

RAPPORT D'ENQUÊTE

**Accident mortel survenu à un opérateur de chargeuse
sur pneus le 8 septembre 2014, à l'entreprise Jobert inc.
localisée au 161, rue Principale à Sainte-Émélie-de-l'Énergie.**

Direction régionale de Lanaudière

Inspecteurs :

**Odile Lamarche, ing.
inspectrice**

**Martin Rondeau,
inspecteur**

Date du rapport : 18 février 2015

DÉPERSONNALISÉ

Rapport distribué à :

- Monsieur « A », Jobert inc.
- M^e Pierre Bélisle, coroner
- Dre Muriel Lafarge, directrice par intérim de la Santé publique, Agence de la santé et des services sociaux de Lanaudière (ASSSL)
- Centrale des syndicats démocratiques (CSD-Construction)
- Confédération des syndicats nationaux (CSN-Construction)
- Fédération des travailleurs et travailleuses du Québec (FTQ-Construction)
- Conseil provincial du Québec des métiers de la construction (International) (CPQMCI)
- Syndicat Québécois de la Construction (SQC)

TABLE DES MATIÈRES

<u>1</u>	<u>RÉSUMÉ DU RAPPORT</u>	<u>1</u>
<u>2</u>	<u>ORGANISATION DU TRAVAIL</u>	<u>3</u>
2.1	STRUCTURE GÉNÉRALE DE L'ÉTABLISSEMENT	3
2.2	ORGANISATION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL	3
2.2.1	MÉCANISMES DE PRÉVENTION	3
2.2.2	GESTION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ	4
<u>3</u>	<u>DESCRIPTION DU TRAVAIL</u>	<u>5</u>
3.1	DESCRIPTION DU LIEU DE TRAVAIL	5
3.2	DESCRIPTION DU TRAVAIL À EFFECTUER	6
<u>4</u>	<u>ACCIDENT: FAITS ET ANALYSE</u>	<u>8</u>
4.1	CHRONOLOGIE DE L'ACCIDENT	8
4.2	CONSTATATIONS ET INFORMATIONS RECUEILLIES	9
4.2.1	CHARGEUSE	9
4.2.2	SYSTÈME HYDRAULIQUE	9
4.2.3	MÉTHODE DE TRAVAIL POUR REMPLACER LE CORPS DE SOUPAPE	12
4.2.3.1	<i>Méthode de travail utilisée par l'employeur</i>	12
4.2.3.2	<i>Méthode de travail suggérée par le fabricant</i>	13
4.2.4	PHÉNOMÈNE DE REcul DU GODET	14
4.2.5	RECHERCHE DOCUMENTAIRE	16
4.3	ÉNONCÉS ET ANALYSE DES CAUSES	16
4.3.1	LE TRAVAILLEUR S'INSTALLE DANS UNE ZONE DANGEREUSE POUR PROCÉDER AU DÉMANTÈLEMENT DU CORPS DE SOUPAPE DE LA CHARGEUSE.	16
4.3.2	LA PERTE SOUDAINE DE PRESSION HYDRAULIQUE LIBÈRE LA ROTULE QUI RELIE LE GODET AU BRAS DE LEVAGE MODIFIANT L'ÉTAT DE L'ÉQUILIBRE DES BRAS DE LEVAGE DE LA CHARGEUSE ET ENTRAÎNE LE GODET AU SOL.	17
4.3.3	LA GESTION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ CONCERNANT LES TRAVAUX D'ENTRETIEN ET DE RÉPARATION DE LA MACHINERIE LOURDE EST DÉFICIENTE.	18
<u>5</u>	<u>CONCLUSION</u>	<u>20</u>
5.1	CAUSES DE L'ACCIDENT	20
5.2	AUTRES DOCUMENTS ÉMIS LORS DE L'ENQUÊTE	20
5.3	RECOMMANDATIONS	20

ANNEXES

ANNEXE A :	Accidenté	21
ANNEXE B :	Croquis	22
ANNEXE C :	Liste des témoins et des autres personnes rencontrées	23
ANNEXE D :	Rapport d'expertise interne	24
ANNEXE E :	Relevés	43
ANNEXE F :	Références bibliographiques	44

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

L'opérateur de chargeuse sur pneus s'installe sous les bras de levage de la chargeuse afin de procéder au démantèlement du corps de soupape. Pour réaliser cette tâche, le godet de la chargeuse a été préalablement appuyé sur deux blocs de béton. Alors qu'il retire une demi-bride du circuit hydraulique des vérins d'inclinaison du godet, une fuite d'huile hydraulique provoque le basculement du godet vers le sol.

Conséquences

L'opérateur de chargeuse sur pneus est mortellement écrasé entre les bras de levage et la structure de la chargeuse.

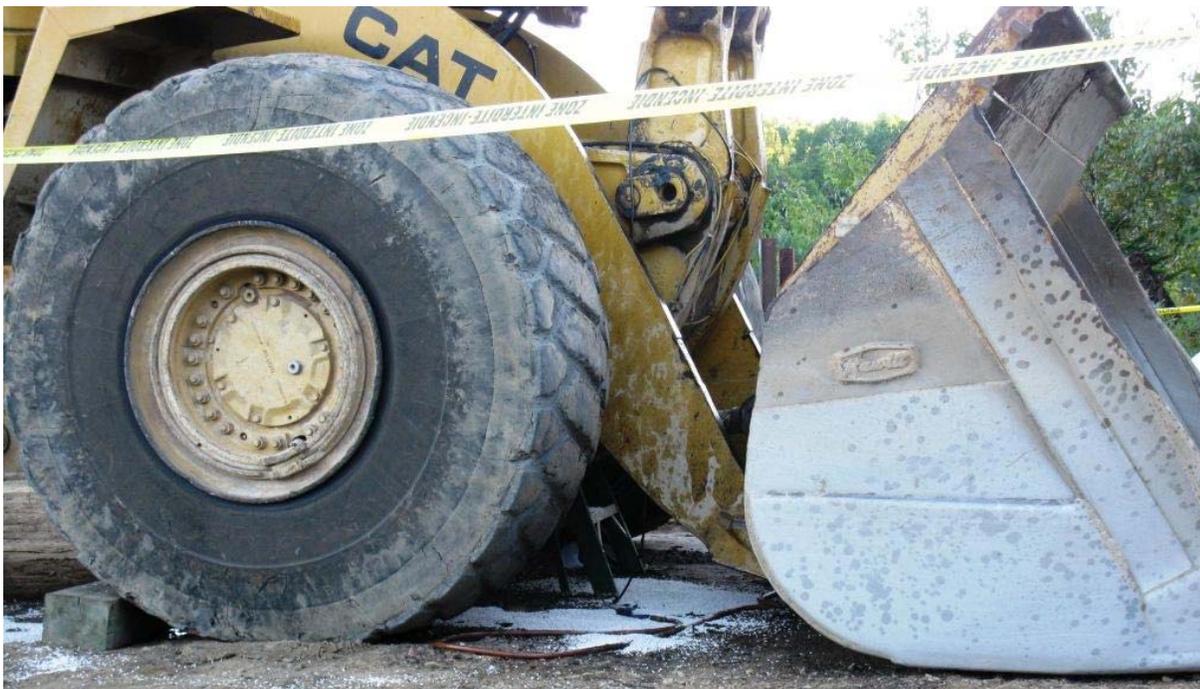


Photo 1 : Lieu de l'accident (source : CSST)

Abrégé des causes

- Le travailleur s'installe dans une zone dangereuse pour procéder au démantèlement du corps de soupape de la chargeuse.
- La perte soudaine de pression hydraulique libère la rotule qui relie le godet au bras de levage modifiant l'état de l'équilibre des bras de levage de la chargeuse et entraîne le godet au sol.
- La gestion de la santé et de la sécurité concernant les travaux d'entretien et de réparation de la machinerie lourde est déficiente.

Mesures correctives

Le rapport RAP0931048 du 22 septembre 2014 interdit à l'employeur d'effectuer la réparation sur le corps de soupape tant qu'il ne soumet pas une méthode de travail sécuritaire aux inspecteurs.

Le rapport RAP0893460, émis le 17 octobre 2014, autorise la réparation de la chargeuse après que l'employeur ait soumis sa méthode de travail basée sur celle du fabricant.

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

SECTION 2

2 ORGANISATION DU TRAVAIL

2.1 Structure générale de l'établissement

Jobert inc. a été fondée en 1968. Il s'agit d'une entreprise spécialisée dans les travaux de génie civil, notamment dans la construction et la réfection de routes, de réseaux d'aqueduc et d'égouts ainsi que dans les travaux d'excavation et de terrassement. Elle effectue aussi des travaux contractuels de déneigement de routes. Elle possède également plusieurs unités de concassage mobiles qu'elle met en production à une carrière située sur la route 347 à Sainte-Émélie-de-l'Énergie ainsi que dans d'autres carrières et sablières de la région. *Jobert inc.* emploie jusqu'à 35 personnes annuellement, incluant le personnel administratif. La structure hiérarchique de l'établissement du 161, rue Principale est la suivante :

L'organigramme n'inclut pas les activités de chantier. L'opérateur de la chargeuse travaille généralement sur différents sites, dont celui de l'employeur sur la route 347.

2.2 Organisation de la santé et de la sécurité du travail

2.2.1 Mécanismes de prévention

L'entreprise fait partie du secteur d'activité 01 « Bâtiments et travaux publics ». Elle est membre de l'Association paritaire pour la santé et la sécurité du travail du secteur de la construction. (.....)

2.2.2 Gestion de la santé et de la sécurité

L'entreprise a l'obligation réglementaire (*Règlement sur le programme de prévention* [S-2.1, r.10]) de mettre en application un programme de prévention. Un tel programme a été élaboré (.....). Il s'agit d'un programme comprenant des règles générales de sécurité et des mesures spécifiques aux différentes activités de l'entreprise. Dans le cadre de cette enquête, nous consultons l'annexe qui touche les activités du garage. Les risques identifiés et les moyens de prévention associés touchent la prévention des incendies, le risque de chute dans la fosse de visite, la soudure et l'utilisation du chariot élévateur. Par ailleurs, deux grilles d'inspection sont disponibles, soit une pour l'inspection visuelle du chariot élévateur par le cariste et une pour l'inspection générale des éléments de sécurité du garage et la vérification du respect des règles par les travailleurs. Le programme de prévention ne contient pas de moyens de prévention spécifiques aux réparations effectuées sur la machinerie lourde ni sur les systèmes hydrauliques.

Les mécaniciens du garage travaillent sous une supervision minimale. Les tâches sont assignées par M. « A », qui mandate (.....), M. « B », afin qu'il répartisse le travail. Pour les tâches plus complexes, la méthode de travail est validée par ce dernier. Dans le cas de la réparation du corps de soupape, le jour de l'accident, M. « B » ainsi que M. « A » ont approuvé la méthode de travail de M. « C ».

Les travailleurs affectés aux activités sur les chantiers de construction ont suivi diverses formations inhérentes à leurs tâches. Aucun programme de formation spécifique n'est en place pour les travailleurs du garage.

SECTION 3

3 DESCRIPTION DU TRAVAIL

3.1 Description du lieu de travail

La chargeuse de marque *Caterpillar*, modèle 980F, est utilisée par les travailleurs affectés à la carrière où ont lieu certaines activités de l'entreprise. La carrière est localisée sur la route 347, à quelques kilomètres du site de l'établissement principal de *Jobert inc.*

L'établissement principal de *Jobert inc.* est localisé à l'intersection de la rue Principale et de la rue Ferland. Le bâtiment principal regroupe les bureaux administratifs. La cour arrière sert de stationnement aux différents véhicules appartenant à l'entreprise ainsi qu'à ceux des employés. À l'extrémité nord du terrain se trouve le garage d'entretien mécanique. C'est devant la porte de garage faisant face à la rue Principale que la chargeuse est stationnée au moment de l'accident (position représentée par l'étoile sur la figure 1).



Figure 1 : Localisation du site de l'accident (source : Google Maps)

La cour est sur la terre battue et est généralement bien nivelée. Différentes pièces de métal et des blocs de béton sont entreposés à proximité du garage. Devant la porte de garage, le terrain a une inclinaison maximale de 5°, dirigée vers l'extérieur du garage.

Selon *Environnement Canada*, le jour de l'accident, il a fait beau et les vents ont été faibles (Annexe F).

3.2 Description du travail à effectuer

La chargeuse *Caterpillar*, modèle 980F (n° de série), est un modèle de l'année 1995 qui cumule environ 28 859 heures de travail. Une fuite d'huile hydraulique est repérée sur la chargeuse environ un mois avant l'accident. La chargeuse est amenée au garage d'entretien mécanique afin de déceler l'origine de cette fuite.



Photo 2 : Chargeuse *Caterpillar* 980F (source : CSST)

La fuite provient du système de distribution d'huile hydraulique. Le protecteur fixe de métal qui recouvre les connexions hydrauliques est retiré pour accéder à la zone de travail. Par la suite, à l'aide d'un jet d'eau sous pression, l'endroit de la fuite est nettoyé pour mieux la localiser.

Comme la fuite provient du corps de soupape, des manœuvres sont entreprises afin de le retirer de la chargeuse et pouvoir le réusinier ou le remplacer, selon l'ampleur de la fuite. Différents outils manuels tels que : clé à main, clé à cliquet et clé à chocs pneumatique sont utilisés pour réaliser le travail.



Photo 3 : Chargeuse Caterpillar 980F et emplacement du corps de soupape (source : CSST & Hewitt)

Les premières étapes à réaliser concernent la neutralisation du système hydraulique, l'appui des bras de levage et le verrouillage de l'articulation de la chargeuse. Une fois ces étapes réalisées, les boyaux hydrauliques et leurs connecteurs sont dévissés un par un, tout en s'assurant d'installer des bouchons aux extrémités des boyaux, pour prévenir une contamination du circuit hydraulique. La dernière étape consiste à retirer le corps de soupape de la chargeuse à l'aide d'un appareil de levage.

SECTION 4

4 ACCIDENT: FAITS ET ANALYSE

4.1 Chronologie de l'accident

L'opérateur de la chargeuse, M. « C », amorce sa journée de travail vers 7 h, à la carrière localisée à Sainte-Émélie-de-l'Énergie, sur la route 347.

Au cours de l'avant-midi, il travaille au transfert d'une unité de concassage d'un secteur à l'autre de la carrière.

Entre 9 h et 10 h, il se rend au garage d'entretien mécanique de l'entreprise, à bord de la chargeuse, afin de faire diagnostiquer et réparer une fuite d'huile hydraulique.

L'opérateur de la chargeuse démonte et retire le protecteur fixe qui recouvre les connexions hydrauliques. Il utilise un jet d'eau sous pression afin de nettoyer la pièce et mieux identifier l'origine de la fuite. Celle-ci est localisée dans la partie inférieure du corps de soupape.

La décision est alors prise par « B » de le retirer pour tenter une réparation.

Vers 13 h, deux blocs de béton sont empilés l'un par-dessus l'autre, près du garage, à l'aide de la chargeuse. Pour ce faire, l'opérateur est aux commandes de la chargeuse, tandis que M. « B » arrime les blocs au godet à l'aide de chaînes de levage.

Ensuite, l'opérateur dépose le godet à plat sur les blocs de béton, à une hauteur d'environ 1,2 m (48 po) et il applique les freins avant de couper le moteur de la chargeuse. Il appuie sur les leviers de commande des vérins hydrauliques afin de libérer la pression hydraulique accumulée.

Deux blocs de bois sont installés derrière les pneus de la chargeuse afin de les caler.

M. « B » explique à l'opérateur de la chargeuse quels boyaux retirer en procédant en dessous des bras de levage.

Monsieur « D » les rejoint sous les bras de levage pour prendre part à la discussion. Il y a déjà les deux boyaux hydrauliques des vérins de levage de défaits à ce moment.

Ensuite, M. « D », en compagnie de M. « B », quitte pour se diriger à la carrière afin d'observer un autre équipement.

Vers 15 h 15, un mécanicien présent dans le garage entend un bruit qui s'apparente à de l'huile qui gicle suivi d'un fort bruit d'impact.

Il se rend à l'extérieur du garage et constate que le godet est pratiquement au sol et que M. « C » est coincé sous les bras de levage de la chargeuse.

Les services d'urgence et l'employeur sont contactés. Diverses manœuvres pour sortir le travailleur coincé sont entreprises.

Le travailleur est transporté à l'hôpital par ambulance. Son décès est constaté vers 17 h 30.

4.2 Constatations et informations recueillies

4.2.1 Chargeuse

- Préalablement à l'accident, la chargeuse *Caterpillar 980F* est utilisée à une autre carrière exploitée par l'employeur, à Saint-Alphonse-Rodriguez, également dans la région de Lanaudière.
- La fuite d'huile hydraulique est connue depuis environ un mois. Comme elle ne nuit pas au fonctionnement de la chargeuse, l'employeur planifie d'effectuer la réparation une fois qu'elle sera rapportée à la carrière de Sainte-Émélie-de-l'Énergie. La chargeuse est rapportée dans la semaine précédant l'accident. Le 8 septembre 2014, l'opérateur de la chargeuse rapporte le véhicule au garage de l'entreprise afin de faire diagnostiquer et réparer la fuite.
- Outre la fuite à l'origine de la réparation, la chargeuse est en bon état de marche. L'inspection effectuée par un technicien de *Hewitt Équipement* le 10 septembre 2014 confirme que tous les systèmes sont fonctionnels.
- L'essai effectué confirme qu'il y a une fuite d'huile hydraulique sous le corps de soupape lorsque le système force pour déplacer les bras de levage. Cependant, cette fuite est qualifiée de mineure, car elle ne génère pas de mouvements intempestifs des bras de levage ou du godet.
- Le travailleur utilisait couramment cette chargeuse. Il comptait « » d'expérience chez l'employeur en tant qu'opérateur de chargeuse. Il avait déjà procédé à des travaux d'entretien sur celle-ci.

4.2.2 Système hydraulique

- La chargeuse sur pneus *Caterpillar 980F* possède trois groupes de vérins hydrauliques. Le premier groupe de vérins commande l'articulation de la chargeuse et est localisé sous la cabine du conducteur. Un deuxième groupe de deux vérins commande la levée et la descente des bras de levage. Un troisième groupe de deux vérins commande l'inclinaison du godet de la chargeuse et c'est grâce à eux que la chargeuse peut ramasser ou déposer du matériel à l'aide du godet.
- Le système hydraulique de la chargeuse fonctionne grâce à un seul réseau de distribution (réservoir) qui alimente deux pompes hydrauliques. La première alimente le système de servodirection (articulation) et la seconde pompe alimente le système de levage (bras de levage et bras d'inclinaison).
- Les valves de contrôle des vérins d'inclinaison et des vérins de levage sont regroupées dans le corps de soupape qui se trouve à l'avant de la chargeuse, sous les bras de levage.

- Les leviers dans la cabine de la chargeuse actionnent une série de valves, de ressorts et d'actuateurs. Ceux-ci font fluctuer la quantité d'huile hydraulique qui circule dans le circuit.
- Cette fluctuation de la quantité d'huile dans la canalisation des vérins provoque une variation de pression dans les vérins, ce qui amène la tige du vérin à s'étirer ou à se rétracter.
- Lorsque le godet de la chargeuse est en appui au sol, la zone entre les bras de levage et la structure de la chargeuse, donnant accès au corps de soupape, est insuffisante pour permettre à un humain d'y accéder.

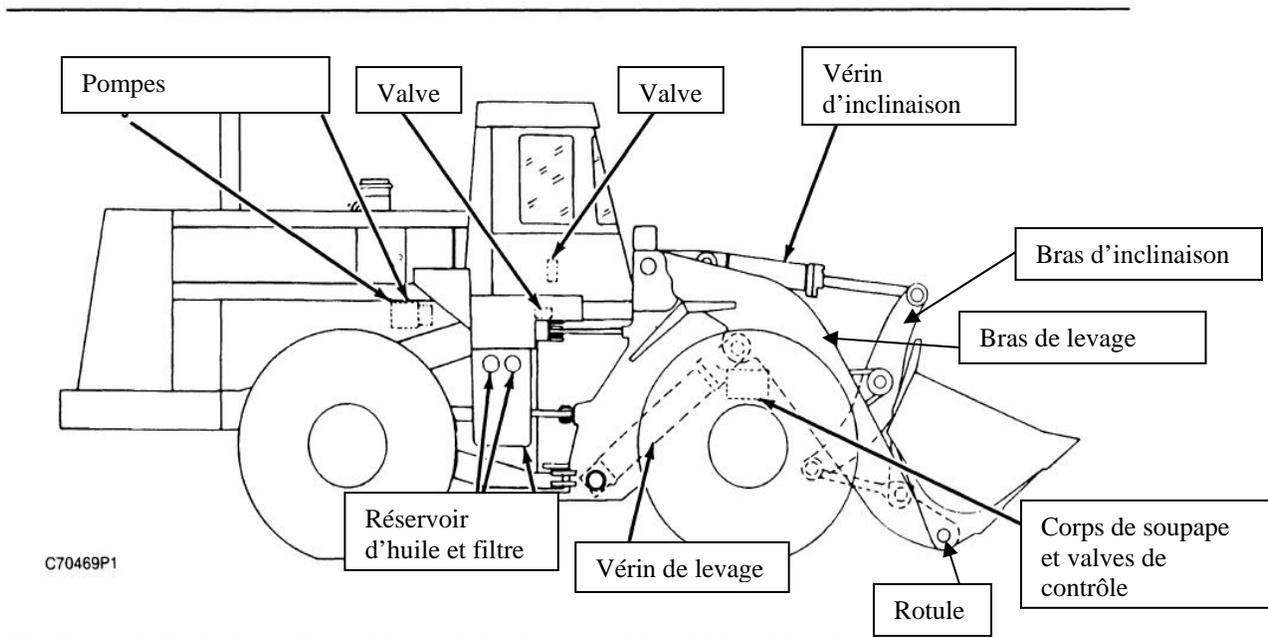


Figure 2 : Localisation des principales composantes hydrauliques de la chargeuse (source : Hewitt)

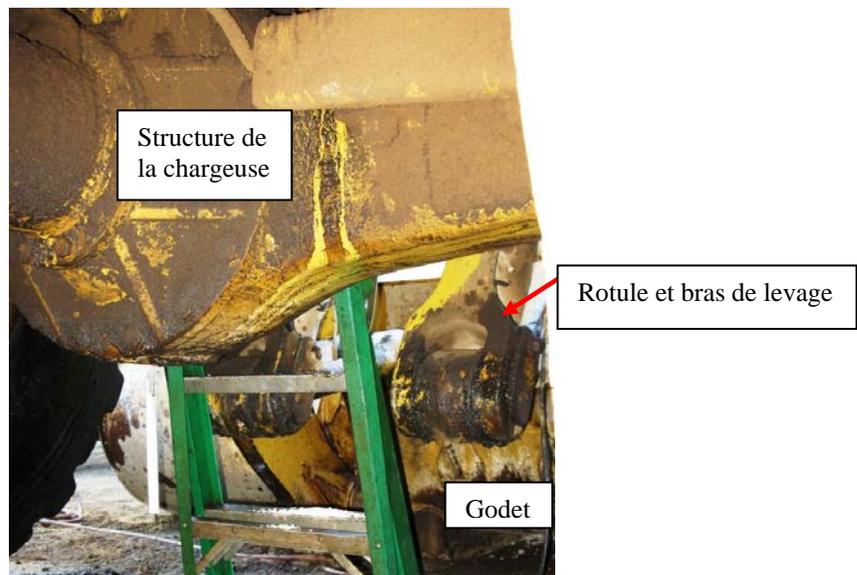


Photo 4 : Zone entre les bras de levage et la structure, godet au sol (source : CSST)

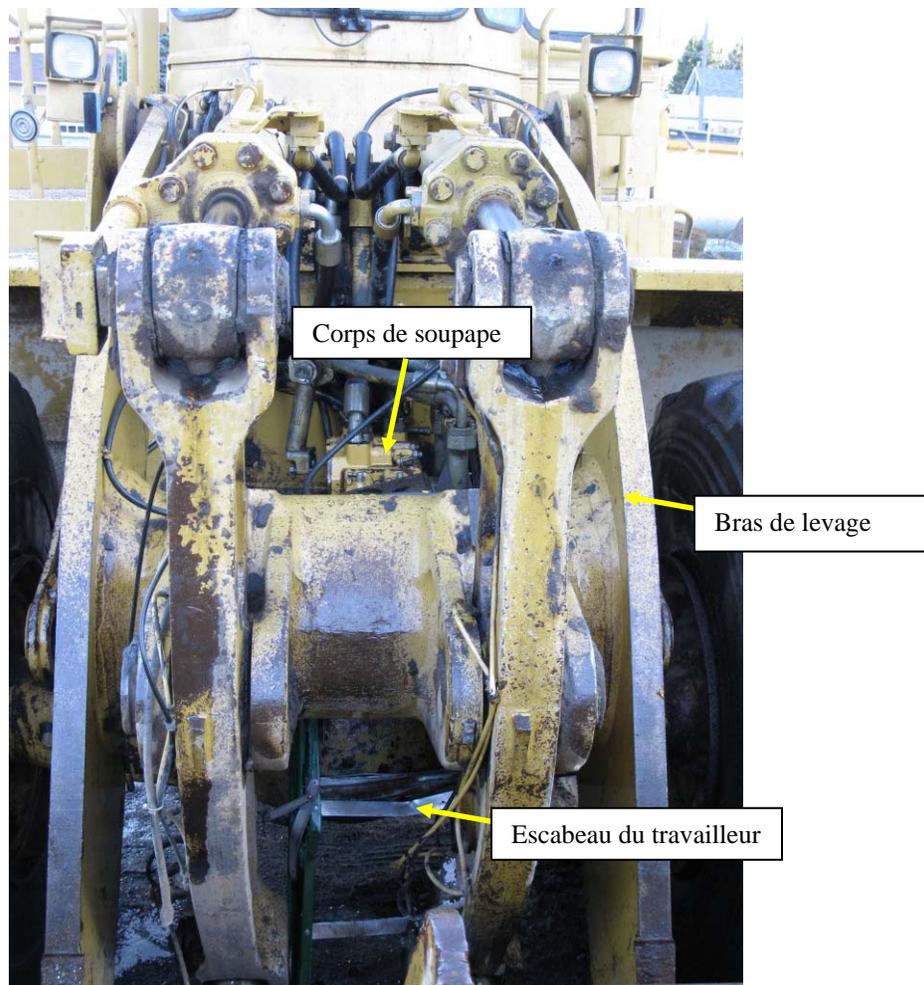


Photo 5 : Zone entre les bras de levage et la structure, vue du haut (source : CSST)

4.2.3 Méthode de travail pour remplacer le corps de soupape

4.2.3.1 Méthode de travail utilisée par l'employeur

- La méthode retenue par l'employeur pour retirer le corps de soupape est de soulever le godet et le déposer sur deux blocs de béton empilés l'un sur l'autre, à environ 120 cm de hauteur, afin de libérer suffisamment d'espace pour que le travailleur puisse se glisser sous les bras de levage et atteindre la pièce à retirer. Cette manœuvre est réalisée à deux travailleurs : un qui opère la chargeuse et un autre qui guide l'empilage.
- Afin de purger l'énergie résiduelle (pression d'huile) présente dans le système hydraulique, l'opérateur pousse sur les leviers de contrôle du godet et des bras de levage. Le moteur de la chargeuse est mis à l'arrêt.
- Ce n'est pas la première fois que des réparations ont lieu sur cette pièce de la chargeuse sur pneus. Selon les témoignages recueillis, deux méthodes différentes ont déjà été employées : dépôt du godet sur une surface solide (bloc de béton, de bois, tas de pierres) à une hauteur suffisante pour libérer un espace d'accès, ou par coincement du godet à l'intérieur de la benne du concasseur primaire à la carrière.
- L'employeur ne possède pas d'outil ou de dispositif de retenue conçu spécifiquement pour retenir le godet et les bras de levage en position relevée lors d'interventions sur le système hydraulique.

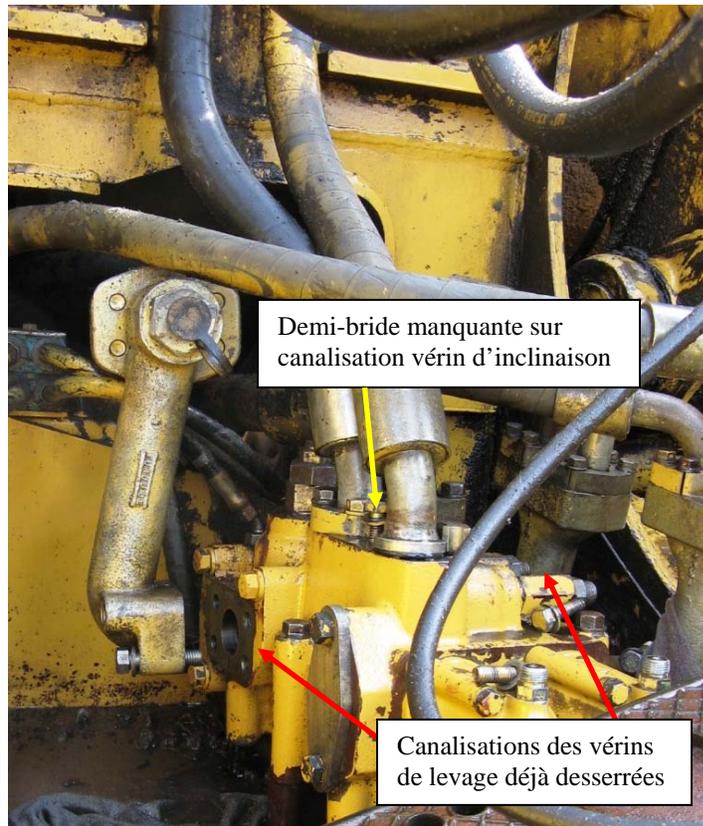


Photo 6 : Démantèlement des boyaux sur le corps de soupape (source : CSST)

4.2.3.2 Méthode de travail suggérée par le fabricant

- La méthode suggérée par le fabricant pour retirer le corps de soupape est détaillée dans une procédure de travail, fournie sur demande, par le département technique de *Hewitt*. La version anglaise de cette procédure de travail s'intitule : « *Remove & Install Loader Control Valve* ». Cette procédure n'est pas incluse dans le manuel d'entretien fourni avec la chargeuse, car ce n'est pas une tâche courante.
- La première étape consiste à appuyer les bras de levage, au niveau de la rotule du godet, à l'aide de chandelles. Ceci permet de supporter les bras de levage à partir d'un point fixe.
- Ensuite, il faut positionner le godet à la position inclinée « dump », de manière à ce que les vérins d'inclinaison soient rétractés. Ceci prévient les mouvements intempestifs des vérins.

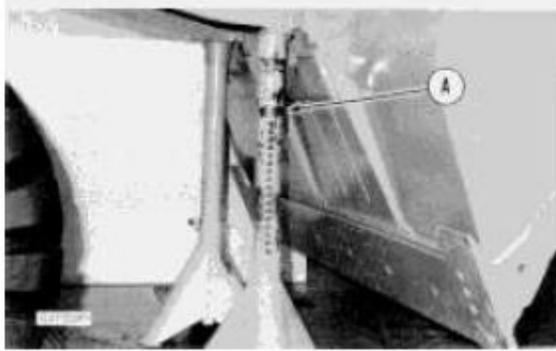


Photo 7 : Appui des bras de levage sur des chandelles selon la procédure du fabricant (source : Hewitt)

- Il faut aussi verrouiller l'articulation de la chargeuse, éteindre le moteur et relâcher la pression hydraulique accumulée dans le système hydraulique.
- La pression hydraulique est purgée du système de la façon suivante : déplacer le levier des bras de levage à la position « Float », arrêter le moteur, ensuite déplacer le levier des bras de levage à la position « Hold ». Ensuite, retirer le bouchon de remplissage du réservoir d'huile hydraulique et desserrer les bouchons à l'arrière des vérins d'inclinaison pour y laisser couler l'huile. Lorsque l'huile ne s'écoule plus, c'est que la pression du système hydraulique a été purgée. Il faut remettre les bouchons sur les vérins d'inclinaison et sur le bouchon de remplissage du réservoir.
- Ensuite, procéder au retrait du corps de soupape en suivant les étapes décrites par le fabricant.

4.2.4 Phénomène de recul du godet

Un mandat d'expertise interne a été réalisé afin d'expliquer ce qui a provoqué le recul du godet au moment de l'accident et pour qualifier l'état d'équilibre du godet lorsqu'il a été déposé sur les deux blocs de béton. Les éléments suivants permettent de comprendre le phénomène de recul du godet :

- Le godet est déposé sur les blocs de béton parallèlement au sol. Ils sont placés environ au centre du godet, sur le plat du godet.
- Il y a de la pression dans le circuit des vérins d'inclinaison, car ils sont en extension lorsqu'appuyés sur les blocs.
- Lorsque le travailleur retire une demi-bride de la canalisation hydraulique des vérins d'inclinaison, un joint d'étanchéité perd sa rétention et il s'en suit une fuite d'huile hydraulique. Cette perte de fluide hydraulique cause une diminution de la pression du circuit des vérins d'inclinaison.
- Ceci fait basculer le godet vers le haut, déplace le centre de gravité de l'ensemble de façon à exercer une force de poussée sur le bloc du haut et fait chuter le bras de levage au sol.

- Sous l'effet de cette force, le bloc de béton du haut fait une rotation de 180° et tombe devant l'autre bloc.
- Les blocs de béton possèdent un anneau sur le dessus afin de les manipuler. De par son emplacement sur les blocs, nous avons pu déterminer leur mouvement lors de la chute du godet.
- Le bras applique une force sur le bloc inférieur qui fait une rotation de 90° dans le sens antihoraire. Le talon du godet est appuyé au sol, mais des dents sont appuyées sur le bloc lorsque les premiers répondants arrivent sur les lieux.



Photo 8 : Traces laissées par les dents du godet sur le bloc inférieur (source : CSST)

- Avant l'accident, lorsque le godet était déposé sur les blocs de béton, le système était en équilibre statique. Les blocs de béton supportaient la charge du bras de levage et du godet, peu importe le positionnement des blocs sous le godet.
- Lorsqu'il n'y a pas de pression dans les vérins (inclinaison et levage), le point entre les bras de levage et les bras d'inclinaison ainsi que le point entre le godet et les bras de levage agissent comme des rotules pouvant pivoter librement.
- Le poids du godet (env. 3840 kg) est supérieur à celui d'un bloc de béton (env. 1000 kg) et les bras de levage ont un poids d'environ 2000 kg chacun.
- Le centre de gravité des blocs de béton est localisé au centre géométrique de ceux-ci, tandis que celui de l'ensemble bras de levage – vérins – godet est localisé à gauche de la rotule liant le bras de levage et le godet, à droite du centre géométrique du bras de levage.
- Lorsque la dernière demi-bride est retirée et que le système devient libre de tout mouvement, les poids et les centres de gravité des éléments impliqués font en sorte que le godet pivote vers le haut. L'ensemble bascule vers le sol, vers la chargeuse, pour revenir à un point d'équilibre.

4.2.5 Recherche documentaire

Les accidents graves ou mortels survenus par écrasement durant des travaux sur le système hydraulique de chargeuses sont largement documentés au Québec et ailleurs.

- De 1996 à 2009, la CSST a enquêté sur 5 décès survenus à la suite d'une descente soudaine des bras de levage d'une chargeuse au cours d'une réparation.
- Une brève recherche de cas similaires dénote 3 décès dans les mêmes circonstances aux États-Unis, de 2005 à 2012.

Dans tous les cas, une retenue insuffisante du système de levage et une fuite d'huile hydraulique étaient en cause. Au cours des dernières années, d'autres accidents similaires impliquant des forces hydrauliques ont aussi mis en cause des chariots élévateurs, des bennes de camion ou d'autres engins de chantier. Ces accidents sont survenus à des mécaniciens ou à des travailleurs qui assistent les mécaniciens durant les travaux.

Selon *Emploi-Québec*, le métier de mécanicien d'engin de chantier est un métier où la qualification n'est pas obligatoire. Il s'agit d'un métier où un certificat de qualification professionnelle peut être obtenu de façon volontaire, après avoir obtenu un diplôme d'études professionnelles en mécanique d'engins de chantier, en complétant un carnet d'apprentissage en milieu de travail. Un tel certificat est souvent exigé pour les travailleurs affectés sur les chantiers de construction, mais pas dans les autres milieux de travail. Donc, des tâches de réparation mécanique réalisées sur les chargeuses par des non-mécaniciens sont possibles et tolérées, pour autant que ces derniers aient les connaissances pour le faire.

4.3 Énoncés et analyse des causes

4.3.1 Le travailleur s'installe dans une zone dangereuse pour procéder au démantèlement du corps de soupape de la chargeuse.

Le travailleur est mandaté par son employeur pour retirer le corps de soupape de la chargeuse. Une fuite est présente depuis un bon moment. Elle ne nuit pas au bon fonctionnement de la chargeuse, mais provoque des pertes d'huile non désirées dans l'environnement. L'employeur profite du déménagement de la chargeuse pour tenter de résoudre le problème et demande à l'opérateur d'amener la chargeuse au garage.

Les caractéristiques de la chargeuse font en sorte qu'il n'est pas possible d'accéder au corps de soupape de la chargeuse lorsque le godet est déposé au sol. Il est nécessaire de relever les bras de levage pour créer un endroit suffisamment grand afin qu'un humain puisse s'insérer dans la zone pour pouvoir procéder au démantèlement du corps de soupape de la chargeuse. Cette tâche avait déjà été réalisée précédemment, sans utiliser la méthode de travail mise en cause dans l'accident.

Le poids des composantes qui sont appuyées sur les blocs de béton pour effectuer le travail est de plusieurs milliers de kilogrammes.

Au moment d'amorcer les travaux, les composantes sont en équilibre statique. Cet équilibre est rompu aussitôt que les canalisations sont desserrées, ce qui situe le travailleur dans un emplacement dangereux.

Lorsque le travailleur est présent sous les bras de levage, il se trouve sous une charge d'au moins 4000 kilogrammes qui est maintenue en place par la force appliquée par les vérins d'inclinaison. Il se trouve alors directement exposé à un danger d'écrasement. De plus, l'emplacement du travailleur dans l'ouverture créée entre les bras de levage et la structure de la chargeuse ne lui laisse pratiquement aucune possibilité d'évitement.

La réglementation et les bonnes pratiques suggèrent d'entreprendre tout travail d'entretien mécanique à énergie zéro, c'est-à-dire que toutes les énergies hydrauliques, pneumatiques et électriques doivent être neutralisées et l'énergie emmagasinée doit être libérée. Lorsqu'il ne s'avère pas possible de faire autrement, il faut prévoir des mécanismes qui offrent une sécurité équivalente. C'est ce que recommande la méthode de travail du fabricant, en appuyant les bras de levage sous la rotule du godet.

La manière utilisée pour appuyer le godet sans appuyer les bras de levage témoigne d'une méconnaissance des énergies impliquées et de la façon de les neutraliser.

Ignorant l'équilibre précaire de son installation, le travailleur s'est installé dans une zone dangereuse d'où il n'avait pas de possibilité de ressortir.

Cette cause est retenue.

4.3.2 La perte soudaine de pression hydraulique libère la rotule qui relie le godet au bras de levage modifiant l'état de l'équilibre des bras de levage de la chargeuse et entraîne le godet au sol.

Avant que la victime commence le travail sur la canalisation hydraulique des vérins d'inclinaison du godet, le système est en équilibre statique. Le godet est appuyé sur les blocs de béton et rien ne bouge. Ceci malgré le fait que le poids des bras de levage soit supérieur au poids du godet et que le tout soit déposé à une hauteur d'environ 1,2 m du sol. Avec l'aménagement des lieux tel qu'il est au moment de l'accident, toute la charge est alors exercée sur les rotules du godet et sur les vérins d'inclinaison.

Dès que le travailleur a desserré la première demi- bride du circuit hydraulique des vérins d'inclinaison, le joint d'étanchéité a perdu sa rétention. Il s'en est suivi une projection soudaine de fluide hydraulique, à une pression telle qu'elle a été entendue par le travailleur dans le garage préalablement à la chute du godet. Lorsque l'huile hydraulique s'est écoulee hors du circuit hydraulique des vérins, il s'en est suivi une perte de pression dans les vérins d'inclinaison. Ceci a donc modifié l'état d'équilibre des bras de levage et du godet.

Le godet bouge grâce aux rotules qui le relient au bras de levage et à une autre paire de rotules qui sont reliées aux vérins d'inclinaison. L'extension des vérins d'inclinaison fait bouger le godet vers le haut et la contraction des vérins ramène le godet vers le bas.

La perte de pression survenue après la projection de fluide hydraulique a eu pour effet de libérer les rotules qui relient les bras de levage au godet, permettant ainsi une rotation de la rotule. Aucun élément physique (ex. chandelle) n'empêche cette rotation, contrairement à ce que recommande le fabricant.

Puisque le poids combiné des bras de levage et des vérins est supérieur à celui du godet, le centre de gravité de l'ensemble est localisé entre le centre des bras de levage et la gauche de la rotule.

La rotule entre les bras de levage et le godet étant devenue libre de tout mouvement combiné au poids des composantes et à leur hauteur, a eu comme conséquence de faire basculer le godet vers le haut en l'entraînant au sol. Par conséquent, les bras de levage s'appuient soudainement sur le bâti en écrasant le travailleur.

Cette cause est retenue.

4.3.3 La gestion de la santé et de la sécurité concernant les travaux d'entretien et de réparation de la machinerie lourde est déficiente.

Le jour de l'accident, la décision de réparer la fuite d'huile sur le corps de soupape de la chargeuse alors qu'elle était déplacée de site a été prise par M. « B ». Cependant, il n'y a pas eu de planification préalable concernant ce travail, pour déterminer la méthode de travail à employer ou pour évaluer si tout le matériel pour réaliser le travail était disponible.

Le (.....), M. « B », explique au fur et à mesure au travailleur quelle était la séquence des travaux et comment procéder. M. « C » n'a pas de formation de mécanicien. Il compte (.....) d'expérience à l'opération des chargeuses et a acquis diverses connaissances lui permettant d'exécuter des tâches d'entretien sur la chargeuse, sans plus.

Les témoignages recueillis indiquent que M. « C » a voulu libérer l'énergie résiduelle du circuit hydraulique avant d'amorcer les travaux. Pourtant, en installant le godet sur les blocs de béton, les vérins d'inclinaison étaient en extension, il y avait donc de l'énergie d'emmagasinée dans le circuit hydraulique. Cette façon de faire ne s'apparente pas à la procédure du fabricant et démontre une méconnaissance des énergies hydrauliques.

Une procédure de travail a été élaborée par le fabricant pour procéder au démantèlement du corps de soupape sur la chargeuse. Cette procédure explique également comment neutraliser l'énergie hydraulique du système de levage. La procédure n'est pas incluse dans le manuel de l'équipement. Elle est fournie sur demande par le service technique de *Hewitt* puisqu'il ne s'agit pas d'une tâche d'entretien courante et elle présente une

certaine complexité. L'employeur ne s'est pas informé de l'existence de cette procédure de travail auprès du fabricant avant d'entreprendre les travaux.

Peu avant l'accident, M. « B » et M. « D » ont été sous les bras de levage en présence de la victime, alors que le godet était appuyé sur les blocs de béton. Personne ne s'est questionné sur la stabilité et la résistance de l'appui avant de s'installer dans la zone de travail, alors que le démantèlement du corps de soupape était amorcé.

À défaut de communiquer avec le fabricant pour s'enquérir de la bonne méthode de travail, une analyse des risques inhérents au démantèlement du corps de soupape sur la chargeuse aurait permis d'identifier le danger d'écrasement. L'évaluation de la façon de sécuriser la zone de travail (sous les bras de levage) n'a pas été réalisée avant le début des travaux. Le godet a été appuyé sur des éléments qui se trouvaient à proximité (des blocs de béton), tout comme cela avait été déjà fait dans le passé.

Le programme de prévention de l'établissement ne contient pas de moyens de prévention spécifiques aux réparations effectuées sur la machinerie lourde, ni sur les systèmes hydrauliques. Les réparations sont parfois improvisées sur le site (ex. carrière) avec ce qui est disponible sur les lieux.

Une bonne gestion de la santé et de la sécurité du travail aurait amené l'employeur à analyser toutes les tâches exécutées par les travailleurs dans le programme de prévention. Même s'il s'agit d'une tâche qui se fait rarement, l'employeur a l'obligation de contacter le fabricant de l'équipement, ou une personne compétente, pour avoir une assistance. La manière de réparer le corps de soupape de la chargeuse a été improvisée. Une méthode de travail sécuritaire appliquée ou élaborée aurait permis d'éviter l'accident.

Cette cause est retenue.

SECTION 5

5 CONCLUSION

5.1 Causes de l'accident

L'enquête et l'analyse permettent de retenir les causes suivantes :

- Le travailleur s'installe dans une zone dangereuse pour procéder au démantèlement du corps de soupape de la chargeuse.
- La perte soudaine de pression hydraulique libère la rotule qui relie le godet au bras de levage modifiant l'état de l'équilibre des bras de levage de la chargeuse et entraîne le godet au sol.
- La gestion de la santé et de la sécurité concernant les travaux d'entretien et de réparation de la machinerie lourde est déficiente.

5.2 Autres documents émis lors de l'enquête

Le rapport RAP0931044 interdit de déplacer la chargeuse afin de conserver la scène d'accident intacte pour les besoins de l'enquête.

Le rapport RAP0931048 du 22 septembre 2014 autorise le déplacement de la chargeuse et interdit à l'employeur d'effectuer la réparation sur le corps de soupape tant qu'il ne soumet pas une méthode de travail sécuritaire aux inspecteurs.

Le rapport RAP0893460, émis le 17 octobre 2014, autorise d'effectuer la réparation après que l'employeur ait soumis sa méthode de travail.

Le rapport RAP0893451 est également produit à la suite d'une expertise effectuée sur la chargeuse et à la collecte de données sur les lieux de l'accident les 9 et 10 septembre 2014.

5.3 Recommandations

Dans le cadre de son partenariat avec la CSST visant l'intégration de la santé et de la sécurité au travail dans la formation professionnelle et technique, le ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport diffusera le rapport d'enquête, à titre informatif et à des fins pédagogiques, dans les établissements de formation qui offrent les programmes d'études *Mécanique d'engins de chantier* et *Conduite d'engins de chantier*.

ANNEXE A

Accidenté

ACCIDENTÉ

Nom, prénom : M. « C »

Sexe : (.....)

Âge : (.....) ans

Fonction habituelle : (.....)

Fonction lors de l'accident : Opérateur de chargeuse

Expérience dans cette fonction : (.....)

Ancienneté chez l'employeur : (.....)

Syndicat : (.....)

ANNEXE B

Croquis

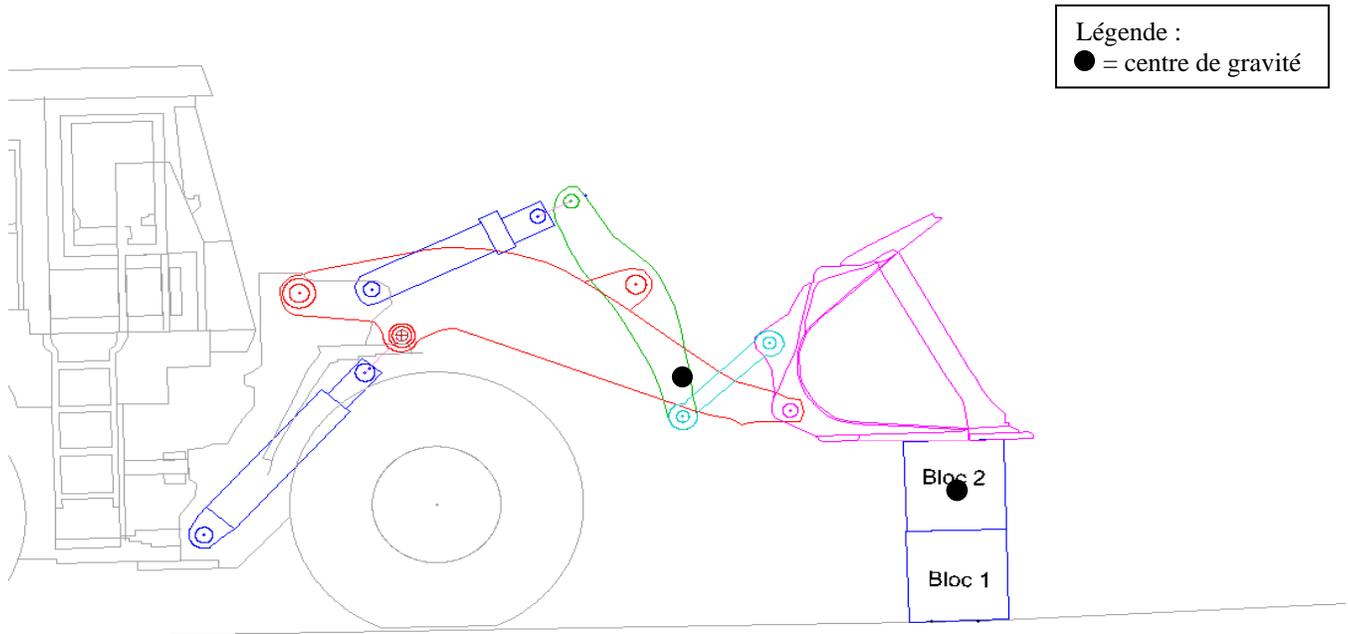


Figure 3 : Position initiale du godet et des blocs de béton (source : CSST)

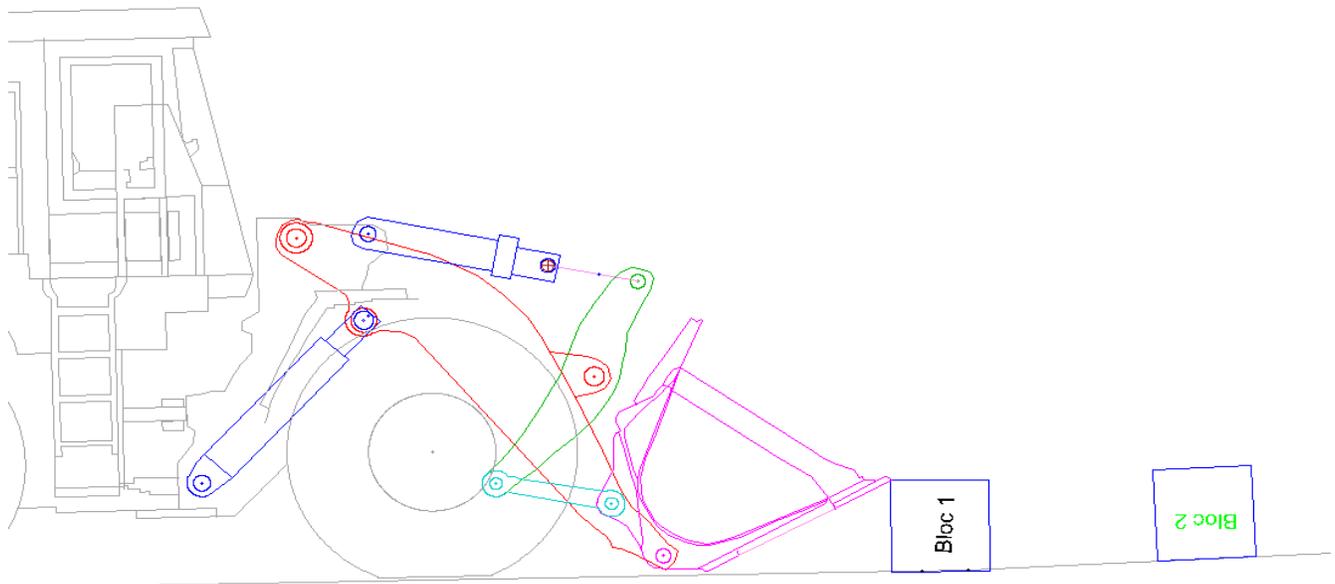


Figure 4 : Position finale du godet et des blocs de béton (source : CSST)

ANNEXE C

Liste des témoins et des autres personnes rencontrées

Monsieur « A »

Monsieur « D »

Monsieur « B »

Monsieur « E »

Monsieur « F »

Monsieur « G »

Monsieur Jean-François Bruneau, directeur services incendies, *Municipalité St-Jean de Matha*

Madame Mylène Désilets-Commeau, agente, *Sûreté du Québec*

Monsieur Jean jr Déziel, enquêteur, *Sûreté du Québec*

Monsieur « H », spécialiste technique, *Hewitt*

Monsieur « I », technicien, *Hewitt*

ANNEXE D

Rapport d'expertise interne



RÉSEAU D'EXPERTISE
EN PRÉVENTION-INSPECTION

RAPPORT D'EXPERTISE

**Titre du rapport : Étude du basculement
d'un godet de chargeuse Caterpillar
980F (Ste-Émélie-de-l'Énergie)**

Rapport présenté à

René Beaumont, DSS

Odile Lamarche, inspectrice

Martin Rondeau, inspecteur

Lanaudière

Préparé par

Sorina Rachiteanu, ing.

Conseillère en prévention-inspection / DGPIP

et

Jean-François Desmarais, ing.

Conseiller expert en prévention-inspection / DGPIP

Le 15 décembre 2014

Table des matières

- 1. Mise en contexte**
- 2. Description du mandat**
- 3. Méthodologie**
- 4. Informations recueillies**
- 5. Hypothèses**
- 6. Analyse**
- 7. Conclusion**
- 8. Références**
- 9. Annexe 1 – Données recueillies**
- 10. Annexe 2 – Simulation QCAD**
- 11. Annexe 3 – Calculs abrégés**

1. Mise en contexte

Le 8 septembre 2014, suite à la détection d'une fuite au niveau de la valve de contrôle des circuits hydrauliques d'une chargeuse, un opérateur procède à sa réparation. Lors de la réparation, le godet et le bras de levage bougent et le bras de levage écrase l'opérateur contre le châssis de la chargeuse. Le travailleur est décédé. Dans le cadre de l'enquête d'accident réalisée par la CSST, une expertise a été demandée dans le but d'expliquer l'événement accidentel.



Figure 1 - Chargeuse suite à l'accident

2. Description du mandat

Le mandat consiste à :

- expliquer le phénomène de recul du godet qui s'est produit lors de l'accident et des forces impliquées à ce moment;
- déterminer la stabilité (état d'équilibre) du godet lorsqu'il est appuyé sur deux blocs de béton.

3. Méthodologie

Les activités suivantes ont été réalisées :

- prise de connaissance du dossier d'intervention (DPI 4207097) et des photographies prises par les inspecteurs;
- visite des lieux de l'accident le 22 septembre 2015;
- prise de connaissance des documents du fabricant;
- à partir des données recueillies, une modélisation de la chargeuse a été effectuée avec le logiciel QCAD;
- à partir de la position finale (après l'accident), de la chargeuse et du bloc de béton inférieur, il a été possible de faire la simulation du mouvement pour revenir à la position initiale approximative du godet et des blocs de béton (voir annexe 2 pour la simulation QCAD).

4. Informations recueillies

Description de la chargeuse :

- Caterpillar, n° de modèle 980F, n° de série:
- Poids de la chargeuse, 28 tonnes métriques.
- Capacité de chargement, environ 18 tonnes métriques.

Les masses et autres données sont montrées à l'annexe 1.

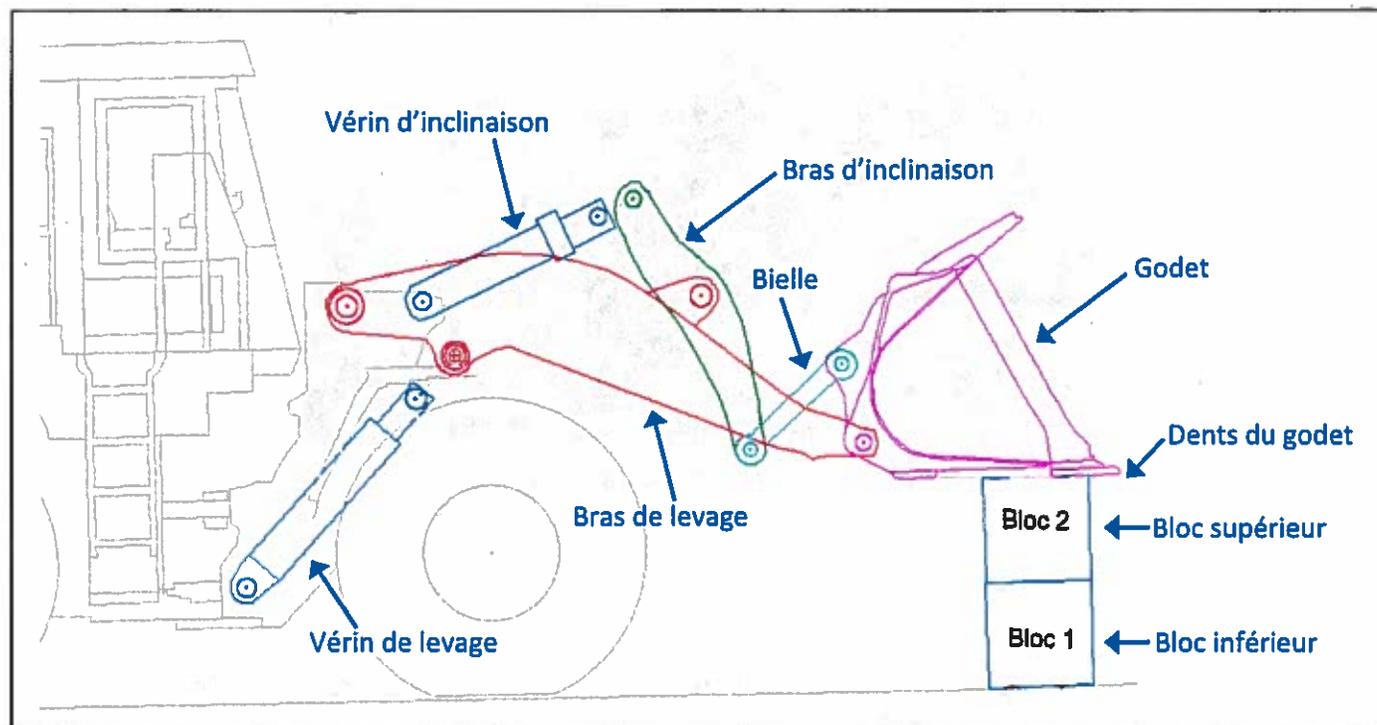


Figure 2 - Composantes de la chargeuse

Position de la chargeuse avant l'accident (position initiale) :

- la chargeuse est stationnée sur une surface de terre battue, relativement à niveau, adjacente au garage;
- le bras de levage est soulevé;
- le godet est déposé parallèle au sol, sur deux blocs de béton (609 mm L x 609 mm H x 1219 mm P) superposés;
- les blocs sont situés près du centre du godet (tel que montré à la figure 2);
- le frein de stationnement est en fonction;
- les vérins d'inclinaison sont alimentés par un circuit hydraulique commun sans séparation, donc en cas de fuite de fluide hydraulique, les deux vérins se vident simultanément.

Séquence d'évènements probable au moment de l'accident :

- l'opérateur a enlevé une demi-bride de la canalisation hydraulique;
- le joint d'étanchéité a perdu son étanchéité;
- une fuite de fluide hydraulique a eu lieu;
- la pression dans les vérins d'inclinaison a diminué;
- le godet a amorcé une rotation autour du point d'attache au bras de levage et le bras de levage s'est abaissé.

Position de la chargeuse après l'accident (position finale) :

- le bloc de béton supérieur est tourné de 180 degrés et est situé devant le bloc inférieur;
- le bloc de béton inférieur est tourné de 90 degrés en sens antihoraire;
- le bras de levage est descendu;
- le godet est descendu jusqu'au sol, mais il est incliné et les dents sont appuyées sur le bloc de béton inférieur.

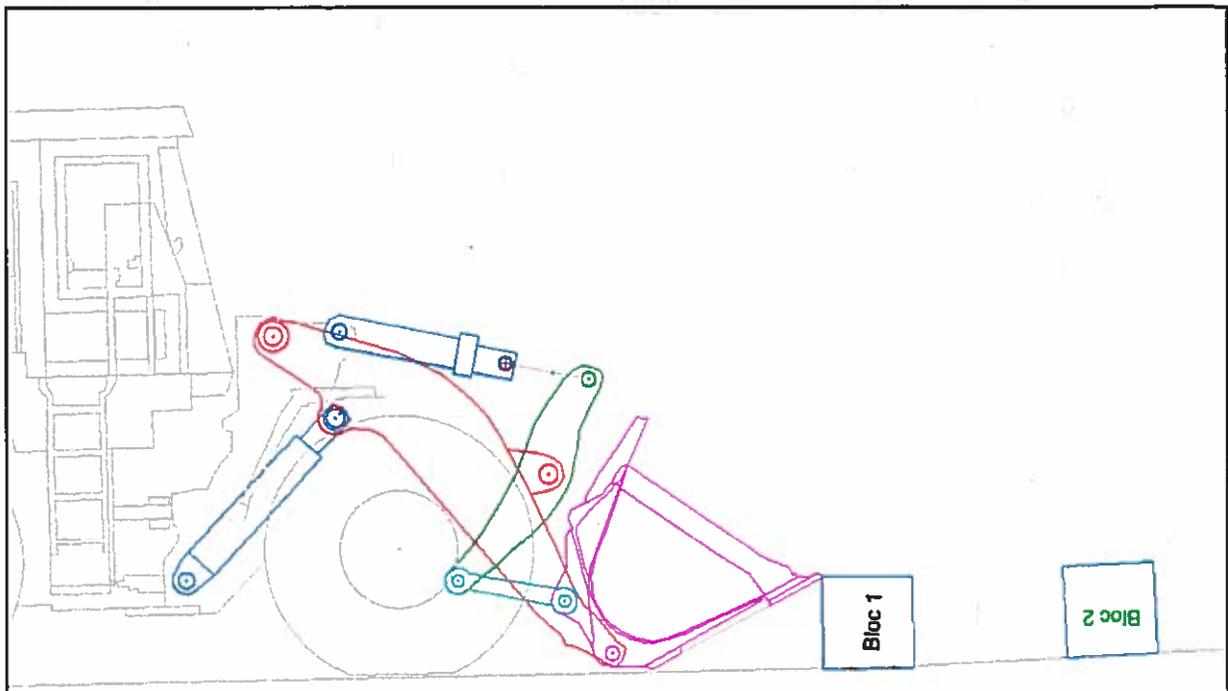


Figure 3 – Position de la chargeuse après l'accident

5. Hypothèses

Voici les hypothèses et approximations pour l'analyse de l'événement :

- la chargeuse ne s'est pas déplacée durant l'événement;
- la pression dans les vérins de levage est pratiquement nulle (lorsque le godet est déposé sur les blocs);
- il y a de la pression du côté « tige » dans les vérins d'inclinaison du godet (lorsque le godet est appuyé sur les blocs);
- la pression dans les vérins d'inclinaison est nulle après la fuite de fluide hydraulique;
- les positions des centres de masse ne sont pas connues et ils ont été approximés par géométrie.

6. Analyse

Pour mieux comprendre l'état d'équilibre durant l'accident, voici les trois situations simplifiées de la chargeuse.

Situation 1 :

Le godet est maintenu dans les airs avec les vérins de levage et avec les vérins d'inclinaison de la chargeuse.

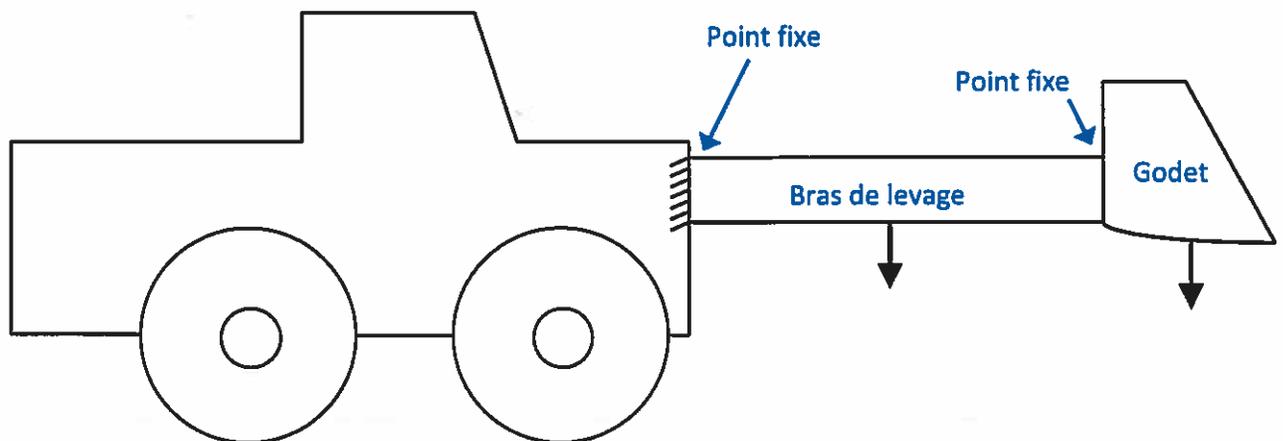


Figure 4 – Situation 1

La pression présente dans les vérins (levage et inclinaison) fait en sorte que le système est en équilibre statique. Il s'agit d'un système simple semblable à une poutre fixe en porte-à-faux.

C'est la situation simplifiée qu'on retrouve lorsque la chargeuse est utilisée pour travailler.

Situation 2 :

Le godet est maintenu dans les airs en étant déposé sur les deux blocs de béton et il y a de la pression dans les vérins d'inclinaison seulement.

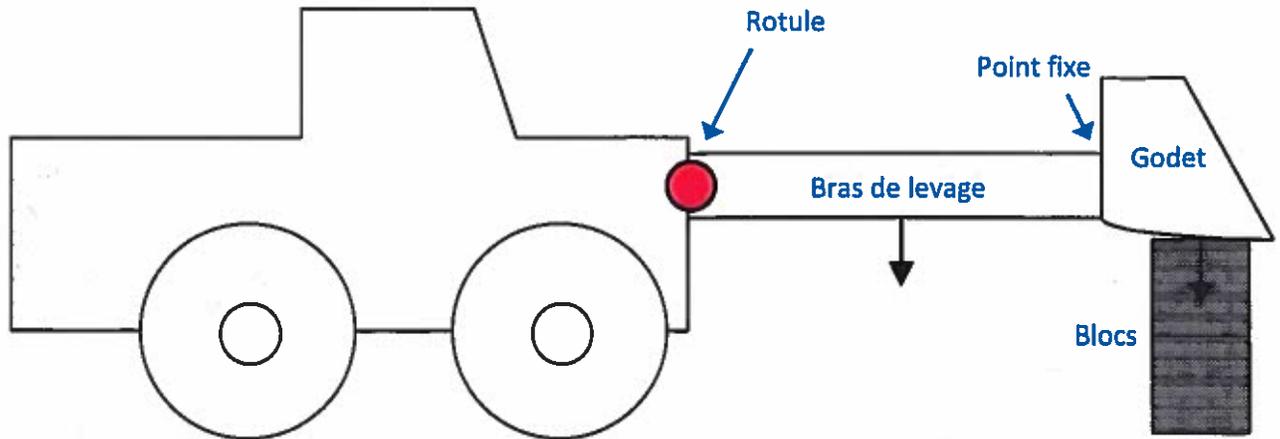


Figure 5 – Situation 2

Il n'y a aucune pression dans les vérins de levage, donc le point entre le bras de levage et la chargeuse agit comme une rotule. Tandis que la pression présente dans les vérins d'inclinaison fait en sorte que le point entre le godet et le bras de levage est fixe. Les blocs supportent le poids du bras de levage et du godet. En effet, le point d'appui godet-bloc étant devant les points d'attache godet-bras de levage, un moment (effort) de rotation est généré. Les efforts sont transmis aux vérins d'inclinaison par le bras d'inclinaison. Le fluide hydraulique ne pouvant sortir des vérins (manette de contrôle au point neutre), la pression augmente de manière à résister au moment de rotation généré par les conditions d'appui. La liaison bras de levage-godet agit donc comme un point fixe. Le système est en équilibre statique.

C'est la situation qu'on retrouve lorsque l'opérateur appuie le godet sur les blocs et que de la pression est présente dans les vérins d'inclinaison, avant qu'il enlève la demi-bride de la canalisation hydraulique et cause la fuite de fluide. Avec la position initiale approximative avant l'accident, tel que modélisé avec le logiciel QCAD, des calculs ont été effectués pour cette situation (voir annexe 3).

Situation 3 :

Le godet est appuyé sur les deux blocs de béton et la pression dans les vérins d'inclinaison est nulle.

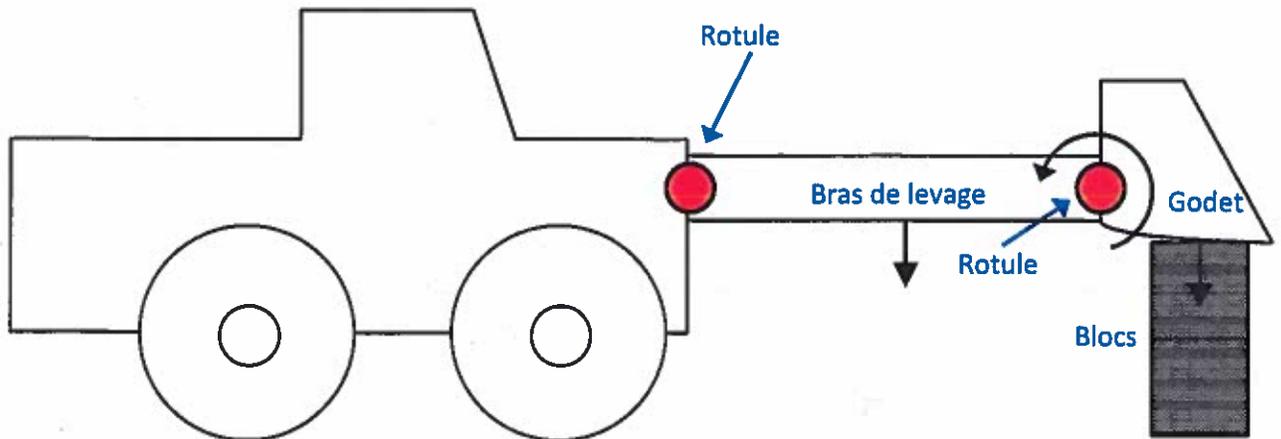


Figure 6 – Situation 3

Comme dans la situation 2, il n'y a aucune pression dans les vérins de levage, donc le point entre le bras de levage et la chargeuse agit comme une rotule. Au moment où la demi-bride est enlevée, le fluide hydraulique fuit et, donc il n'y a plus de pression dans les vérins d'inclinaison. Le point entre le godet et le bras de levage devient une rotule. Le système n'est plus en équilibre et les rotules ne sont pas bloquées, le système est libre. Le poids du bras de levage et du godet fait basculer le système vers la chargeuse.

Des calculs ont été effectués pour cette situation (voir annexe 3). La distance entre la rotule qui relie le godet au bras de levage et la position des blocs de béton crée un moment, dont l'intensité est en mesure de faire pivoter le godet autour de son axe.

7. Conclusion

Nous avons le mandat d'expliquer le phénomène de recul du godet qui s'est produit lors de l'accident et des forces impliquées à ce moment. Également, de déterminer la stabilité (état d'équilibre) du godet lorsqu'il est appuyé sur les deux blocs de béton.

Avec la simulation QCAD du godet appuyé sur les deux blocs de béton jusqu'à la position finale après l'accident, on constate le mouvement de basculement du godet après la fuite de fluide hydraulique des vérins d'inclinaison.

Suite à l'analyse de l'état d'équilibre pour diverses situations, il a été déterminé qu'avant la fuite de fluide hydraulique, lorsqu'il y avait de la pression dans les vérins d'inclinaison et que le godet était appuyé sur les blocs de béton, le système était en équilibre statique (situation 2). Avec la fuite de fluide hydraulique et la perte de pression des vérins d'inclinaison, le système n'est plus en équilibre et les rotules ne sont pas bloquées, le système est libre (situation 3). La rotation du godet vers le haut déplace la pression du point d'appui d'une charge verticale à une charge inclinée, ce qui pousse le bloc supérieur vers le garage et fait basculer le bloc inférieur vers la chargeuse. La distance entre la rotule qui relie le godet au bras de levage et la position des blocs de béton crée un moment et le poids du bras de levage et du godet fait basculer le système vers la chargeuse.

La simulation montre qu'il n'est pas nécessaire que la chargeuse se déplace vers l'arrière pour que le godet chute au sol. Il en est de même pour les pentes du sol.

On peut donc conclure que la perte de pression dans les vérins d'inclinaison a été l'élément déclencheur du déséquilibre du système qui a résulté à l'abaissement du bras de levage vers le sol et du godet vers la chargeuse.

D'ailleurs, lors d'une réparation de ce type, le fabricant recommande de soutenir avec des béquilles sous l'articulation du godet, d'enlever la pression de tous les vérins (levage et inclinaison), de baisser le godet en position "dump" et de bloquer l'articulation.

8. Références

CATERPILLAR. Operation & Maintenance Manual. 980F & 980F Series II Wheel Loader. 5XJ1-UP, 8CJ1-UP, 3HK1-UP, 4RN1-UP, 8JN1-UP. SEBU6408-01. August 1994.

CATERPILLAR. Specifications. 980F Wheel Loader, Hydraulic System. 5XJ1-UP, 8CJ1-UP, 3HK1-UP. SENR4996-01. December 1993.

CATERPILLAR. Systems Operation, Testing & Adjusting. 980F Wheel Loader, Hydraulic System. 5XJ1-UP, 8CJ1-UP, 3HK1-UP. SENR4997-01. March 1994.

CATERPILLAR. Disassembly & Assembly. 980F & 980F Series II Wheel Loaders, Machine Systems. 980F: 5XJ1-587, 8CJ1-UP, 3HK1-UP. 980F Series II: 5XJ588-UP, 4RN1-UP, 8JN1-UP. SENR4999. November 1991.

CATERPILLAR. Special Instruction. Repair of Wheel and Track Loader Lift Arms and Levers. SEHS8433-19. 12 May 2011.

9. Annexe 1 – Données recueillies

-Dessins reçus avec dimensionnement des pièces de la chargeuse (4 feuilles).

-Masse approximative du godet, 3 840 kg (mesuré avec la balance d'une chargeuse).

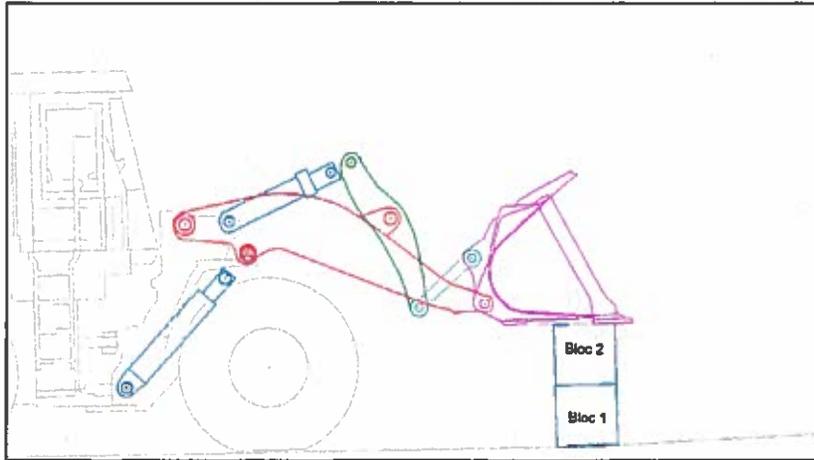
-Masse approximative d'un bloc de béton, 1 000 kg (mesuré avec la balance d'une chargeuse).

-Masses des pièces selon le fabricant :

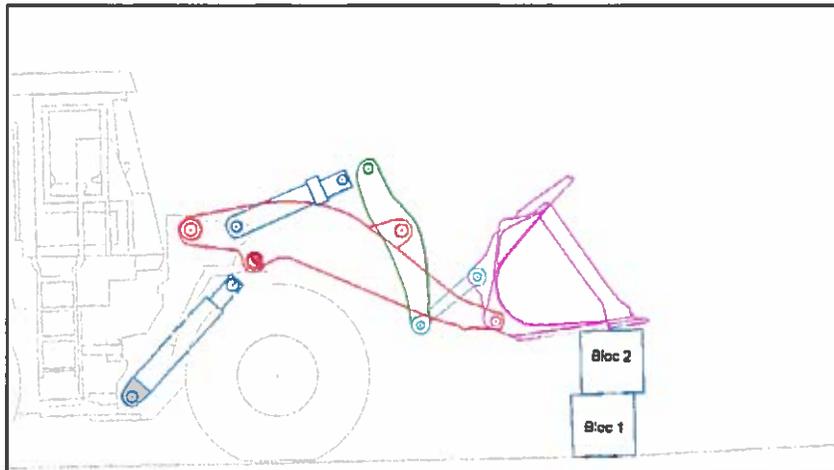
- bras de levage, 2041 kg pour l'assemblage;
- bras d'inclinaison, 272 kg pour l'assemblage.

-Pentes approximatives de la surface de terre battue : 2% où la chargeuse/godet au sol, 5% où les blocs sont situés. Le point le plus bas est situé vers la chargeuse et le point le plus haut est situé devant le garage.

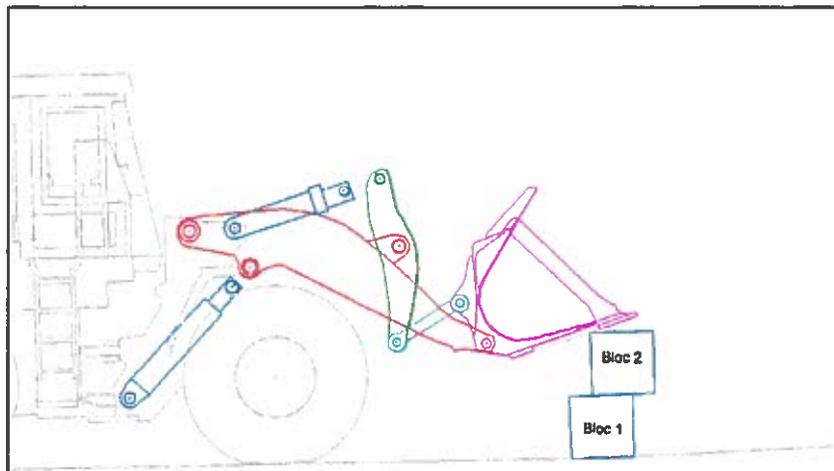
10. Annexe 2 – Simulation QCAD



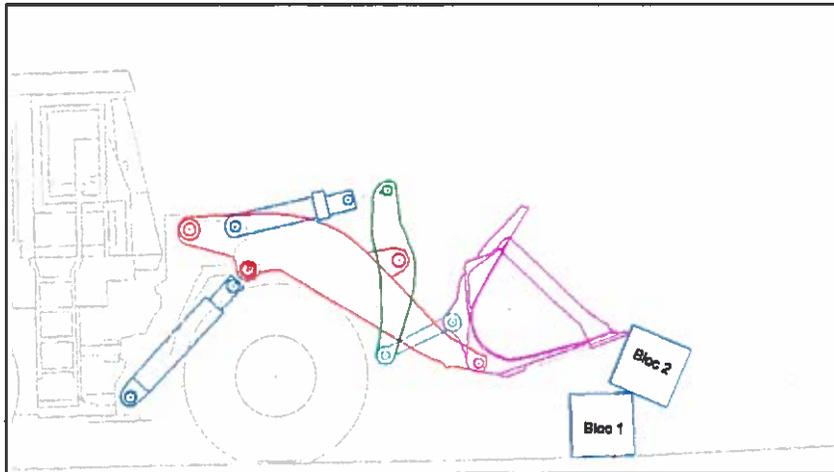
Séquence 1



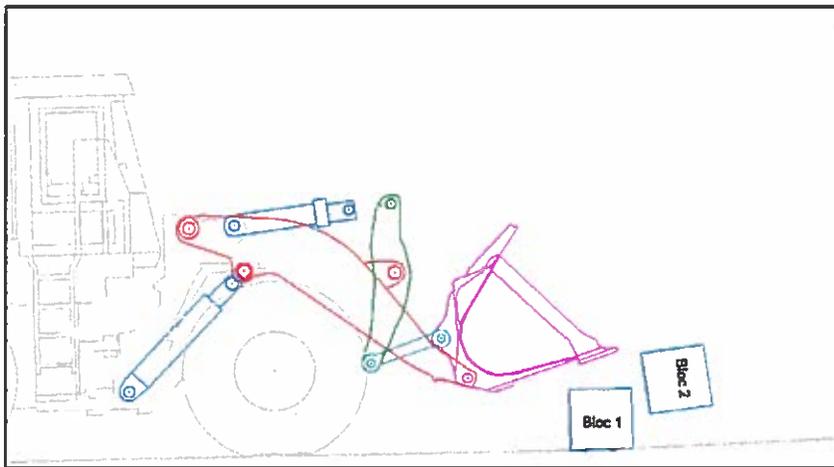
Séquence 2



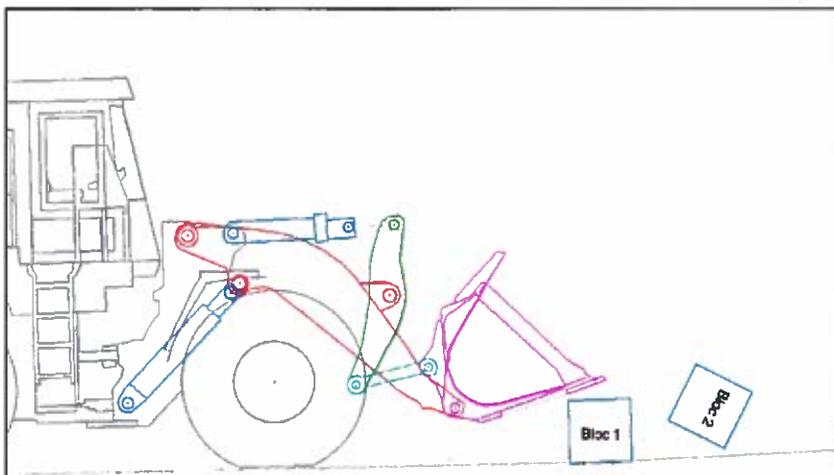
Séquence 3



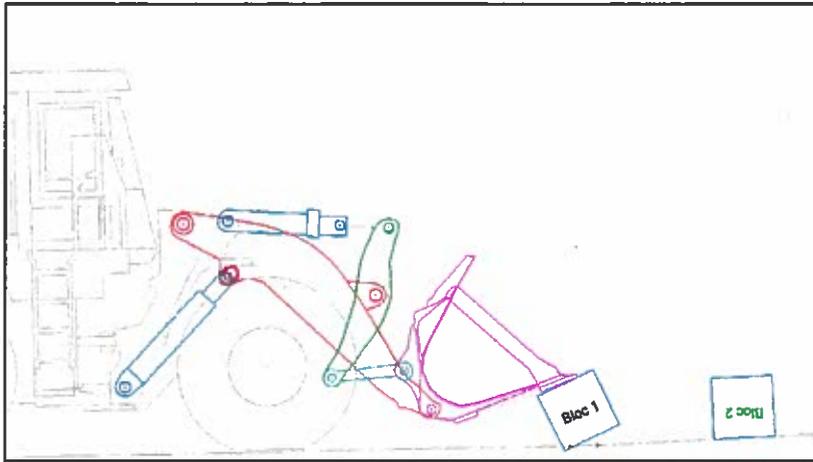
Séquence 4



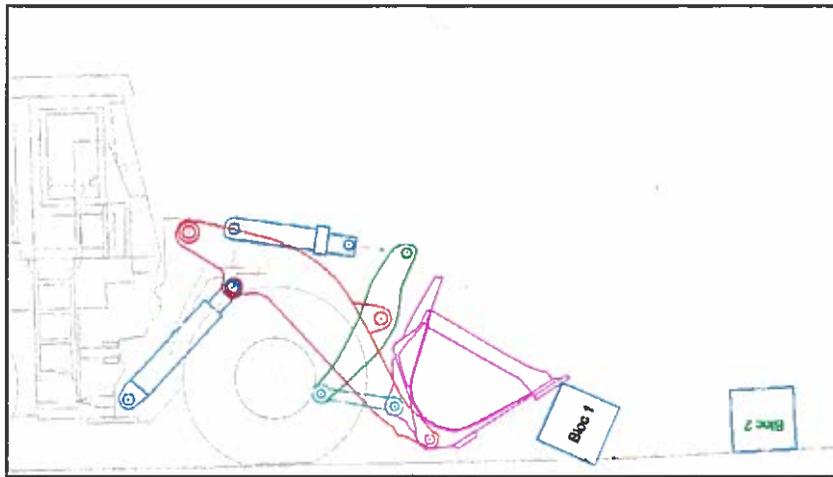
Séquence 5



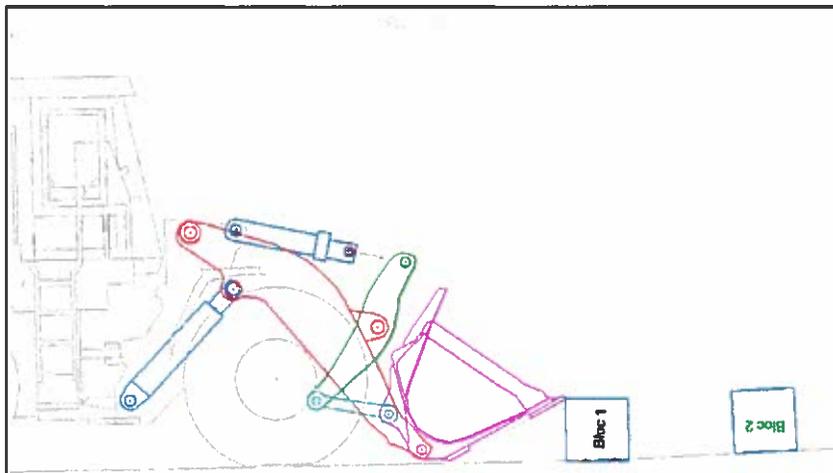
Séquence 6



Séquence 7



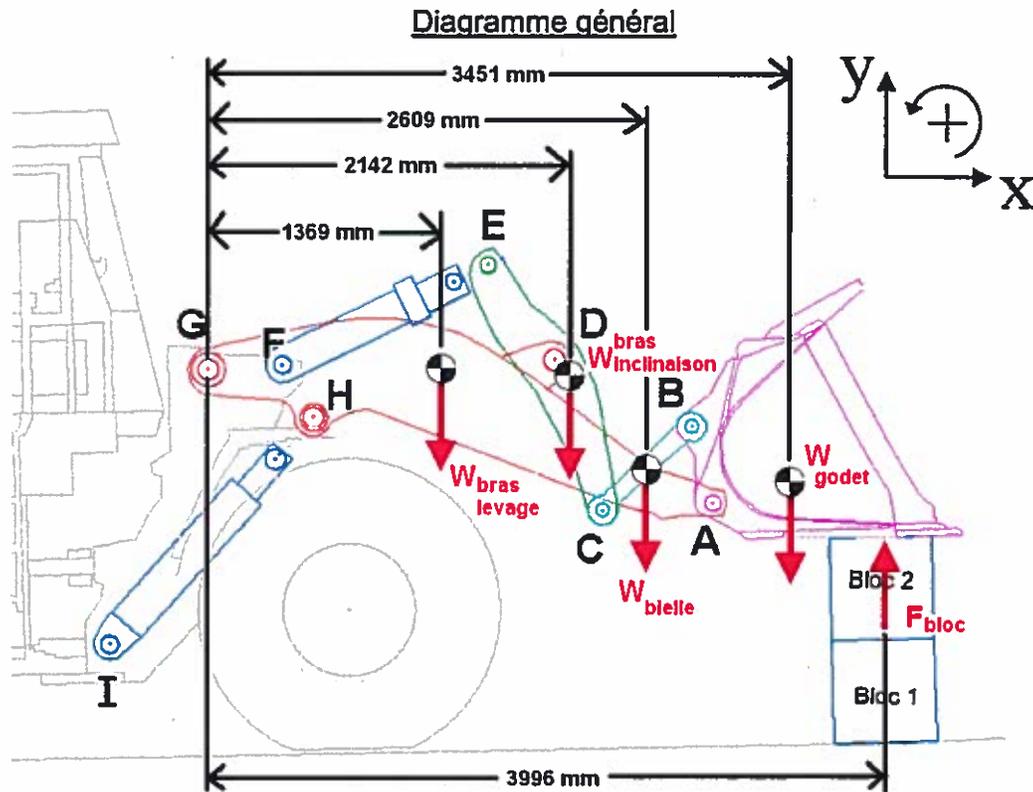
Séquence 8



Séquence 9

11. Annexe 3 – Calculs abrégés

Situation 2 : Avant la perte du fluide hydraulique dans les vérins d'inclinaison.

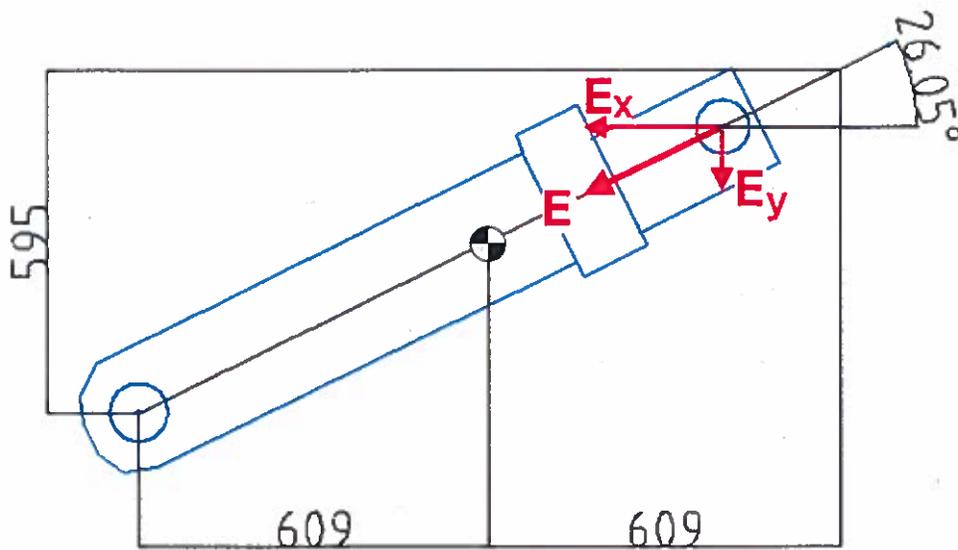


$$\sum M_G = 0$$

$$0 = - W_{\text{bras levage}} \times 1,369 - W_{\text{bras inclinaison}} \times 2,142 - W_{\text{bielle}} \times 2,609 - W_{\text{godet}} \times 3,451 + F_{\text{bloc (en y)}} \times 3,996$$

$$F_{\text{bloc (en y)}} = 41,5 \text{ KN}$$

Diagramme des vérins d'inclinaison



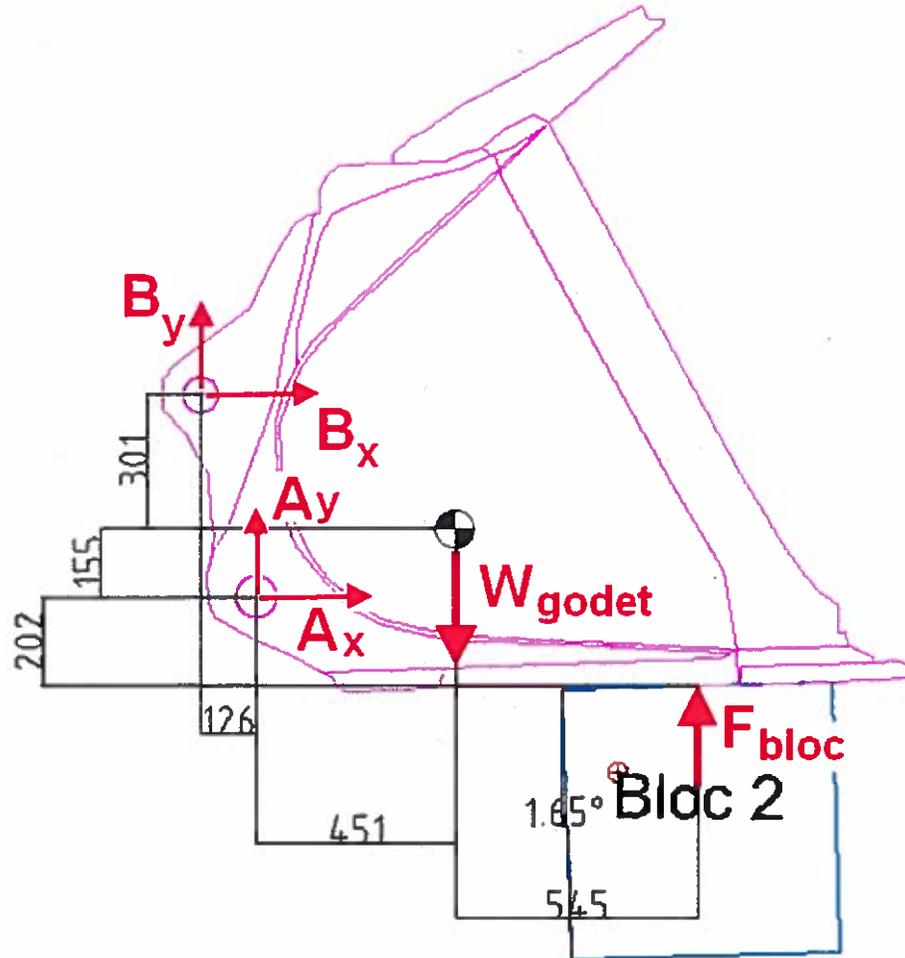
Force en E = 36033 N = 36 KN dans chaque vérin d'inclinaison

Pression dans chaque vérin d'inclinaison = 264 psi = 1 820 kPa

Situation 3 : Après la perte du fluide hydraulique dans les vérins d'inclinaison.

La force en E ≈ 0 car il n'y a pratiquement plus de pression dans les vérins d'inclinaison suite à la perte de fluide hydraulique.

Diagramme du godet



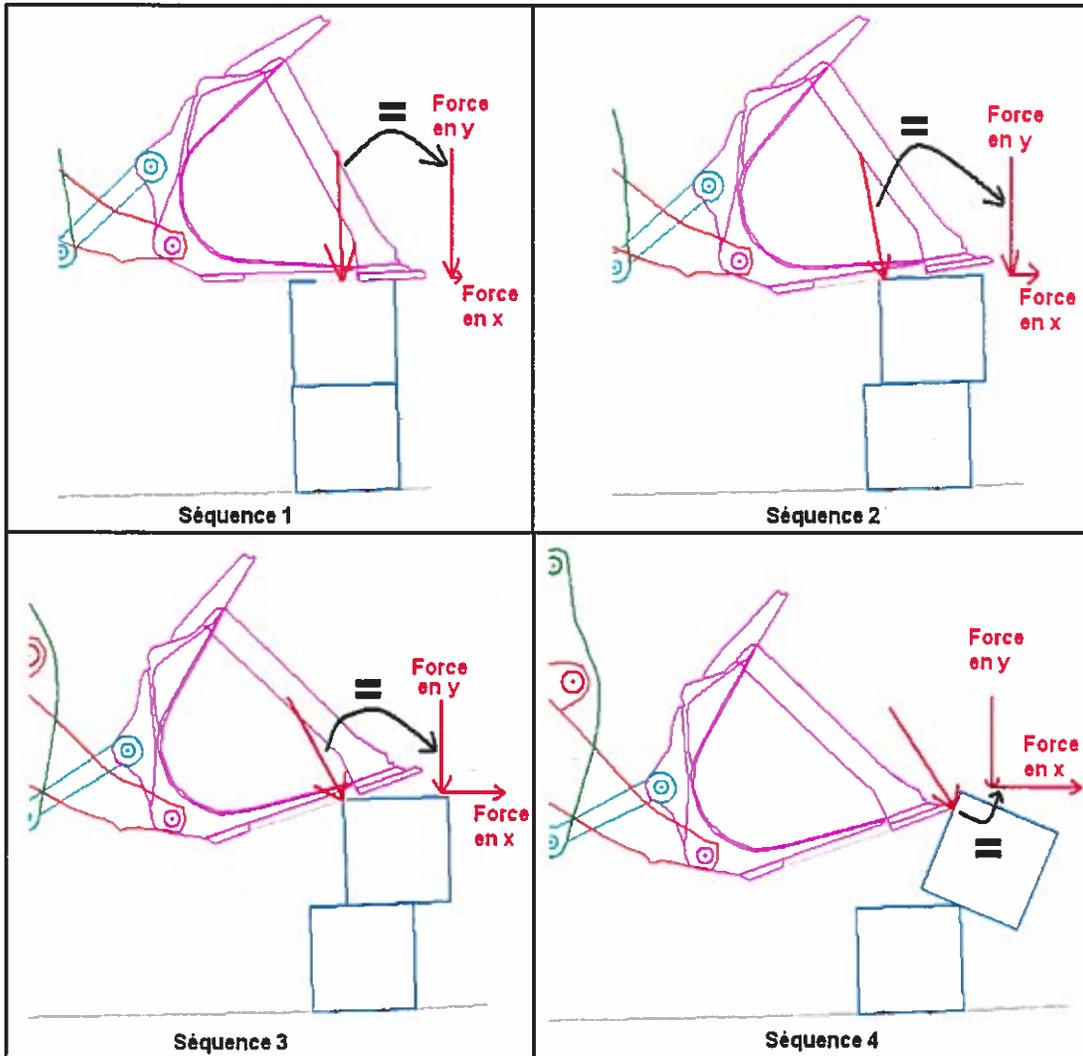
À partir des calculs de la situation 2, nous avons la force F_{bloc} à cet instant.

$$\sum M_A = - B_x \times 0,457 - B_y \times 0,126 - W_{\text{godet}} \times 0,451 + F_{\text{bloc (en y)}} \times 0,996 - F_{\text{bloc (en x)}} \times 0,202$$

$$\sum M_A = 24 \text{ KN}\cdot\text{m}$$

Il y a donc un moment  autour du point A et le godet s'incline vers la chargeuse.

Par la suite, le point d'appui se déplace vers le coin gauche du bloc supérieur, induisant une composante horizontale à la force de réaction du bloc au fur et à mesure que le bloc s'incline (voir schéma ci-dessous), ce qui pousse le bloc supérieur vers le garage et fait basculer le bloc inférieur vers la chargeuse.



ANNEXE E

Relevés

Rapport de données horaires pour le 08 septembre 2014

Page 1 sur 2

Climat

[Accueil](#) > [Données](#)

Rapport de données horaires pour le 08 septembre 2014

Toutes les heures sont exprimées en heure normale locale (HNL). Pour convertir l'heure locale en heure avancée, ajoutez 1 heure s'il y a lieu.

MONTREAL MIRABEL INTL A QUEBEC										
Latitude:	45° 40'50,000" N	Longitude:	74° 02'19,000" O	Altitude:	82,30 m					
Identification Climat:	7034900	Identification OMM:		Identification IC:	YMX					
	Temp. °C	Point de rosée °C	Hum. rel. %	Dir. du vent 10's deg	Vit. du vent km/h	Visibilité km	Pression à la station kPa	Hmdx	Refroid. éolien	Temps
HEURE										
00:00	12,9	10,8	87	6	6	40,2	101,44			ND
01:00	11,3	10,7	96	36	1	40,2	101,49			Dégagé
02:00	10,6	10,2	97	36	2	40,2	101,54			ND
03:00	12,4	10,7	89	5	3	40,2	101,57			ND
04:00	10,6	10,2	97	36	1	40,2	101,58			Généralement dégagé
05:00	11,1	10,2	94	4	7	72,4	101,65			ND
06:00	11,0	9,8	92	6	4	72,4	101,70			ND
07:00	12,0	10,3	89	5	6	72,4	101,77			Généralement nuageux
08:00	13,2	10,9	86	7	4	72,4	101,80			ND
09:00	14,9	12,1	83	1	3	72,4	101,82			ND
10:00	18,1	13,7	75	31	6	72,4	101,80			Généralement dégagé
11:00	20,2	14,2	68	20	9	72,4	101,76			ND
12:00	21,8	13,6	59	23	9	72,4	101,72	25		ND
13:00	22,3	14,3	60	36	1	72,4	101,70	26		Généralement dégagé
14:00	23,2	13,0	52	16	13	72,4	101,66	26		ND
15:00	22,6	12,4	52	17	9	72,4	101,62	25		ND
16:00	23,3	12,2	49	20	8	72,4	101,58	26		Généralement dégagé
17:00	22,8	14,0	57	17	5	72,4	101,56	26		ND
18:00	20,5	13,3	63	14	8	72,4	101,56			ND
19:00	19,0	11,7	62	13	9	40,2	101,58			Dégagé
20:00	17,3	11,6	69	12	8	40,2	101,57			ND
21:00	16,2	12,2	77	5	4	40,2	101,54			ND
22:00	13,5	11,7	89	3	3	40,2	101,55			Dégagé
23:00	14,3	12,2	87	3	4	40,2	101,56			ND

Notes sur [qualité des données climatiques](#).

http://climat.meteo.gc.ca/climateData/hourlydata_f.html?timeframe=1&Prov=QC&Statio... 2014-12-08

ANNEXE F

Références bibliographiques

- 1) CATERPILLAR, « Remove and install loader control valve 5051-010 » *Disassembly and assembly, 980 F & 980 series II wheel loader machine systems*, USA, novembre 1991, p. 20-22.
- 2) CATERPILLAR, *Systems operation testing and adjusting. 980 F wheel loader hydraulic system* USA, mars 1994, 60 p.
- 3) QUÉBEC, *Règlement sur la santé et la sécurité du travail, S-2.1, r. 13, à jour au 2 septembre 2014*, Québec, Éditeur officiel du Québec, 2014, 123 p.
- 4) COMMISSION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL DU QUÉBEC, M. BARRÉ ET M. VERMOT. « Rapport d'enquête d'accident : accident mortel survenu à un travailleur œuvrant pour Les industries Benco après avoir été écrasé sous le mât d'une mini chargeuse », Québec, CSST, 2009, 59 p.
<http://www.centredoc.csst.qc.ca/pdf/ed003774.pdf>
- 5) COMMISSION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL DU QUÉBEC, A. L'ÉPICIER, F. FONTAINE. « Rapport d'enquête d'accident : accident mortel survenu le 20 octobre 2003 à un travailleur de Concassés de la Rive-Sud inc. sur le site de la carrière Champlain à Lacolle », Québec, CSST, 2004, 24 p.
<http://centredoc.csst.qc.ca/pdf/ed003443.pdf>
- 6) COMMISSION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL DU QUÉBEC, N. SEBBAH. « Rapport d'enquête d'accident : accident mortel survenu à un travailleur, à l'emploi de Environnement Routier NRJ inc., le 12 mars 2003 au 9999, rue Sherbrooke Est à Montréal », Québec, CSST, 2004, 15 p.
<http://www.centredoc.csst.qc.ca/pdf/ed003409.pdf>
- 7) COMMISSION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL DU QUÉBEC, P. JOBIN. « Rapport d'enquête d'accident : accident mortel survenu le 9 octobre 1996 à un travailleur de Transport Yvon Poirier & Fils inc., à Saint-Alphonse-de-Caplan », Québec, CSST, 1997, 13 p. <http://centredoc.csst.qc.ca/pdf/ed003012.pdf>
- 8) COMMISSION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL DU QUÉBEC, M. GAUDET. « Rapport d'enquête d'accident : accident mortel survenu le 20 février 1996 à un mécanicien chez Rebus solides canadiens, dans l'enceinte du Centre de récupération et de mise en ballots, à Hull », Québec, CSST, 1996, 14 p.
<http://centredoc.csst.qc.ca/pdf/ed002965.pdf>
- 9) « Employee Dies After Being Trapped Under Wheel Loader Arm »
www.osha.gov/pls/imis/establishment.inspection_detail?id=309159002 site consulté en octobre 2014

- 10) « Employee Is Crushed And Killed By Falling Grapple »
www.osha.gov/pls/imis/establishment.inspection_detail?id=316355171 site consulté en octobre 2014
- 11) « Laborer crushed between lift arms and frame of skid-steer loader »
<http://nj.gov/health/surv/documents/12nj010.pdf> site consulté en novembre 2014
- 12) EMPLOI_QUÉBEC, *Information sur le marché de travail : mécanicien d'équipement lourd*,
http://imt.emploiquebec.gouv.qc.ca/mtg/inter/noncache/contenu/asp/mtg122_sommprofs_01.asp?lang=FRAN&Porte=1&cregn=QC&PT1=1&prov=FPT&PT3=9&pro=7312&PT2=17&PT4=53&imp=1, site consulté en février 2015