déterminer avec exactitude le numéro de modèle du module Xbee-Pro sans risquer d'endommager la télécommande.

Selon toute vraisemblance, la communication radio n'est établie que lorsque l'un des boutons est actionné.

Tel que spécifié à la section 3.1.6 de ce rapport, la télécommande possède 3 boutons : « AIR », « MATÉRIEL » et « ARRÊT ». Lorsque le bouton « AIR » de la télécommande est actionné, le récepteur alimente l'embrayage permettant la rotation de la soufflante. Lorsque le bouton « MATÉRIEL » est actionné, l'embrayage permettant la rotation de la

<sup>10</sup> Voir <https://www.digi.com/>



valve rotative est alimenté, mais aussi celui des bras de déchetage et des bras mélangeurs de la trémie.

Pour arrêter les mouvements de la soufflante ou la rotation des éléments mécaniques, on doit appuyer sur le bouton « ARRÊT ». Les deux sorties sont alors coupées simultanément, ce qui provoque l'arrêt de la soufflante et des deux embrayages.

#### **4 Constats, analyse, recommandations et commentaires**

##### **4.1 Dimensions de la trémie et accès aux bras mélangeurs**

Le phénomène dangereux significatif principal de la machine est sans contredit constitué de l'ensemble des bras mélangeurs de la trémie. Bien que la vitesse de rotation de ces bras soit relativement faible, et malgré l'installation du limiteur de couple, une force importante doit être déployée afin qu'ils soient en mesure de briser les ballots de cellulose. Selon les résultats de vitesse et de force obtenus à la section 3.1.1 de ce rapport, les blessures raisonnablement prévisibles d'une personne qui entrerait en contact avec ces bras peuvent être considérées comme étant très graves.

Si, à première vue, l'accès aux bras mélangeurs et à l'intérieur de la trémie ne semble pas nécessaire pour la réalisation du travail, une analyse du risque devrait montrer si une personne a la possibilité d'entrer en contact avec ces éléments dangereux, de manière volontaire ou non. À ce sujet, la norme ISO 12100 préconise d'ailleurs de considérer toutes les interactions humaines pendant tout le cycle de vie de la machine et les mauvais usages raisonnablement prévisibles<sup>12</sup>.

Dans les cas où il n'est pas nécessaire d'accéder à une zone dangereuse pendant le fonctionnement normal d'une machine, les protecteurs fixes sont considérés comme étant la solution la plus efficace.

C'est dans la norme ISO 13857 [5] que sont prescrites les dimensions que doivent respecter les protecteurs, en termes de distance et de hauteur par rapport au phénomène dangereux.

Les relevés réalisés lors de la visite ont permis d'établir que les dimensions de la machine permettent d'atteindre les zones dangereuses à l'intérieur de la trémie et ne sont donc pas conformes aux prescriptions de la norme.

Le contact avec les bras mélangeurs en rotation peut être considéré comme un risque faible dans la portion du haut, du fait des conséquences normalement limitées (ex. abrasion). Cependant, selon le tableau 1 de la norme ISO 13854, la zone à partir de laquelle la distance entre l'extrémité des bras et la paroi de la trémie est de moins de 120 mm constitue un risque important d'écrasement ou d'entraînement.

<sup>12</sup> Voir article 5.4 de la norme ISO 12100:2010.



La figure suivante montre le profil de la machine, incluant le rebord où sont déposés les ballots de cellulose, le fond de la trémie et les bras mélangeurs. Toutes les dimensions sont en millimètres.

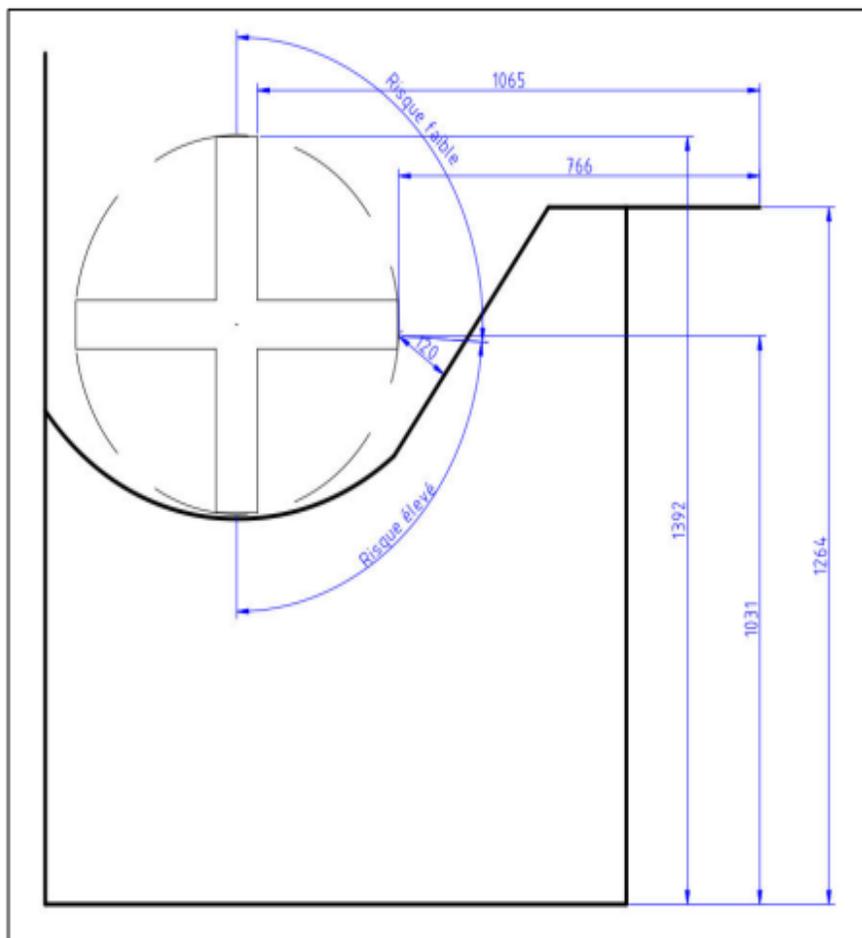


Figure 13: Hauteurs et distances des zones dangereuses (en mm)

Suivant les valeurs prescrites respectivement aux tableaux 1 et 2 de la norme ISO 13857:2019, présentés aux annexes A et B de ce rapport, en fonction de la distance des bras mélangeurs de 766 mm, la hauteur de la structure de protection devrait être de 1 600 mm pour le risque faible et de 1 800 mm pour le risque élevé.

Pour sa part, l'article 10.2.5 de la norme CSA Z432-2016 (R2019) recommande que la hauteur minimale d'un protecteur soit de 1 800 mm.



C'est donc cette valeur qui devrait être retenue alors que la hauteur du « protecteur », qui est en fait le rebord rabattable sur lequel les ballots sont déposés, n'est que de 1 264 mm.

En plus de l'absence d'une structure de protection efficace, aucune indication ou avertissement n'est apposé sur le bâti de la machine afin d'informer les travailleurs des risques auxquels ils s'exposent.

#### 4.1.1 Pistes de solutions

Idéalement, la première piste de solution à envisager serait de revoir la conception de la machine de manière à empêcher l'accès aux bras mélangeurs et à l'intérieur de la trémie. Des mécanismes d'alimentation simple, tel un sas mécanique ou un autre mécanisme d'alimentation à bascule pourrait par exemple permettre d'introduire les ballots tout en empêchant l'accès à la trémie.

Si aucune de ces solutions n'est envisageable, et considérant que l'installation d'un protecteur à 1 800 mm rendrait difficile la manipulation des ballots de cellulose, la seconde piste de solution serait d'allonger le rebord de manière à respecter les prescriptions normatives, comme l'un des fabricants le propose à la figure suivante.



Figure 14: Exemples de rebord allongé<sup>13</sup>

Cette solution ne réglerait cependant pas le problème de l'accès complet à l'intérieur de la trémie. S'il est impossible d'affirmer pourquoi la victime y est entrée, on pourrait raisonnablement présumer que c'était pour pousser le reste de la cellulose vers la plaque

<sup>13</sup> Source : Krendl, modèle 2300



d'obturation et éventuellement, vers la boîte de déchetage pour utiliser le maximum de la cellulose restante au fond de la trémie. À ce sujet, on devrait également se questionner sur la méthode de nettoyage de la trémie qui, de par sa conception, ne se vide jamais complètement. Seul l'accès à la trémie permet un nettoyage complet.

Un fait demeure, la possibilité qu'une personne puisse accéder à cette zone existe et devrait être considérée.

Des grillages pourraient permettre d'empêcher l'accès à l'intérieur de la trémie si leurs dimensions d'ouvertures respectent les prescriptions du tableau 5 de la norme ISO 13857:2019. Au moins un fabricant propose ce genre de solution, illustrée à la figure suivante, mais il n'a pas été possible de vérifier si ce grillage et les distances de sécurité étaient conformes aux prescriptions normatives dans ce cas précis.



Figure 15: Grillage de protection<sup>14</sup>

Dans l'éventualité où aucune de ces solutions ne serait envisageable, des barres d'obstruction pourraient permettre de réduire la possibilité d'accès. Tel qu'illustré à la figure suivante, certains fabricants de ce genre d'équipement proposent ce genre de solution visant à dissuader les travailleurs d'entrer dans la trémie.

<sup>14</sup> Source : Accu1, modèle 9700



Figure 16: Exemples de dispositifs dissuasifs<sup>15</sup>

## 4.2 Protecteurs

Les autres zones dangereuses de la machine sont essentiellement celles où sont logés les arbres de transmission, les chaînes et les courroies, incluant les éléments mobiles du moteur diesel (ex. courroie d'alternateur, ventilateur).

Si leur conception n'est pas conforme à toutes les prescriptions normatives, dans la majorité des cas, l'accès à ces zones dangereuses semble contrôlé adéquatement par des protecteurs fixes dont les ouvertures sont suffisamment petites. Les grillages utilisés pour la fabrication des protecteurs comportent des ouvertures qui pourraient très probablement être plus grandes et devraient être peints de couleur noire mate, de manière à améliorer la visibilité, mais cette caractéristique ne remet pas en cause leur efficacité.

### 4.2.1 Protecteur fixe de la boîte de déchiquetage

Le protecteur couvrant l'avant de la boîte de déchiquetage présente cependant certaines caractéristiques allant l'encontre des règles de base de conception des protecteurs fixes :

- Il ne possède qu'un seul écrou pour assurer sa fixation, ce qui le rend plus facile à démonter,
- Il est équipé d'une plaque de plastique transparent qui ne semble pas requérir d'outil pour être retirée,
- Il est sur penture.

<sup>15</sup> Sources : Accu1, modèle 9218, Thermofloc, modèle Thermoblow 200, Meyer



Figure 17: Protecteur fixe de la valve rotative

Ces caractéristiques montrent que le fabricant a voulu faciliter le retrait de ce protecteur à l'utilisateur, qui, selon les informations obtenues, est nécessaire une fois par semaine afin de procéder à un nettoyage de la boîte de déchiquetage. La norme ISO 14120 recommande dans les cas où le besoin d'accès est d'au moins une fois par semaine que le protecteur soit équipé d'un dispositif de verrouillage ou d'interverrouillage afin de ne pas avoir recours au cadenasage comme moyen de réduction du risque.

L'application de cette solution devrait alors nécessairement reposer sur un circuit de commande conçu de manière à offrir la fiabilité suffisante. Une analyse du risque devrait être réalisée afin de déterminer la meilleure solution et le niveau de fiabilité du circuit nécessaire.

Voir l'annexe B de ce rapport pour des informations complémentaires sur la fiabilité des systèmes de commande relatifs à la sécurité des machines.

### 4.3 Limiteur de couple

Tel que mentionné à la section 3.2 de ce rapport, le limiteur de couple installé à la base du pignon de la valve rotative n'a pas comme rôle de protéger les travailleurs, mais plutôt l'équipement lui-même dans l'éventualité où un blocage de la valve rotative se produisait suite à la présence d'un objet rigide (ex. couteau, outil, morceau de métal).

Les forces requises pour le fonctionnement de la machine, notamment celles nécessaires pour que les bras mélangeurs puissent briser les ballots de cellulose sont importantes et par définition dangereuses pour les travailleurs.

Dans l'éventualité où cette solution aurait été mise en œuvre pour la sécurité des personnes, les prescriptions normatives issues du domaine de la performance des



systèmes de commande relatifs à la sécurité, montrent qu'un tel dispositif ne devrait pas être utilisé seul pour remplir une fonction de sécurité.

De plus, selon les discussions menées lors de la visite, le responsable de l'usine nous a indiqué ajuster le limiteur afin de hausser le couple obtenu. Selon lui, l'ajustement original de la machine par le fabricant n'offre pas un rendement optimal et il arrive que le limiteur glisse.

La méthode d'ajustement utilisée, consistant à serre les écrous, ne permet pas de valider le résultat obtenu. Selon toute vraisemblance, le maximum atteint pourrait être celui du limiteur de couple, soit 569 N·m (420 lb-pi). Dans un tel cas, le couple des bras mélangeurs serait ainsi haussé à 1 201 N·m (885 lb-pi), ce qui expose les travailleurs et la machine à des forces encore plus grandes.

#### 4.4 Circuit électrique de la machine HS 5500

Comme le circuit électrique de la machine n'est pas relié au réseau électrique, aucune certification CSA (voir l'article 2-024 du Code électrique canadien), n'est nécessaire.

Le circuit, qui est représenté dans un schéma de câblage et non pas un schéma permettant sa compréhension, est fonctionnel, mais présente des lacunes de conception. À titre d'exemple :

- Une attache rapide de type « Tye-Rap » est utilisée pour maintenir les relais en place,
- des relais de rechange sont entreposés à même le boîtier qui contient lui-même de la poussière ce qui met en évidence une lacune d'étanchéité,
- aucun des fils n'est numéroté.

Finalement, tel qu'il sera mentionné à la section 4.6.1 de ce rapport, contrairement au principe de base dans ce domaine, aucune diode « de roue libre » ou autre dispositif antisurtension transitoire ne semble équiper les relais, ce qui aurait permis de les protéger des courants générés par inductance.

#### 4.5 Télécommande radio

Peu d'informations sont disponibles sur la télécommande qui était en utilisation lors de l'accident.

Tout au plus, le fabricant RF Hero a confirmé dans une réponse aux questions posées que la télécommande utilisée sur les machines Heat Seal était un modèle Falcon Pro. Selon le fabricant, ces télécommandes ne sont pas de « qualité commerciale<sup>16</sup> ».

<sup>16</sup> Traduction libre de « Not a commercial grade equipment »



La norme CEI 62745 porte spécifiquement sur l'utilisation sécuritaire des télécommandes sur les machines. Elle énonce plusieurs prescriptions relatives, notamment, à la fiabilité de la télécommande et de la transmission des données, à la prévention des ordres non intentionnels ou non autorisés, les fonctions d'arrêt et de sécurité et du comportement en cas de défaillances.

#### 4.5.1 Module de communication radio

Tel que mentionné à la section 3.3 de ce rapport, le module de communication radio utilisé dans la télécommande Falcon Pro est un XBee-Pro 900HP de la compagnie Digi.

Ce module est constitué d'un micrologiciel implanté dans la quincaillerie qui est appelée « XBee-Pro S3B ». Selon le fabricant Digi, ce genre de module radiofréquence est conçu afin de constituer des réseaux sans-fil maillé (Mesh network) dans lesquels typiquement, plusieurs télécommandes sont reliées entre elles par plusieurs voies de communication. La figure suivante montre l'arrière du module XBee-Pro S3B installé à l'intérieur de la télécommande Falcon Pro de la compagnie RH Hero.

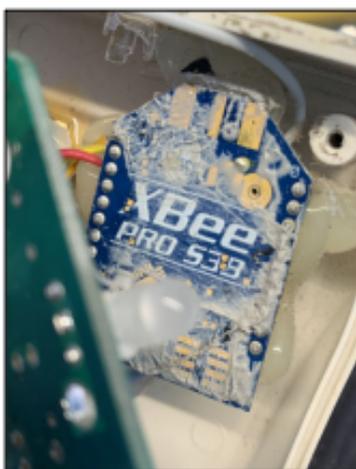


Figure 18: Module Xbee-Pro S3B

Selon les prescriptions tirées du manuel de l'utilisateur [20] rédigé par la compagnie Digi, les modules XBee-Pro S3B ne devraient pas être utilisés dans des applications « critiques » de sécurité des machines. Par cet avertissement, on comprend que le fabricant reconnaît que la fiabilité de la transmission de ces modules n'est pas adaptée à une utilisation où la sécurité des personnes est en jeu.



**Safety instructions**

**XBee modules**

- The XBee radio module cannot be guaranteed operation due to the radio link and so should not be used for interlocks in safety critical devices such as machines or automotive applications.
- The XBee radio module have not been approved for use in (this list is not exhaustive):
  - medical devices
  - nuclear applications
  - explosive or flammable atmospheres

Figure 19: Extrait du manuel XBee-Pro

Dans le même esprit, suivant les conditions émises par Innovation, Sciences et Développement économique Canada, l'exploitation des modules XBee-Pro S3B est permise suivant 1) qu'ils ne produisent pas de brouillage électromagnétique et 2) qu'un brouillage est susceptible d'en compromettre le fonctionnement.

On comprend par cet avertissement que les modules XBee-Pro ne sont pas immunisés contre d'éventuels brouillages et que des dysfonctionnements sont possibles. Aussi, tel que mentionné dans l'extrait présenté à la figure suivante, l'utilisateur final de la télécommande doit « accepter » que des dysfonctionnements tel qu'un redémarrage sont possibles avec les conséquences que cela peut engendrer.

**ISED (Innovation, Science and Economic Development Canada)**

This device complies with Industry Canada license-exempt RSS standard(s). Operation is subject to the following two conditions: (1) this device may not cause interference, and (2) this device must accept any interference, including interference that may cause undesired operation of the device.

*Le présent appareil est conforme aux CNR d'Industrie Canada applicables aux appareils radio exempts de licence. L'exploitation est autorisée aux deux conditions suivantes : (1) l'appareil ne doit pas produire de brouillage, et (2) l'utilisateur de l'appareil doit accepter tout brouillage radioélectrique subi, même si le brouillage est susceptible d'en compromettre le fonctionnement.*

Figure 20: Conditions d'utilisation selon ISED Canada

Finalement, le fabricant Digi exige que les équipementiers (OEM) tels que RH Hero inscrivent dans leurs manuels d'utilisation que l'antenne du module doit être installée à au moins 20 cm de l'utilisateur (end user) afin de réduire son exposition aux ondes radio. L'antenne de la télécommande est constituée d'un petit fil à l'intérieur de son boîtier et aucune information à ce sujet ne figure dans les documents de la télécommande Falcon Pro de la compagnie RH Hero disponibles sur le site internet de la compagnie.



<p><b>RF exposure statement</b></p> <p>You must include the following Caution statement in OEM product manuals.</p>	
	<p><b>CAUTION!</b> This equipment is approved only for mobile and base station transmitting devices. Antenna(s) used for this transmitter must be installed to provide a separation distance of at least 20 cm from all persons and must not be co-located or operating in conjunction with any other antenna or transmitter.</p>

Figure 21: Avertissement de la distance de l'antenne

#### 4.5.2 Utilisation de la télécommande de la machine de soufflage

Si une machine est protégée adéquatement, l'utilisation d'une télécommande ne devrait pas représenter de risques additionnels et sa fiabilité n'a alors pas à être démontrée.

Or, la machine de soufflage d'isolant HS 5500 présente des lacunes, notamment au regard de l'accès de la zone de la trémie et des bras mélangeurs qui sont accessibles. De plus, le contexte de travail fait en sorte que la présence en continu d'un travailleur est nécessaire aux abords de la trémie pour assurer son alimentation en cellulose. Ce dernier est donc exposé aux risques alors que la machine est sous le contrôle du travailleur qui manipule le boyau et qui n'a par définition aucune information sur l'état de la machine qu'il opère « à l'aveugle ».

On pourrait ainsi aisément imaginer une situation où le travailleur qui alimente les ballots de cellulose profite d'un arrêt momentané de la machine, commandé par son collègue à distance, pour tenter de replacer un ballot dans la trémie. Un redémarrage à ce moment, initié à distance par son collègue, pourrait avoir des conséquences désastreuses.

Cette situation fait en sorte que la télécommande devient dans ce cas un élément important pour la sécurité des travailleurs et on devrait alors s'assurer de son bon fonctionnement.

Suivant la prescription commune des normes ISO 12100 et CSA Z432, la télécommande devrait être en communication constante avec le récepteur, ce qui n'est pas le cas avec la télécommande actuelle. Cette communication constante permet notamment de vérifier en continu son bon fonctionnement.



Extrait des normes ISO 12100 et CSA Z432 :

*6.2.11.8 - Principes relatifs à la commande manuelle*

...

*h. Les mouvements des machines télécommandées par liaison non filaire doivent s'arrêter automatiquement lorsque la machine cesse de recevoir des signaux de commande corrects ou que la liaison est interrompue (voir la CEI 60204-1).*

#### 4.5.3 Mode de fonctionnement de la télécommande

Aussi, le mode de fonctionnement de la télécommande est dit à « accrochage », c'est-à-dire qu'une fois qu'une commande est lancée (ex. « MATÉRIEL »), le travailleur peut relâcher le bouton. Pour arrêter la machine, il doit appuyer sur le bouton « ARRÊT ». Dans l'éventualité où la batterie de la télécommande tombait à plat au moment où la machine est en marche, elle ne pourrait plus être utilisée pour stopper les mouvements.

L'article 4.10 de la norme ISO 62745 prescrit à ce sujet que ce type de commande ne doit être utilisé « que pour les sorties de commande destinées aux opérations non dangereuses sur la machine », ce qui n'est pas le cas présentement.

#### 4.5.4 Fonctions de sécurité d'une télécommande

Selon la norme CEI 62745, les fonctions de sécurité d'une télécommande doivent présenter un niveau d'intégrité de sécurité adéquat. Les exigences de la norme CEI 62061 [21] et/ou de la norme ISO 13849 et de l'ISO 13849-2 doivent alors s'appliquer. Les fonctions de sécurité de la télécommande doivent alors présenter les caractéristiques attendues d'un niveau SIL (Safety Integrity Level) ou PL (Performance Level).

Sans être en mesure de l'affirmer, et en l'absence d'informations additionnelles, compte tenu des caractéristiques de conception annoncées par le fabricant, il semble que la télécommande n'a pas été conçue selon ces prescriptions.

Aucune fonction de la télécommande ne peut alors être considérée comme étant « de sécurité ».

#### 4.5.5 Bouton « ARRÊT »

Si la fiabilité de la télécommande n'est pas démontrée, le bouton d'arrêt rouge identifié « ARRÊT » ne peut donc pas être considéré comme un arrêt d'urgence, puisqu'il s'agit d'une fonction de sécurité. La fonction « ARRÊT » de ce bouton présente plutôt les caractéristiques de ce que la norme CEI 62745 définit comme une fonction de « commande d'arrêt ».

Suivant les prescriptions de la norme, le bouton devrait alors être de couleur noire, grise ou blanche, mais pas rouge.



#### 4.5.6 Boutons de commande « AIR » et « MATÉRIEL »

Même s'il ne sera jamais possible de déterminer la cause exacte de la remise en marche intempestive de la machine, il est raisonnable de croire qu'elle aurait pu être causée par l'actionnement involontaire des boutons de la télécommande alors que la victime se trouvait dans la trémie.

##### 4.5.6.1 Force d'actionnement des boutons de la télécommande

Selon l'article 8.3 de la norme ISO 9355-3 [18] traitant de l'ergonomie des organes de service, la force minimale afin d'empêcher une manœuvre involontaire d'un bouton de commande ne devrait pas être en deçà de 5 N (1,12 livre-force).

La force nécessaire pour actionner les boutons de la télécommande « Falcon Pro » est d'approximativement  $\approx 6,18$  N ( $\approx 1,39$  livre-force), ce qui est tout juste au-dessus de la limite minimale prescrite par la norme.

##### 4.5.6.2 Protection contre l'actionnement involontaire

Toujours selon la norme ISO 9355-3, lorsqu'il est nécessaire d'empêcher l'actionnement involontaire d'un organe de commande tel qu'un bouton, la force d'actionnement ne devrait pas à elle seule être considérée comme efficace et cette mesure devrait être conjuguée à d'autres, telle que l'emplacement des boutons, leur protection, etc.

D'autres normes insistent sur l'importance de protéger les organes de commande afin d'éviter des manœuvres involontaires qui pourraient avoir une incidence sur la sécurité :

- Norme ISO 62745<sup>17</sup> sur les télécommandes utilisées avec les machines

##### *4.2.1 Prévention contre les manœuvres involontaires*

*Le poste à distance et ses actionneurs de commande doivent être conçus et disposés de manière à réduire la possibilité de manœuvres involontaires (par exemple, causées par une chute sur le sol ou un choc contre un obstacle, une défaillance du système électronique) entraînant un ordre dangereux non intentionnel.*

<sup>17</sup> Il s'agit de la première prescription qui apparaît dans la norme CEI 62745.



- Norme CEI 60204:2016 [19], sur les exigences générales des équipements électriques des machines

#### 4.4.8 Vibrations, chocs et coups

*Les effets indésirables des vibrations, chocs et coups (aussi bien générés par la machine et son équipement associé que créés par l'environnement physique) doivent être évités par le choix d'un équipement<sup>18</sup> approprié, par son montage loin de la machine, ou par la mise en place d'accessoires de montage antivibratoires.*

#### 10.1.5 Postes de commande portables et pendants

*Les postes de commande opérateur portables et pendants et leurs appareils de commande doivent être choisis et disposés de façon à réduire le plus possible les possibilités de fonctionnement fortuit de la machine en raison de chocs ou de vibrations (par exemple, le poste de commande opérateur est laissé tomber ou si ce poste heurte un obstacle) (voir aussi 4.4.8).*

#### 10.6 Appareils de mise en marche

*Les organes de commande utilisés pour déclencher une fonction marche ou le mouvement d'éléments de machine (par exemple, les coulisseaux, les broches, les chariots) doivent être construits et montés de façon à réduire le plus possible les manœuvres fortuites.*

Les boutons commandant des fonctions dangereuses, comme c'est le cas sur la télécommande la machine de soufflage, devraient donc être protégés adéquatement contre un actionnement involontaire. Des solutions, telles que l'installation d'organes de service dont l'actionnement requiert deux actions indépendantes, ou de boutons « en retrait », ou protégés par un collier, illustrés à la figure suivante, pourraient être envisagées.

<sup>18</sup> La norme traite des équipements de commande électriques.



Figure 22: Exemple de bouton de commande en retrait

Tel que le montre la figure suivante, les boutons de la télécommande Falcon Pro, malgré leur forme arrondie, sont plutôt du type « affleurant ». Sur la photo à droite de la figure, on remarque que le sommet de l'arrondie dépasse d'environ 0,4 mm (16 mil) du rebord de la collerette.



Figure 23: Boutons de la télécommande Falcon Pro

L'actionnement de ces boutons ne nécessite qu'un petit déplacement. Pour les boutons « AIR » et « MATÉRIEL », un déplacement respectif de 0,46 mm (18 mil) et de 0,48 mm (19 mil) en deçà du niveau des collerettes est suffisant pour émettre les signaux.



#### 4.6 Arrêt d'urgence

En s'entend généralement pour dire que la fonction d'arrêt d'urgence d'une machine doit permettre de la remettre dans un état le plus sécuritaire possible, suivant l'apparition d'un dysfonctionnement, sans créer de nouveaux risques.

Or, si l'arrêt d'urgence de la machine de soufflage coupe l'alimentation du récepteur de la télécommande et des deux embrayages, il n'arrête pas le moteur diesel. Ce choix de conception est à tout le moins discutable.

Le moteur diesel est la source d'énergie principale de la machine et plusieurs dysfonctionnements pourraient avoir une incidence sur la sécurité des travailleurs. À titre d'exemple, si un des embrayages fonctionnait mal et n'arrivait plus à dissocier les éléments tournant de l'arbre de transmission, seul l'arrêt en urgence du moteur diesel permettrait de limiter les conséquences. Il aurait ainsi été plus raisonnable faire en sorte que l'arrêt d'urgence coupe l'alimentation en carburant du moteur diesel pour le faire s'arrêter le plus rapidement possible.

Aussi, l'article 192 du RSST ainsi que l'article 4.1.4 de la norme ISO 13850 stipulent que la remise en fonction du dispositif d'arrêt d'urgence après son utilisation ne doit pas provoquer à elle seule la mise en marche de la machine. Or, la configuration actuelle de la machine de soufflage fait en sorte que les fonctions qui étaient actives au moment où l'arrêt d'urgence est actionné le resteront et qu'ainsi, qu'elle redémarrera.

Finalement, suivant les prescriptions de la norme ISO 13850, l'arrêt d'urgence de la machine de soufflage devrait être muni d'une collerette jaune aux fins de son identification, ce qui n'est pas le cas.

##### 4.6.1 Fiabilité du circuit d'arrêt d'urgence

La seule fonction de sécurité de la machine est l'arrêt d'urgence. Or, conformément aux prescriptions de l'article 4.1.5 de la norme ISO 13850, ce circuit devrait satisfaire aux prescriptions des normes ISO 13849-1 et CEI 62061 afin d'atteindre un niveau de performance requis minimale PLc ou SIL 1 (voir l'annexe B de ce rapport pour des informations complémentaires sur la fiabilité des systèmes de commande relatifs à la sécurité des machines).

Le bouton d'arrêt d'urgence utilise un bloc de contact qui n'est pas muni de contacts à ouverture forcée, ce qui permet de douter de sa fiabilité. Aussi, les relais utilisés ne semblent pas munis de diodes « de roue libre » ou de tout autre dispositif antisurtension empêchant les tensions générées par inductance des bobines dans les circuits à courant continu qui pourraient les endommager. Cette caractéristique va à l'encontre des principes de base de conception, nécessaires à un circuit où la fiabilité doit être assurée.

##### 4.6.2 Arrêt d'urgence et emballement des moteurs diesel

Il est possible que la coupure en alimentation de carburant ne soit pas suffisante pour stopper un moteur diesel. Ces moteurs peuvent s'emballer généralement suite à une fuite interne d'huile, par exemple, dans le mécanisme turbo, ou venant du reniflard. La seule solution



dans ce cas est l'installation d'une valve coupant l'arrivée d'air à la chambre de combustion. L'ajout de cette fonction permettrait de réduire les risques générés par le fonctionnement du moteur lui-même en cas d'urgence.



Figure 24: Exemple de valve d'entrée d'air permettant d'éviter l'emballement<sup>19</sup>

#### 4.7 Cadenassage

Toute machine doit pouvoir être mise à l'arrêt de manière sécuritaire, notamment, lors des travaux d'entretien et de réparation. Le cadenassage est exigé dans ces situations comme moyen de réduction du risque par le RSST aux articles 188.1 à 188.13 ainsi qu'aux articles 2.20.1 à 2.20.14 du CSTC dans le cas des chantiers de construction.

Conformément aux prescriptions tirées de la norme CSA Z460 sur le cadenassage [22], le fabricant de la machine est tenu de concevoir son produit de manière à permettre aux utilisateurs de maîtriser efficacement les énergies dangereuses et notamment de l'équiper de dispositifs permettant de les isoler<sup>20</sup>.

Or, la machine n'est munie d'aucun moyen permettant le cadenassage de sa source d'énergie principale, en l'occurrence, le moteur diesel.

Un interrupteur cadenassable, relié au pôle positif de la batterie devrait être installé. Un exemple de ce type d'interrupteur est illustré à la figure suivante :

<sup>19</sup> Source : Chalwyn, Compact butterfly valve, Model SVR-3XX

<sup>20</sup> Voir les articles 4.1 et 5.2.1 de la norme CSA Z460-20



Figure 25: Exemple d'interrupteur pour moteur à combustion

De plus, aucune méthode d'arrêt sécuritaire du moteur diesel n'est mentionnée dans le manuel de l'utilisateur fourni par le fabricant.

#### 4.8 Manuel du fabricant

Suivant les prescriptions de la norme ISO 12100, un manuel du fabricant devrait comporter toute l'information relative à la machine qui sera utile aux utilisateurs. La liste des éléments proposés à l'article 6.4.5.1 de la norme que ce document devrait contenir est trop longue pour être reprise dans son intégralité ici.

Le manuel de l'utilisateur qui m'a été remis comporte plusieurs lacunes. À titre d'exemple, le manuel de la machine HeatSeal HS 5500 comporte très peu, sinon, parfois aucune information sur :

- les informations relatives au transport, à la manutention et au stockage de la machine,
- les informations relatives à l'installation et à la mise en service de la machine,
- les mauvais usages raisonnablement prévisibles et les applications proscrites,
- les données relatives au bruit et aux vibrations engendrées par la machine, et aux rayonnements, gaz, vapeurs et poussières émis par la machine, avec indication des méthodes de mesurage utilisées (y compris les incertitudes de mesure),
- les documents attestant que la machine est conforme aux dispositions réglementaires;
- les risques que n'ont pas permis d'éliminer les mesures de prévention appliquées par le concepteur,



- la formation requise,
- la nature et la périodicité des inspections pour les fonctions de sécurité,
- des informations pour les situations d'urgence,
- la procédure à suivre en cas d'accident ou de panne,
- le type d'équipement de lutte contre l'incendie à employer,
- un avertissement quant au risque d'émission ou de fuite de substance(s) dangereuse(s) et les indications des moyens de lutte contre les effets de telles substances (ex. diesel, détecteur de CO, extincteur),
- la documentation relative à l'appréciation du risque et à la réduction du risque.

Le manuel n'est pas daté et l'essentiel des recommandations liées à la sécurité des travailleurs portés sur l'application de procédures telles que l'avertissement générique relatif aux risques liés aux mouvements des bras mélangeurs en enjoignant les utilisateurs à ne pas porter de vêtements amples. Aucun avertissement n'est mentionné quant aux conséquences que pourrait avoir l'entrée dans la trémie.

Finalement, conformément aux lois en vigueur au Québec, il faudrait s'assurer que le document soit disponible en version française.

#### **4.9 Démarche de sécurisation et rôle du fabricant Heat Seal**

Compte tenu des caractéristiques de la machine HS 5500 et des lacunes qu'elle présente au regard de la sécurité, il est possible de croire qu'aucune démarche de sécurisation rigoureuse, conforme aux prescriptions normatives n'a été réalisée le fabricant Heat Seal.

Il est impossible d'affirmer si les concepteurs du fabricant Heat Seal connaissent les méthodes et les techniques proposées dans la normalisation nationale et/ou internationale en sécurité des machines, mais certaines caractéristiques de la machine et les lacunes identifiées dans ce rapport laissent croire que ce n'est pas le cas.

Il faudrait s'assurer que le fabricant a réalisé une analyse du risque conformément à la démarche prescrite dans les normes telles que l'ISO 12100 ou la CSA Z432. Cette analyse devrait permettre de mettre en évidence les risques importants et, le cas échéant, les risques résiduels existants tel que celui de l'entrée dans la trémie. La recherche des solutions les plus efficaces devrait ensuite s'appuyer sur les résultats de cette analyse.

L'analyse du risque elle-même n'a pas à être réalisée par un ingénieur, mais la recherche et la mise en œuvre des moyens de réduction du risque devraient l'être. Un ingénieur devrait éventuellement produire les plans et devis signés et scellés tel que requis.



#### 4.9.1 Attestation de sécurité

Si en Europe, les fabricants d'équipement et de machines sont tenus d'attester de la conformité de leurs produits aux lois et aux normes en vigueur, il n'en est pas de même au Québec. Les exigences relatives aux lois, aux règlements et aux normes applicables au Québec sont essentiellement les mêmes, mais compte tenu de l'absence d'un mécanisme d'attestation obligatoire et rigoureux, les fabricants, ainsi que plusieurs firmes d'ingénierie négligent souvent ces aspects.

Cette situation se reflète dans les cas comme celui de la machine HS 5500 où des équipements sont conçus et livrés au client alors qu'ils présentent plusieurs non-conformités au regard des exigences en sécurité des machines. Les utilisateurs font généralement confiance aux fabricants de machines et c'est alors à eux d'assumer la responsabilité de cette situation et de s'assurer que toutes les exigences ont été respectées.

I



## 5 Conclusion

Un accident mortel s'est produit sur une machine HS 5500 de la compagnie Heat Seal. Le travailleur a été retrouvé coincé dans les bras mélangeurs de la trémie. On présume que le travailleur est entré dans la trémie au moment où les bras mélangeurs étaient à l'arrêt. La machine aurait ensuite démarré de manière intempestive, entraînant la victime.

La CNESST m'a mandaté afin de décrire le fonctionnement de la machine et de certaines de ses composantes spécifiques, mais aussi afin d'obtenir une évaluation du respect des règles de l'art relatives au domaine de la sécurité des machines par le fabricant.

Bien qu'il soit impossible de déterminer avec certitude si une défaillance quelconque aurait pu être à l'origine du démarrage de la machine, il est possible de croire que la télécommande aurait été actionnée de manière intempestive alors que le moteur diesel fonctionnait, ce qui aurait provoqué le démarrage des bras mélangeurs.

Nonobstant la raison pour laquelle la machine a redémarré, le constat principal présenté dans ce rapport montre que les protections permettant de contrôler adéquatement l'accès aux éléments dangereux de la machine sont insuffisantes. Plusieurs prescriptions normatives relatives aux différents moyens de réduction du risque ne sont pas appliquées et la machine présente de nombreuses lacunes à ce sujet.

Sans être en mesure de l'affirmer, il est possible de croire que les concepteurs de la machine ne possèdent pas toutes les connaissances requises afin d'offrir un produit qui présente toutes les caractéristiques des règles de l'art en vigueur dans le domaine de la sécurité des machines.

Réal Bourbonnière, ing.

13 mars 2023  
Numéro de membre OIQ : 106499

Ingénieur en sécurité des machines  
58 rue de la Crête  
Orford, Québec, J1X 0C5  
Téléphone : 819-769-1786  
Courriel : real@realbourbonniere.com  
Site web : www.realbourbonniere.com



## Références

1. Loi sur la santé et la sécurité du travail, S-2.1 (LSST)
2. Règlement sur la santé et la sécurité du travail du Québec (RSST), Loi sur la santé et la sécurité du travail, chapitre S-2.1, r. 13.
3. Code de sécurité pour les travaux de construction (CSTC), Loi sur la santé et la sécurité du travail, chapitre S-2.1, a. 223.
4. Norme internationale ISO 13850:2008, Sécurité des machines, Arrêt d'urgence, Principes de conception.
5. Norme internationale ISO 13857:2008, Sécurité des machines, Distances de sécurité empêchant les membres supérieurs et inférieurs d'atteindre les zones dangereuses.
6. Norme internationale ISO 12100:2010, Sécurité des machines - Principes généraux de conception - Appréciation du risque et réduction du risque.
7. Norme internationale ISO 14120:2015, Sécurité des machines, Protecteurs, Prescriptions générales pour la conception et la construction des protecteurs fixes et mobiles.
8. Norme internationale ISO 13849-1:2015, Sécurité des machines - Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité - Partie 1: Principes généraux de conception.
9. Norme canadienne CSA Z432-16, Protection des machines.
10. Sécurité des machines, Prévention des phénomènes dangereux d'origine mécanique, Protecteurs fixes et distances de sécurité, CNESST, IRSST, DC 200-16002 (08-02).
11. Norme internationale ISO 13854:2017, Sécurité des machines - Écartements minimaux pour prévenir les risques d'écrasement de parties du corps humain.
12. Code Civil du Québec, chapitre CCQ-1991.
13. Bon de travail 22-007, Igloo Cellulose, 29 mars 2022.
14. Heat Seal 5500/6000 Insulation blowing machine manual, Machine operation and application manual.
15. Kubota Wiring Harness, M-K Group, 26 Mai 2016.
16. Norme internationale CEI 62745:2017, Sécurité des machines - Exigences générales pour les systèmes de commande sans-fil des machines.
17. Fiche technique du produit « Cellulose Igloo » de Igloo Cellulose, 19 janvier 2023.
18. Norme internationale 9355-3:2006, Spécifications ergonomiques pour la conception des dispositifs de signalisation et des organes de service - Partie 3: Organes de service.
19. Norme internationale CEI 60204:2016, Sécurité des machines - Équipement



électrique des machines - Partie 1 : Exigences générales.

20. XBee®-PRO 900HP/XSC RF Modules S3 and S3B, User guide, Digi, Sept 2021.

21. Norme internationale CEI 62061:2005, Sécurité des machines – Sécurité fonctionnelle des systèmes de commande électriques, électroniques et électroniques programmables relatifs à la sécurité.

22. Norme canadienne CSA Z460-20, Maîtrise des énergies dangereuses: cadenassage et autres méthodes.



## Annexe A – Distances de sécurité et hauteurs des protecteurs

Le tableau suivant<sup>21</sup> est tiré de la norme ISO 13857:2019. Il présente les valeurs à respecter pour les hauteurs et les distances de sécurité des protecteurs de maintien à distance (enceintes) dans le cas des **risques fiables**.

$h_b$ , hauteur du point de la zone dangereuse le plus proche de la zone d'accès des membres supérieurs	$h_{ps}$ , hauteur de la structure de protection <sup>a</sup>								
	1 000	1 200	1 400	1 600	1 800	2 000	2 200	2 400	2 500
	$s_b$ , distance de sécurité horizontale du point de la zone dangereuse le plus proche de la zone d'accès des membres supérieurs								
2 500	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 400	100	100	100	100	100	100	100	100	0
2 200	600	600	500	500	400	350	250	0	0
2 000	1 100	900	700	600	500	350	0	0	0
1 800	1 100	1 000	900	900	600	0	0	0	0
1 600	1 300	1 000	900	900	500	0	0	0	0
1 400	1 300	1 000	900	800	100	0	0	0	0
1 200	1 400	1 000	900	500	0	0	0	0	0
1 000	1 400	1 000	900	300	0	0	0	0	0
800	1 300	900	600	0	0	0	0	0	0
600	1 200	500	0	0	0	0	0	0	0
400	1 200	300	0	0	0	0	0	0	0
200	1 100	200	0	0	0	0	0	0	0
0	1 100	200	0	0	0	0	0	0	0

<sup>a</sup> Les structures de protection de hauteur inférieure à 1 000 mm ne sont pas prises en compte car elles ne limitent pas suffisamment les mouvements du corps.

<sup>21</sup> Tableau 1 de la norme ISO 13857:2019



Le tableau suivant<sup>22</sup> est tiré de la norme ISO 13857:2019. Il présente les valeurs à respecter pour les hauteurs et les distances de sécurité des protecteurs de maintien à distance (enceintes) dans le cas des **risques élevés**.

$h_b$ , hauteur du point de la zone dangereuse le plus proche de la zone d'accès des membres supérieurs <sup>a</sup>	$h_{ps}$ , hauteur de la structure de protection <sup>b,c</sup>									
	1 000	1 200	1 400	1 600	1 800	2 000	2 200	2 400	2 500	2 700
	$s_b$ , distance de sécurité horizontale du point de la zone dangereuse le plus proche de la zone d'accès des membres supérieurs									
2 700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 600	900	800	700	600	600	500	400	300	100	0
2 400	1 100	1 000	900	800	700	600	400	300	100	0
2 200	1 300	1 200	1 000	900	800	600	400	300	0	0
2 000	1 400	1 300	1 100	900	800	600	400	0	0	0
1 800	1 500	1 400	1 100	900	800	600	0	0	0	0
1 600	1 500	1 400	1 100	900	800	500	0	0	0	0
1 400	1 500	1 400	1 100	900	800	0	0	0	0	0
1 200	1 500	1 400	1 100	900	700	0	0	0	0	0
1 000	1 500	1 400	1 000	800	0	0	0	0	0	0
800	1 500	1 300	900	600	0	0	0	0	0	0
600	1 400	1 300	800	0	0	0	0	0	0	0
400	1 400	1 200	400	0	0	0	0	0	0	0
200	1 200	900	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1 100	500	0	0	0	0	0	0	0	0

<sup>a</sup> Pour les zones dangereuses au-delà de 2 700 mm, se référer au 4.2.1.

<sup>b</sup> Les structures de protection de hauteur inférieure à 1 000 mm ne sont pas prises en compte car elles ne limitent pas suffisamment les mouvements du corps.

<sup>c</sup> Les structures de protection inférieures à 1 400 mm ne doivent pas être utilisées sans mesures de protection supplémentaires.

<sup>22</sup> Tableau 2 de la norme ISO 13857:2019



## Annexe B – Fiabilité des systèmes de commande en sécurité des machines

La notion de fiabilité se rapporte aux parties des circuits de commande relatives à la sécurité qui « gèrent » les fonctions de sécurité.

La normalisation actuelle dans ce domaine réfère essentiellement à deux normes : la norme ISO 13849 [8] et la norme CEI 62061 [21]. Les deux normes proposent chacune une démarche de conception et de validation permettant d'atteindre un « niveau de fiabilité ». L'objectif est le même, mais les démarches ne sont pas identiques.

### La norme ISO 13849

Alors que la norme CEI 62061 ne porte que sur les systèmes électriques, électroniques et électroniques programmables, la norme ISO 13849 propose une démarche de conception sur la fiabilité des parties des systèmes de commande remplissant des fonctions de sécurité, appelés SRP/CS<sup>23</sup>.

Elle s'applique à tous les types de systèmes de commande (électrique, pneumatique et hydraulique) relatifs à la sécurité des personnes rencontrés usuellement avec les machines de production industrielles.

La norme établit une échelle de fiabilité de cinq niveaux appelée « niveau de performance », ou « PL », allant du plus faible niveau de fiabilité PLa au plus élevé PLe.

Le niveau de performance d'un circuit relatif à la sécurité doit être adapté à chaque situation de travail. C'est ce qui est appelé « Niveau de performance requis », ou PLr. La sélection de ce niveau est basée sur un outil utilisant trois facteurs d'estimation du risque qui sont établis en fonction d'une analyse de chaque situation de travail. Ces facteurs sont : la gravité potentielle de la blessure (S), la fréquence/ durée d'accès à la zone dangereuse (F) et la possibilité d'éviter ou de limiter le dommage si l'événement dangereux survient (P). La détermination de la valeur de chacun de ces facteurs amène l'utilisateur à déterminer le niveau de performance requis PLr tel que le montre la figure suivante tirée de la norme ISO 13849.

<sup>23</sup> L'acronyme SRP/CS vient de l'anglais : *Safety Related Part of a Control System* et est utilisé dans la version française de la norme ISO 13849.

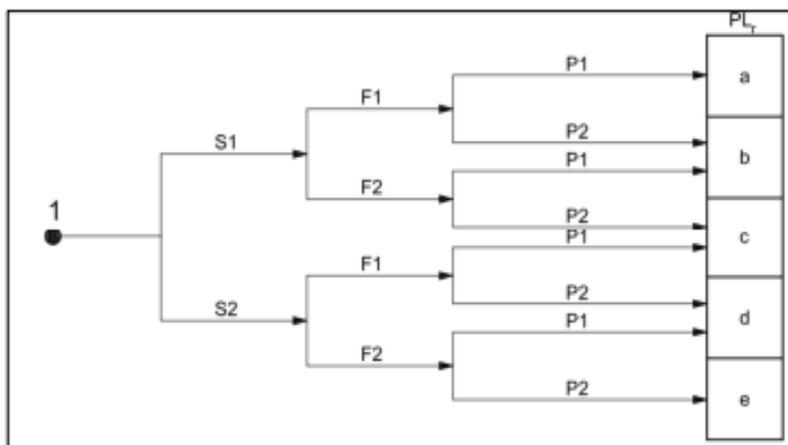
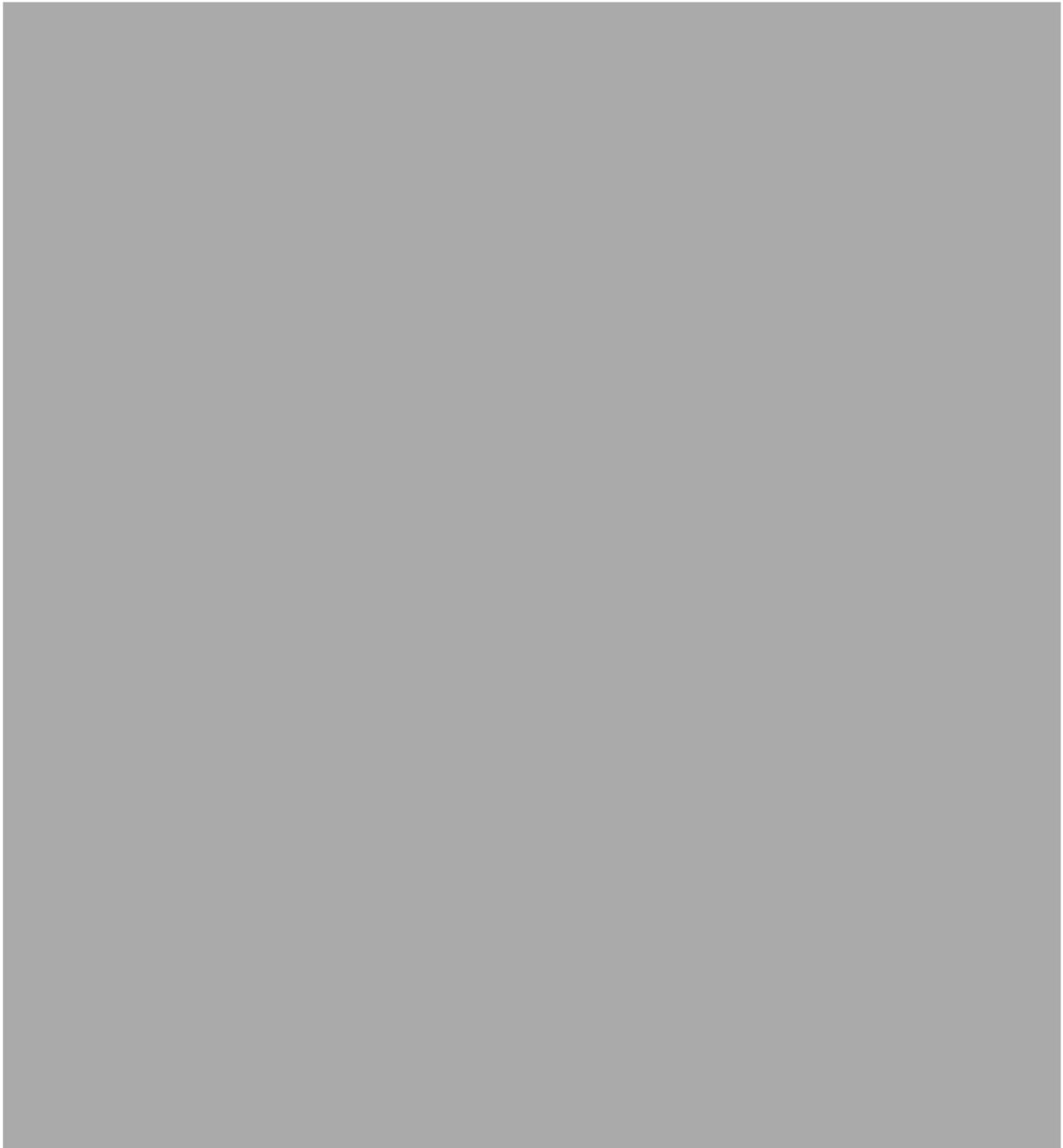
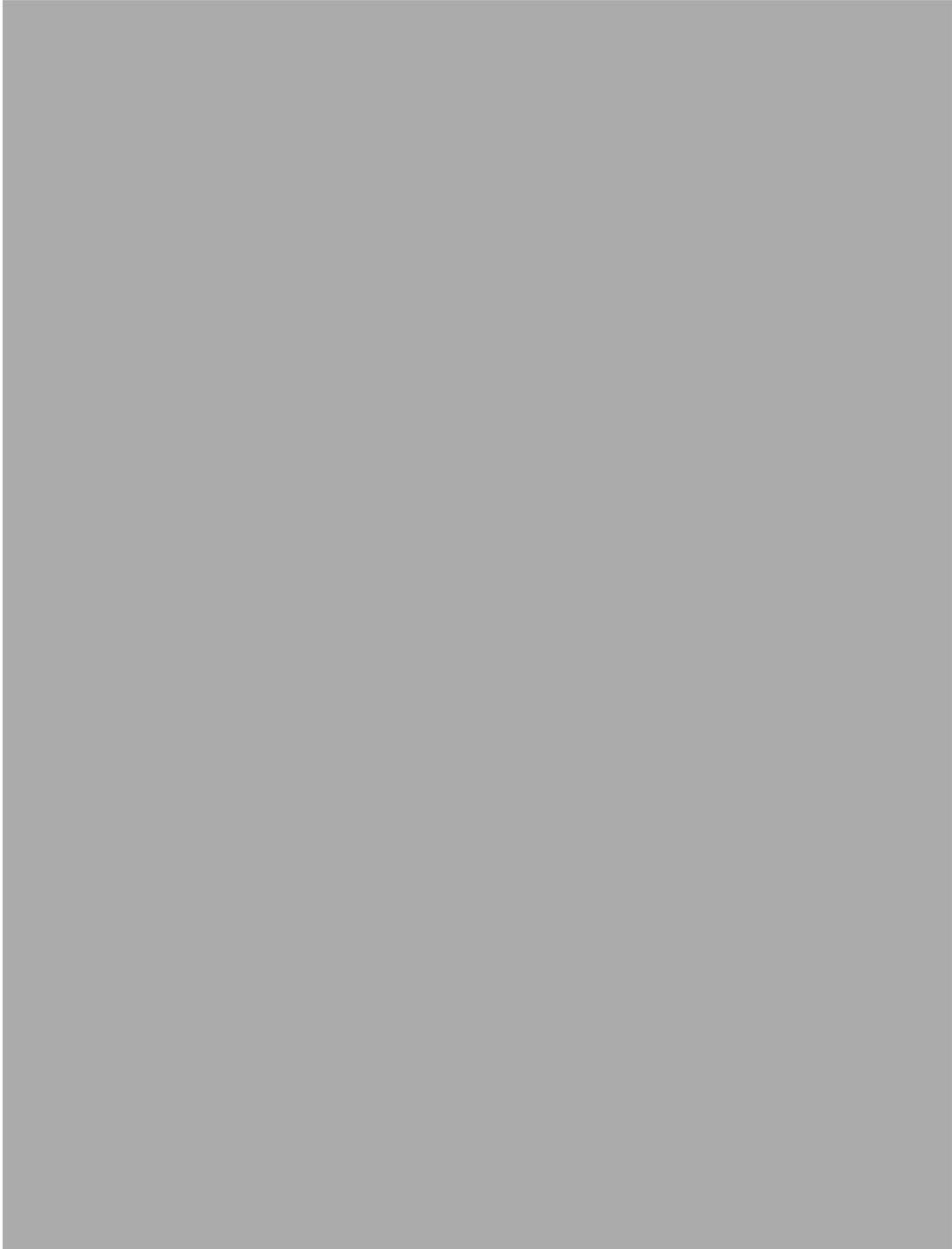


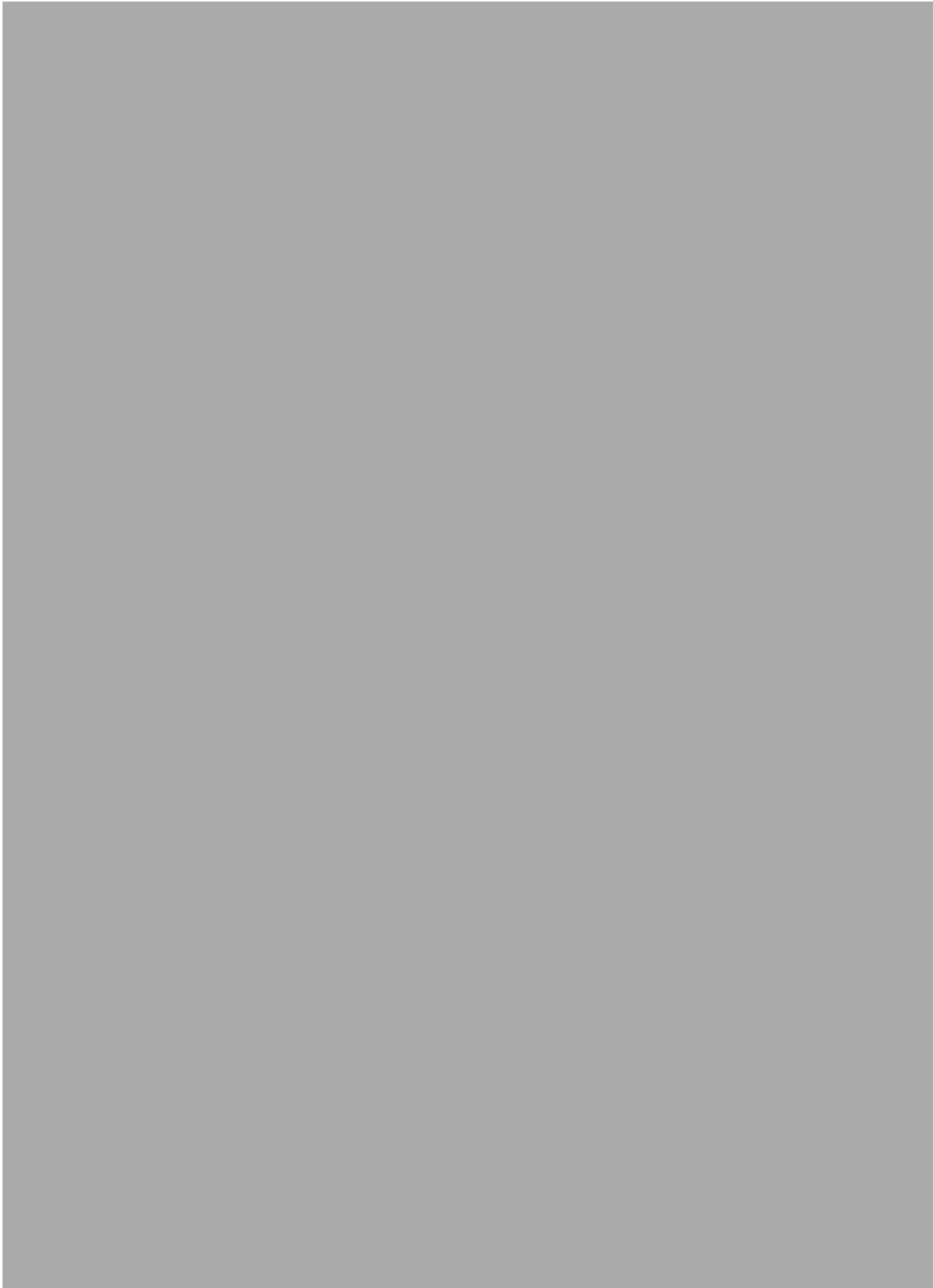
Figure 3: Figure A1 de la norme ISO 13849 - Sélection du PLr (PL requis)

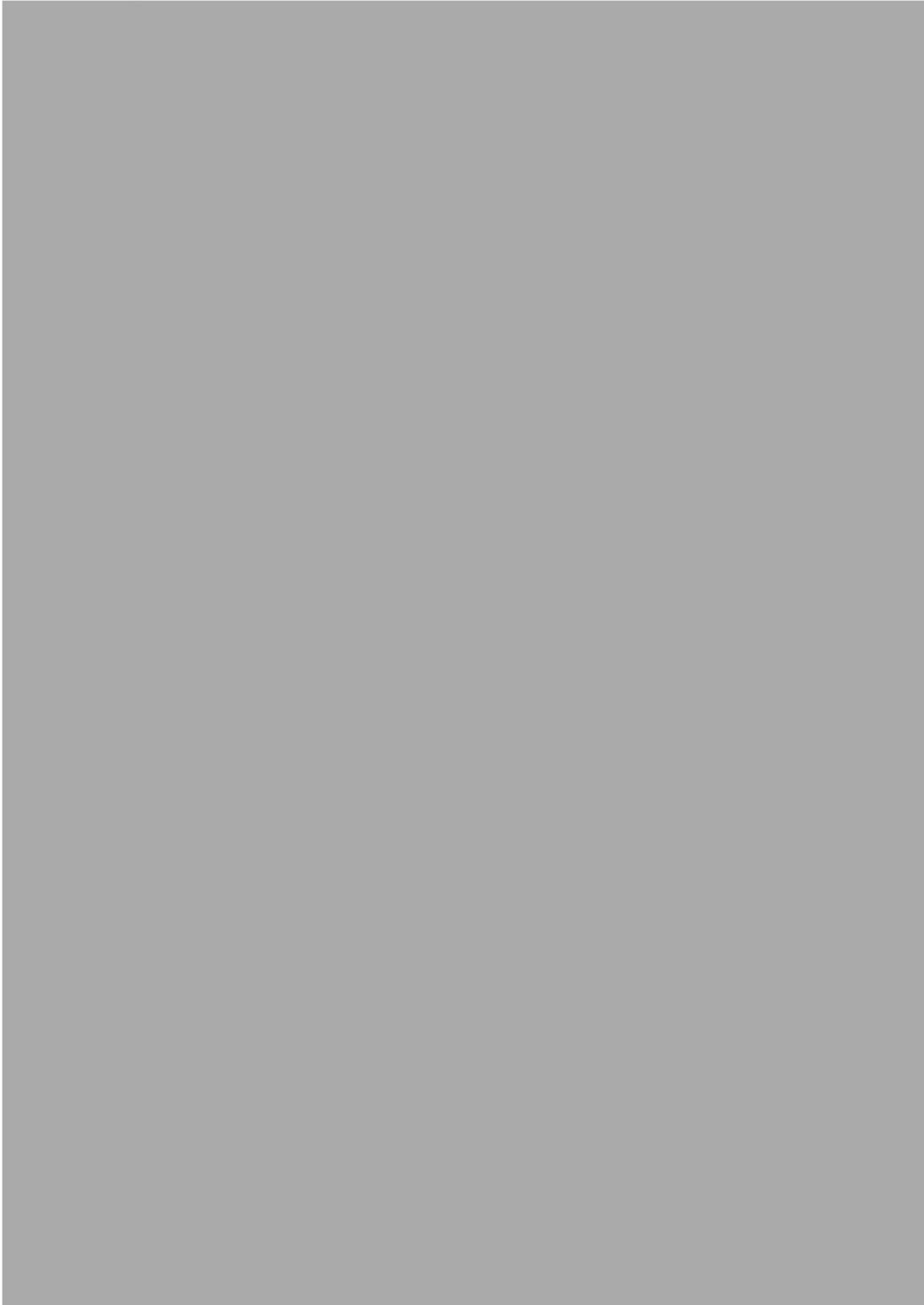
La conception de ces circuits repose sur des principes variés trop nombreux pour être expliqués ici. Il est cependant utile de comprendre que plus le niveau de fiabilité requis augmente, plus les moyens à mettre en œuvre seront exigeants. À titre d'exemple, les circuits simples de niveau PLa, jusqu'à PLc peuvent être conçus selon le choix des composants et la structure du circuit, la redondance complète des éléments d'entrée, de traitement et de sortie deviendra normalement nécessaire pour les niveaux PLd et PLe et la détection de tous les défauts est exigée pour le niveau PLe.

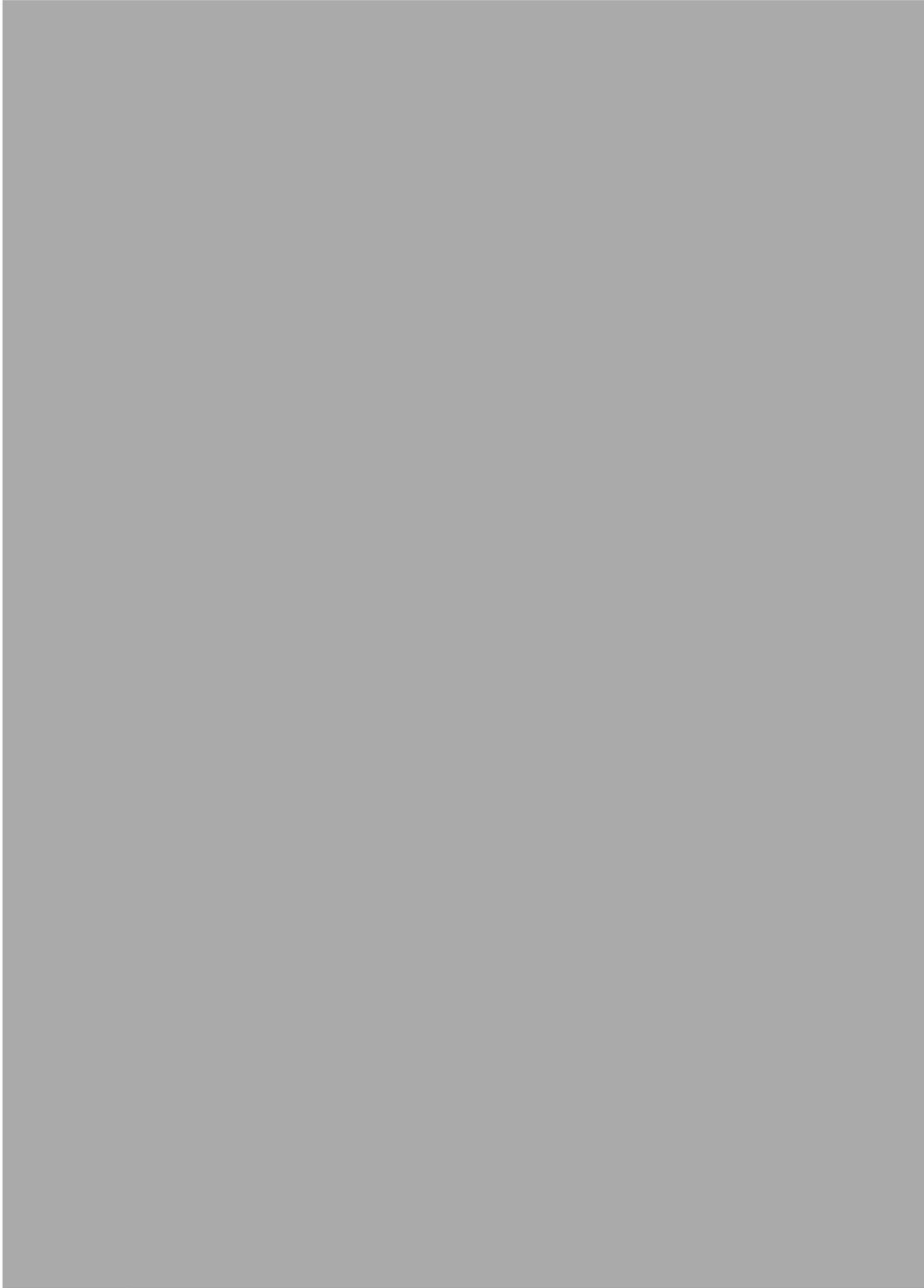
**ANNEXE D****Manuel d'opérations du fabricant**













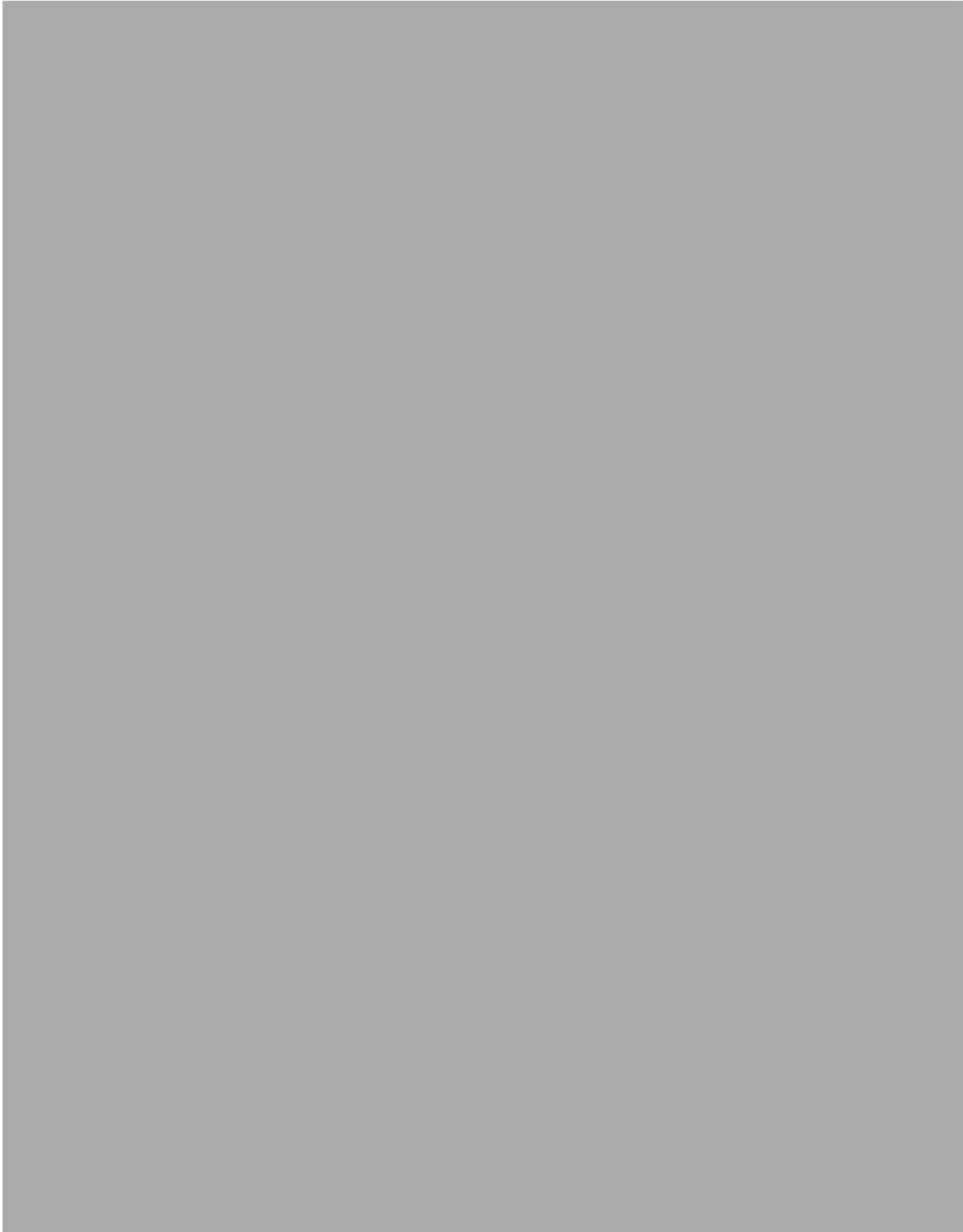






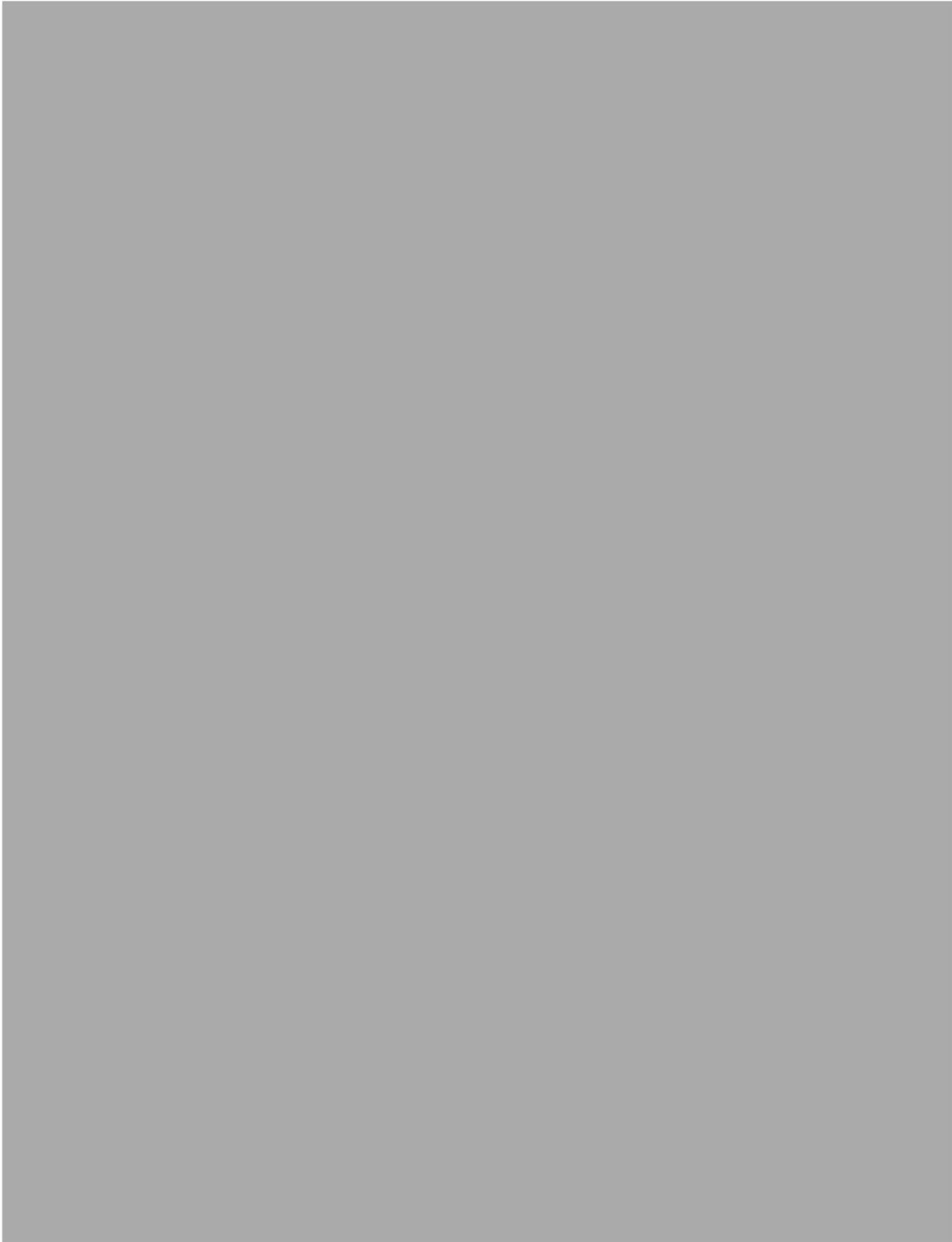












**ANNEXE E****Références bibliographiques**

- Manuel du fabricant, *Heat Seal 5500/6000 Insulation blowing machine manual, Machine operation and application manual*. Heat Seal equipments Ltd. Ajax, Ontario.
- Rapport d'expertise, consultation Réal Bourbonnière, *Rapport d'évaluation – machine Heat Seal HS 5500*, mars 2023.
- Association canadienne de normalisation. *Maîtrise des énergies dangereuses : cadenassage et autres méthodes*, 2<sup>e</sup> éd., Mississauga, Ont. CSA (CSA Z460-18), 2018, 133 pages.
- Norme internationale, *Distances de sécurité empêchant les membres supérieurs et inférieurs d'atteindre les zones dangereuses*. ISO 13857: 2019, 22 pages.
- Norme internationale, *Sécurité des machines – exigences générales pour les systèmes de commande sans fil des machines*. CEI 62745: 2017.
- Québec. *Code de sécurité pour les travaux de construction* : RLRQ, chapitre S-2.1 — r4, à jour au 1<sup>er</sup> décembre 2022, éditeur officiel du Québec, 2022. [[s-2.1, r. 4 — Code de sécurité pour les travaux de construction \(gouv.qc.ca\)](#)]
- Québec. *Loi sur la santé et la sécurité du travail* : RLRQ, chapitre S-2.1, à jour au 15 janvier 2019, Éditeur officiel du Québec, 2018. [[S-2.1 — Loi sur la santé et la sécurité du travail \(gouv.qc.ca\)](#)]