

EN004046

RAPPORT D'ENQUÊTE

**Accident mortel survenu à un ouvrier agricole
le 8 novembre 2014 à l'entreprise
de Gérard Cyr et Ghislaine Tétreault
située au 24, rang Cyr à Saint-Cyprien-de-Napierville**

Direction régionale de Saint-Jean-sur-Richelieu

Inspecteur :

Alexandre Audette

Date du rapport : 24 mars 2015



**RAPPORT
D'ENQUÊTE**

Dossier d'intervention

DPI4210429

Numéro du rapport

RAP1011212

Rapport distribué à :

- Madame « A »
- Monsieur André-Hector Dandavino, coroner
- Docteur Jean Rodrigue, directeur de la santé publique



**RAPPORT
D'ENQUÊTE**

Dossier d'intervention

DPI4210429

Numéro du rapport

RAP1011212

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
<u>3</u>	<u>DESCRIPTION DU TRAVAIL</u>	<u>5</u>
3.1	DESCRIPTION DU LIEU DE TRAVAIL	5
3.1.1	DESCRIPTION DE LA VIS À GRAIN	5
3.1.2	DESCRIPTION DU SILO	6
3.2	DESCRIPTION DU TRAVAIL À EFFECTUER	7
<u>4</u>	<u>ACCIDENT: FAITS ET ANALYSE</u>	<u>9</u>
4.1	CHRONOLOGIE DE L'ACCIDENT	9
4.2	CONSTATATIONS ET INFORMATIONS RECUEILLIES	9
4.2.1	CONSTATIONS	9
4.2.2	TÉMOIGNAGES	10
4.2.3	RECOMMANDATIONS DU FABRICANT	11
4.2.4	STABILITÉ ET CENTRE DE GRAVITÉ	12
4.2.5	BASCULEMENT DE LA VIS À GRAIN VERS L'AVANT	13
4.2.5.1	SIMULATION DE L'ACCIDENT	13
4.2.5.2	ÉVALUATION THÉORIQUE	14
4.2.6	LÉGISLATION	15
4.3	ÉNONCÉS ET ANALYSE DES CAUSES	15
4.3.1	LA MÉTHODE DE TRAVAIL UTILISÉE POUR DÉPLACER LA VIS À GRAIN COMPROMET SA STABILITÉ, PROVOQUE SON BASCULEMENT ET ENTRAÎNE MONSIEUR « B » DANS UNE CHUTE LIBRE JUSQU'AU SOL.	15
<u>5</u>	<u>CONCLUSION</u>	<u>17</u>
5.1	CAUSES DE L'ACCIDENT	17
5.2	AUTRES DOCUMENTS ÉMIS LORS DE L'ENQUÊTE	17
5.3	RECOMMANDATIONS	17

ANNEXES

ANNEXE A :	Accidenté	19
ANNEXE B :	Fiche technique de la vis à grain	21
ANNEXE C :	Extrait du manuel d'utilisation	23
ANNEXE D :	Données de calibration de la balance suspendue	27
ANNEXE E :	Rapport d'expertise interne	29
ANNEXE F :	Liste des témoins et des autres personnes rencontrées	47
ANNEXE G :	Simulation de l'accident	49
ANNEXE H :	Références bibliographiques	50

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

Le 8 novembre 2014, vers 15 h, monsieur « B » s'affaire manuellement au déplacement d'une vis à grain avec l'aide de monsieur « D ». Lors de cette manœuvre, la vis à grain bascule et entraîne monsieur « B » vers le haut. Ce dernier perd prise et effectue une chute libre jusqu'au sol.

Conséquences

Monsieur « B » décède des suites de ses blessures.



Photo 1 : Vis à grain impliquée dans l'accident
(Source : CSST)

Abrégé de la cause

L'enquête a permis de retenir la cause suivante pour expliquer l'accident :

La méthode de travail utilisée pour déplacer la vis à grain compromet sa stabilité, provoque son basculement et entraîne monsieur « B » dans une chute libre jusqu'au sol.

Mesures correctives

À la suite de l'accident, la CSST a interdit à l'entreprise de procéder manuellement au déplacement de ses vis à grain. Une décision à cet effet a été rendue verbalement le 14 novembre 2014 et consignée au rapport d'intervention RAP0890974.

L'entreprise s'est assurée de modifier ses méthodes de travail, en regard de l'utilisation et du déplacement de ses vis à grain.

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

L'entreprise Gérard Cyr et Ghislaine Tétreault exploite une ferme familiale qui se spécialise dans la production laitière et la culture de céréales.

La ferme est constituée d'un cheptel d'environ 100 vaches laitières. L'entreprise cultive majoritairement du maïs et du soya, sur une superficie de 122 hectares. Une partie des céréales cultivées est utilisée pour nourrir les animaux alors que les surplus sont vendus au marché.

Monsieur « B », madame « A » et madame « C » exécutent la majeure partie des tâches sur la ferme. Des travailleurs saisonniers sont embauchés pour combler les besoins en main-d'œuvre lors de la période des semences et des récoltes.

De façon générale, monsieur « B » supervise l'ensemble des travaux réalisés à la ferme. Pendant la période des semences et des récoltes, ce dernier s'occupe prioritairement des travailleurs qui œuvrent au niveau de la culture des céréales. Il est secondé par mesdames « B » et « C ». Ces dernières se consacrent principalement aux activités reliées à la ferme laitière.

2.2 Organisation de la santé et de la sécurité du travail

L'entreprise Gérard Cyr et Ghislaine Tétreault n'a pas l'obligation de posséder un programme de prévention en vertu de Loi sur la santé et la sécurité du travail (LSST).

Il n'y a pas de structure formelle en matière de santé et de sécurité du travail au sein de l'entreprise. Les travailleurs sont formés par compagnonnage en fonction de leur affectation. Les (...) et madame « C » transmettent verbalement les consignes de sécurité aux travailleurs lorsqu'ils se trouvent sous leur supervision.

Les travailleurs sont également invités à soumettre à monsieur « B », à madame « A » et à madame « C » toutes les situations qu'ils jugent dangereuses.



**RAPPORT
D'ENQUÊTE**

Dossier d'intervention

DPI4210429

Numéro du rapport

RAP1011212

SECTION 3

3 DESCRIPTION DU TRAVAIL

3.1 Description du lieu de travail

L'accident survient dans la cour avant de la ferme familiale située au 24, rang Cyr à Saint-Cyprien-de-Napierville. À cet endroit, on retrouve une étable, des bâtiments agricoles ainsi que plusieurs silos qui sont utilisés pour entreposer les céréales.

Différents équipements agricoles se trouvent sur les lieux au moment de l'accident, dont la vis à grain impliquée dans celui-ci. Cette dernière est située à proximité d'un silo servant à l'entreposage du grain de maïs.



Photo 2 : Emplacement de la vis à grain
(Source : CSST)

3.1.1 Description de la vis à grain

Dans le secteur agricole, la vis à grain est habituellement utilisée pour la manipulation des céréales. Elle permet, notamment, d'acheminer le grain dans les silos servant à l'entreposage.

La vis à grain conventionnelle impliquée dans l'accident est de marque Farm King, modèle C1041, numéro de série (.....). Son tube a un diamètre de 25 cm (10 po) et une longueur de 12,50 m (41 pi). La vis à grain est actionnée de façon mécanique par un arbre de transmission qui est relié à la prise de force (PTO) d'un tracteur.

Il est possible d'ajuster l'angle du tube de la vis à grain à l'aide du treuil qui est situé sur le châssis de roulement pour le transport. L'utilisation du treuil permet à l'opérateur de faire avancer ou reculer le patin situé sur le rail en dessous du tube. Ainsi, selon la fiche technique du fabricant, la vis à grain peut atteindre des hauteurs qui varient entre 3,20 m (10 pi 5 po) et 8,60 m (28 pi 3 po).

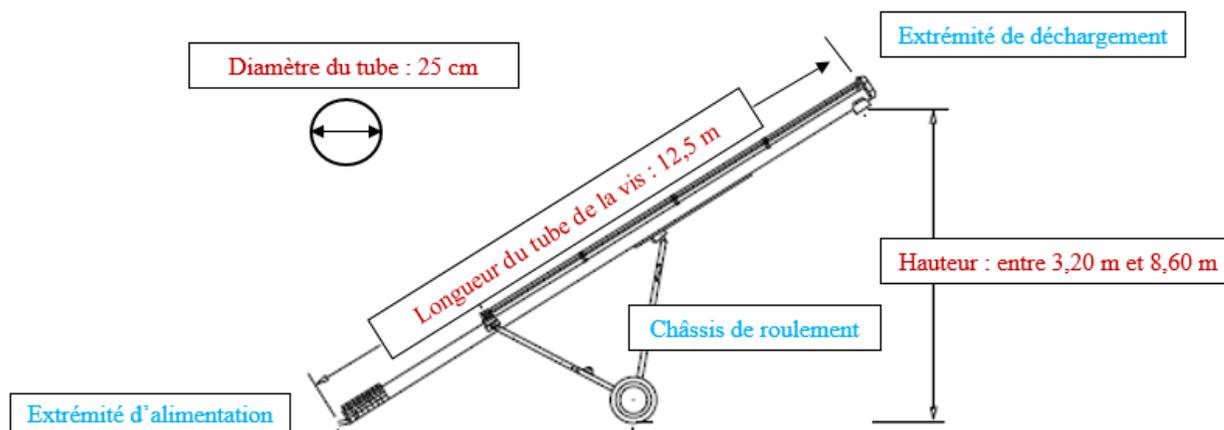


Schéma 1 : Caractéristiques de la vis à grain Farm King, modèle C1041
(Source : Fiche technique du fabricant - www.farm-king.com/specifications -
Modifications faites par la CSST)

3.1.2 Description du silo

Dans le secteur agricole, le silo est habituellement employé pour l'entreposage du grain. Il permet de conserver le grain pendant une longue période.

Le silo utilisé au moment de l'accident sert à entreposer le maïs et est fabriqué en acier galvanisé. Il a une capacité d'entreposage de 278 mètres cubes, une hauteur d'environ 9 m et un diamètre de 7,11 m.

Le silo est muni, à son sommet, de plusieurs ouvertures. On y retrouve une trappe d'accès, une porte de chargement, des événements pour assurer la ventilation ainsi qu'une ouverture permettant d'observer l'état du grain à l'intérieur du silo.

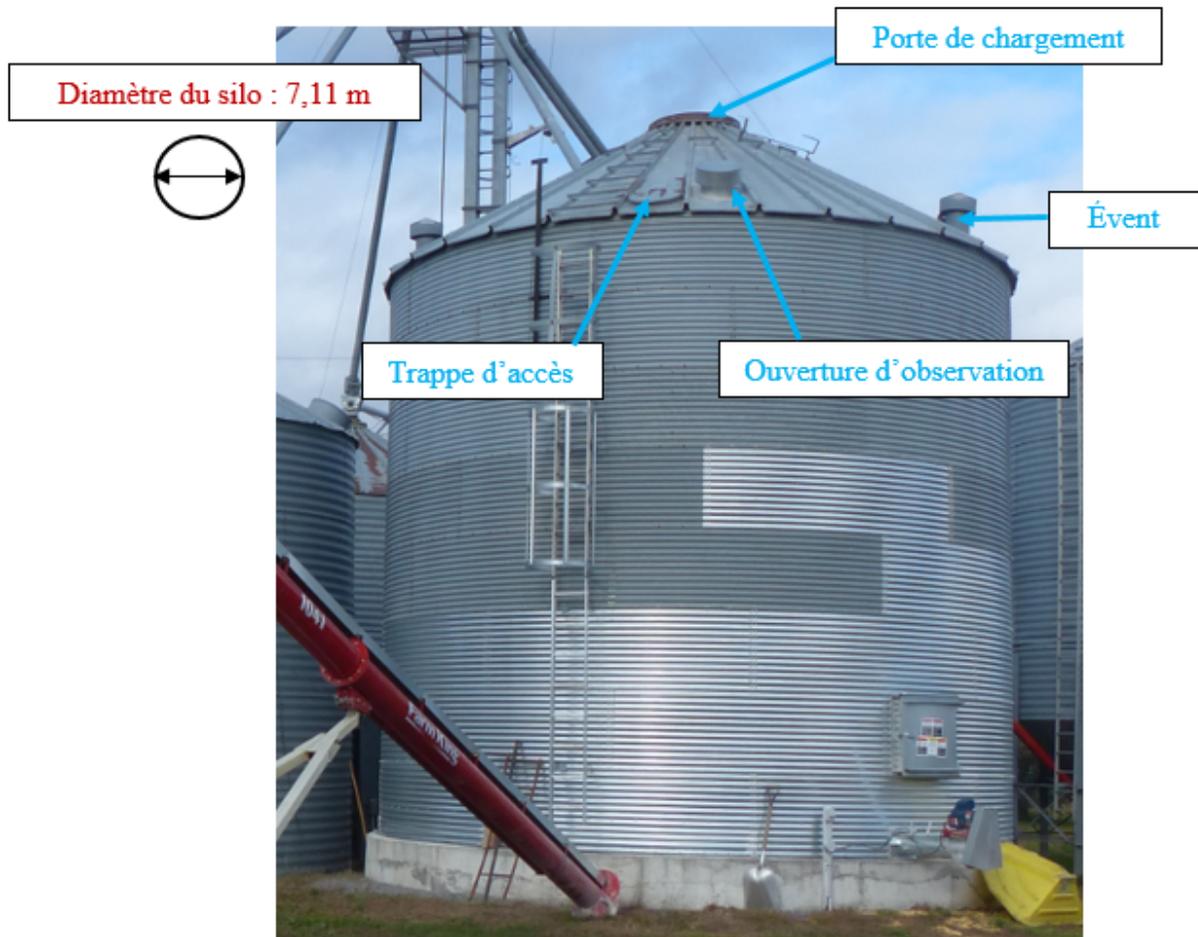


Photo 3 : Caractéristiques du silo
(Source : CSST)

3.2 Description du travail à effectuer

Le grain de maïs est récolté sur les terres appartenant à l'entreprise. Une fois récolté, il est acheminé vers les silos d'entreposage, par voiture à grain ou par camion à benne basculante.

Au moment de l'accident, monsieur « D » effectue le transport du maïs récolté entre les terres agricoles et les silos d'entreposage. Monsieur « B » s'assure d'acheminer le maïs dans le silo à l'aide, notamment, de la vis à grain.

Pour acheminer le grain de maïs dans le silo, monsieur « B » déverse le contenu de la voiture à grain ou du camion à benne basculante dans une trémie située au sol. L'extrémité d'alimentation de la vis à grain est placée dans la trémie alors que l'extrémité de déchargement est placée au-dessus du silo. L'actionnement de la vis à grain, à l'aide de la prise de force d'un tracteur, permet d'acheminer le grain à l'intérieur du silo.

Une fois qu'un silo est rempli à pleine capacité, la vis à grain est déplacée vers un autre silo afin de poursuivre les opérations. Le déplacement de la vis s'effectue manuellement, par monsieur « B » et monsieur « D ». Alors que la vis à grain se trouve en position haute, monsieur « D » pousse sur celle-ci à partir du châssis de roulement pendant que monsieur « B » soulève légèrement l'extrémité d'alimentation. Cette façon de faire est couramment utilisée au sein de l'entreprise.

SECTION 4

4 ACCIDENT : FAITS ET ANALYSE

4.1 Chronologie de l'accident

En agriculture, la récolte du maïs s'échelonne habituellement de la mi-octobre à la mi-novembre. Durant cette période, en raison du surplus de travail, tout le personnel disponible est mis à contribution alors que les journées de travail sont allongées.

Le 8 novembre 2014, au courant de la matinée, monsieur « D » s'affaire à l'entretien et à la réparation de certains équipements agricoles. Après avoir réparé la moissonneuse-batteuse et s'être assuré du bon fonctionnement de cette dernière, il amorce le transport du grain entre les terres agricoles et les silos d'entreposage.

Le 8 novembre 2014, vers 7 h 15, monsieur « B » commence sa journée de travail. Il s'occupe d'abord des animaux, puis se dirige vers les terres agricoles pour superviser les récoltes. Après le dîner, il retourne à la ferme et il entreprend le chargement du maïs dans le silo.

Monsieur « B » constate que le silo de maïs sur lequel la vis à grain est installée est plein.

Vers 15 h, monsieur « B » demande à monsieur « D » de l'aider à déplacer manuellement la vis à grain afin de l'installer sur un autre silo situé à proximité. Lors du déplacement de la vis à grain, cette dernière bascule et entraîne monsieur « B » vers le haut.

Monsieur « B » lâche prise et il fait une chute libre jusqu'au sol.

Monsieur « B » est transporté à l'hôpital où son décès est constaté.

4.2 Constatations et informations recueillies

4.2.1 Constatations

La visite des lieux, l'examen de la scène de l'accident et les mesures prises permettent de faire les constatations suivantes :

- La vis à grain est vide au moment de son basculement. Il n'y a pas de maïs dans le tube de la vis.
- Lors de son basculement, l'extrémité de déchargement de la vis à grain n'est pas entrée en contact avec le silo sur lequel elle était installée.
- La vis à grain a été déplacée manuellement sur une distance d'environ 2,20 m avant de basculer.
- La vis à grain est à sa position la plus haute au moment de son basculement. Le patin, qui est situé sur le rail et qui est actionné par le treuil, est collé sur la butée supérieure. Les données du fabricant indiquent que l'extrémité de déchargement de la vis à grain atteint une hauteur de 8,60 m (28 pi 3 po) lorsque le patin est dans cette position (voir annexe B).



Photo 4 : Mécanisme d'élévation de la vis à grain
(Source : CSST)

4.2.2 Témoignages

Les informations qui suivent sont tirées des témoignages recueillis à la suite de l'accident :

- Lorsque les opérations sont terminées sur un silo, la vis est déplacée manuellement vers un autre silo. Quand la distance à parcourir entre deux silos est trop grande, la vis est éloignée manuellement du silo plein, attelée à un tracteur et déplacée mécaniquement vers un autre silo.
- Normalement, on doit utiliser la porte de chargement située au centre du sommet du silo pour acheminer le maïs à l'aide de la vis à grain. Puisque cette porte se trouve à environ 9 m du sol, il est impossible de l'atteindre avec la vis à grain utilisée sur les lieux de l'accident. L'ouverture d'observation est donc employée pour acheminer le maïs dans le silo. L'ouverture d'observation est située à 7,62 m du sol.
- Pendant le déplacement de la vis, monsieur « B » tire et soulève l'extrémité d'alimentation à l'aide de ses mains. Cette façon de faire permet à monsieur « D » de pousser sur la vis à partir du châssis de roulement et d'éviter que le tube n'accroche le sol lors du déplacement.
- Lors du basculement, monsieur « B » agrippe l'extrémité d'alimentation de la vis à grain et il est soulevé vers le haut. Lorsque l'extrémité de déchargement de la vis touche le sol, sous

la force de cet impact, le corps de monsieur « B » fait une rotation d'environ 180 degrés. Ses pieds se retrouvent au-dessus de sa tête, il lâche prise et amorce une chute libre vers le sol.

- Au moment de la chute, la tête de monsieur « B » se retrouve à la hauteur de l'extrémité d'alimentation de la vis à grain. Ce dernier effectue une chute, tête première, d'au moins 4,55 m avant de toucher le sol.



Photo 5 : Hauteur de chute
(Source : CSST)

4.2.3 Recommandations du fabricant

Dans son manuel d'utilisation, le fabricant informe l'utilisateur de la vis à grain des sources de dangers possibles en regard de son utilisation et de sa manipulation. On y retrouve, notamment, les points suivants :

- Ne jamais soulever l'extrémité d'alimentation de la vis au-dessus du niveau de la taille puisque la vis sera déstabilisée et basculera vers l'avant.
- Toujours transporter une vis à grain en position basse (rétractée).

Une étiquette, en anglais, est apposée sur le tube de la vis à grain par le fabricant. Cette étiquette évoque le danger de basculement de la vis à grain. Il y est indiqué :

**RISQUE DE BASCULEMENT
POUR PRÉVENIR LES BLESSURES GRAVES OU
LA MORT CAUSÉE(S) PAR LE BASCULEMENT :**

1. Supporter les deux extrémités de la vis à grain - du côté déchargement et du côté de l'alimentation - avant toute utilisation.

2. Ne pas déplacer la vis à grain manuellement.
3. Vider la vis à grain avant tout déplacement (ou le transport).
4. Ne pas accrocher ou décrocher à moins que le poids de l'attelage soit en position basse.

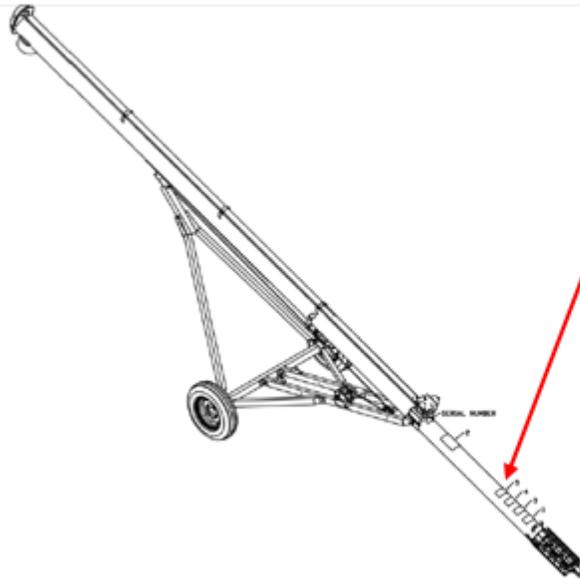


Photo 6 : Étiquette du fabricant apposée sur le tube de la vis à grain
(Source : CSST et manuel d'utilisation du fabricant)

4.2.4 Stabilité et centre de gravité

Par définition, le centre de gravité est un « point d'un corps par lequel passe la résultante des masses élémentaires le constituant, pour toutes les orientations de ce corps, dans un champ de gravitation uniforme. Dans un champ de gravitation uniforme le centre de gravité et le centre de masse coïncident. »¹

Le centre de gravité d'un corps est donc le point où tout son poids semble concentré.

Une vis à grain conventionnelle peut basculer soit latéralement, soit longitudinalement. Lors de l'accident, la vis bascule longitudinalement. Dans ce cas, elle pivote autour de son essieu.

Lorsqu'elle est en position haute, le centre de gravité de la vis est élevé et il se déplace rapidement vers l'essieu en soulevant le point d'attelage au-dessus du sol (schéma 2 et annexe E).

¹ ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. « Centre de gravité », *Grand dictionnaire terminologique*, [En ligne], 1974. [gdt.oqlf.gouv.qc.ca/ficheOqlf.aspx?Id_Fiche=3295354] (Consulté le 18 novembre 2014).

Dès que le centre de gravité se retrouve devant l'essieu, la vis peut basculer.

Une vis à grain est stable lorsqu'elle repose solidement sur son châssis de roulement et que son centre de gravité se trouve bien à l'intérieur des trois points d'appui, soit les deux roues et l'extrémité d'alimentation.

La vis à grain a une meilleure stabilité en position basse (position de transport) puisque son centre de gravité est plus bas. En revanche, deux phénomènes se produisent lorsqu'elle se trouve en position haute :

- Son centre de gravité se déplace en hauteur, ce qui rend la vis à grain moins stable.
- Son centre de gravité se déplace vers l'extrémité de déchargement de la vis lorsque l'on soulève l'extrémité d'alimentation.

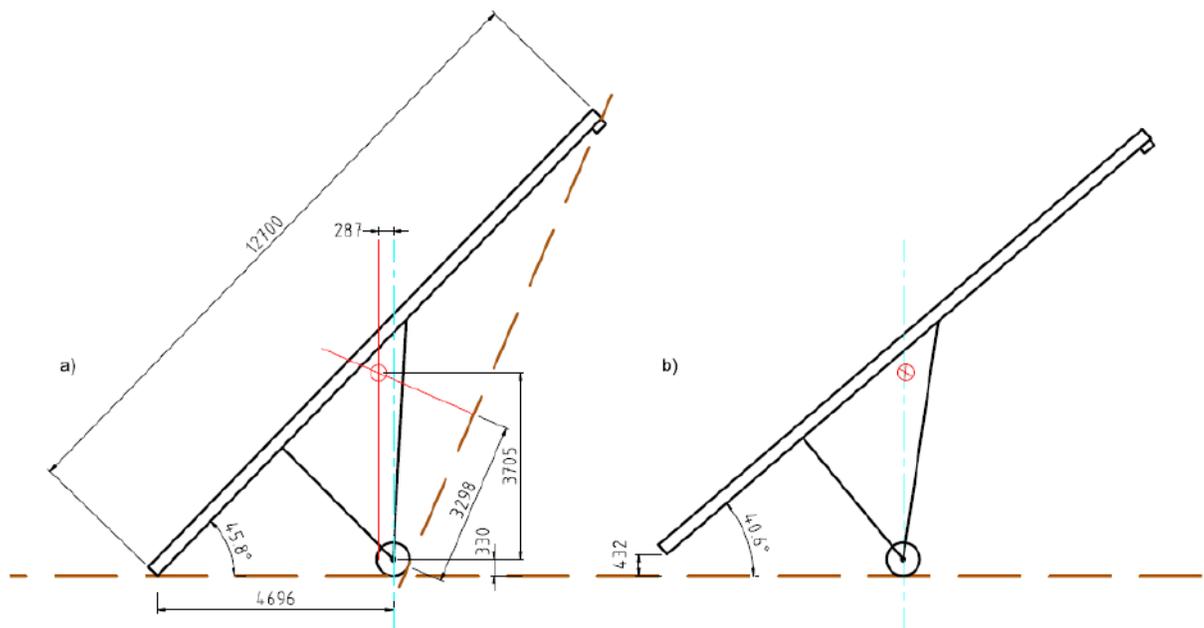


Schéma 2 : Déplacement du centre de gravité en soulevant l'extrémité d'alimentation.
(Source : Rapport d'expertise interne, annexe E)

4.2.5 Basculement de la vis à grain vers l'avant

4.2.5.1 Simulation de l'accident

Une simulation est effectuée directement sur le lieu de travail, dans des conditions similaires à l'accident, afin d'évaluer les éléments suivants :

1. La force nécessaire qui doit être utilisée pour soulever l'extrémité d'alimentation de la vis à grain à partir du sol.

Pour réaliser cette évaluation, une balance suspendue de marque Totalcomp, modèle TWP, est employée. Les caractéristiques de l'appareil de mesure et les données de calibration peuvent être consultées à l'annexe D.

2. La hauteur nécessaire à laquelle l'extrémité d'alimentation de la vis à grain doit être soulevée du sol pour faire en sorte que son centre de gravité se déplace à l'extérieur de sa zone d'appui et ainsi provoquer son basculement.

Pour réaliser cette évaluation, un ruban à mesurer de marque Stanley, modèle Fat Max est utilisé.

Des essais ont été effectués pour évaluer la force à utiliser et la hauteur à atteindre pour instaurer le basculement de la vis à grain alors qu'elle se trouve en position haute. Ainsi, la force nécessaire pour soulever l'extrémité d'alimentation de la vis est d'environ 30 kg alors qu'elle sort de sa zone d'appui lorsqu'une hauteur de 43 cm à partir du sol est atteinte. La méthodologie utilisée pour réaliser la simulation et les résultats des mesures prises peuvent être consultés à l'annexe E.

4.2.5.2 Évaluation théorique

Une évaluation théorique est réalisée par un conseiller expert de la CSST, monsieur François Granger, ingénieur et agronome, afin de déterminer à partir de quel moment la vis à grain sort de sa zone d'appui.

L'évaluation théorique consiste à établir :

1. La force nécessaire qui doit être utilisée pour soulever l'extrémité d'alimentation de la vis à grain du sol.
2. La hauteur nécessaire à laquelle l'extrémité d'alimentation de la vis à grain doit être soulevée du sol pour faire en sorte que son centre de gravité se déplace à l'extérieur de sa zone d'appui et ainsi provoquer son basculement.
3. Déterminer où se situe le centre de gravité de la vis à grain impliquée dans l'accident.

L'évaluation théorique démontre qu'une force de 30 kg doit être utilisée pour soulever l'extrémité d'alimentation de la vis à grain du sol. Dès que l'extrémité d'alimentation atteint une hauteur de plus de 43 cm, le centre de gravité de la vis se déplace devant l'essieu et le basculement de la vis à grain peut se produire avec un effet de levier augmentant rapidement en puissance au fur et à mesure que le centre de gravité se déplace vers l'extrémité de déchargement de la vis.

Il devient donc très difficile pour un travailleur, voire impossible, de retenir la vis à grain lorsque son centre de gravité sort de sa zone d'appui. À partir de ce moment, le basculement de la vis à grain est initié. Ainsi, dans sa position haute, il est impossible pour un travailleur de 54,5 kg de renverser le basculement de la vis lorsque cette dernière atteint une hauteur d'environ 76 cm au-dessus du sol.

L'expertise complète de monsieur Granger peut être consultée à l'annexe E.

4.2.6 Législation

La LSST nous informe sur les obligations de l'employeur. L'article 51 de cette dernière spécifie que :

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

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

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

9° informer adéquatement le travailleur sur les risques reliés à son travail et lui assurer la formation, l'entraînement et la supervision appropriés afin de faire en sorte que le travailleur ait l'habileté et les connaissances requises pour accomplir de façon sécuritaire le travail qui lui est confié; [...]²

4.3 Énoncés et analyse des causes

4.3.1 La méthode de travail utilisée pour déplacer la vis à grain compromet sa stabilité, provoque son basculement et entraîne monsieur « B » dans une chute libre jusqu'au sol.

La vis à grain est utilisée pour acheminer du maïs dans des silos d'entreposage. Pour ce faire, l'extrémité d'alimentation de la vis est déposée dans une trémie située au sol alors que l'extrémité de déchargement est positionnée au-dessus de l'ouverture d'observation. L'actionnement de la vis à grain, à l'aide de la prise de force d'un tracteur, permet d'acheminer le maïs à l'intérieur du silo.

Lorsqu'un silo servant à l'entreposage est rempli à pleine capacité, la vis à grain est déplacée vers un autre silo afin de poursuivre les opérations.

Le fabricant, dans son manuel d'utilisation et sur une étiquette apposée sur le tube de la vis à grain, évoque le danger de basculement de la vis à grain lorsque cette dernière est déplacée manuellement.

Le jour de l'accident, monsieur « B » et monsieur « D » effectuent manuellement le déplacement de la vis. Monsieur « D » pousse sur la vis à grain à partir du châssis de roulement pendant que monsieur « B » soulève légèrement l'extrémité d'alimentation pour éviter qu'elle n'accroche le sol. Cette façon de faire est couramment utilisée au sein de l'entreprise.

² QUÉBEC. *Loi sur la santé et la sécurité du travail : RLRQ, à jour au 1^{er} octobre 2014*, [En ligne], 2014. [www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=2&file=/S_2_1/S2_1.html] (Consulté le 18 novembre 2014).

Lors de son déplacement, la vis à grain est en position haute. Sa stabilité est compromise lorsque monsieur « B » soulève l'extrémité d'alimentation de la vis puisque son centre de gravité s'est déplacé à l'extérieur de sa zone d'appui, soit le châssis de roulement. La vis à grain bascule et entraîne monsieur « B » vers le haut. Ce dernier perd prise et effectue une chute au sol d'au moins 4,55 m. Il décède des suites de ses blessures.

La simulation et l'évaluation théorique nous indiquent qu'il faut utiliser une force d'environ 30 kg pour soulever l'extrémité d'alimentation de la vis du sol alors que cette dernière est en position haute. Par la suite, quand elle est soulevée à plus de 43 cm du sol, elle sort de sa zone d'appui. Le basculement de la vis à grain est amorcé à partir de ce point.

Nous concluons, compte tenu des faits observés, des témoignages recueillis et des résultats des mesures que nous possédons, qu'il est possible pour un travailleur de soulever manuellement l'extrémité d'alimentation de la trémie. Une fois soulevée, la vis à grain devient instable et elle sort rapidement de sa zone d'appui. Ainsi, lorsqu'elle atteint une hauteur de 43 cm, son centre de gravité se déplace à l'extérieur du châssis de roulement, le basculement de la vis est alors amorcé.

Une fois le basculement de la vis débuté, il devient difficile pour un travailleur de renverser le processus, voire impossible lorsque l'extrémité d'alimentation atteint 76 cm de haut.

Dans ces conditions, la vis à grain bascule vers l'avant, provoquant un danger de blessures graves, voire mortelles pour l'utilisateur.

SECTION 5

5 CONCLUSION

5.1 Causes de l'accident

L'enquête a permis de retenir la cause suivante pour expliquer l'accident :

La méthode de travail utilisée pour déplacer la vis à grain compromet sa stabilité, provoque son basculement et entraîne monsieur « B » dans une chute libre jusqu'au sol.

5.2 Autres documents émis lors de l'enquête

À la suite de l'accident, la CSST a interdit à l'entreprise de procéder manuellement au déplacement de ses vis à grain. Une décision à cet effet a été rendue verbalement le 14 novembre 2014 et consignée au rapport d'intervention RAP0890974.

L'entreprise s'est assurée de modifier ses méthodes de travail, en regard de l'utilisation et du déplacement de ses vis à grain.

5.3 Recommandations

La CSST informera l'Union des producteurs agricoles des conclusions de l'enquête.

Une copie du rapport d'enquête sera expédiée au comité de révision de la norme CSA M688-10, Transporteurs agricoles mobiles à vis - sécurité générale.

De plus, 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, à des fins pédagogiques, le rapport d'enquête dans les établissements de formation qui offrent les programmes d'études en agriculture.



**RAPPORT
D'ENQUÊTE**

Dossier d'intervention

DPI4210429

Numéro du rapport

RAP1011212

ANNEXE A

Accidenté

ACCIDENTÉ

Nom, prénom : **Monsieur n« B »**

Sexe : (.....)

Âge : (.....) ans

Fonction habituelle : (.....)

Fonction lors de l'accident : Ouvrier agricole

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

Syndicat : (.....)

ANNEXE B

Fiche technique de la vis à grain
Farm King, modèle C1041, numéro de série : (.....)

Farm King

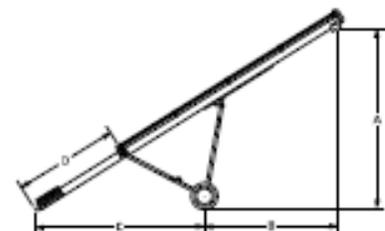
Specifications

Conventional Auger

MODEL	831	836	841	851	861	1031	1036	1041	1051	1061	1336
Tube width	8"					10"					13"
Tube length	31'	36'	41'	51'	61'	31'	36'	41'	51'	61'	36'
Wheel track	6' 0"	6' 6"	7' 6"	8' 2"	10' 2"	6' 0"	6' 6"	7' 8"	9' 9"	10' 2"	7' 5"
Belt drives	Double	Double	Double	Double	N/A	Triple	Triple	Triple	Triple	N/A	Triple
Tube (gauge)											
- Top	14	14	14	14	14	14	12	12	12	12	12
- Center	-	-	-	-	14	-	-	-	-	12	-
- Bottom	-	14	14	14	14	-	12	12	12	12	12
Fighting	10 gauge	7 gauge	1/4"								
Fighting shaft	1-1/4"	1-1/4"	1-1/4"	1-1/4"	1-3/8"	2-3/8"	2-3/8"	2-3/8"	2-3/8"	2-3/8"	2-3/8"
Drive line	1-1/4"	1-1/4"	1-1/4"	1-1/4"	1-3/8"	1-3/8"	1-3/8"	1-3/8"	1-3/8"	1-3/8"	1-1/2"
Gasoline hp (3450 RPM)	10 - 12	10 - 12	12 - 16	18 - 20	N/A	18	22	24	28	N/A	30
- Belt pulley	3 1/2"	3 1/2"	3 1/2"	3 1/2"	N/A	3 1/2"	3 1/2"	3 1/2"	3 1/2"	N/A	3 1/2"
Electric hp (1725 RPM)	9	10	12	15	15	15	17	18	20	20	22
- Belt pulley	6"	6"	6"	6"	N/A	6"	6"	6"	6"	N/A	6"
- Direct pulley	3-1/2"	3-1/2"	3-1/2"	3-1/2"	3-1/2"	3-1/2"	3-1/2"	3-1/2"	3-1/2"	3-1/2"	3-1/2"

MODEL	831	836	841	851	861	1031	1036	1041	1051	1061	1336
A, up	16' 0"	18' 1"	28' 3"	35' 2"	42' 0"	16' 0"	16' 8"	28' 3"	35' 2"	42' 0"	19' 1"
A, down	8' 5"	10' 0"	12' 2"	13' 2"	13' 0"	8' 5"	9' 5"	10' 5"	12' 10"	13' 0"	9' 9"
B, up	11' 11"	14' 10"	13' 6"	15' 8"	21' 5"	11' 11"	13' 3"	13' 11"	16' 10"	21' 5"	13' 2"
B, down	13' 2"	14' 0"	18' 2"	22' 1"	29' 2"	13' 2"	13' 8"	18' 1"	22' 2"	29' 2"	14' 3"
C, up	14' 3"	16' 9"	15' 4"	20' 0"	23' 2"	14' 3"	17' 10"	15' 3"	19' 0"	23' 2"	16' 4"
C, down	16' 0"	19' 8"	21' 7"	26' 10"	30' 6"	16' 0"	20' 8"	21' 5"	26' 9"	30' 6"	19' 5"
D	8' 6"	12' 2"	12' 3"	14' 1"	6' 0"	8' 4"	12' 7"	11' 10"	14' 2"	6' 1"	10' 10"

AUGER MOVER	CONVENTIONAL AUGER SIZE
CS02	8" x 41" and under
CS03	8" x 51" and over
CS04	10" x 41" and under
CS05	10" x 51" and over
CS06	13" x 36"



ANNEXE C

Extrait du manuel d'utilisation

Le manuel complet est disponible à l'adresse suivante :

<http://www.farm-king.com/manuals/gh-CAuger/FK335-CAuger-8-10x36x41x51-2010.pdf>

Farm King

OPERATOR AND PARTS MANUAL

Conventional Auger

8" & 10" x 36', 41', & 51' Model



082010

FK335

Farm King

Safety - 8' & 10' x 36', 41', & 51' Conventional Auger

Safety

Safety Instructions

Remember, YOU are the key to safety. Good safety practices not only protect you, but also the people around you. Make these practices a working part of your safety program. Be certain that everyone operating this equipment is familiar with the recommended operating and maintenance procedures and follows all the safety precautions. Most accidents can be prevented. Do not risk injury or death by ignoring good safety practices.

The alert symbol is used throughout this manual. It indicates attention is required and identifies hazards. Follow the recommended precautions.



The safety alert symbol means...
ATTENTION! BECOME ALERT! YOUR SAFETY IS INVOLVED!



CAUTION

The caution symbol indicates a potentially hazardous situation that, if not avoided, may result in minor or moderate injury. It may also be used to alert against unsafe practices.



WARNING

The Warning Symbol indicates a potentially hazardous situation that, if not avoided, could result in death or serious injury, and includes hazards that are exposed when guards are removed. It may also be used to alert against unsafe practices.



DANGER

The Danger Symbol indicates an imminently hazardous situation that, if not avoided will result in death or serious injury. This signal word is to be limited to the most extreme situations, typically for machine components that, for functional purposes, cannot be guarded.

Farm King

Safety - 8' & 10' x 36', 41', & 51' Conventional Auger

General Safety Instructions

- Have a first-aid kit available for use and know how to use it.
- Have a fire extinguisher available, stored in a highly visible location, and know how to use it.
- Wear appropriate protective gear. This list may include but is not limited to:
 - hard hat
 - protective shoes with slip resistant soles
 - protective glasses or goggles
 - heavy gloves
 - wet weather gear
 - hearing protection
 - respirator or filter mask
- Read and understand the Operator's Manual and all safety signs before operating, servicing, adjusting, repairing, or unplugging the equipment.
- Do not attempt any unauthorized modifications to your Farm King product as this could affect function or safety, and could affect the life of the equipment.
- Inspect and clean the working area before operating.
- Keep hands, feet, clothing, and hair away from moving parts.
- Ensure bystanders are clear of the area before operating.

Start-Up Safety

- Do not let inexperienced operators or children run this equipment.
- Place all tractor and machine controls in neutral before starting.
- Operate only with ROPS and seatbelt equipped tractors.
- Do not operate inside a building unless there is adequate ventilation.
- Ensure all shields are in place and in good condition before operating.
- Stay clear of PTO shaft and machine when engaging PTO.
- The auger must be on a level surface and wheels free to move when raising or lowering. Everyone should be kept clear during these operations.
- Make certain electric motors are grounded.

Operation Safety

- Do not permit riders.
- Do not wear loose fitting clothing during operation.
- Empty the auger before moving to prevent upending.
- Do not allow anyone other than the operator close to the Auger when in operation.
- Never stand under the auger while raising or lowering.
- When filling tall bins, tanks, or granaries, it is advisable to anchor the auger to the bin or building to prevent it from being tipped over by the wind or a sudden movement.
- Never operate a Conventional Auger with the intake end off the ground.
- Never operate over 540 PTO rpm speed.
- Never raise the intake end of the auger above waist high, as the balance shifts forward, and the auger will tip over.
- Stay away from overhead obstructions and power lines during operation and transporting.
- Electrocutation can occur without direct contact.

Farm King

Safety - 8' & 10' x 36', 41', & 51' Conventional Auger

Transport Safety

- Review Transport Safety instructions in tractor manual before moving.
- Check with local authorities regarding transport on public roads. Obey all applicable laws and regulations.
- Do not tow equipment that does not have brakes at speeds over 20 mph (32km/h).
- Do not tow equipment that does not have brakes that, when fully loaded, has a mass (weight) over 3300 lb (1.5 t) and more than 1.5 times the mass (weight) of the towing unit.
- Make sure the SMV (Slow Moving Vehicle) emblem and all the lights and reflectors that are required by the local highway and transport authorities are in place, are clean, and can be seen clearly by all overtaking and oncoming traffic.
- Never have the equipment in operation during transport.
- Always transport the Conventional Auger in the down position, carrying the weight of the auger on the winch cable and not on the track stops.
- Take extreme caution in maneuvering on or around tight corners so as not to catch the end of the auger on trees, buildings, power lines, etc.
- The equipment should never be towed without the safety chain securely attached to the auger and the towing vehicle.
- When moving the auger on the road, always use a red flag, or if absolutely necessary to move at night, accessory lights for adequate warning to operators of other vehicles.
- Always travel at a safe speed.
- Inflate transport tires to recommended pressure.

Service and Maintenance

- Stop engine, set brake, remove ignition key, and wait for all moving parts to stop before servicing, adjusting, repairing, or unplugging.
- Support the equipment with blocks or safety stands before working beneath it.
- Follow good shop practices including:
 - keep service area clean and dry
 - be sure electrical outlets and tools are properly grounded
 - use adequate light for the job.
- Use only tools, jacks, and hoists of sufficient capacity for the job.
- Replace and secure all shields removed during servicing before operating.
- Use heavy leather gloves to handle sharp objects.
- Failure to follow proper procedures when mounting a tire on a wheel or rim can produce an explosion, which may result in serious injury or death.

Storage Safety

- Store the unit in an area away from human activity.
- Do not permit children to play on or around the stored machine.
- Support the frame on stands and blocks to provide a secure base.
- When storing an Auger, park it on level ground so that the bottom end will never be over its center of gravity.
- Block the wheels of the Auger so that it will not move and tear the jack from it's mount.
- When storing the auger, the intake and should be tied or weighted to prevent tipping.

ANNEXE D

Données de calibration de la balance suspendue


RAPPORT D'ÉTALONNAGE
Balance intermédiaire


Client : CSST	Ville : St-Jean-Sur-Richelieu	RS 8898 - 01
Endroit de l'étalonnage : <input type="checkbox"/> Client <input checked="" type="checkbox"/> Solution Balance X-Cell		

- DESCRIPTION -

Type de balance : Suspendue	<input type="checkbox"/> Mécanique	<input checked="" type="checkbox"/> Électronique	<input type="checkbox"/> Légal pour le commerce
	Indicateur / Balance	Base	Imprimante/interface/autre
Marque	Totalcomp	-	-
Modèle	TWP	-	-
No Série		-	-
Capacité	1000 kg (2205 lb)	-	-
Précision	0.5 kg (1 lb)	-	-
No Équipement			

- UNITÉ DE MESURE -

 Unité utilisée pour la vérification :
 lb kg g oz autre _____

- EXCENTRICITÉ -

 Charge : N/A Tolérance : ± N/A

<input type="checkbox"/> 1 2	<input type="checkbox"/> 2 3			
	1 4			
<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3			
1 3	2 4			
1	2	3	4	
Avant	-	-	-	-
Après	-	-	-	-

- INSPECTION VISUELLE -

	Bon	À réparer	Réparer	N/A
Identifications	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Indicateur	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Câbles	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Boîte de jonction	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Base - Plateau	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Cadrant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Filéau	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Règle TARE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

- ÉTALONNAGE -

	Poids	Charge utilisée	Avant correction	Tolérance ±	Après correction
1	40	-	40.0	0.04	-
2	80	-	80.0	0.08	-
3	120	-	120.0	0.12	-
4	160	-	160.0	0.16	-
5					
6					

 Poids étalons utilisés pour l'étalonnage : XCL AH X B BX Autre : _____

- CONCLUSION -

 Remarques : _____
 Résultat final : Conforme Étiqueté-Signé Scellé Non conforme (_____)

 Vérifié par : MAC Date d'étalonnage : 27/11/14 Date due : 27/11/15

- Lors d'une non-conformité, le client accepte celle-ci en apposant sa signature à l'endroit prévu.
- Les poids étalons utilisés ont été étalonnés conformément à l'annexe 4, art.53 et 54, partie 3, c.r.c. c. 1605 des Règlements sur les Poids et Mesures Canada.
- La tolérance est de 0.1% de la charge appliquée sur la balance.
- Les méthodes d'étalonnage utilisées sont conformes aux normes de Poids et Mesures Canada.
- Les étalons utilisés sont retraçables aux étalons nationaux.
- Un tiret (-) dans les cases signifie qu'aucune correction n'a été apportée.



ANNEXE E

Rapport d'expertise interne

 <p>RÉSEAU D'EXPERTISE EN PRÉVENTION-INSPECTION</p>	<h2>RAPPORT D'EXPERTISE</h2>
<p>Estimation de la position du centre de gravité d'une vis à grain et des vitesses atteintes lors du basculement de la vis</p>	
<p>Rapport présenté à :</p>	
<p>Alexandre Audette – Chef d'équipe, inspecteur Direction régionale de Saint-Jean-sur-Richelieu</p>	
<p>Préparé par :</p>	
<p>_____ François Granger, ing. et agr. Conseiller expert en agriculture – DGPIP</p>	
<p>Révisé par :</p>	
<p>_____ Denis Leblanc, ing. Chef d'équipe secteur des établissements - DGPIP</p>	
<p><i>(seul le document original en version papier est signé)</i></p>	
<p>Le 05 Février 2015</p>	
<hr/>	
	

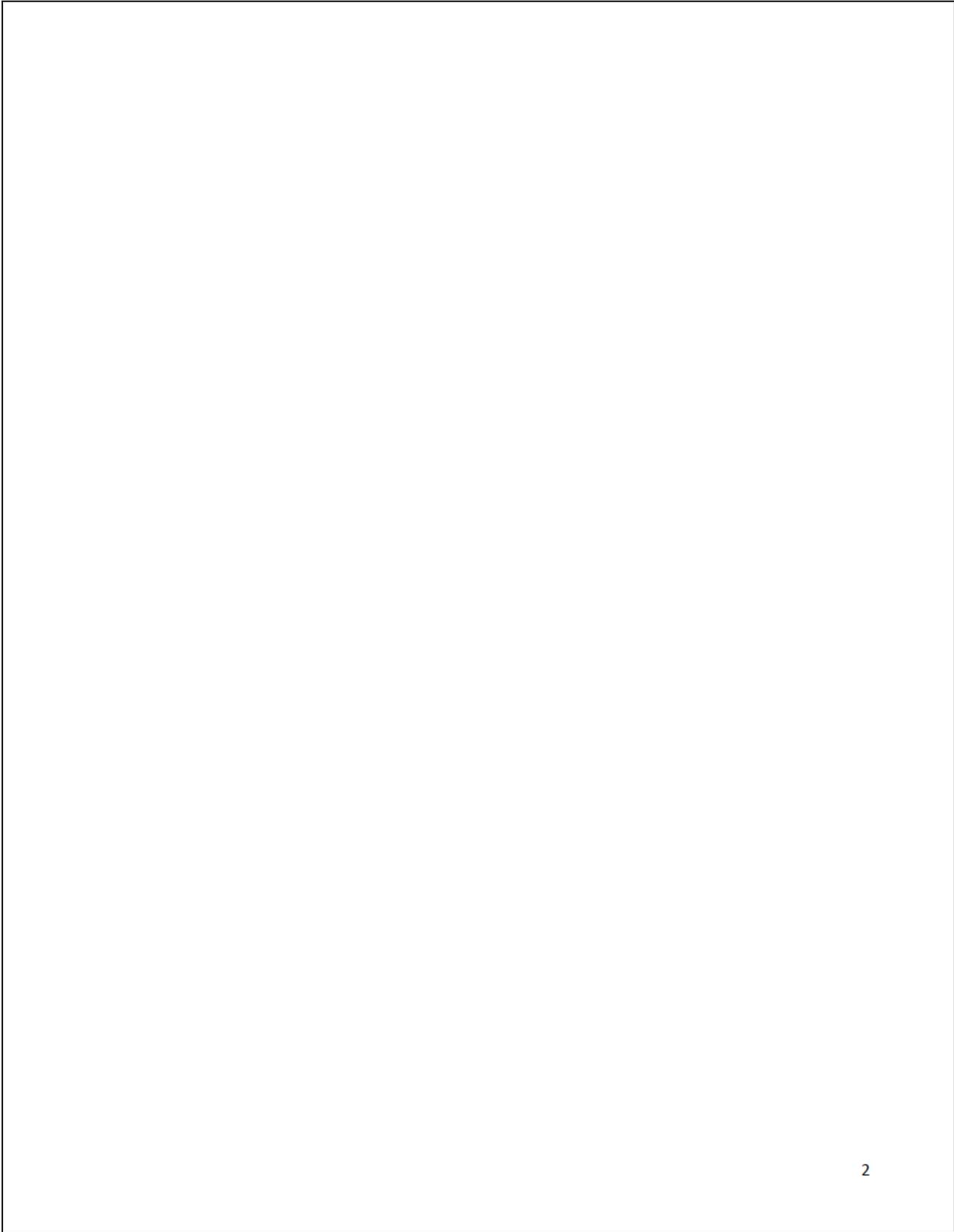


Table des matières

1. Mise en contexte
2. Description du mandat
3. Informations recueillies
4. Analyse
5. Réponses au mandat
6. Conclusions
7. Références

1. Mise en contexte

Lors du déplacement manuel d'une vis à grain alors qu'elle était complètement déployée, celle-ci a basculé et entraîné en hauteur le travailleur qui soutenait le point d'attelage de la vis.



Photo 1 : Vis à grain impliquée après son basculement

2. Description du mandat

La présente expertise vise à confirmer la facilité avec laquelle une vis à grain conventionnelle peut basculer et à réaliser une approximation de la vitesse pouvant être atteinte par le travailleur à la fin du basculement.

Pour se faire on doit :

- Évaluer la masse de la vis;
- Évaluer la position du centre de gravité de la vis;
- Évaluer la hauteur du point d'attelage au début du basculement;
- Évaluer la vitesse atteinte à la fin du basculement;

Une estimation de la vitesse atteinte comme s'il s'agissait d'une chute de hauteur a également été réalisée.

3. Informations recueillies

Description de la vis

Vis à grain conventionnelle (*transporteur mobile « à vis » ordinaire ; selon norme CSA M688*)

Marque : Farm King (compagnie Bühler)

Modèle : C1041

Année : 2012

N° série : 210543711

Plusieurs dessins d'ingénierie ont été obtenus mais aucune information sur la masse des pièces ou le poids total de la vis à grain.

Travailleur

Masse : 54,5 kg

Déploiement de la vis

Lorsque la vis à grain est complètement déployée, une hauteur maximale de 8,6 m est atteinte sous sa tête selon les données du fabricant (figure 1).

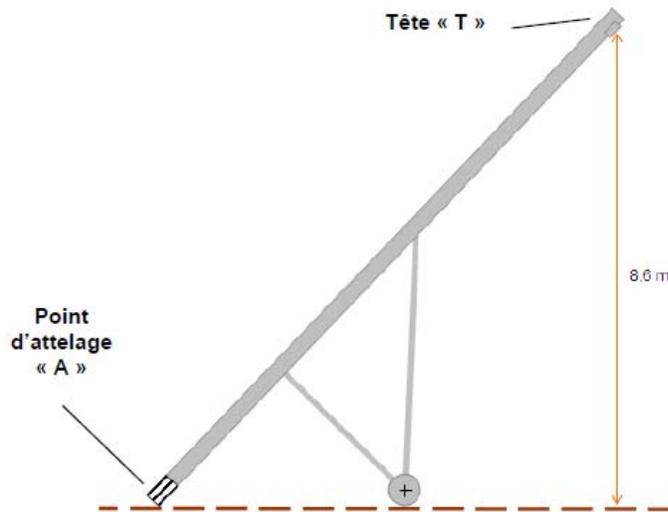


Figure 1. Vis à grain complètement déployée

En position de transport, la vis à grain est complètement abaissée et la hauteur sous la tête est de 3,2 m selon le fabricant (figure 2).

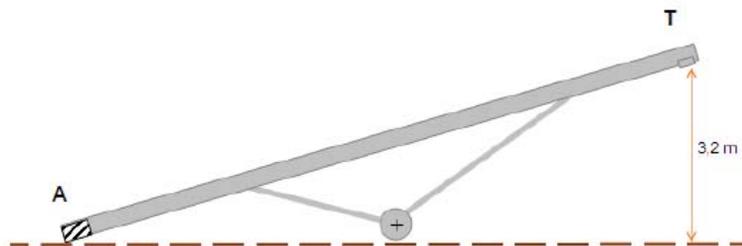


Figure 2. Vis à grain complètement abaissée

Lors de l'accident, la vis à grain était complètement déployée.

Données et observations terrain

Différentes mesures des composantes de la vis à grain nécessaires à la détermination de son centre de gravité ont été réalisées au terrain le 1^{er} décembre 2014. Des pesées ont également été effectuées à ce moment pour déterminer son poids total, ainsi que les forces agissant sous les points de contacts avec le sol. Ces pesées et mesures ont été nécessaires pour compléter l'information disponible dans le manuel de l'opérateur, la fiche technique et la collection de dessins d'ingénierie fournis par le fabricant.

Les pesées W_{A1} et W_{R1} (figure 3) ont été effectuées lorsque la vis à grain était debout et complètement déployée, telle qu'elle se trouvait avant son basculement. Les pesées W_{R2} et W_{T2} (figure 4) ont été effectuées avec la vis à grain complètement déployée, mais en position basculée.

Deux types de balances ont été utilisés, soit, des balances à placer sous les roues fournies par la SAAQ, ainsi qu'une balance louée à installer sur une ligne (élingue) en levant, à l'aide d'un chariot élévateur, soit une roue, soit le point d'attelage ou la tête de la vis à grain selon le cas.

Certaines imprécisions sont présentes dans les résultats des pesées compte tenu de l'état du terrain (qui n'était pas parfaitement horizontal et qui était boueux).

Le poids total de la vis à grain est d'environ 820 kg selon les résultats obtenus avec les balances de la SAAQ et d'environ 779 kg selon les résultats obtenus avec la balance louée.

Lorsque la vis à grain est complètement abaissée, soit en mode transport, le poids mesuré au point d'attelage « A » est de l'ordre de 15 kg. Lorsque la vis est complètement déployée, le poids au point d'attelage « A » est de l'ordre de 30 kg. Ainsi, il est facile de soulever le point d'attelage à la main, afin, par exemple, d'atteler la vis à la barre de tire d'un tracteur.

Cette caractéristique est reliée à la position du centre de gravité d'une vis à grain conventionnelle. Des essais réalisés au terrain ont permis d'observer que la vis à grain est en équilibre, c'est à dire que son centre de gravité se trouve directement à la verticale au-dessus de l'essieu, lorsque le point d'attelage « A » est soulevé à environ 0,84 m (33 pouces) au-dessus du sol alors que la vis est en position complètement abaissée. En position complètement déployée, les observations montrent que la vis est en équilibre lorsque le point d'attelage « A » est soulevé à environ 0,43 m (17 pouces) au-dessus du sol.

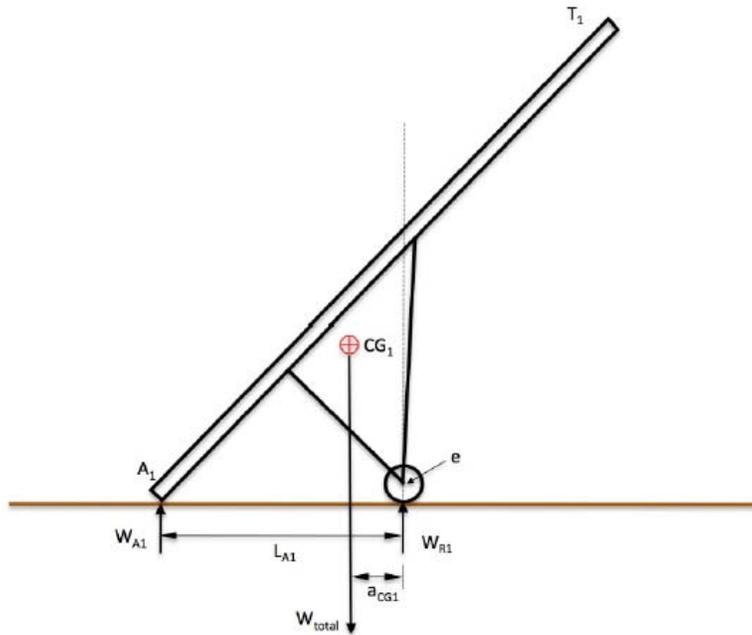


Figure 3. Pesées W_{A1} et W_{R1} avec la vis complètement déployée et debout

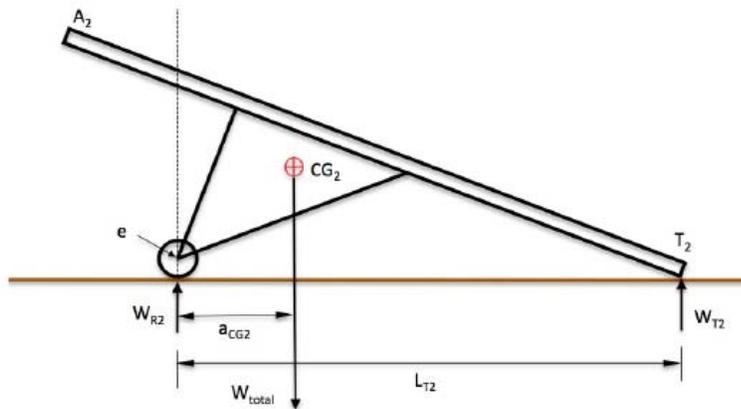


Figure 4. Pesées W_{R2} et W_{T2} avec la vis complètement déployée et basculée

4. Analyse

Position du centre de gravité de la vis à grain

La position horizontale du centre de gravité de la vis par rapport à l'essieu « e » a été déterminée à l'aide de la somme des moments autour du centre des roues. La position horizontale du centre de gravité « a_{CG} » a été calculée pour deux positions statiques de la vis à grain, soit lorsque le point d'attelage « A » est au sol, puis, lorsque la tête « T » est au sol après son basculement (figures 3 et 4).

Dans le présent rapport, les valeurs retenues pour les pesées sous les points de contacts avec le sol sont celles obtenues avec les balances de la SAAQ :

$$\begin{aligned} W_{\text{total}} &= 820 \text{ kg (1804 lbs)} \\ W_{A1} &= 50 \text{ kg} & W_{R1} &= 770 \text{ kg} \\ W_{T2} &= 273,3 \text{ kg} & W_{R2} &= 546,7 \text{ kg} \end{aligned}$$

De façon générale lorsque la vis est stable (3 points au sol) :

$$\sum M_e = 0 = \sum F_i \times r_i \quad \text{et} \quad F = ma \quad \text{alors} \quad \sum M_e = 0 = \sum (m_i a_i) \times r_i$$

Dans les équations qui suivent l'accélération gravitationnelle « a » s'annule et n'est pas incluse.

Pour trouver la position horizontale « a_{CG1} » lorsque la vis est debout ;

$$\begin{aligned} \sum M_e = 0 &= - (W_{A1} \times L_{A1}) + (W_{\text{total}} \times a_{CG1}) \\ (W_{A1} \times L_{A1}) &= (W_{\text{total}} \times a_{CG1}) \\ a_{CG1} &= W_{A1} \times L_{A1} / W_{\text{total}} \quad a_{CG1} = 0,287 \text{ m (11,3 pouces)} \end{aligned}$$

Pour trouver la position horizontale « a_{CG2} » lorsque la vis est basculée ;

$$\begin{aligned} \sum M_e = 0 &= + (W_{T2} \times L_{T2}) - (W_{\text{total}} \times a_{CG2}) \\ (W_{\text{total}} \times a_{CG2}) &= (W_{T2} \times L_{T2}) \\ a_{CG2} &= W_{T2} \times L_{T2} / W_{\text{total}} \quad a_{CG2} = 3,298 \text{ m (129,85 pouces)} \end{aligned}$$

La position verticale du centre de gravité par rapport à l'essieu « e » a quant à lui été déterminée par solution graphique (figure 5a) :

$$h = 3,705 \text{ m (145,9 pouces)}$$

La position du centre de gravité ainsi obtenue a ensuite été comparée avec la position de la vis à grain lorsqu'elle est en équilibre par rapport à l'essieu. Lorsque la vis à grain est en équilibre par rapport à l'essieu le point d'attelage « A » est à 0,43 m (17 pouces) au-dessus du sol (figure 5b).

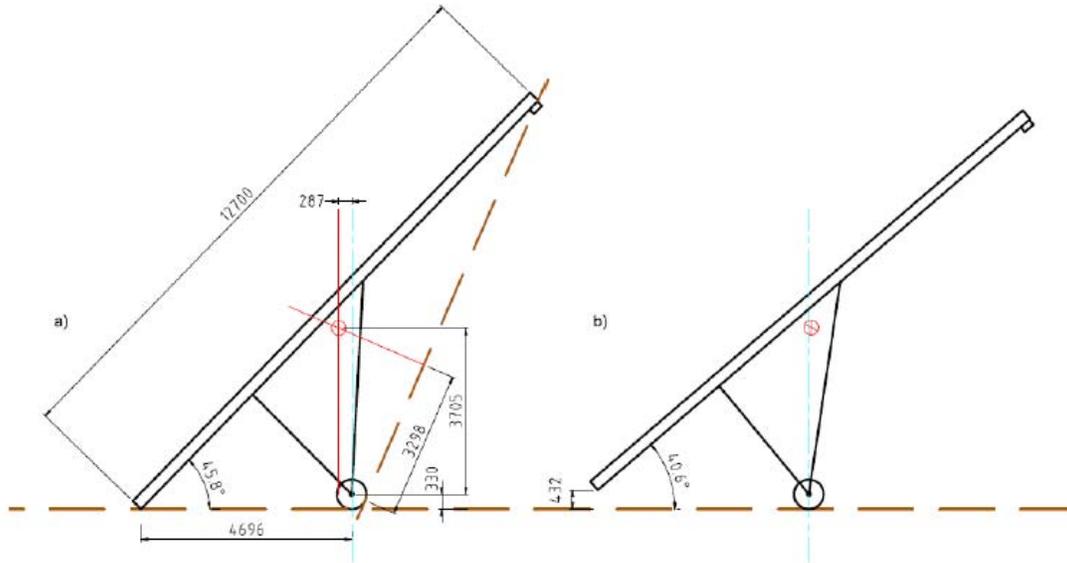


Figure 5. Position du centre de gravité - balances SAAQ (dimensions en mm)

Les résultats obtenues sur le terrain confirment les résultats obtenues graphiquement.

Position du point d'attelage au début du basculement

La figure 6 illustre les diverses positions de la vis à grain et le déplacement de son centre de gravité. Les valeurs indiquées dans cette figure ont été déterminées par mesures au terrain, graphiquement et par trigonométrie.

Le basculement débute lorsque la masse du travailleur ne suffit plus à faire un contrepoids alors que le centre de gravité de la vis se déplace devant l'essieu vers la tête de la vis « T ».

L'angle « β » et la hauteur « h_o » correspondent à la position du point d'attelage « A_o » au début du basculement (figure 6).

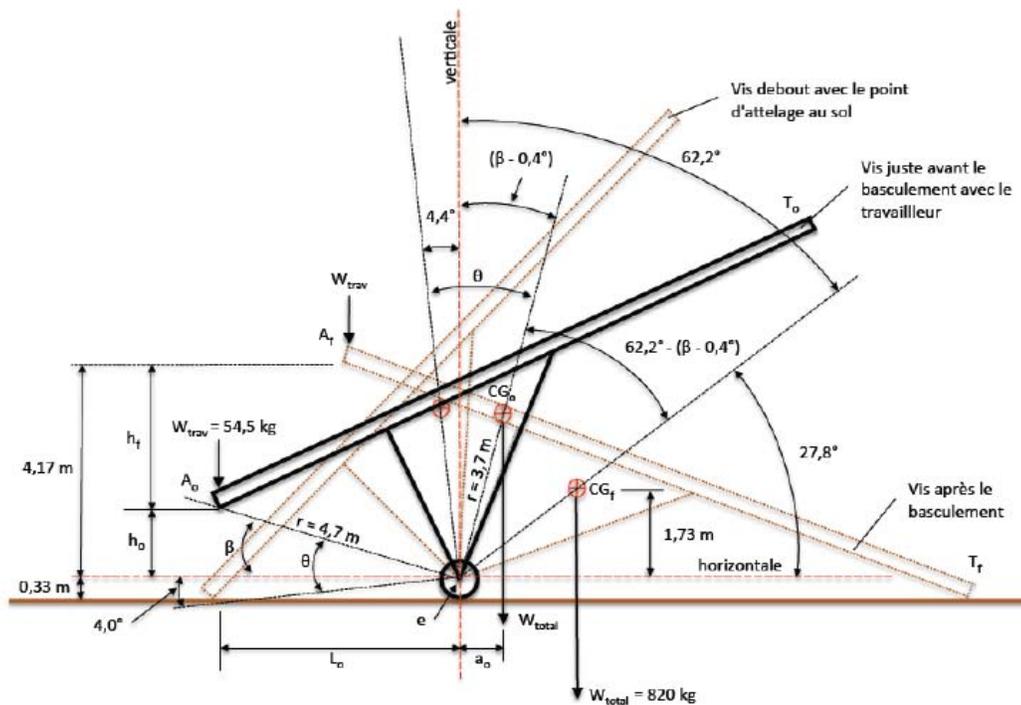


Figure 6. Position du point d'attelage au début du basculement avec le travailleur en « A_o »

Les valeurs de « β » et de « h_o » peuvent être déterminés à l'aide de la somme des moments autour de l'essieu « e » :

$$\sum M_e = + (W_{trav} \times L_o) - (W_{total} \times a_o)$$

$$(W_{total} \times a_o) = (W_{trav} \times L_o)$$

$$W_{trav} / W_{total} = a_o / L_o$$

$$54,5 \text{ kg} / 820 \text{ kg} = 3,7 \text{ m} \times \sin (\beta - 0,4^\circ) / (4,7 \text{ m} \times \cos \beta)$$

$$0,066 = 3,7 \text{ m} \times [(\sin \beta \cos 0,4^\circ) - (\sin 0,4^\circ \cos \beta)] / (4,7 \text{ m} \times \cos \beta)$$

$$(0,066 / 3,7 \text{ m}) \times 4,7 \text{ m} = (\tan \beta \times \cos 0,4^\circ) - (\sin 0,4^\circ)$$

$$(0,0844 + \sin 0,4^\circ) / \cos 0,4^\circ = \tan \beta$$

$$\beta = 5,223^\circ$$

La hauteur « h_0 » est : $h_0 = 4,7 \text{ m} \times \sin 5,223^\circ = 0,428 \text{ m}$ (17 pouces) au-dessus de l'essieu.

On ajoute la hauteur de l'essieu qui est de 0,33 m (13 pouces) pour avoir la hauteur par rapport au sol. Ainsi, en position complètement déployée, la vis à grain commence à entraîner le travailleur lorsque le point d'attelage se trouve à environ 0,76 m (30 pouces) au-dessus du sol.

Vitesse atteinte avant l'impact de la vis à grain au sol

Pour estimer la vitesse linéaire atteinte par une extrémité de la vis à grain tout juste avant la fin du basculement, la vitesse angulaire de l'ensemble du système « vis à grain + travailleur » (ci-après désigné le « système ») a d'abord été estimée.

Un modèle en 3 dimensions des pièces principales a aussi été fait pour évaluer le moment d'inertie de la vis à grain. Une densité pour l'acier de 7800 kg/m^3 a été utilisée. Les roues ont aussi été enlevées de cette évaluation puisque la vis tourne autour de l'essieu et qu'aucun mouvement des roues n'est requis. On a estimé à 35 kg la masse des roues. La masse totale du système est estimée à environ 840 kg (masse de la vis + masse du travailleur - masse des roues).

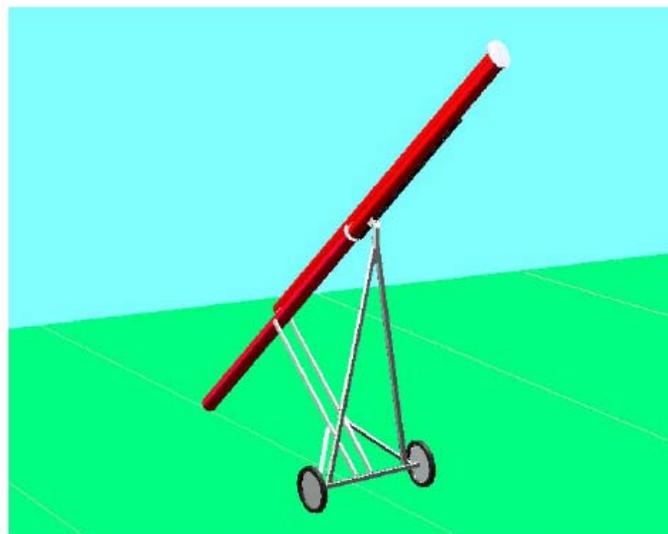


Figure 7. Aperçu des principales composantes de la vis à grain considérées

La position du centre de gravité pour l'ensemble du système a été déterminé selon la position des composantes par rapport à l'axe de rotation (figure 8).

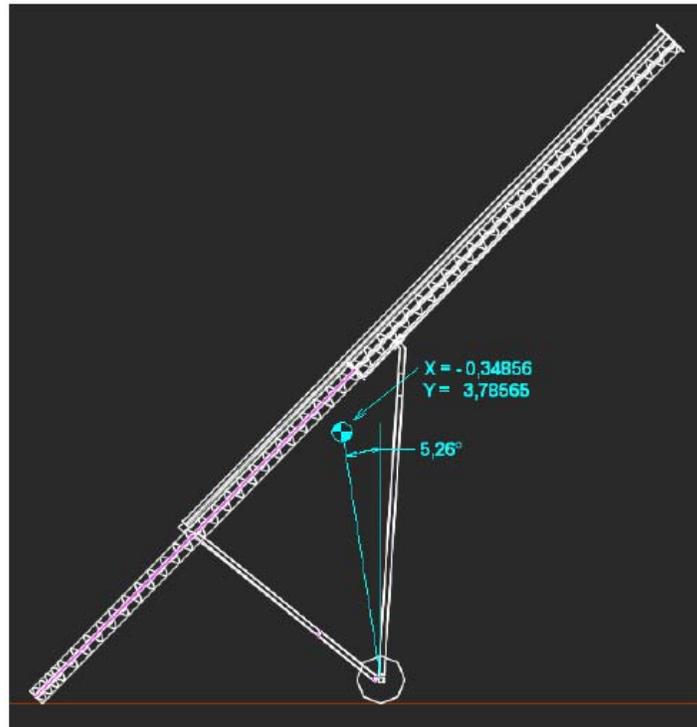


Figure 8. Position du centre de gravité du système « vis à grain + travailleur »

L'hypothèse retenue est que le basculement débute lorsque le centre de gravité du système est situé directement à la verticale au-dessus de l'essieu. Le déplacement angulaire de ce système varie de $\theta_0 = 0^\circ$ (verticale) à $\theta_f = 61,4^\circ$ à la fin du basculement.

L'inertie totale du système ainsi obtenue est environ $23427 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$.

La vitesse angulaire peut être estimée en considérant la différence d'énergie pour le centre de gravité entre le début et la fin du basculement. Ainsi, selon la loi de la conservation d'énergie :

$$E_{\text{totale}} = E_{p_0} + K_0 = E_{p_f} + K_f$$

Où

E_{p_0} = énergie potentielle au début

K_0 = énergie cinétique au début = 0 (on émet l'hypothèse qu'il n'y a pas de mouvement initialement)

E_{p_f} = énergie potentielle finale

K_f = énergie cinétique juste avant que la vis ne touche le sol

D'où

$$K_f = E_{p_o} - E_{p_f}$$

L'énergie cinétique « K » pouvant être exprimée angulairement :

$$K_f = \frac{1}{2} I \omega^2, \text{ ainsi, } \omega = \sqrt{2K_f / I}$$

Où

I = inertie (kg·m²)

ω = vitesse angulaire (rad/s)

L'énergie potentielle initiale (centre de gravité du système au-dessus de l'essieu) est estimée à :

$$\begin{aligned} E_{p_o} &= m_{cg} \times g \times h_{CGo} \\ &= 840 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2} \times 3,8 \text{ m} = 31313,5 \text{ J} \end{aligned}$$

L'énergie potentielle finale est estimée à :

$$\begin{aligned} E_{p_f} &= m_{cgf} \times g \times h_{CGf} \\ &= 840 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2} \times 3,8 \cdot \cos 61,4^\circ \text{ m} = 14989,5 \text{ J} \end{aligned}$$

Et l'énergie cinétique juste avant que la vis ne touche le sol est estimée à :

$$K_f = E_{p_o} - E_{p_f} = 31313,5 \text{ J} - 14989,5 \text{ J} = 16324 \text{ J}$$

La vitesse angulaire du système juste avant que la vis ne touche le sol est estimée à :

$$\omega = \sqrt{2K_f / I} = \sqrt{2 \times 16324 \text{ J} / 23427 \text{ kg}\cdot\text{m}^2} = 1,18 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$$

La vitesse linéaire du travailleur juste avant que la vis ne touche le sol est estimée à :

$$v = \omega \times r = 1,18 \text{ rad/s} \times 4,7 \text{ m} = 5,55 \text{ m/s} \text{ ou } \pm 20 \text{ km/h}$$

La vitesse angulaire peut aussi être estimée en utilisant une méthode qui implique les équations du mouvement. Sachant que la vitesse angulaire (ω), l'accélération angulaire (α) et le moment de la force varient en fonction du déplacement angulaire (θ), θ variant de 0 à 61,4°, le moment peut être exprimé comme suit :

Moment = I (inertie en $kg \cdot m^2$) x α (accélération angulaire en $rad \cdot s^{-2}$),

et

Moment = F x r = (m_{CG} x g) x (distance essieu au centre de gravité x sin θ)

Ainsi :

$\alpha = (m_{CG} \times g) \times (\text{distance essieu au centre de gravité} \times \sin \theta) / I$

$\alpha = 840 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \times 3,8 \cdot \sin \theta \text{ m} / 23427 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 = 1,338 \cdot \sin \theta \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2}$

et

$$\omega = \frac{\partial \theta}{\partial t} \quad \text{et} \quad \alpha = \frac{\partial \omega}{\partial t} \rightarrow \partial t = \frac{\partial \theta}{\omega} = \partial t = \frac{\partial \omega}{\alpha} \rightarrow \frac{\partial \theta}{\omega} = \frac{\partial \omega}{\alpha} \rightarrow \alpha \partial \theta = \omega \partial \omega$$

$$\int_{\omega_0}^{\omega_f} \omega \partial \omega = \int_{\theta_0}^{\theta_f} \alpha \partial \theta$$

$$\frac{1}{2} \omega^2 = \int_0^{61,4^\circ} 1,338 \cdot \sin \theta = -1,338 \cdot \cos \theta + C$$

À $\theta=0$, $\omega_0 = 0$, on obtient que $C = 1,338$

$$\text{Et } \omega = \sqrt{2(-1,338) \cdot \cos \theta + 2C} = \sqrt{-2,67678 \cdot \cos \theta + 2,67678}$$

À $\theta=61,4^\circ$:

$$\omega_f = \sqrt{-2,67678 \cdot \cos 61,4^\circ + 2,67678} = 1,18 \text{ rad} / \text{s}$$

Pour le travailleur qui est à 4,7 m du centre de rotation la vitesse est : 5,55 m/s ou ± 20 km/h.

Les deux méthodes évaluent une vitesse d'environ 20 km/h.

Projection hypothétique

En supposant qu'aucune force ne retienne le travailleur à la vis, la hauteur de projection hypothétique verticale de celui-ci au-dessus du point d'attelage à la fin du basculement, peut être évaluée à l'aide des équations suivantes :

$$t = (v_o - v)/g = 2 h / (v_o + v)$$

Où

- t = le temps (s)
- v_o = la vitesse au moment du « lancement » (m/s)
- v = la vitesse (m/s)
- g = la force gravitationnelle = 9,81 m·s⁻²
- h = la hauteur (m)

À la hauteur maximale (h_{max}), v = 0 (le travailleur arrête sa course) et t = v_o /g.

$$t_{h_{max}} = 5,55 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} / 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2} = 0,56 \text{ s} \text{ et } h_{max} = t \times v_o / 2 = 0,56 \text{ s} \times 5,55 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} / 2 = 1,5 \text{ m}$$

La distance parcourue verticalement sans se retenir serait d'environ 1,5 m. Dans ces conditions il est envisageable que le travailleur soit demeuré en contact avec la vis bien que son corps ait pu poursuivre son ascension.

Chute de hauteur de 4,5 m

En supposant que le travailleur ait chuté directement d'une hauteur de 4,5 m, soit la position du point d'attelage à la fin du basculement de la vis, sa vitesse et l'énergie avec lesquelles il aurait atteint le sol peuvent être évaluées à l'aide de la loi de la conservation d'énergie.

Dans ce cas,

$$E_{p_o} = K_f = m \cdot g \cdot h = 54,5 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2} \times 4,5 \text{ m} = 2405,9 \text{ J}$$

La vitesse atteinte avant de toucher le sol est :

$$v = \sqrt{2 \times 2405,9 \text{ J} / 54,5 \text{ kg}} = 9,4 \text{ m/s} \text{ ou } 34 \text{ km/h}$$

Si on ajoute 1,5 m, l'énergie devient environ 3200 j et la vitesse de chute atteint 39 km/h.

5. Réponses au mandat

La présente expertise confirme qu'à une hauteur atteignable par la majorité des travailleurs la vis à grain conventionnelle peut basculer sans que le travailleur ne puisse la retenir.

On a évalué à :

- 820 kg la masse totale de la vis à grain;
- 0,29 m derrière le centre de l'essieu et 3,7 m au dessus de l'essieu, la position du centre de gravité de la vis à grain;
- 0,76 m la hauteur du point d'attelage au début du basculement;
- 20 km/h la vitesse atteinte par le travailleur au point d'attelage à la fin du basculement;

6. Conclusions

L'analyse réalisée permet les conclusions suivantes :

Position du centre de gravité de la vis

- La position du centre de gravité de la vis permet de soulever facilement à la main le point d'attelage de la vis.
- L'évaluation de la position du centre de gravité de la vis concorde avec les observations faites au terrain. Notamment, lorsque la vis est complètement déployée, le centre de gravité se situe au-dessus de l'essieu lorsque le point d'attelage est soulevé à une hauteur d'environ 0,43 m (17") du sol.

Entraînement du travailleur par la vis

- L'analyse indique que lorsque le point d'attelage est à une hauteur d'environ 0,76 m (30") au-dessus du sol, la force exercée vers le haut au point d'attelage dépasse la force exercée vers le bas par la masse du travailleur. La vis commence à basculer.
- La vitesse du travailleur à la fin du basculement de la vis à grain est de l'ordre de 5,55 m/s (20 km/h) lorsqu'il se trouve encore au niveau du point d'attelage.
- En supposant une trajectoire verticale, le travailleur « non agrippé » aurait pu s'élever à environ 1,5 m au-dessus du « point de lancement » qui correspondrait au point d'attelage arrivé en fin de course après le basculement de la vis à grain.
- En supposant une chute de hauteur de 4,5 à 6 m, le travailleur aurait atteint une vitesse de l'ordre de 34 à 39 km/h avant de toucher le sol.

Limites de l'expertise :

Compte tenu d'éléments inconnus et d'incertitudes, les résultats sont considérés comme fournissant un ordre de grandeur réaliste, sans pour autant être rigoureusement exacts par rapport à ce qui est réellement survenu lors de l'accident. Par exemple, la position réelle du travailleur sur la vis à grain peut influencer la vitesse. Toutefois, par choix, l'extrémité au point d'attelage a été retenue pour son positionnement. Une position du travailleur un peu plus près de l'essieu aurait eu pour effet d'abaisser la hauteur requise au point d'attelage pour débiter le basculement.

7. Références

- **Daily, J., N. Shigemura and J. Daily, 2006.** *Fundamentals of Traffic Crash Reconstruction.* Institute of Police Technology and Management. 2nd printing, June 2006.
- **Sandor, B. I., 1983.** *Engineering Mechanics : Dynamics.* Prentice-Hall.
- **Bülher / Farm King :** manuel d'opération, fiche technique et collection de dessins d'ingénierie.

ANNEXE F

Liste des témoins et des autres personnes rencontrées

(.....)

Madame « A »

Madame « C »

Monsieur « D »

Sûreté du Québec

Monsieur Stephen Bertrand, enquêteur

Policiers



**RAPPORT
D'ENQUÊTE**

Dossier d'intervention
DPI4210429

Numéro du rapport
RAP1011212

ANNEXE G

Simulation de l'accident

Une vidéo de la simulation est disponible en ligne à l'adresse suivante:

<http://www.centredoc.csst.qc.ca/pdf/ad004046.mpg>

ANNEXE H

Références bibliographiques

ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. « Centre de gravité », *Grand dictionnaire terminologique*, [En ligne], 1974. [gdt.oqlf.gouv.qc.ca/ficheOqlf.aspx?Id_Fiche=3295354] (Consulté le 18 novembre 2014).

QUÉBEC. *Loi sur la santé et la sécurité du travail : RLRQ, à jour au 1^{er} octobre 2014*, [En ligne], 2014. [www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=2&file=/S_2_1/S2_1.html] (Consulté le 18 novembre 2014).