

**EN004448****RAPPORT D'ENQUÊTE**

**Accident ayant causé la mort d'un représentant de  
l'employeur de l'entreprise Galarneau entrepreneur  
général Inc., survenu le 29 septembre 2024, au site  
minier Éléonore de la compagnie Goldcorp Canada Ltd.**

**Service de la prévention-inspection  
Abitibi-Témiscamingue et Nord-du-Québec**

**Version dépersonnalisée**

**Inspecteur:**

\_\_\_\_\_  
**Patrick Bourdages, Ing.f.**

**Inspecteur:**

\_\_\_\_\_  
**Mario St-Pierre, Ing.**

**Date du rapport : 4 juin 2025**

---

**Rapport distribué à :**

- Monsieur, Marc-Antoine Beaulieu, directeur régional de l'Abitibi-Témiscamingue, Galarneau entrepreneur général Inc.
  - Comité de santé et de sécurité de Galarneau entrepreneur général Inc.
  - Monsieur Donald Fortin, directeur général (intérim), Goldcorp Canada Ltd.
  - Maître Steeve Poisson, coroner
  - Docteure Omobola Sobanjo, directrice, Direction de la santé publique de l'Abitibi-Témiscamingue
-

**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 DE L'ÉTABLISSEMENT	3
2.2	ORGANISATION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL	4
2.2.1	MÉCANISMES DE PARTICIPATION DE L'EMPLOYEUR	4
2.2.2	GESTION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DE L'EMPLOYEUR	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>7</u></b>
4.1	CHRONOLOGIE DE L'ACCIDENT	7
4.2	CONSTATATIONS ET INFORMATIONS RECUEILLIES	8
4.2.1	DESCRIPTION DES ÉQUIPEMENTS IMPLIQUÉS	8
4.2.2	COMMUNICATIONS ENTRE L'ENTREPRENEUR ET LE FOURNISSEUR DE LA PELLE HYDRAULIQUE	9
4.2.3	IMPLICATION DE LA MINE ÉLÉONORE	9
4.2.4	MANUEL DU FABRICANT	10
4.2.5	AVIS TECHNIQUE	10
4.2.6	PROCÉDURES DE L'EMPLOYEUR	13
4.2.7	LOI, RÈGLEMENTS ET NORMES	13
4.3	ÉNONCÉS ET ANALYSE DES CAUSES	15
4.3.1	L'ABSENCE DE PROCÉDURE DE MAITRISE DES ÉNERGIES LORS DU DÉMANTÈLEMENT DE LA PELLE HYDRAULIQUE EXPOSE LA VICTIME À ÊTRE FRAPPÉ PAR LE CONTREPOIDS LORS DU DÉMONTAGE DE CE DERNIER.	15
4.3.2	LA GESTION DES RISQUES ASSOCIÉS AUX TRAVAUX INHABITUELS EFFECTUÉS PAR LA VICTIME N'EST PAS ADÉQUATEMENT ASSURÉE PAR L'EMPLOYEUR, L'ENTREPRENEUR OU LA MINIÈRE.	15
4.3.3	LE BOULON RESTANT A UNE CAPACITÉ INSUFFISANTE, ALORS QU'IL EST PARTIELLEMENT DÉVISSÉ, POUR SOUTENIR LE CONTREPOIDS QUI N'EST PAS SUPPORTÉ PAR UN APPAREIL DE LEVAGE APPROPRIÉ.	16
<b><u>5</u></b>	<b><u>CONCLUSION</u></b>	<b><u>17</u></b>
5.1	CAUSES DE L'ACCIDENT	17
5.2	SUIVIS DE L'ENQUÊTE	17

**ANNEXES**

<b>ANNEXE A :</b>	<b>Liste des accidentés / Accidenté</b>	<b>18</b>
<b>ANNEXE B :</b>	<b>Références bibliographiques</b>	<b>19</b>
<b>ANNEXE C :</b>	<b>Rapport d'expertise</b>	<b>20</b>

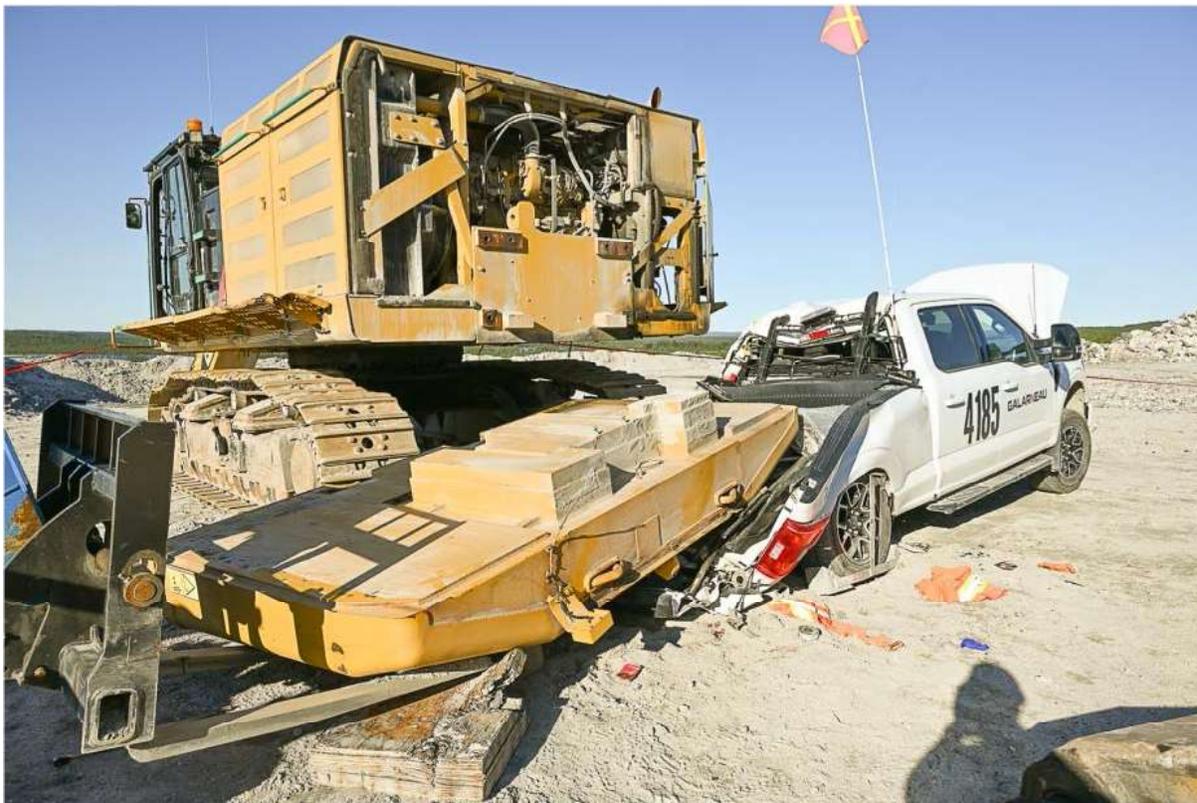
---

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

Le jour de l'événement, un <sup>A</sup> [REDACTED], ci-appelé la victime, déboulonne le contrepoids d'une pelle hydraulique afin d'embarquer cette dernière sur un fardier. Alors qu'il dévisse le dernier boulon qui retient le contrepoids, ce dernier bascule et frappe la victime, le renversant vers le sol et le coinçant partiellement sous sa charge. Il est transporté au service de santé de la mine où son décès est constaté.

**Conséquences**

La victime décède.



*Figure 1 : Lieu de l'accident*

Source : Sûreté du Québec

**Libellé des causes**

L'absence de procédure de maîtrise des énergies lors du démantèlement de la pelle hydraulique expose la victime à être frappé par le contrepoids lors du démontage de ce dernier.

La gestion des risques associés aux travaux inhabituels effectués par la victime n'est pas adéquatement assurée par l'employeur, l'entrepreneur ou la minière.

**Mesures correctives**

Le 30 septembre 2024, une enquête s'amorce, au site de la minière Éléonore de la compagnie Goldcorp Canada Ltd, à la suite d'un accident mortel. Lors de l'enquête une décision est émise à Galarneau entrepreneur général Inc. concernant le remontage de la pesée de la pelle hydraulique, puisqu'il y a absence de méthode de travail sécuritaire disponible. Cette décision est rédigée au rapport d'intervention RAP1484576.

Le 1<sup>er</sup> octobre 2024, une décision est émise à Galarneau entrepreneur général Inc. concernant l'état mécanique du chariot télescopique de marque Génie GTH1056 qui a été sollicité nettement au-delà de sa capacité nominale lors de l'événement. Il est demandé à l'employeur de réaliser une inspection spéciale complète de toutes les composantes pouvant avoir été affectées lors du levage du contrepoids. Cette décision est rédigée au rapport d'intervention RAP1484451.

Le 14 février 2025, la décision concernant le chariot télescopique de marque Génie est transférée au propriétaire de l'équipement, Accès Industriel Minier Inc., à la demande de Galarneau entrepreneur général Inc. Cette décision est émise au rapport RAP1500186.

Le 21 février 2025, la décision concernant le chariot télescopique de marque Génie est levée à la suite de l'inspection spéciale complète nécessaire effectuée par Accès Industriel Minier Inc. La décision est inscrite au rapport RAP1501052.

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

SECTION 2

2 ORGANISATION DU TRAVAIL

2.1 Structure générale de l'établissement

La structure de Galameau entrepreneur général Inc. (ci-après nommé l'employeur), comporte plusieurs niveaux hiérarchiques dont la majorité des titulaires sont présents au site minier Éléonore au moment de l'accident. L'entreprise Duroking (ci-après nommé l'entrepreneur), supporte l'employeur au niveau de la direction des ressources humaines (cellule jaune, figure 2).

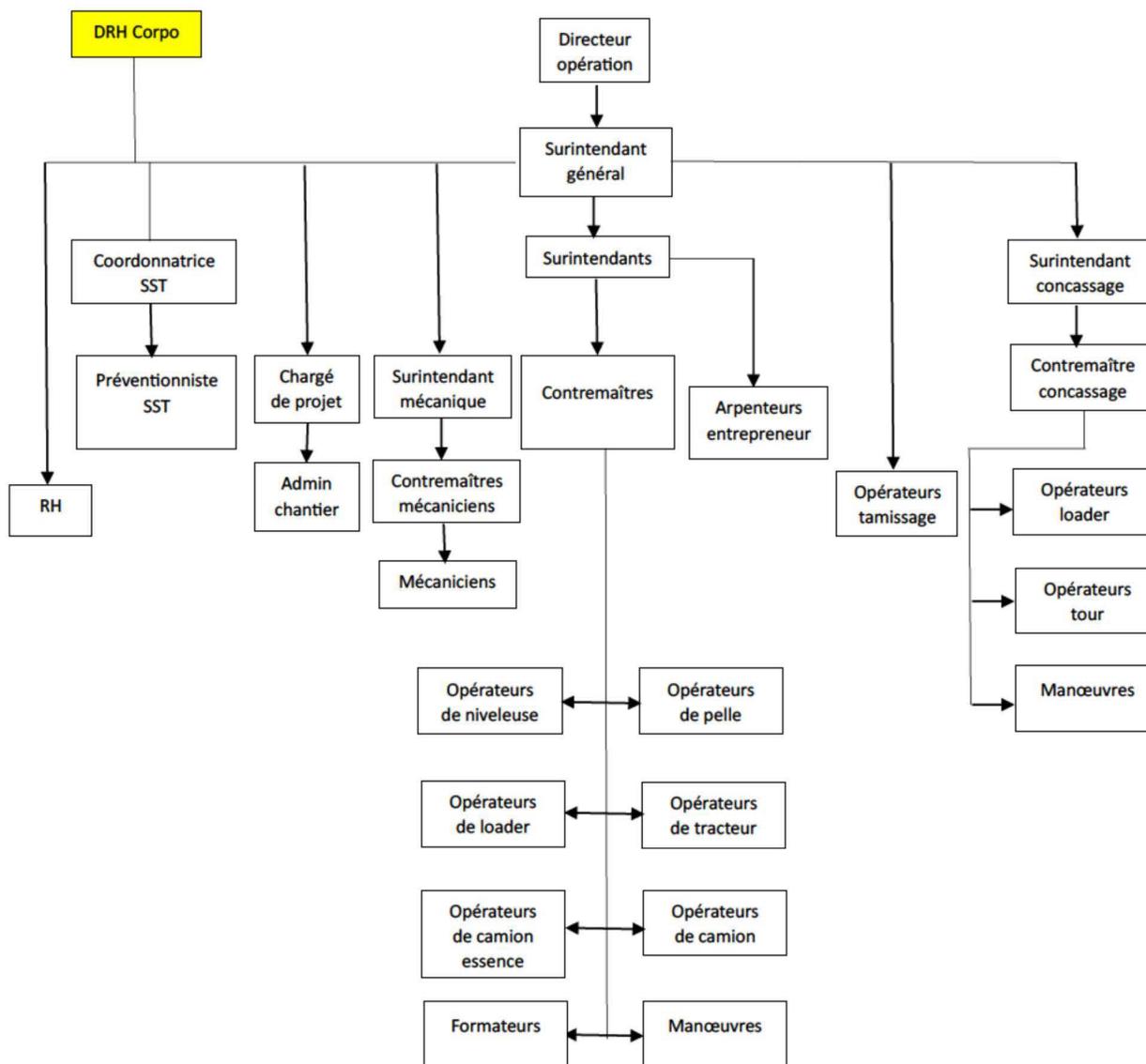


Fig. 2 : Organigramme Galameau entrepreneur général Inc.

Source : Galameau entrepreneur général Inc. modifiée par la CNESST

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

### **2.2.1 Mécanismes de participation de l'employeur**

L'employeur a un programme de prévention cadre pour l'ensemble de ses opérations. Un comité de santé et de sécurité (CSS) est également en place, sur lequel siègent trois travailleurs comme représentants santé et sécurité et trois représentants de l'employeur. En 2024, le CSS s'est réuni deux fois. La planification de 2025 a établi ce besoin à quatre réunions.

### **2.2.2 Gestion de la santé et de la sécurité de l'employeur**

Dans le cadre de sa présence au site minier, l'employeur participe aux comités de chantier hebdomadaires dirigés par le maître d'œuvre du chantier, soit Goldcorp Canada Ltd. Les travailleurs de l'employeur au site minier ne sont pas syndiqués. Un préventionniste en santé et sécurité est nommé par l'employeur pour les travaux au site minier.

De plus, puisque plusieurs tâches sont inhabituelles, l'employeur utilise des Analyses Sécuritaires de Tâches (AST). Ce processus consiste à réunir un groupe de travail et de procéder à l'analyse des risques associés à la tâche non habituelle à effectuer. Après avoir défini les risques, des moyens de mitigation ou de contrôle de ces risques doivent être définis. Souvent, l'AST devient la nouvelle procédure de travail sécuritaire de l'employeur pour cette tâche inhabituelle. L'AST doit être analysée et signée par une personne en autorité et, selon certaines situations, un ingénieur devrait être mis à contribution.

**SECTION 3**

**3 DESCRIPTION DU TRAVAIL**

**3.1 Description du lieu de travail**

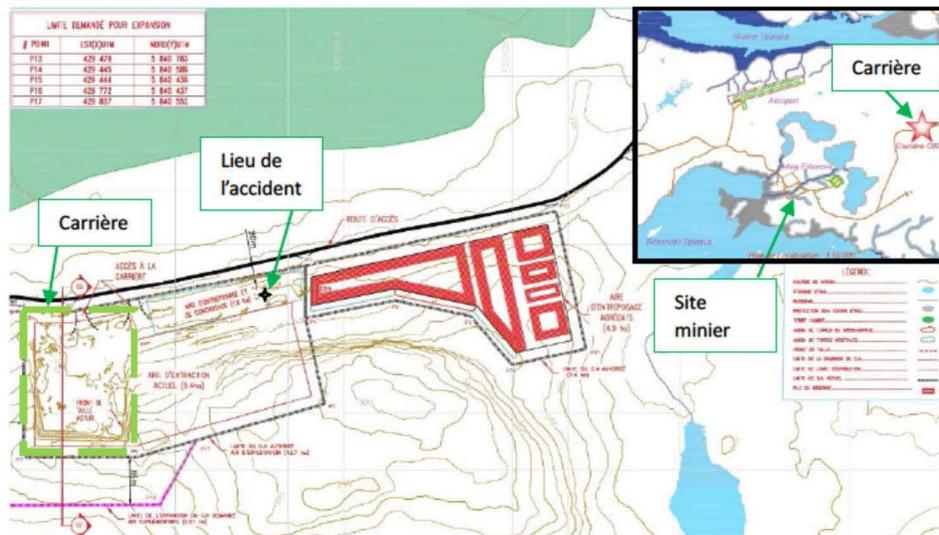
La pelle hydraulique CAT 374FL appartient à l'entrepreneur mandaté pour des travaux d'excavation et de génie civil sur un chantier de construction au site de la mine Éléonore qui est située à la Baie James à proximité du réservoir Opinaca.

L'entrepreneur utilise les services de l'employeur pour l'ensemble des travaux sur le chantier de construction. L'employeur est une filiale de l'entrepreneur.

Le chantier de construction nécessite l'exploitation d'une carrière dont la roche est dynamitée, concassée, tamisée et transportée au site du chantier de construction.

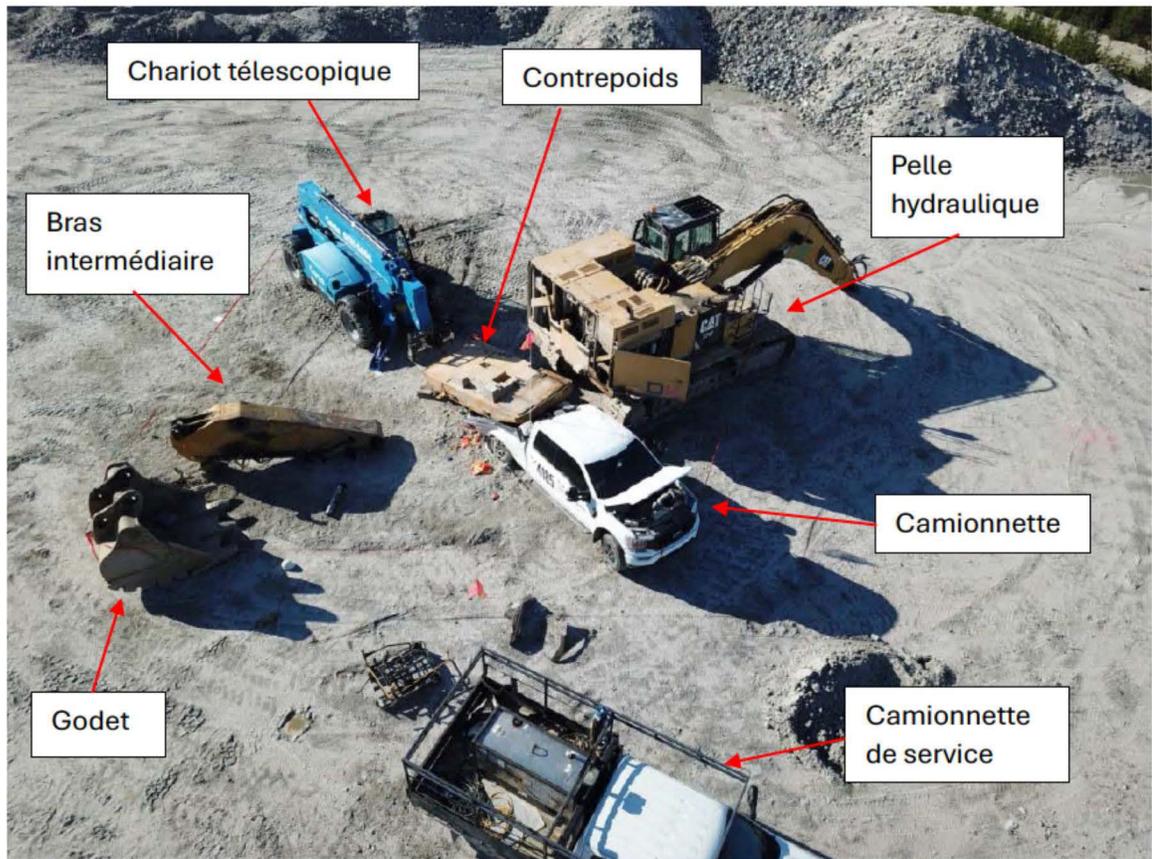
Le lieu de l'accident est situé en marge de la carrière en exploitation à quelques kilomètres du site minier Éléonore (figure 3).

Le lieu de l'accident ne présente pas de pente apparente et est dégagé sur une grande surface autour de la pelle hydraulique (figure 4).



*Fig. 3 : Lieu de l'accident*

Source : Goldcorp Canada Ltd modifiée par la CNESST



*Fig. 4 : Image drone du lieu de l'accident*

Source : Goldcorp Canada Ltd modifiée par la CNESST

### 3.2 Description du travail à effectuer

Afin de pouvoir transporter la pelle hydraulique Caterpillar 374FL de la mine Éléonore vers un autre site minier, il est prévu de démonter le contrepoids, le mât et les outils de la pelle hydraulique. Le fardier est attendu le lendemain du jour de l'accident.

## SECTION 4

### 4 ACCIDENT : FAITS ET ANALYSE

#### 4.1 Chronologie de l'accident

Durant la semaine précédant le 29 septembre 2024, un gestionnaire de l'employeur est informé que la pelle hydraulique CAT374FL, propriété de l'entrepreneur, doit être en partie démontée pour embarquer sur un fardier en direction d'un autre site minier.

Le 28 septembre 2024, une AST est produite par la victime. Une partie de l'AST est constituée d'une extraction du système d'entretien informatisé (SIS) du fabricant Caterpillar. Cette partie explique les étapes pour enlever le contrepoids à l'aide d'un cylindre présent sur certains modèles de pelle hydraulique, mais absent sur le modèle impliqué dans l'accident. Selon cette AST, le chariot télescopique est prévu pour contrôler la charge du bras intermédiaire et du godet (voir figure 4). D'autres risques sont abordés dans l'AST tel que le risque de chute d'un travailleur ou de collision. Certains points réfèrent à la procédure du fabricant pour être exécutés.

L'AST ne fait aucune mention d'un système de levage tel qu'un pont roulant ou une grue pour soutenir le contrepoids durant le démontage.

L'AST est signée par la victime, B [REDACTED] du fournisseur Cat/Toromont [REDACTED] ainsi que par un gestionnaire de l'employeur.

Lors de la rencontre de début de quart du 29 septembre 2024, un gestionnaire de l'employeur exige à la victime qu'ils soient tous les deux présents pour les travaux et affirme qu'il n'y a aucune urgence à démonter le contrepoids de la pelle hydraulique. L'AST est signée par les deux individus et B [REDACTED] le matin de l'accident, mais le focus est mis exclusivement sur le bras intermédiaire. Le gestionnaire confirme ne pas avoir lu et analysé l'AST en détail.

Vers 11 h, le 29 septembre 2024, un audit du garage est fait par l'équipe santé et sécurité de la minière.

Au diner, le gestionnaire de l'employeur mentionne à tous les travailleurs et superviseurs que la seule priorité est à régler les non-conformités soulevées lors de l'audit.

En début d'après-midi, la victime et B [REDACTED] quittent le garage pour une problématique mécanique sur une chargeuse dans la carrière.

Vers 14 h 44, après avoir réglé le problème avec la chargeuse dans la carrière, la victime se rend à la pelle hydraulique et commence les travaux de démontage malgré la demande explicite du gestionnaire.

La victime positionne sa camionnette derrière la pelle hydraulique sous le contrepoids. Ce dernier est tenu en place par six boulons. La victime monte dans la partie arrière de la camionnette et retire les cinq premiers boulons. Alors qu'il débute le dévissage du sixième

boulon, ce dernier se rompt. Le contrepoids bascule alors sur la victime toujours présente dans la partie arrière de la camionnette.

À 15 h 23 un appel d'urgence est placé.

La victime décède de ses blessures vers 18 h 36.

## 4.2 Constatations et informations recueillies

### 4.2.1 Description des équipements impliqués

Le principal équipement impliqué dans l'accident est une pelle hydraulique de marque Caterpillar modèle 374FL, portant le numéro de série [REDACTED]. La pelle a été produite en 2017. Elle a été rachetée d'un autre client par le fournisseur, puis revendue à l'entrepreneur en 2023. La pelle hydraulique a été transportée à la mine Éléonore pour y être réassemblée sur place et inspectée par des travailleurs du fournisseur avant d'être livrée à l'entrepreneur. Cette information est confirmée par les contrats de travail présentés à la section suivante.

Le manuel du fabricant propose deux formats de contrepoids soit 10 300 kg (22 700 lbs) et 11 000 kg (24 250 lbs).

Les spécifications de l'équipement à sa sortie de l'usine en 2017 obtenues à l'aide de son numéro de série permettent de confirmer que la pelle hydraulique a été produite avec un contrepoids de 11 000 kg. La brochure de vente de ce modèle de pelle par le fabricant stipule que la pelle équipée de la pesée de 11 000 kg n'est pas munie d'un cylindre pour faciliter le retrait du contrepoids. Le bras intermédiaire est identifié *M9'10'' (WB2)*. Le mât est identifié *M-BOOM, 23' mass excavation*. Aucun godet n'est spécifié.

Selon les documents du fabricant, le bras intermédiaire a un poids de 4 230 kg, le mât, un poids de 7 040 kg et le godet, selon le modèle installé, entre 3 390 kg et 4 880 kg.

Lors de la levée du contrepoids pour dégager le boulon rupturé, à la suite de l'accident, l'opérateur de la grue estime la charge soulevée à 14 742 kg, grâce à la balance de la grue. Un représentant des ventes interne du fournisseur confirme verbalement que le fabricant ne produit pas de contrepoids de 14 742 kg standard pour équiper ce modèle de pelle hydraulique. Ce dernier a aussi confirmé verbalement que l'image du contrepoids impliqué dans l'accident qui lui a été envoyée n'est pas standard. Selon lui, les blocs présents du côté intérieur ont été ajoutés. Aucun écrit ne peut être obtenu concernant cette information de la part du fabricant ou du fournisseur. La CNESST a demandé au fournisseur et au fabricant de démontrer une autorisation de modification du contrepoids, ces derniers ont confirmé, par écrit, ne pas avoir autorisé cette modification.

Lors de la préparation du réassemblage de la pelle hydraulique, plusieurs semaines après l'événement, une grue fraîchement calibrée est utilisée. La masse du contrepoids est confirmée à 13 440 kg par l'employeur.

Un chariot télescopique de marque Genie modèle GTH-1056 numéro de série [REDACTED] est utilisé pour soulever partiellement le contrepoids qui écrase le superviseur. Cet équipement a une capacité de 4 536 kg alors que les stabilisateurs sont au sol. L'équipement est loué par l'employeur. Cet équipement est aussi prévu, selon l'AST, pour contrôler la charge du bras intermédiaire pesant plus de 7 000kg.

La camionnette écrasée dans l'accident est de marque Ford modèle F150 à cabine allongée appartenant à l'employeur.

#### **4.2.2 Communications entre l'entrepreneur et le fournisseur de la pelle hydraulique**

Dans un bon de commande (no. Référence VL12565) émis par le fournisseur le 24 février 2023, on peut lire les tâches qui sont confiées à l'équipe de mécaniciens du fournisseur dont, entre autres, l'installation du contrepoids. Ces tâches sont assignées à des mécaniciens du fournisseur.

Le 25 février 2023, à 10 h 21, un représentant du fournisseur envoie un courriel à l'entrepreneur, nouvellement propriétaire de la pelle hydraulique 374FL, stipulant que l'inspection avant transport a été produite et que tous les points d'inspection sont considérés comme normaux. Il est à noter qu'aucun de ces points ne considère le contrepoids lui-même.

Un courriel daté du 2 mars 2023, à 15 h 36, envoyé par un gestionnaire du fournisseur, mentionne que la pelle hydraulique 374FL sera assemblée au site de la mine Éléonore à partir du 7 mars 2023 par des mécaniciens du fournisseur.

#### **4.2.3 Implication de la mine Éléonore**

Bien que l'accident arrive à un représentant de l'employeur, lui-même sous contracté par l'entrepreneur pour le chantier de construction au site minier, dans les faits, l'accident n'arrive pas sur le chantier de construction, mais plutôt sur des opérations nécessaires au chantier.

Un compte-rendu de rencontre de sécurité daté du 1<sup>er</sup> février 2023 entre la minière et l'entrepreneur concernant le chantier de construction, mentionne clairement qu'une AST doit être complétée et approuvée par la minière avant tout montage ou démontage d'un équipement. Quoique l'accident arrive hors chantier, aucune AST n'a été approuvée pour le démontage de la pelle hydraulique par le personnel de la minière.

Dans les heures précédant l'accident, l'AST a été produite par la victime. Toutefois, cette AST n'a pas été analysée par une personne responsable de la sécurité de l'employeur ou de l'entrepreneur. L'AST n'a pas été soumise à la minière, par l'employeur, pour approbation. La méthode de travail n'a donc pas été revue par une

personne responsable de la sécurité de l'employeur, l'entrepreneur ou même de la mine Éléonore. Bien que le responsable SST de l'entrepreneur nous ait confirmé comme présent au site de la mine, ce dernier n'a pas été interpellé pour approuver l'AST.

La minière offre un document standard à l'employeur pour produire les AST ce qui explique que le document porte l'en-tête de la compagnie minière.

#### 4.2.4 Manuel du fabricant

La section de pose et dépose (installation et retrait) du contrepoids du manuel du fabricant mentionne :

- a) N'autoriser aucun membre du personnel à se tenir sous ou autour du contrepoids pendant la dépose ou la pose ;
- b) Fixer un câble métallique suffisamment résistant et muni de manilles sur la bielle du contrepoids ;
- c) Utiliser un dispositif de levage approprié pour tendre le câble ;
- d) Lever suffisamment le contrepoids de manière à supprimer toute charge appliquée sur les bielles de retenue ;
- e) Déposer les six boulons de montage du contrepoids et les rondelles.

Aucune mention dans ce manuel ne stipule comment les boulons doivent être retirés tout en respectant l'élément a) de l'énumération précédente. La CNESST a tenté d'obtenir une autre méthode du fabricant sans succès.

#### 4.2.5 Avis technique

Afin de déterminer la cause de rupture du boulon restant dans le contrepoids, un avis technique a été rédigé par un ingénieur de la CNESST qui a analysé les éléments suivants :

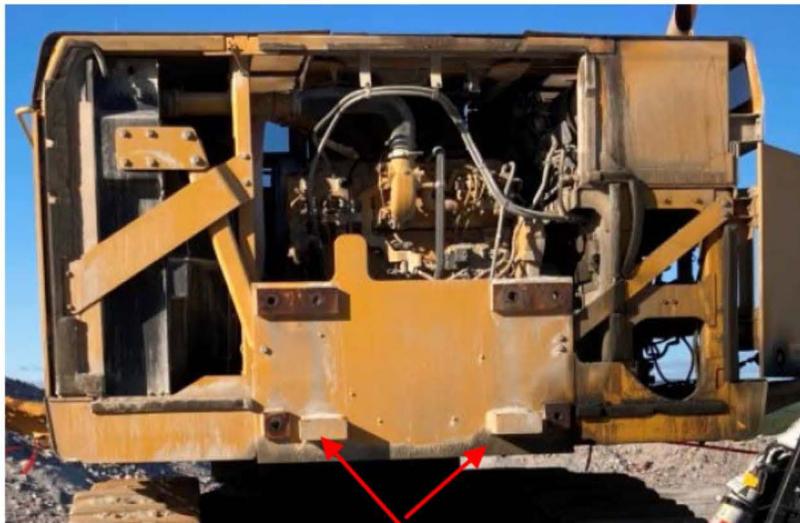
- Le type de boulon impliqué ;
- Le mode de rupture ;
- La longueur restante dans la plaque d'ancrage ;
- Les contraintes appliquées sur le boulon lorsque ce dernier commence à être dévissé ;
- Le centre de gravité du contrepoids ;
- Etc.

L'avis technique confirme que le boulon impliqué dans l'accident correspond au type de boulon requis par le fabricant de la pelle hydraulique, soit un boulon de type M36 – 4 X 560 MM à tête hexagonale, de marque CAT.

Selon la norme ISO898-1, *Caractéristiques mécaniques des éléments de fixation en acier au carbone et en acier allié. Partie 1: Vis, goujons et tiges filetées de classes de qualité spécifiées — Filetages à pas gros et filetages à pas fin*, ce type de boulon a une

résistance ultime en traction de 850 kN. Toutefois, ce type de boulon ne devrait être soumis qu'à des efforts en traction et aucune limite de résistance contre le cisaillement ou une combinaison cisaillement/traction n'est considérée dans la norme.

Au moment de l'accident, la victime avait commencé à dévisser le dernier boulon. Bien que le contrepoids soit appuyé sur deux supports au bas de la structure de la pelle hydraulique (figure 5), le fait de dévisser partiellement le boulon amène immédiatement un effort de flexion sur celui-ci. Cette contrainte appliquée sur le boulon est principalement causée par la distance de ce dernier avec le centre de gravité du contrepoids. Il faut comprendre que le centre de gravité du contrepoids (figure 6) n'est pas situé directement au-dessus des deux supports (figure 5), auquel cas la contrainte aurait été nettement plus faible.



Appuis du contrepoids

*Fig. 5 : Supports du contrepoids*  
Source : CNESST

L'analyse des forces en présence établit la force de traction exercée sur le boulon à 51.9 kN ce qui ne représente qu'environ 6 % de la résistance nominale du boulon. Toutefois, cette force est excentrée par rapport au centre de gravité du contrepoids. De plus, vu la position du boulon, le contrepoids peut pivoter autour de son point de fixation, étant donné l'absence des autres boulons. Ces éléments entraînent un effort de traction supplémentaire établie à 822 kN, selon l'avis technique présenté en annexe C. Comme la résistance nominale en traction du boulon est établie à 90 % de la résistance ultime, la résistance nominale de 765 kN est nettement dépassée par la combinaison de la traction pure (51.9 kN) et la contrainte de traction due à l'excentricité (822 kN) totalisant 873.9 kN.

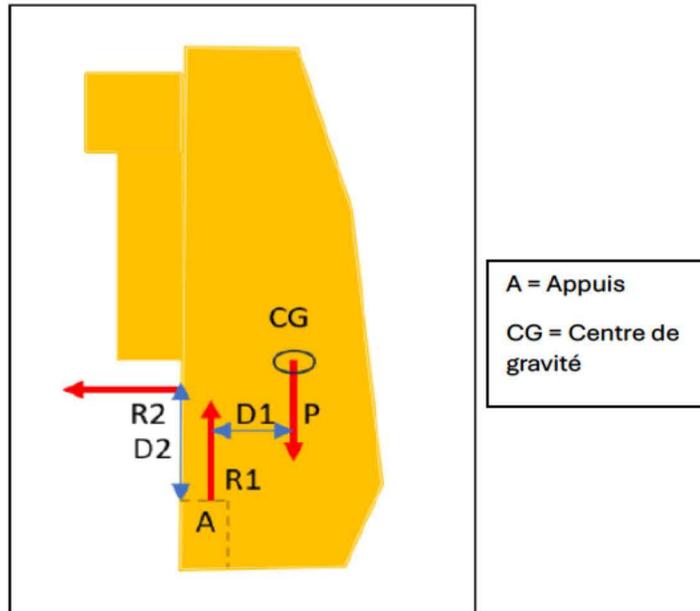


Figure 4 : DCL du contrepoids

- P : le poids total du contrepoids avec les "ajouts"
- R2 : la force de traction dans le boulon
- D1 : la distance entre le centre de gravité et le point A
- D2 : la distance entre la force R2 ou le boulon et le point A

Fig. 6 : Position du centre de gravité du contrepoids vu de côté  
Source : CNESST

Le mode de rupture du boulon présenté à la figure 7 montre l'inclinaison du plan de rupture qui est expliquée par le fait que la rupture est initiée par un moment de force contrairement à une rupture nette qui résulte d'une traction pure.



Fig. 7 : portion du boulon resté dans la pelle hydraulique  
Source : CNESST

La figure 7 illustre aussi que le nombre de filets engagé dans la plaque d'ancrage au moment de la rupture du boulon est inférieur à ce qui est requis par la norme *ISO 965-1, Filetage métrique ISO pour usages généraux - Tolérances — Partie 1: Principes et données fondamentales*.

Selon les spécifications de la norme, les spécifications du boulon et les calculs établis dans l'avis technique, la longueur insérée dans la plaque d'ancrage doit se situer entre 18 mm et 55 mm. La valeur mesurée de la section rupturée du boulon est établie à 12 mm. Il est présumé que préalablement à son dévissage, le dernier boulon était pleinement inséré dans la plaque d'ancrage. Nous avons constaté sur place des outils permettant de dévisser les boulons.

Selon l'avis technique, le non-respect de cette longueur de boulon insérée dans la plaque d'ancrage lors de la tâche de dévissage, amène de toute évidence à une concentration des forces dans la partie boulonnée et ainsi une augmentation des contraintes dans cette partie, et ce, même en situation de traction pure.

Toujours selon l'avis technique, l'ajout de 2 527 kg au contrepoids n'a qu'une incidence mineure sur les valeurs de contrainte de traction puisqu'il modifie légèrement le centre de gravité, ce qui compense pour l'ajout de charge.

#### **4.2.6 Procédures de l'employeur**

Aucune procédure approuvée par l'employeur n'est en place pour effectuer la tâche de retrait du contrepoids. Comme c'est une tâche inhabituelle, l'employeur procède par AST. Cette AST est toutefois incomplète en ce sens que la partie remplie par la victime ne considère en aucun cas comment la charge sera supportée et manipulée ou comment le périmètre de sécurité autour de la charge sera géré.

Puisqu'il y a incohérence entre la procédure du manufacturier extraite du système SIS et les éléments physiques (cylindre et chaîne) absents dans la pelle hydraulique, plusieurs étapes importantes ne peuvent pas être appliquées par la victime.

De plus, aucun équipement de levage n'est présent sur le lieu de l'accident.

#### **4.2.7 Loi, règlements et normes**

Selon la *Loi sur la santé et la sécurité du travail*, à l'article 51 :

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

[...]

3° s'assurer que l'organisation du travail et les méthodes et techniques utilisées pour l'accomplir sont sécuritaires et ne portent pas atteinte à la santé du travailleur ;

[...]

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

L'article 255 du *Règlement sur la Santé et la Sécurité du Travail (RSST)* mentionne à l'alinéa 6 que *le transport de charges au-dessus des personnes doit être évité et, si cela n'est pas possible, des mesures spécifiques doivent être prises pour assurer la sécurité des personnes.*

Toutefois, dans le cas précis de l'accident, il n'y a techniquement pas de transport de charge au-dessus d'une personne, puisqu'il n'y avait pas d'intention de déplacement de la charge dans l'AST, malgré sa nécessité. De plus, il y avait absence d'équipement disponible pour le faire.

L'article 196 du RSST mentionne qu'*avant d'entreprendre, dans la zone dangereuse d'une machine, tout travail, notamment de montage, d'installation, d'ajustement, d'inspection, de décoinçage, de réglage, de mise hors d'usage, d'entretien, de désassemblage, de nettoyage, de maintenance, de remise à neuf, de réparation, de modification ou de déblocage, le cadenassage ou, à défaut, toute autre méthode qui assure une sécurité équivalente doit être appliqué conformément à la présente sous-section.*

L'article 198 du RSST mentionne quant à lui que *lorsqu'un employeur ayant autorité sur l'établissement prévoit appliquer une méthode de contrôle des énergies autre que le cadenassage, il doit, au préalable, s'assurer de la sécurité équivalente de cette méthode en analysant les éléments suivants :*

- 1° les caractéristiques de la machine ;*
- 2° l'identification des risques pour la santé et la sécurité lors de l'utilisation de la machine ;*
- 3° l'estimation de la fréquence et de la gravité des lésions professionnelles potentielles pour chaque risque identifié ;*
- 4° la description des mesures de prévention applicables pour chaque risque identifié, l'estimation du niveau de réduction du risque ainsi obtenue et l'évaluation des risques résiduels.*

*Les résultats de cette analyse doivent être consignés dans un écrit.*

L'article 3.10.4 du *Code de Sécurité pour les Travaux de Construction (CSTC)* stipule à l'alinéa 4 que *sur un chantier, toute manœuvre doit être exécutée de façon qu'aucun travailleur ne soit exposé à un danger. Aucune charge ne doit se trouver au-dessus de la tête des travailleurs et aucun travailleur ne doit se tenir sous une charge ou sous une partie d'un appareil de levage qui pourrait s'abattre sur lui.*

Toutefois, l'accident n'a pas eu lieu sur un chantier de construction. De plus, aucun levage n'a été tenté malgré qu'il soit éventuellement nécessaire pour retirer le contrepoids de la pelle hydraulique. Cet élément réglementaire n'est utilisé que pour démontrer les règles de l'art qui prévalent au moment de l'accident.

### 4.3 Énoncés et analyse des causes

#### 4.3.1 L'absence de procédure de maîtrise des énergies lors du démantèlement de la pelle hydraulique expose la victime à être frappé par le contrepoids lors du démontage de ce dernier.

Quelques jours avant le 28 septembre 2024, il est décidé par l'employeur de déplacer la pelle hydraulique vers un autre site. Pour ce faire, il est nécessaire de démonter partiellement la pelle hydraulique CAT 374FL. Comme c'est une tâche inhabituelle, aucune procédure formelle n'est en place pour exécuter cette tâche. Vu cette absence, des représentants de l'employeur produisent une AST afin de cibler les risques inhérents à la tâche et de mettre en place des moyens de contrôle de ces risques. L'AST est signée par la victime, B [REDACTED] ainsi que par un gestionnaire de l'employeur.

Au niveau de son contenu, une partie de l'AST est constituée d'une extraction du système d'entretien informatisé du fabricant. L'AST ne fait aucune mention d'un système de levage tel qu'un pont roulant ou une grue pour soutenir le contrepoids durant le démontage. L'AST n'inclut pas de gestion de périmètre de sécurité autour de la charge.

Au niveau de l'application de la procédure SIS prévue pour le démontage du contrepoids par le fabricant, si la victime avait appliqué les étapes de cette procédure, il aurait constaté qu'elle était inapplicable puisqu'il y avait absence du cylindre de levage interne prévu dans la procédure.

Aucun équipement de levage n'est présent sur le lieu de l'accident.

Ainsi, l'absence de procédure de maîtrise des énergies lors du démantèlement de la pelle hydraulique expose la victime à être frappé par le contrepoids lors du démontage de ce dernier.

Cette cause est retenue.

#### 4.3.2 La gestion des risques associés aux travaux inhabituels effectués par la victime n'est pas adéquatement assurée par l'employeur, l'entrepreneur ou la minière.

Un compte-rendu de rencontre de sécurité daté du 1<sup>er</sup> février 2023, entre la minière et l'entrepreneur, concernant le chantier de construction, nous est fourni. Ce compte-rendu mentionne clairement qu'une AST doit être complétée et approuvée par la mine avant tout montage ou démontage d'un équipement. Quoique l'accident arrive hors chantier, aucune AST n'a été approuvée pour le démontage de la pelle hydraulique par le personnel de la mine.

La mine n'est pas en mesure de confirmer que leur implication dans les AST est exigée.

Ni l'entrepreneur ni l'employeur ne sont en mesure de démontrer les exigences d'implication de la minière dans la rédaction ou l'approbation des AST.

Dans les heures précédant l'accident, l'AST a été produite par la victime accidentée. Cette AST n'a pas :

- Été analysée par une personne responsable de la sécurité de l'employeur ou de l'entrepreneur ;
- Été soumise à la mine par l'employeur pour approbation malgré qu'elle implique nécessairement un plan de levage ;
- La méthode de travail n'a pas été revue par une personne responsable de la sécurité de l'employeur, de l'entrepreneur ou même du site minier ;
- Bien que le représentant SST de l'entrepreneur nous ait confirmé comme présent au site minier, ce dernier n'a pas été interpellé pour approuver l'AST.

Ainsi, nous concluons que ni l'employeur, ni l'entrepreneur, ni la minière n'assurent une gestion adéquate des risques associés aux travaux inhabituels effectués par cet employeur.

Cette cause est retenue.

#### **4.3.3 Le boulon restant a une capacité insuffisante, alors qu'il est partiellement dévissé, pour soutenir le contrepoids qui n'est pas supporté par un appareil de levage approprié.**

L'analyse effectuée des forces en présence établit la force de traction exercée sur le boulon à 51.9 kN ce qui ne représente qu'environ 6 % de la résistance nominale du boulon. Toutefois, cette force est excentrée par rapport au centre de gravité du contrepoids. De plus, vu la position du boulon, le contrepoids peut pivoter autour de son point de fixation étant donné l'absence des autres boulons. Ces éléments entraînent un effort de traction supplémentaire établie à 822 kN, selon l'avis technique présenté en annexe C. Comme la résistance nominale en traction du boulon est établie à 90 % de la résistance ultime, la résistance nominale de 765 kN est nettement dépassée par la combinaison de la traction pure (51.9 kN) et la contrainte de traction due à l'excentricité (822 kN) totalisant 873.9 kN.

Ainsi, nous concluons que le dernier boulon a une capacité insuffisante, alors qu'il est partiellement dévissé, pour soutenir le contrepoids non supporté par un appareil de levage approprié.

Comme cette cause n'a pas d'impact direct sur l'accident, cette dernière n'est pas retenue.

## SECTION 5

### 5 CONCLUSION

#### 5.1 Causes de l'accident

L'absence de procédure de maîtrise des énergies lors du démantèlement de la pelle hydraulique expose la victime à être frappé par le contrepoids lors du démontage de ce dernier.

La gestion des risques associés aux travaux inhabituels effectués par la victime n'est pas adéquatement assurée par l'employeur, l'entrepreneur ou la minière.

#### 5.2 Suivis de l'enquête

La CNESST transmettra les conclusions de son enquête à l'Association des propriétaires de machinerie lourde du Québec (APMLQ) afin que ses membres en soient informés.

Le rapport d'enquête sera diffusé dans les établissements de formation offrant le programme d'études Mécanique d'engins de chantier pour sensibiliser les futurs travailleurs.

**ANNEXE A****Accidenté**

**Nom, prénom** : A [REDACTED]

**Sexe** : [REDACTED]

**Âge** : [REDACTED]

**Fonction habituelle** : [REDACTED]

**Fonction lors de l'accident** : Entretien mécanique

**Expérience dans cette fonction** : [REDACTED]

**Ancienneté chez l'employeur** : [REDACTED]

**Syndicat** : Non

**ANNEXE B****Références bibliographiques**

- QUÉBEC. *Loi sur la santé et la sécurité du travail, RLRQ, chapitre S-2.1, à jour au 30 novembre 2024*, [En ligne], 2024. [<https://www.legisquebec.gouv.qc.ca/fr/document/lc/s-2.1>] (Consulté le 25 mars 2025).
- QUÉBEC. *Règlement sur la santé et la sécurité du travail, RLRQ, chapitre S-2.1, r. 13, à jour au 30 novembre 2024*, [En ligne], 2024. [<https://www.legisquebec.gouv.qc.ca/fr/document/rc/s-2.1,%20r.%2013>] (Consulté le 25 mars 2025).
- QUÉBEC. *Code de sécurité pour les travaux de construction, RLRQ, chapitre S-2.1, r. 4, à jour au 30 novembre 2024*, [En ligne], 2024. [<https://www.legisquebec.gouv.qc.ca/fr/document/rc/S-2.1,%20r.%204>] (Consulté le 25 mars 2025).
- CATERPILLAR. *374F L hydraulic excavator*, États-Unis, Caterpillar, 2016, 31 p. (AEHQ7884).
- TOROMONT INDUSTRIES. *Contrat de vente : équipement lourd*, Pointe-Claire, Toromont Industries, 2023, 3 p.
- CATERPILLAR. *Dépose et pose du contrepoids sur les machines standard (SFBU8588-16)*, [États-Unis], Caterpillar, 2020, c2024, 12 p.
- CATERPILLAR. *Dépose et pose du contrepoids sur les machines standard (SEBU8588-16)*, [États-Unis], Caterpillar, 2021, c2024, 14 p.
- CATERPILLAR. *Product configuration : EBF20012*, [États-Unis], Caterpillar, 2 p.
- CATERPILLAR. *Operation and maintenance manual : 374F excavator*, [États-Unis], Caterpillar, 2020, 362 p. (SEBU8588).
- CATERPILLAR. *Specifications (SEBU8588-16)*, [États-Unis], Caterpillar, 2020, c2024, 14 p.
- ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION. *Caractéristiques mécaniques des éléments de fixation en acier au carbone et en acier allié. Partie 1, vis, goujons et tiges filetés de classes de qualité spécifiées : filetages à pas gros et filetages à pas fin*, 5<sup>e</sup> édition, Genève, ISO, 2013, iv, 57 p. (ISO 898-1:2013).
- ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION. *Filetages métriques ISO pour usages généraux : tolérances. Partie 1, principes et données fondamentales*, 4<sup>e</sup> édition, Genève, ISO, 2013, 21 p. (ISO 965-1:2013).

## ANNEXE C

### Avis technique

 RÉSEAU D'EXPERTISE EN PRÉVENTION-INSPECTION	<b>Avis technique</b>
Sujet : <i>Boulon de serrage</i>	Domaine d'expertise : <b>Mécanique</b>
Demandeur: Patrick BOURDAGES	Dossier : <b>DPI4391723</b>
Région : Abitibi Témiscamingue et Nord du Québec	Date : <b>2025</b>
<b>Questions :</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>- Déterminer la résistance en traction d'un boulon similaire à celui impliqué dans l'accident.</li><li>- Déterminer la charge de rupture du boulon, et donner un avis sur la capacité d'un tel boulon à soutenir la charge d'un contrepoids de 22 200 lbs et de 29 570 lbs.</li></ul>	
<b>Réponses :</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>- La résistance nominale en traction d'un boulon CAT M36 - 4 X 560 MM est égale à 850 kN. La contrainte maximale à ne pas dépasser pour ce boulon est 1040 MPa.</li><li>- La charge de rupture du boulon pour un contrepoids de 29 570 lbs est égale à 873,9 kN. Cette charge est théoriquement la même pour un contrepoids de 22 200 lbs.</li></ul>	
Rédigé par : 	Date : 13/02/2025
	
 1	



## Avis technique

### Mise en contexte :

Lors du démantèlement du contrepoids d'une excavatrice hydraulique de la marque Caterpillar 374F L, alors que 5 des 6 boulons servant à le maintenir en place ont été retirés, un boulon de fixation s'est fracturé, le contrepoids bascule et heurte un travailleur.

### 1. Résistance en traction du boulon impliqué dans l'accident :

Le boulon en question est de la marque CAT et de type M36 - 4 X 560 MM à tête hexagonale. Il fait partie d'un ensemble de six boulons requis pour la fixation du contrepoids. La mise en place de ces boulons assure une force de serrage continue et suffisante pour le maintien et la stabilité du contrepoids pendant les opérations de l'excavatrice. Selon les spécifications du fabricant, disponibles sur le site [447-2466; Boulon à tête hexagonale M36-4 x 560 mm | Cat® Parts Store](#) : le boulon M36 - 4 doit être conforme à la norme ISO 898-1, *Caractéristiques mécaniques des éléments de fixation en acier au carbone et en acier allié. Partie 1: Vis, goujons et tiges filetées de classes de qualité spécifiées — Filetages à pas gros et filetages à pas fin*. Cette norme indique que la résistance ultime en traction du boulon est de 850 kN (Figure 1). L'aire de la section transversale de ce boulon est de 817 mm<sup>2</sup>, ce qui donne une contrainte maximale en traction de 1040 MPa. Cette valeur est indiquée dans les spécifications du boulon.

Table 4 — Minimum ultimate tensile loads — ISO metric coarse pitch thread

Thread <sup>a)</sup>	Nominal stress area $A_s$ mm <sup>2</sup>	Property class									
		4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	9.8	10.9	12.9/12.9	
Minimum ultimate tensile load, $F_{t, min} (A_s \times R_{t, min})$ , N											
M3	5,03	2 010	2 110	2 510	2 620	3 020	4 020	4 630	5 230	6 140	
M3.5	6,76	2 710	2 850	3 390	3 530	4 070	5 420	6 130	7 050	8 270	
M4	9,76	3 610	3 690	4 390	4 570	5 270	7 020	7 900	9 130	10 700	
M5	14,2	5 680	5 900	7 100	7 380	8 520	11 350	12 800	14 800	17 300	
M6	20,1	8 040	8 440	10 000	10 400	12 100	16 100	18 100	20 900	24 500	
M7	28,9	11 600	12 100	14 400	15 000	17 300	23 100	26 000	30 100	35 300	
M8	36,6	14 600 <sup>c</sup>	15 400	18 300 <sup>c</sup>	19 000	22 000	29 200 <sup>c</sup>	32 900	38 100 <sup>c</sup>	44 600	
M10	58	23 200 <sup>c</sup>	24 400	29 000 <sup>c</sup>	30 200	34 800	46 400 <sup>c</sup>	52 200	60 300 <sup>c</sup>	70 800	
M12	84,3	33 700	35 400	42 200	43 800	50 600	67 400 <sup>c</sup>	75 900	87 700	103 000	
M14	115	46 000	48 300	57 500	59 800	69 000	92 000 <sup>c</sup>	104 000	120 000	140 000	
M16	157	62 800	65 900	78 500	81 600	94 000	125 000 <sup>c</sup>	141 000	163 000	182 000	
M18	192	76 800	80 600	96 000	99 800	115 000	150 000	—	200 000	234 000	
M20	245	98 000	103 000	122 000	127 000	147 000	203 000	—	266 000	299 000	
M22	303	121 000	127 000	152 000	158 000	182 000	252 000	—	315 000	370 000	
M24	353	141 000	148 000	178 000	184 000	212 000	293 000	—	367 000	431 000	
M27	459	184 000	193 000	230 000	239 000	275 000	381 000	—	477 000	560 000	
M30	561	224 000	236 000	280 000	289 000	337 000	466 000	—	583 000	684 000	
M33	694	278 000	292 000	347 000	357 000	416 000	576 000	—	722 000	847 000	
M36	817	327 000	343 000	408 000	420 000	490 000	678 000	—	850 000	997 000	
M39	976	390 000	410 000	488 000	503 000	588 000	810 000	—	1 020 000	1 200 000	

Figure 1 : Tableau tiré de la norme ISO 898-1 : 2013

Il faut ajouter que la norme ISO 898-1 s'applique uniquement sur les boulons qui sont soumis à des efforts de traction. Elle ne mentionne aucune limite de résistance contre le cisaillement, ou une combinaison de cisaillement et de traction. En d'autres termes, ce type de boulon doit être utilisé exclusivement pour résister à des forces de traction. Toute mise en place qui expose le boulon à des forces autres que la traction doit être évitée.



## Avis technique

### 2. Charges de rupture du boulon:

Au moment de l'accident, le contrepoids était fixé sur l'excavatrice par un seul boulon. Il faut mentionner aussi que le contrepoids était appuyé sur deux supports en saillie intégrés à l'excavatrice (Figure 10 en Annexe 2). Dans cette configuration, la stabilité du contrepoids est assurée par la force de serrage du boulon qui était implanté (engagé par filetage) dans une plaque de fixation intégrée aussi à l'excavatrice, cette plaque de fixation (Figure 10 en Annexe 2) contient des emplacements pour la mise en place des autres boulons. Cependant, le boulon en question ne serait pas soumis uniquement à une force de traction tel que prévu pour ce moyen de fixation. Un effort de flexion serait induit dans le boulon à cause de l'excentricité de la force de traction dans le boulon par rapport au centre de gravité du contrepoids.

Afin de calculer tous les efforts dans le boulon, un diagramme du corps libre (DCL) est réalisé. Dans un premier temps nous allons calculer la force de traction dans le boulon, et par la suite nous allons calculer l'effort de traction supplémentaire causé par la flexion induite par l'excentricité de cette force par rapport au centre de gravité du contrepoids. De plus un dessin assisté par le logiciel "Inventor" est élaboré afin d'estimer la position du centre de gravité du contrepoids. À cet effet, il faut noter que des composantes en acier ont été ajoutées au contrepoids, ce qui modifie en réalité la position du centre de gravité de l'ensemble comparativement à celle du contrepoids sans ajouts. Selon les informations recueillies de l'employeur, la masse du contrepoids avec les ajouts est égale à 29 570 lbs.

Le DCL du contrepoids démontre que la force de traction dans le boulon est égale à 51,9 kN (voir annexe 2). Cette force ne représente qu'environ 6% de la résistance nominale en traction du boulon (850 kN). Toutefois, cette force est excentrée par rapport au centre de gravité du contrepoids, une distance de l'ordre de 507 mm est estimée entre l'emplacement du boulon et le centre de gravité du contrepoids (Figure 5 en Annexe 1). De plus, le contrepoids a tendance à pivoter autour de son point de fixation à cause de l'absence des autres boulons. Bien que ce mouvement soit empêché par le boulon qui était en place, ce dernier est soumis à un effort de traction supplémentaire qui est créé par le moment qui résulte du produit de l'excentricité de 507 mm et la force de 51,9 kN, qui est égal à :

$507 \text{ mm} \times 51,9 \text{ kN} = 26\,313 \text{ kN}\cdot\text{mm}$ . Ce moment entraîne une force de traction dans les fibres tendues du boulon qui est égale à :

$$F = \frac{26\,313 \text{ kN}\cdot\text{mm}}{32 \text{ mm}} = 822 \text{ kN}$$

- La valeur de 32 mm représente le diamètre de la section réduite du boulon, il est obtenu en soustrayant la valeur du filetage du diamètre nominal (36 – 4 = 32 mm).

Cette force de 822 kN elle seule, dépasse la résistance en traction du boulon qui est égale à 90% de sa résistance nominale 850 kN, soit 765 kN. En effet, la force de 822 kN se combine aussi à la force de traction de 51,9 kN initialement appliquée sur le boulon, ce qui donne un total de 873,9 kN. Cette valeur dépasse même la résistance nominale du boulon.

Par ailleurs, la figure suivante montre la partie du boulon qui est était implantée dans l'excavatrice, il est possible de remarquer que le plan de rupture est situé principalement dans la section réduite du boulon (entre les filets) :



**Avis technique**



Figure 2 : Portion du boulon entrainée dans l'excavatrice (Source CNESST)

L'inclinaison du plan de rupture qui est observée sur la figure précédente, est expliquée par le fait que la rupture est initiée par un moment de force. Contrairement à une rupture qui résulte d'une traction nette ou d'un cisaillement, le plan de rupture serait droit, perpendiculaire au sens de la force s'il s'agit d'une traction, et parallèle au sens de la force en cas de cisaillement. Il est possible de remarquer aussi sur la figure précédente, que le nombre de filets engagés dans la machine est égale à 3. Autrement dit, la portion du boulon implantée dans la machine est égale à 1,2cm (3x 4mm = 12mm). Cette distance représente la longueur d'engagement ou d'entraînement du boulon dans la machine juste avant l'accident. La norme ISO 965-1, *ISO general-purpose metric screw threads — Tolerances — Part 1: Principles and basic data*, qui est citée en référence dans la norme ISO 898-1, indique que la longueur d'entraînement du filetage doit se situer entre les deux limites suivantes :

**10.5 Length of thread engagement**

For the calculation of the limits of the normal length of thread engagement,  $l_N$ , the following rule is applied.

For each pitch within a certain diameter range,  $d$  is set equal to the smallest diameter (within the range) which appears in the general plan (conforming to ISO 261).

$$l_{N,min} = 2,24Pd^{0,2} \tag{15}$$

$$l_{N,max} = 6,7Pd^{0,2} \tag{16}$$

where  $l_N$ ,  $P$  and  $d$  are expressed in millimetres.

Figure 3 : Image tirée de la norme ISO 965-1

Le  $P$  représente le pas du filetage ou le "pitch" qui est égal à 4 mm pour le boulon en question, et  $d$  représente le diamètre minimal du boulon indiqué dans la norme ISO 261 *General purpose metric screw threads – General plan*. Cette valeur est égale à 35mm. Ce qui donne une longueur minimale de  $L_{min} = 18$  mm, et une longueur maximale de  $L_{max} = 55$  mm. Il est possible de remarquer que la longueur



## Avis technique

d'entraînement était inférieure à sa limite minimale au moment de l'accident. En d'autres termes, le nombre de filets engagés dans l'excavatrice était inférieur au nombre minimal requis. Ainsi, même si le boulon aurait été soumis à une traction nette, cette situation amène de toute évidence à une concentration de force dans la partie boulonnée dans l'excavatrice, et une augmentation des contraintes dans cette partie en conséquence. Par ailleurs, le fabricant exige que cette longueur soit égale à 55 mm pour le serrage du contrepoids à la machine.

### 3. Charge de rupture en cas d'une pesée de 22200 lbs :

Une pesée de 22 200 lbs correspond à un contrepoids sans pièces ajoutées. Autrement dit, seulement le contrepoids d'origine de l'excavatrice. Dans ce cas, le calcul de la force de traction dans le boulon, démontre que cette force demeure approximativement la même que celle calculée initialement (l'annexe 1). Bien que les ajouts métalliques puissent augmenter le poids total du contrepoids, ils diminuent par le fait même la distance entre le centre de gravité de l'ensemble et le point d'application de la force de réaction R2 (la force de réaction sur les supports de l'excavatrice). En conséquence la valeur de la force de traction dans le boulon reste approximativement constante si on considère toutes ces modifications dans leur ensemble. Concernant l'excentricité de cette force par rapport au centre de gravité du contrepoids, il est possible de supposer que cette distance est constante. En fait, cette distance est indépendante de la masse ou la quantité des ajouts métalliques puisque ces derniers sont installés d'une façon plus ou moins symétrique par rapport au centre de gravité. En conclusion, une rupture aurait pu survenir en théorie, même dans le cas d'une pesée de 22200 lbs. En plus, la charge de rupture serait approximativement égale à celle d'une pesée de 29 570 lbs.

Enfin, le démantèlement du contrepoids doit être effectué selon une méthode travail sécuritaire, qui en principe, ne devrait pas exposer les boulons de fixation à des efforts induits par ces manœuvres. Par exemple, l'utilisation d'un équipement de levage pour soutenir le contrepoids en place aurait pu permettre de diminuer voire d'annuler les forces de traction dans les boulons, et par le fait même prévenir le basculement du contrepoids.

### 4. Informations additionnelles sur la métallurgie du boulon M36X4 et la rupture observée :

Le boulon M36X4 appartient à la Classe 10.9. Selon le tableau 2 de la norme ISO 898, les boulons de cette classe sont fabriqués à partir des aciers au Carbone ou des aciers alliés, dont la teneur en carbone est située entre 0,2 et 0,5%. Cette teneur en carbone confère aux boulons une dureté et une résistance accrue mais amène en contrepartie une réduction de la ductilité. De plus, les boulons de cette classe ont subi un traitement thermique connu aussi sous le nom de la trempe. Le but de ce traitement est d'améliorer la dureté de l'acier. Il consiste à faire chauffer l'acier à une certaine température (425 °C minimale selon le tableau 2 de la norme ISO 898) pour ensuite le refroidir rapidement. Lors de cette opération, un arrangement du réseau atomique du fer, qui représente l'élément principal de cet acier s'effectue selon une forme tétradratique centré (TC) appelée aussi la martensite. Cette forme métallique est la plus dure et la plus résistante de tous les arrangements métalliques du fer et par le fait même, la plus fragile en mode de rupture. Toujours selon le tableau 2 de la norme ISO 898, le matériau au cœur d'un boulon appartenant à la classe 10.9, doit avoir une dureté d'une structure métallique à 90% en martensite. En d'autres termes, les aciers qui sont utilisés dans la fabrication des boulons de la classe 10.9 ont une dureté et une résistance en traction maximale. En revanche, ils ont une ductilité réduite, ce qui explique leur mode de rupture fragile. Ce genre de rupture se caractérise généralement par des cassures nettes et une absence de déformation excessive, ce qui est compatible avec la rupture observée sur le boulon impliqué dans l'accident.



RÉSEAU D'EXPERTISE  
EN PRÉVENTION-INSPECTION

## Avis technique

### ANNEXE 1

#### Cas du contrepoids avec ajouts :

La figure suivante schématise le diagramme de corps libre (DCL) du contrepoids avec ajouts. L'équilibre des moments par rapport à un axe horizontal qui passe par le point A qui représente le point de l'application de la réaction verticale R1 (égale au poids total du contrepoids) donne l'équation suivante :

$$R2 * D2 = P * D1$$

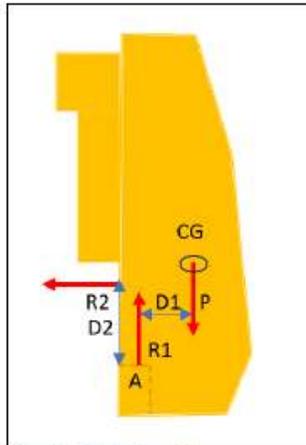


Figure 4 : DCL du contrepoids

- P : le poids total du contrepoids avec les "ajouts"
- R2 : la force de traction dans le boulon
- D1 : la distance entre le centre de gravité et le point A
- D2 : la distance entre la force R2 ou le boulon et le point A

À partir de l'équation précédente, la force de traction dans le boulon est égale à :  $R2 = (P * D2)/D1$ .

Afin de déterminer les distances D1 et D2, un dessin assisté par le logiciel "Inventor" a été réalisé. Certaines dimensions du contrepoids de l'excavatrice Caterpillar 374F L, ont été obtenues du manuel du fabricant. D'autres dimensions, ainsi que celles des ajouts métalliques ont été estimées à partir des photos prises à la suite de l'accident. La figure 7 montre une vue de profil du contrepoids. À partir de cette figure, nous pouvons déduire la distance entre le centre de gravité du corps rigide, constitué par le contrepoids et les ajouts, et l'arête verticale du contrepoids. Celle-ci est égale à 252 mm. La distance qui représente la trace du contrepoids sur les appuis saillants de l'excavatrice a été estimée à 87 mm (Figure 9 en Annexe 2). Ce qui permet de calculer la distance D1 :  $D1 = 252 - 87/2 = 208,5$  mm. La distance D2 a été déterminée à partir de la figure 5 et elle est égale à 528 mm.



RÉSEAU D'EXPERTISE  
EN PRÉVENTION-INSPECTION

**Avis technique**

La masse du contrepois (avec les ajouts) = 29570 lbs, donc le poids  $P = 131,5$  kN. À partir des données et mesures précédentes, la force  $R2$  égale à  $(131,5 * 208,5)/528 = 51,9$  kN.

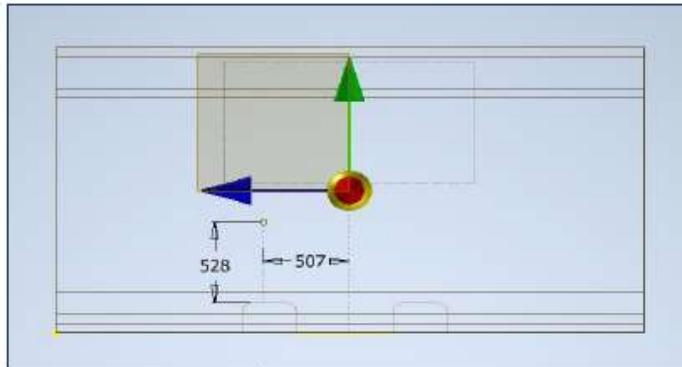


Figure 5 : Position du centre de gravité (vue de face)

Puisque la force  $R2$  est excentrée par rapport à la position du centre de gravité, l'effort de flexion créé dans le boulon est égal à : force \* excentricité. D'après la figure 5, l'excentricité représente la distance entre le centre de gravité et l'emplacement du boulon et elle est égale à 507 mm. Donc le moment qui s'applique au boulon est égale à :  $507 \times 51,9 = 26\,313$  kN.mm

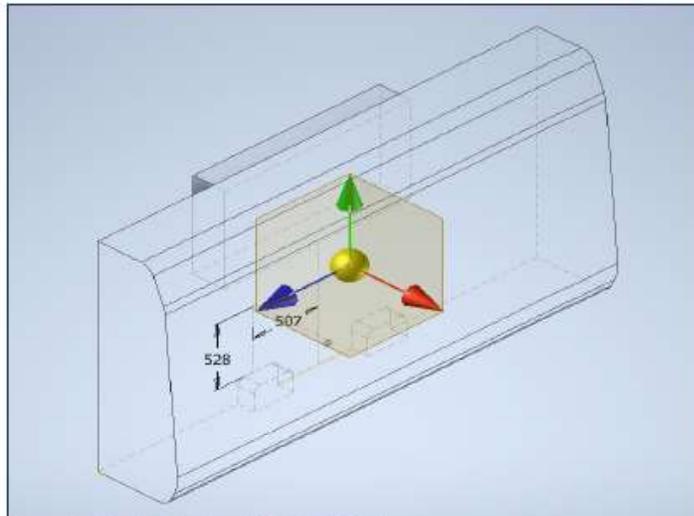


Figure 6 : Position du centre de gravité (vue isométrique)



**Avis technique**

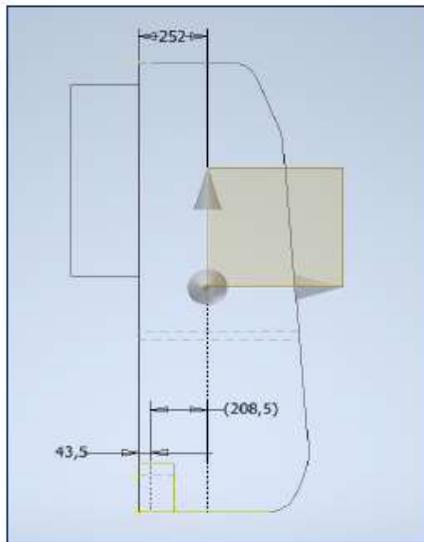


Figure 7 : Position du centre de gravité (vue de côté ou de profil)



**Avis technique**

**Counterweight**

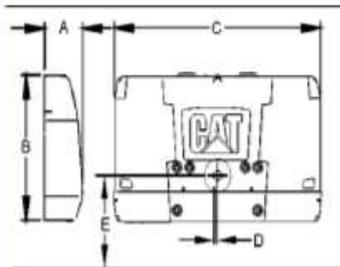


Illustration 72 g036262-16

Table 11

Standard Counterweight	
Weight	10050 kg (22200 lb)
Length (A)	630 mm (2 ft 1 inch)
Height (B)	1.86 m (6 ft 1 inch)
Width (C)	3.46 m (11 ft 4 inch)

Figure 8 : Image tirée du document "Opération and Maintenance Manual" 374F Excavator

➤ **Cas d'un contrepoids sans ajouts :**

Selon la figure 8, la masse d'un contrepoids d'une excavatrice Caterpillar 374F L, sans ajouts est égale à 22200 lbs (98,75 kN). Concernant la distance du centre de gravité par rapport à l'arête verticale du contrepoids, il est possible de supposer qu'elle soit égale approximativement à la distance A (tableau dans la figure 8) divisée par 2, donc  $630\text{mm}/2 = 315\text{ mm}$ .

En conséquence, la distance  $D1 = 315 - 87/2 = 271,5\text{ mm}$ . Ainsi la force de traction dans le boulon serait égale à :  $R2 = (98,75 \times 271,5)/528 = 50,7\text{ kN}$

Cette force est approximativement égale à celle qui a été calculée précédemment, autrement dit dans le cas du contrepoids avec ajouts. Concernant l'excentricité de cette force par rapport à la position du centre de gravité, il est possible de considérer que cette distance est égale aussi à 507 mm en supposant que les ajouts sont installés symétriquement par rapport au centre de gravité. En conséquence, la valeur du moment transmis au boulon reste approximativement égale à celle calculée en cas d'une pesée de 29 570 lbs.



RÉSEAU D'EXPERTISE  
EN PRÉVENTION-INSPECTION

**Avis technique**

**ANNEXE 2**



Figure 9 : Trace de l'appui du contrepoids sur les supports de l'excavatrice. (Source CNESST)



Figure 10 : Plaque de fixation et supports en sailli intégrés à l'excavatrice. (Source CNESST)



RÉSEAU D'EXPERTISE  
EN PRÉVENTION-INSPECTION

## Avis technique

Table 2 — Steels

Property class	Material and heat treatment	Chemical composition limit (cast analysis, %) <sup>a</sup>					Tempering temperature °C min.
		C min.	C max.	P max.	S max.	SP max.	
4.6 <sup>d</sup>	Carbon steel or carbon steel with additives	—	0,55	0,050	0,060	Not applicable	—
4.8 <sup>d</sup>		0,13	0,55	0,050	0,060		
5.6 <sup>c</sup>		—	0,55	0,060	0,060		
5.8 <sup>d</sup>		—	0,55	0,050	0,060		
6.8 <sup>d</sup>		0,15	0,55	0,050	0,060		
8.8 <sup>f</sup>	Carbon steel with additives (e.g. Boron or Mn or Cr) quenched and tempered	0,15 <sup>e</sup>	0,40	0,025	0,025	0,003	425
	or Carbon steel quenched and tempered	0,25	0,55	0,025	0,025		
	or Alloy steel quenched and tempered <sup>g</sup>	0,20	0,55	0,025	0,025		
9.8 <sup>f</sup>	Carbon steel with additives (e.g. Boron or Mn or Cr) quenched and tempered	0,15 <sup>e</sup>	0,40	0,025	0,025	0,003	425
	or Carbon steel quenched and tempered	0,25	0,55	0,025	0,025		
	or Alloy steel quenched and tempered <sup>g</sup>	0,20	0,55	0,025	0,025		
10.9 <sup>f</sup>	Carbon steel with additives (e.g. Boron or Mn or Cr) quenched and tempered	0,20 <sup>e</sup>	0,55	0,025	0,025	0,003	425
	or Carbon steel quenched and tempered	0,25	0,55	0,025	0,025		
	or Alloy steel quenched and tempered <sup>g</sup>	0,20	0,55	0,025	0,025		
12.9 <sup>h,i</sup>	Alloy steel quenched and tempered <sup>g</sup>	0,30	0,50	0,025	0,025	0,003	425
12.9 <sup>h,i</sup>	Carbon steel with additives (e.g. Boron or Mn or Cr or Molybdenum) quenched and tempered	0,28	0,50	0,025	0,025	0,003	380

<sup>a</sup> In case of dispute, the product analysis applies.

<sup>b</sup> Boron content can reach 0,005 %, provided non-effective boron is controlled by the addition of titanium and/or aluminium.

<sup>c</sup> For cold forged fasteners of property classes 4.6 and 5.6, heat treatment of the wire used for cold forging or of the cold forged fastener itself may be necessary to achieve required ductility.

<sup>d</sup> Free cutting steel is allowed for these property classes with the following maximum sulfur, phosphorus and lead contents: S: 0,34 %; P: 0,11 %; Pb: 0,35 %.

<sup>e</sup> In case of plain carbon boron steel with a carbon content below 0,25 % (cast analysis), the minimum manganese content shall be 0,0 % for property class 8.8 and 0,7 % for property classes 9.8 and 10.9.

<sup>f</sup> For the materials of these property classes, there shall be a sufficient hardenability to ensure a structure consisting of approximately 90 % martensite in the core of the threaded sections for the fasteners in the "as-hardened" condition before tempering.

<sup>g</sup> This alloy steel shall contain at least one of the following elements in the minimum quantity given: chromium 0,30 %, nickel 0,30 %, molybdenum 0,20 %, vanadium 0,10 %. Where elements are specified in combinations of two, three or four and have alloy contents less than those given above, the limit value to be applied for steel class determination is 70 % of the sum of the individual limit values specified above for the two, three or four elements concerned.

<sup>h</sup> Fasteners manufactured from phosphated raw material shall be dephosphated before heat treatment; the absence of white phosphorus enriched layer shall be detected by a suitable test method.

<sup>i</sup> Caution is advised when the use of property class 12.9/12.9 is considered. The capability of the fastener manufacturer, the service conditions and the wrenching methods should be considered. Environments can cause stress corrosion cracking of fasteners as processed as well as those coated.

Figure 11 : Image tirée De la norme ISO 898-1

RÉSEAU D'EXPERTISE  
EN PRÉVENTION-INSPECTION**Avis technique****ANNEXE 3**Références :

- ❖ ISO 898-1, Caractéristiques mécaniques des éléments de fixation en acier au carbone et en acier allié. Partie 1: Vis, goujons et tiges filetées de classes de qualité spécifiées — Filetages à pas gros et filetages à pas fin.
- ❖ ISO 965-1, ISO General-purpose metric screw threads — Tolerances — Part 1: Principles and basic data.
- ❖ ISO 261 General purpose metric screw threads – General plan.
- ❖ Beaulieu, Denis et all. Calcul des charpentes d'acier Tome 1 (794p) Édition 2003, et Tome 2 (611p) Édition 2010. Institut canadien de la construction en acier ICCA.
- ❖ Opération and Maintenance Manual 374F Excavator.
- ❖ 374F L Hydraulic Excavator 2017.