

RAPPORT D'ENQUÊTE

**Accident mortel survenu le 22 avril 2015
sur un chantier de 9194-1914 Québec inc.,
situé au [...], rue Saint-Pierre Est à Saint-Hyacinthe**

Direction régionale de la Yamaska

Inspecteurs :

**Marie-Hélène Blouin,
inspectrice**

**Luc Lefebvre, ing.
inspecteur**

Date du rapport : 6 octobre 2015

Rapport distribué à :

- Docteur René-Maurice Bélanger, coroner
- Docteur Jean Rodrigue, directeur de la santé publique par intérim de la Direction de la santé publique du Centre intégré de santé et de services sociaux (CISSS) de la Montérégie-Centre
- Madame [A], [...] 9194-1914 Québec inc.
- Monsieur [B], [...] 9194-1914 Québec inc.
- Monsieur [C], [...], FTQ Construction
- Monsieur [D], Fédération de la CSN-Construction
- Monsieur [E], Corporation du conseil provincial du Québec des métiers de la construction (CPQMC)
- Monsieur [F], Syndicat québécois de la construction (SQC)
- Monsieur [G], Syndicat des travailleurs de la Construction du Québec (C.S.D.)

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 PARTICIPATION	3
	2.2.2 GESTION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ	3
<u>3</u>	<u>DESCRIPTION DU TRAVAIL</u>	<u>4</u>
	3.1 DESCRIPTION DU LIEU DE TRAVAIL	4
	3.2 DESCRIPTION DU TRAVAIL À EFFECTUER	5
<u>4</u>	<u>ACCIDENT: FAITS ET ANALYSE</u>	<u>6</u>
	4.1 CHRONOLOGIE DE L'ACCIDENT	6
	4.2 CONSTATATIONS ET INFORMATIONS RECUEILLIES	6
	4.2.1 INFORMATION SUR L'ADMINISTRATEUR	6
	4.2.2 CARACTÉRISTIQUES DES DÉCOUPEUSES À DISQUE STIHL TS 800	7
	4.2.3 CARACTÉRISTIQUES DE LA DÉCOUPEUSE À DISQUE STIHL TS 800 MODIFIÉE	9
	4.2.4 CARACTÉRISTIQUES DU DISQUE DE LA DÉCOUPEUSE MODIFIÉE	11
	4.2.5 CARACTÉRISTIQUES DU PERRON AVANT LE DÉBUT DES TRAVAUX	13
	4.2.6 CARACTÉRISTIQUES DU PERRON APRÈS L'ACCIDENT	15
	4.2.7 MÉTHODE HABITUELLE DE DÉMOLITION DU PERRON	16
	4.2.8 MODE D'EMPLOI DE LA DÉCOUPEUSE À DISQUE STIHL TS 800	17
	4.2.9 EXPERTISES PRATIQUÉES SUR UNE DÉCOUPEUSE À DISQUE	18
	4.3 ÉNONCÉS ET ANALYSE DES CAUSES	20
	4.3.1 LA MÉTHODE DE TRAVAIL PERMET LE COINCEMENT DU DISQUE DE LA DÉCOUPEUSE	20
	4.3.2 LE COINCEMENT DU QUART SUPÉRIEUR DE LA PARTIE FRONTALE DU DISQUE D'UNE DÉCOUPEUSE PROVOQUE UN CABRAGE VIOLENT	21
<u>5</u>	<u>CONCLUSION</u>	<u>23</u>
	5.1 CAUSES DE L'ACCIDENT	23
	5.2 AUTRES DOCUMENTS ÉMIS LORS DE L'ENQUÊTE	23
	5.3 SUIVI À L'ENQUÊTE	23

ANNEXES

ANNEXE A :	Accidenté	24
ANNEXE B :	Liste des personnes rencontrées	25
ANNEXE C :	Extrait du manuel d'instructions de la découpeuse à disque Stihl TS 700, 800	26
ANNEXE D :	Fiche caractéristique du disque diamantée de la découpeuse à disque modifiée	36
ANNEXE E :	Expertises effectuées dans le cadre de l'enquête de la CSST suite à l'accident mortel survenu le 18 août 2006 à Québec	38
ANNEXE F :	Références bibliographiques	66

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

Le 22 avril 2015, vers 13 h, M. [H] de 9194-1914 Québec inc. (ci-après désigné sous la raison sociale Les Entreprises André Chagnon) s'affaire à couper une section des marches d'un perron en béton abîmé afin d'en construire un nouveau. Durant cette manœuvre, la découpeuse à disque, communément appelée scie à béton, se cabre et le disque atteint M. [H] au cou.

Conséquences

Décès de M.H.



Photo 1 : Vue de face du perron avec une découpeuse à disque

Abrégé des causes

Les causes retenues sont :

- La méthode de travail permet le coincement du disque de la découpeuse.
- Le coincement du quart supérieur de la partie frontale du disque d'une découpeuse provoque un cabrage violent.

Mesures correctives

[...], les travaux sont temporairement suspendus.

La CSST interdit toute modification au perron, lieu de l'accident, aux fins d'enquête. La décision indiquant que le lieu de travail doit demeurer inchangé est inscrite dans le rapport d'intervention RAP0984476, daté du 23 avril 2015 et adressé à la propriétaire de l'immeuble situé au [...], rue Saint-Pierre Est, à Saint-Hyacinthe.

À la suite de l'accident, les découpeuses à disque sont saisies par la CSST. Le rapport d'intervention RAP0916427, daté du 28 avril 2015, répertorie les décisions relativement à cette saisie.

Dans le rapport RAP0916434, daté du 6 mai 2015, la CSST autorise la reprise des travaux sur les lieux de l'accident. Le rapport est adressé à la propriétaire du bâtiment.

Dans le rapport RAP0901454, daté du 24 juillet 2015, la CSST interdit l'utilisation de la découpeuse à disque TS 800 numéro de série 171014608, car deux protecteurs ont été modifiés sans l'autorisation du fabricant. [...]

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

SECTION 2

2 ORGANISATION DU TRAVAIL

2.1 Structure générale de l'établissement

Les Entreprises André Chagnon offrent des services de démolition, d'excavation, de coffrage et de finition du béton. L'entreprise existe depuis 2008 et [...], M. H., [...].

[...]

2.2 Organisation de la santé et de la sécurité du travail

2.2.1 Mécanismes de participation

En matière de santé et de sécurité du travail, les mécanismes de participation du travailleur des Entreprises André Chagnon consistent au signalement à l'employeur des problématiques rencontrées sur les lieux de travail. Le travailleur est aussi impliqué dans le choix des équipements de protection individuels, dans l'identification des règles de sécurité à respecter et dans l'application de méthodes de travail sécuritaires.

2.2.2 Gestion de la santé et de la sécurité

Les Entreprises André Chagnon sont classées dans le secteur d'activité « bâtiments et travaux publics ». Pour les établissements de ce secteur, la Loi sur la santé et la sécurité du travail exige l'élaboration et l'application d'un programme de prévention. L'établissement ne possède pas un tel programme.

L'employeur fournit les équipements de protection individuels à son travailleur et s'assure d'entretenir régulièrement ses équipements de travail.

SECTION 3**3 DESCRIPTION DU TRAVAIL****3.1 Description du lieu de travail**

Le chantier est situé dans un quartier résidentiel, au [...], rue Saint-Pierre Est, à Saint-Hyacinthe, [...].

Il s'agit d'un immeuble à deux étages comportant quatre appartements. Le perron et le trottoir de béton mènent à la rue Saint-Pierre Est.



Photo 2 : Vue de la façade de l'immeuble après l'accident

3.2 Description du travail à effectuer

Le contrat de travail pour le présent chantier stipule notamment la reconstruction du perron en façade, incluant les marches. Parmi les travaux qui y figurent, il y a :

- L'enlèvement et réinstallation des balustrades en fer forgé existantes;
- Le cassage et transport du béton existant;
- La reconstruction du perron :
 - coffrage,
 - installation d'armatures,
 - coulage du béton,
 - décoffrage;
- Le nettoyage du chantier.

SECTION 4

4 ACCIDENT: FAITS ET ANALYSE

4.1 Chronologie de l'accident

Vers 11 h, M. [H] arrive au [...], rue Saint-Pierre Est, à Saint-Hyacinthe. Il travaille seul sur le chantier.

Vers 12 h, un résident d'un des appartements discute avec M. [H] [...]. À ce moment, M. [H] retire le tapis gazon recouvrant le perron; le découpage du perron n'est pas commencé.

Vers 13 h, une dame travaillant face au chantier, entend le bruit de la découpeuse à disque et remarque que celui-ci s'arrête.

Vers 13 h 15, un voisin voit le corps inanimé de M. [H] allongé sur le dos à proximité du perron, à l'ouest des marches du perron. Il appelle le 911 et fait un signe de la main à un automobiliste pour qu'il vienne à sa rencontre. Un employé de la Ville de Saint-Hyacinthe remarque le voisin et le rejoint. Cet employé voit M. [H] au sol et arrête le moteur de la découpeuse à disque. Étant secouriste, il tente des manœuvres de réanimation.

Vers 13 h 21, les ambulanciers arrivent sur les lieux.

Vers 13 h 36, les ambulanciers conduisent M. [H] à l'Hôpital Honoré-Mercier, où son décès est constaté.

4.2 Constatations et informations recueillies

Il est important de préciser que M. [H]. travaille seul sur le chantier et qu'il n'y a aucun témoin de l'accident de travail.

4.2.1 Information sur l'administrateur

M. [H] a environ [...] d'années d'expérience dans le domaine de la construction. Il travaille comme journalier spécialisé, entre autres dans des tâches de coupe de béton. [...].

M. [H] détient une attestation d'un cours de sécurité pour les chantiers de construction.

Le coroner précise qu'il y a une seule blessure importante au cou de M. [H] et qu'il n'y a aucun signe de défense comme des lésions aux mains et aux bras. Il conclut que l'accident est survenu très rapidement et sans possibilité d'évitement.

4.2.2 Caractéristiques des découpeuses à disque Stihl TS 800

M. [H] utilise deux découpeuses à disque pour effectuer le travail de coupe du perron. Il s'agit de deux découpeuses de marque Stihl, modèle TS 800. L'une d'elles est modifiée et l'autre ne l'est pas.



Photo 3 : Image d'une découpeuse à disque Stihl TS 800 (source : Stihl)

Voici quelques caractéristiques de la découpeuse à disque Stihl TS 800 :

- Cet équipement sert notamment à couper du béton;
- Ce modèle est vendu pour être utilisé avec un disque ayant un diamètre de 40,6 cm;
- La profondeur de coupe d'une découpeuse TS 800 est de 14,5 cm;
- Le protecteur est amovible et permet l'utilisation du quart supérieur de la partie frontale du disque.

D'autres caractéristiques se retrouvent en annexe C.

La photo 4 montre la découpeuse à disque non modifiée présente sur le chantier lors de l'accident. Le protecteur est relevé au maximum. De par la conception de la découpeuse, une butée de caoutchouc arrête la course vers l'arrière du protecteur à cette position.

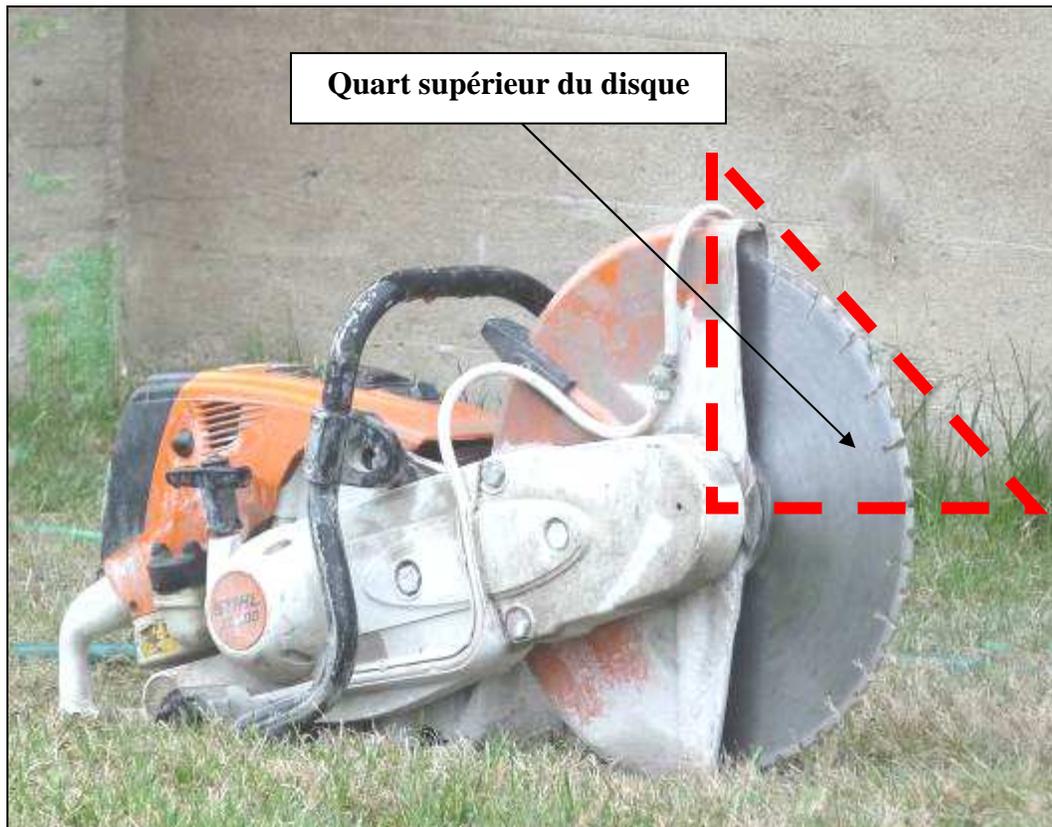


Photo 4 : Découpeuse à disque non modifiée

4.2.3 Caractéristiques de la découpeuse à disque Stihl TS 800 modifiée

Des modifications sont apportées à une des deux découpeuses à disque, ce qui permet l'utilisation d'un disque de 50,8 cm de diamètre. Pour permettre l'utilisation d'un tel disque, les protecteurs, celui autour du disque et celui recouvrant la courroie, sont agrandis. Ces modifications sont visibles sur la photo 5, où la découpeuse est montrée sans disque ni vis de fixation du protecteur de courroie, car ceux-ci ont été retirés pour les besoins de l'enquête. Ces modifications n'ont pas été approuvées par le fabricant Stihl.

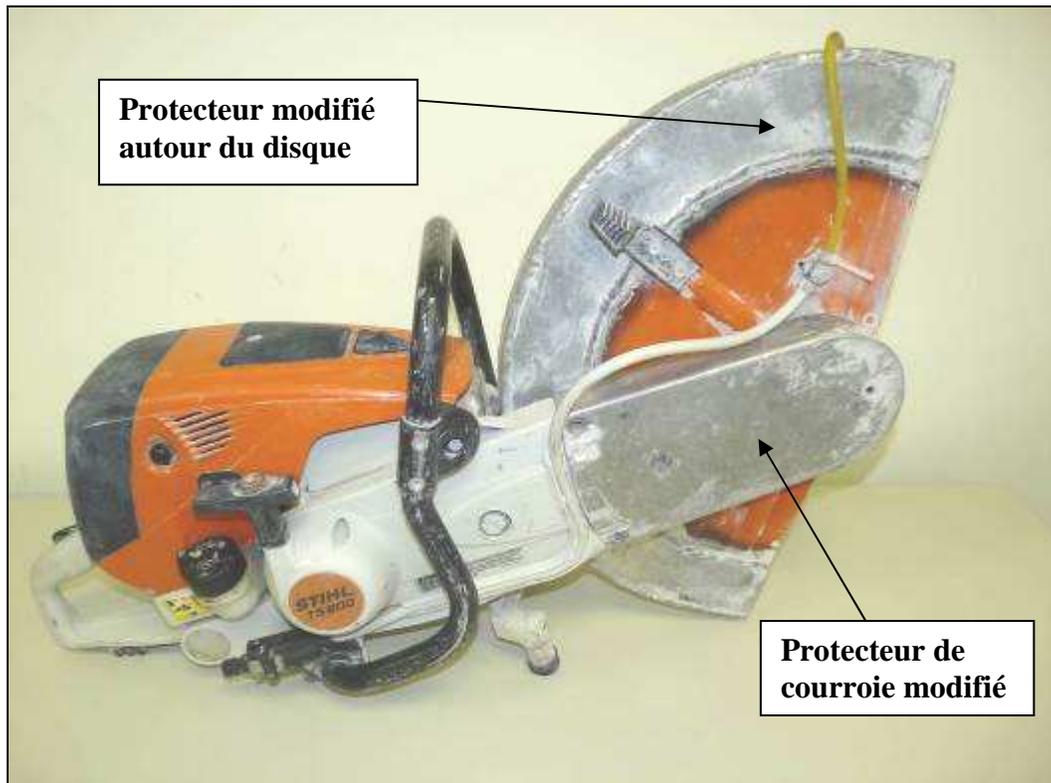


Photo 5 : Découpeuse à disque Stihl TS 800 modifiée
(sans disque ni vis de fixation du protecteur de courroie)

La photo 6 montre la position du protecteur sur la découpeuse à disque modifiée, comme elle est retrouvée sur le chantier lors de l'accident de travail. Le protecteur couvre la section arrière du disque, permettant ainsi l'usage du quart supérieur du disque. La découpeuse est branchée au boyau d'arrosage l'alimentant en eau. Il est également possible de constater que la découpeuse à disque repose sur le sol à l'ouest des marches, tout près d'un trait de scie sur la paroi du perron.



Photo 6 : Découpeuse à disque modifiée retrouvée sur le chantier

4.2.4 Caractéristiques du disque de la découpeuse modifiée

Sur la découpeuse modifiée, le disque suivant est utilisé:

Marque : Abmast
Modèle : WBC30P (Qualité Premium)
Diamètre : 50,8 cm

Selon un directeur des achats de Stanley Black & Decker Canada Corporation (anciennement Abmast inc.), ce disque est conçu pour couper du béton dur ou armé avec une scie de construction de route (photo 7).



Photo 7 : Scie de route (source : Husqvarna)

Des mesures sont prises sur le disque et montrent que la partie du disque où se trouvent les dents diamantées a une épaisseur moyenne de 3,74 mm, tandis que le reste du disque a une épaisseur moyenne de 3,03 mm. Ainsi, la partie dentelée située sur la circonférence est plus épaisse que le reste du disque.

La profondeur de coupe du disque diamanté, lorsqu'il est utilisé avec la découpeuse modifiée, est estimée à 20,3 cm.

De plus, il y a des marques circulaires près de la partie dentelée du disque. Ces marques sont symétriques des deux côtés du disque, comme le montre la photo 8. Elles sont situées sur la partie ayant une épaisseur de 3,03 mm.



Photo 8 : Marques circulaires sur les deux faces du disque (à l'intérieur des lignes rouges)

Les caractéristiques techniques du disque sont décrites à l'annexe D.

4.2.5 Caractéristiques du perron avant le début des travaux

Le perron mesure 3,05 m de longueur, 1,22 m de largeur et 0,91 m de hauteur. Il est composé de deux marches. Au bas du perron, il y a des dalles de béton qui mènent à la rue.

Les marches du perron ne reposent ni sur le sol ni sur la dalle. Il y a un espace libre de 20 cm sous celles-ci (photo 9).

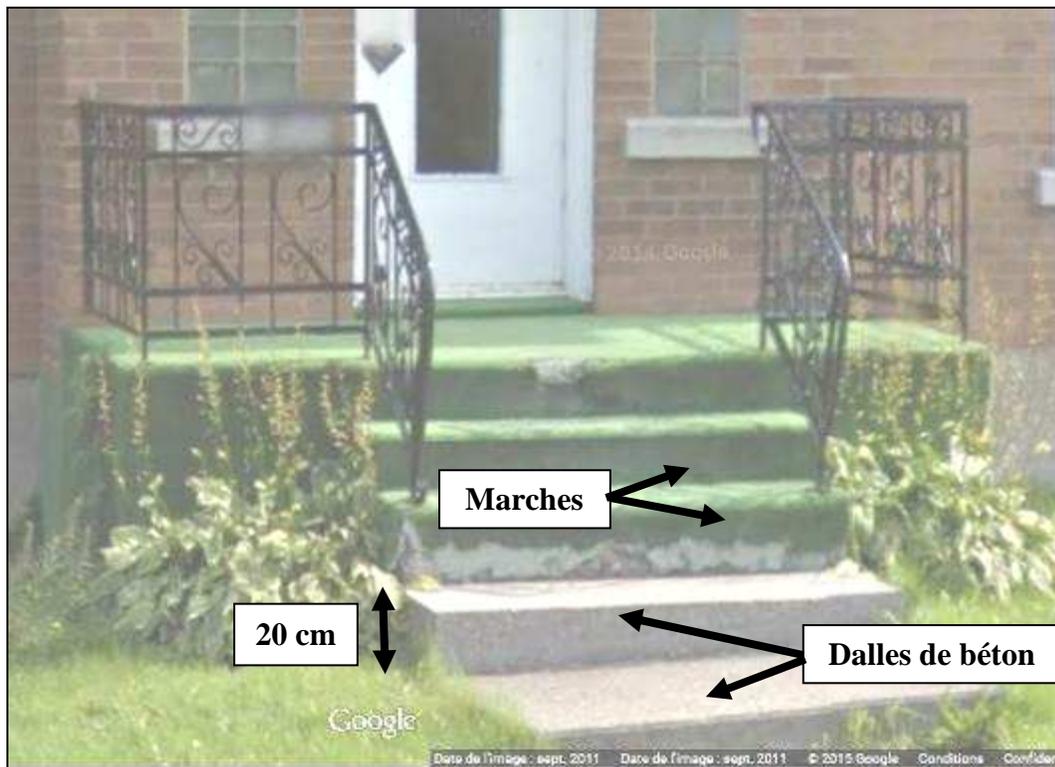


Photo 9 : Perron en date de septembre 2011 (source : Google)

Selon un résident de l'immeuble, une partie d'une marche est déjà cassée et effondrée au sol au moment où M. [H] effectue la coupe du perron. Environ la moitié de la marche du côté ouest n'est plus rattachée au perron. Elle est encerclée sur la photo 10.



Photo 10 : Section de la marche cassée du perron

Le poids de la section coupée comprenant les marches est estimé à 960 kg¹. Ce poids exclut le poids de la portion de la marche déjà affaissée.

¹ Cette estimation est faite en fonction des dimensions du perron et selon la masse volumique du béton qui est égale à 2400 kg/m³.

4.2.6 Caractéristiques du perron après l'accident

Tel qu'il est constaté après l'accident, plusieurs traits de scie sont visibles sur le perron. De plus, une section de béton constituée de deux marches repose sur le sol (photos 1 et 10). Les traits de scie présents sur la surface du plancher du perron ont une profondeur de 14,3 cm (photo 11).



Photo 11 : Traits de scie sur le dessus du perron

La section détachée du perron mesure environ 41 cm de largeur et 244,4 cm de longueur. La photo 12 présente diverses mesures de cette section, découpée par M. [H].

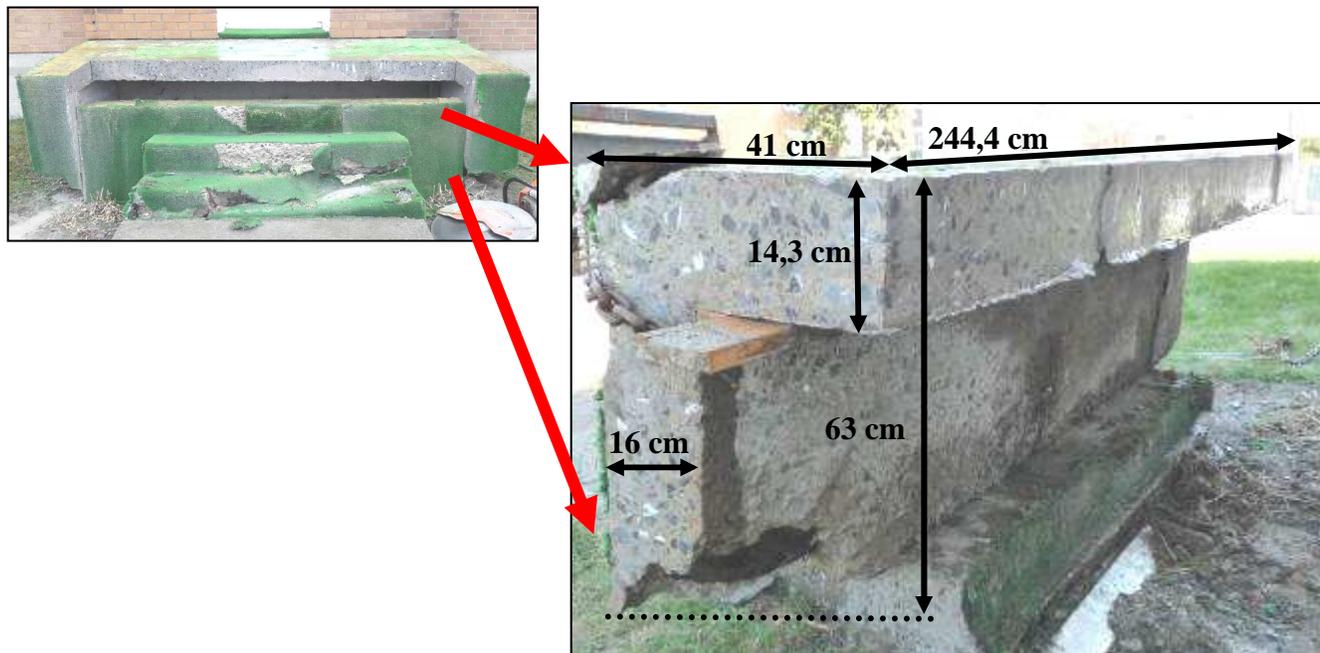


Photo 12 : Vue latérale du bloc de béton, retiré du perron pour les besoins de l'enquête

4.2.7 Méthode habituelle de démolition du perron

Selon le travailleur des Entreprises André Chagnon, la méthode de travail antérieure était d'utiliser un marteau-piqueur afin de détruire un perron de béton, pour ensuite ramasser les débris et reconstruire un nouveau perron. De tels travaux, ainsi que des travaux s'y apparentant, sont effectués une dizaine de fois par année par l'entreprise.

Depuis quelques années, afin d'augmenter l'efficacité de leur travail, l'entreprise adopte une méthode différente que celle décrite ci-haut. Celle-ci consiste à découper le perron par sections et à les retirer avec un appareil de levage.

Ainsi, pour démolir un perron en béton, M.[H] et le travailleur utilisent habituellement les deux découpeuses décrites précédemment et dont les disques sont de diamètre différent. Les premiers traits sont effectués avec le disque ayant le plus petit diamètre, soit la découpeuse non modifiée. La découpeuse à disque modifiée est ensuite utilisée, si nécessaire, dans les traits existants afin de compléter le sciage de parois de béton plus épaisses, et ce, en fonction de l'ordre de coupe des différentes sections. Pour la coupe des parois verticales, la partie frontale du disque est utilisée.

Dans le cas présent, la section des marches est la première section à faire tomber au sol et à être retirée avec un appareil de levage. Ensuite, le restant du perron devait être coupé, car un trait de scie est présent sur le dessus de la surface du perron, près du mur de la façade de l'immeuble (photo 11).

Pour ce genre de perron, la méthode habituelle de travail de l'entreprise prévoit l'ordonnancement suivant des coupes :

- Les premières coupes sont celles du dessus du perron, faites avec la découpeuse ayant le disque de plus petit diamètre;
- Ensuite, une coupe est effectuée sur la paroi verticale au-devant du perron, côté est, en commençant par le dessus du perron, donc de haut en bas de la paroi;
- Pour finir, la troisième et dernière coupe effectuée est celle de la paroi ouest du devant du perron, de haut en bas.

Avec cette méthode de travail, l'opérateur de la scie s'attend à ce que la section des marches cède sous son poids vers la fin de la coupe, au bas de la paroi verticale ouest.

4.2.8 Mode d'emploi de la découpeuse à disque Stihl TS 800

Voici quelques éléments tirés du document *Stihl TS 700, 800 : notice d'emploi*² :

- « N'apporter aucune modification à cette machine – cela risquerait d'en compromettre la sécurité.
- Monter exclusivement des disques à découper et des accessoires autorisés par STIHL pour cette machine ou des pièces similaires du point de vue technique.
- La vitesse de rotation maximale admissible pour le disque à découper doit être égale ou supérieure au régime maximal de la broche de la découpeuse à disque! -Voir chapitre « Caractéristiques techniques ».
- Des disques diamantés de moindre qualité ou non autorisés peuvent accuser un certain flottement, au cours du découpage. Par suite de ce flottement, de tels disques diamantés risquent d'être fortement freinés ou de se coincer dans la coupe – **risque de rebond! Le rebond peut causer des blessures mortelles!** Remplacer immédiatement les disques diamantés qui accusent un flottement continu, ou même seulement sporadique.
- Les forces de réaction les plus fréquentes sont le rebond et la traction.
- **Danger en cas de rebond. Le rebond peut causer des blessures mortelles.**
- En cas de rebond (kick-back), la découpeuse est brusquement projetée vers l'utilisateur qui ne peut plus contrôler la machine.
- Un rebond se produit par ex. lorsque le disque :
 - se coince – surtout dans le quart supérieur;
 - est fortement freiné en frottant contre un objet solide.

² STIHL. *Stihl TS 700, 800 : notice d'emploi*, London, Ont., Stihl, 2009, 88 p. [http://en.stihl.ca/p/media/download/en-ca/TS_700-800.pdf].

- Pour réduire le risque de rebond :
 - travailler de façon réfléchie, en appliquant la technique qui convient;
 - toujours prendre la découpeuse à deux mains et la tenir fermement;
 - ne pas couper avec le quart supérieur du disque. Faire très attention en introduisant le disque dans une coupe – ne pas le gauchir ou l'introduire en frappant ou en forçant;
 - toujours s'attendre à ce que, par suite d'un déplacement de l'objet à découper ou pour une autre raison quelconque, la coupe se resserre et coince le disque.
 - Fixer solidement l'objet à découper et le caler de telle sorte que la coupe reste bien ouverte au cours du travail et à la fin du découpage;
- Se tenir de telle sorte qu'aucune partie du corps ne se trouve dans le prolongement du plan de coupe du disque.
- Ne pas trop se pencher vers l'avant. Ne jamais se pencher au-dessus du disque, tout particulièrement lorsque le capot protecteur est relevé.
- Toujours exécuter la dernière coupe de telle sorte que le disque ne risque pas d'être coincé et que la chute de la partie coupée ne présente pas de risque pour l'utilisateur de la machine.
- Le cas échéant, laisser de petites barrettes non coupées pour retenir la partie découpée. Pour finir, casser ces barrettes.
- Avant la séparation définitive de la partie découpée, il faut tenir compte :
 - Du poids de cette partie coupée;
 - De son déplacement possible, après la séparation;
 - Du fait qu'elle peut se trouver sous contrainte. »

D'autres extraits du document sont répertoriés à l'annexe C. Ces éléments se retrouvent aussi dans le document *Stihl Travailler en sécurité avec la découpeuse à disque*³.

4.2.9 Expertises pratiquées sur une découpeuse à disque

À la suite d'un accident mortel survenu sur un chantier de construction à Québec le 18 août 2006, la CSST a mandaté M. Jean Ruel, Ph. D., ing., de l'Université Laval, pour analyser les forces impliquées dans l'utilisation d'une découpeuse à disque de marque Stihl modèle TS400. Deux expertises ont été effectuées. La première expertise consiste en une évaluation analytique des forces impliquées dans le fonctionnement d'une découpeuse à disque. La deuxième expertise comporte une évaluation expérimentale des forces réactives produites par le coincement de la lame d'une découpeuse à disque, afin de valider les conclusions de la première expertise. Les rapports d'expertises se retrouvent à l'annexe E.

Dans la présente enquête, ces expertises sont prises en compte parce que l'accident du 22 avril 2015 à Saint-Hyacinthe concerne l'utilisation d'un équipement similaire et qu'il est survenu dans des circonstances semblables à l'accident du 18 août 2006.

³ STIHL. *Travailler en sécurité avec la découpeuse à disque*, [London, Ont.], Stihl, 2010, 21 p. [http://www.stihl.de/safety_manuals/ft/Trennschleifgeraet_franzoesisch.pdf]

Dans l'introduction de la première expertise, M. Jean Ruel, mentionne que les principes généraux qui sont énoncés dans ce rapport sont applicables à l'ensemble des modèles de découpeuse à disque correspondant à la description suivante : « Une scie à béton comportant un bâti muni de deux poignées et soutenant un moteur à essence. Un bras d'extension supporte une lame rotative entraînée par le moteur et tournant à haute vitesse. »

Cette première expertise analyse d'abord les forces impliquées dans le fonctionnement d'une découpeuse à disque, plus précisément pour des situations de coupe avec la partie inférieure du disque et aussi avec la partie frontale. Ensuite, la situation de coincement du disque est étudiée dans le but d'évaluer les forces développées par la scie et les mouvements possibles de projection de l'outil.

Les conclusions découlant de cette évaluation démontrent que :

1. Lors d'une coupe avec la partie inférieure du disque, l'opérateur doit retenir une force modérée qui tire la découpeuse vers l'avant. Si un coincement de la lame se produit, cette force augmente soudainement de façon significative et risque de projeter la découpeuse vers l'avant à grande vitesse. En considérant un temps d'impact de 0,2 seconde, la force réactive est de 45,6 kg. Rappelant que la force d'appel vers l'avant est normalement de l'ordre de 3,47 kg, un passage soudain à 45,6 kg ou même plus peut surprendre l'opérateur qui risque d'échapper la découpeuse;
2. La situation de coupe avec la partie frontale du disque est plus dangereuse. L'opérateur doit retenir la découpeuse avec des forces modérées et le niveau relativement faible de ces forces peut réduire sa vigilance. Si un coincement de la lame se produit, des forces réactives intenses sont produites. L'intensité de ces forces est telle que, dans la plupart des cas, l'opérateur risque de ne pas pouvoir retenir la découpeuse à disque qui peut être projetée vers lui à grande vitesse. En considérant un temps d'impact de 0,2 seconde, la découpeuse fait un demi-tour (la partie du disque est poussée vers le haut) en moins de 0,1 seconde. Pour empêcher la rotation de la découpeuse vers lui, l'opérateur doit retenir une force soudaine de 130 kg.

Il termine sa première expertise en disant : « Le danger inhérent à l'utilisation de ce type d'équipement est déjà reconnu, et les risques d'accident sont élevés, comme en témoignent les événements récents et ceux qui sont enregistrés. »

La deuxième expertise au sujet d'une évaluation expérimentale des forces réactives produites par le coincement de la lame d'une découpeuse à disque valide les conclusions de la première expertise et conclut notamment que :

1. Les résultats expérimentaux obtenus avec le modèle réduit confirment clairement que l'approche utilisée pour évaluer les forces réactives lors du coincement de la lame d'une découpeuse à disque est très appropriée et décrit bien la situation réelle;
2. L'hypothèse selon laquelle la durée de l'impact est plus courte que 0,2 seconde est confirmée (ainsi que le caractère conservateur de cette valeur);
3. Les forces réelles risquent d'être plus importantes que celles prédites.

4.3 Énoncés et analyse des causes

4.3.1 La méthode de travail permet le coincement du disque de la découpeuse

La méthode de démolition d'un perron des Entreprises André Chagnon préconise la coupe de plusieurs sections de béton à l'aide d'une découpeuse à disque. Pour ce faire, la découpeuse non modifiée est utilisée pour amorcer le travail. M. [H] utilise donc cette découpeuse pour faire les traits sur le dessus du perron. La profondeur des traits à cet endroit, de l'ordre de 14,3 cm, confirme l'usage de la découpeuse non modifiée (profondeur de coupe de 14,5 cm). Il l'utilise également pour effectuer les traits sur les parois verticales. Comme les parois verticales sur la façade du perron ont une épaisseur de 16 cm, la découpeuse modifiée (profondeur de coupe mesurée de 20,3 cm) est par la suite utilisée afin de compléter la coupe de ces parois.

Son moteur toujours en fonction, la découpeuse modifiée est retrouvée au sol, près de la paroi verticale située à l'ouest des marches. Cette observation confirme que M. [H] termine sa coupe de ce côté au moment de l'accident de travail. Pour effectuer la coupe de cette paroi verticale, le protecteur de la découpeuse modifiée est relevé pour permettre l'utilisation du quart supérieur du disque. Le protecteur est d'ailleurs à cette position au moment où la découpeuse est retrouvée au sol. L'utilisation du quart supérieur du disque va à l'encontre des recommandations du fabricant Stihl pour éviter le cabrage de la découpeuse.

Lorsque M. [H] utilise la découpeuse modifiée pour terminer la coupe de la section des marches à faire tomber, il coupe la paroi verticale ouest à partir du haut vers le bas. Au fur et à mesure que la découpeuse modifiée descend sur la paroi, la section de béton tend à céder étant donné son poids estimé à 960 kg. En cédant, la section va s'appuyer sur la partie inférieure de la paroi verticale du perron, comme le montre la photo 11. Le disque situé dans cette zone est alors coincé entre les sections de béton. Les conditions favorisant le cabrage de la découpeuse sont alors présentes puisque le quart supérieur du disque est directement exposé à la zone de coincement.

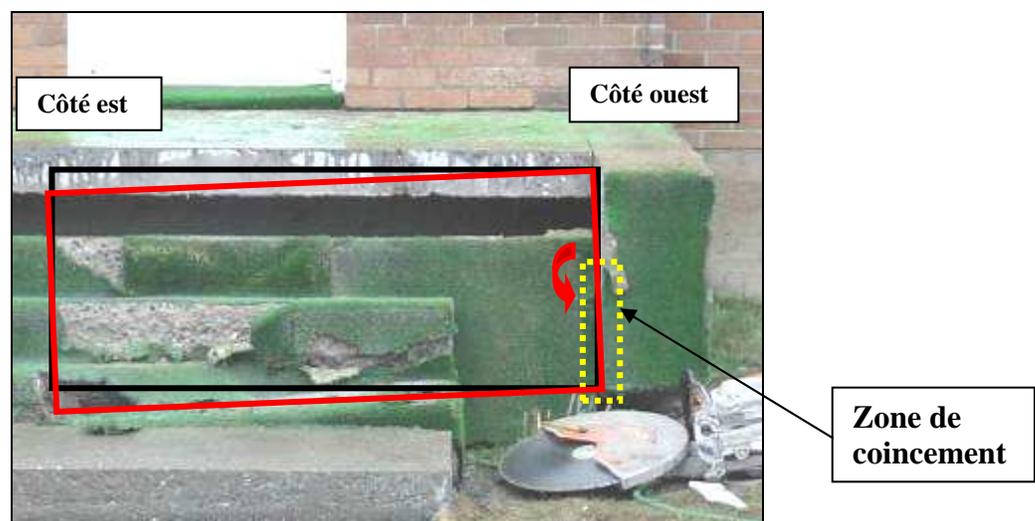


Photo 13 : Illustration de la zone de coincement du disque

Le choix d'utiliser des découpeuses à disque pour effectuer les travaux de coupe de perron mène Les entreprises André Chagnon à utiliser une découpeuse modifiée. L'enquête n'a pas permis de démontrer que les modifications de la découpeuse à disque causent le cabrage. L'utilisation d'un modèle standard de découpeuse aurait également exposé le disque à un risque de coincement et de cabrage selon la méthode de travail utilisée sur ce chantier.

En conclusion, la méthode de travail utilisée pour démolir le perron permet le coincement du disque, ce qui augmente le risque de cabrage.

Cette cause est retenue.

4.3.2 Le coincement du quart supérieur de la partie frontale du disque d'une découpeuse provoque un cabrage violent

Lorsque l'accident de travail survient, il n'y a aucun témoin qui peut confirmer que la découpeuse à disque modifiée s'est cabrée pour blesser mortellement M. [H]. Néanmoins, plusieurs éléments obtenus dans le cadre de l'enquête permettent de confirmer le cabrage de la découpeuse :

- La méthode de travail utilisée pour la coupe du perron permet le coincement du quart supérieur du disque de la découpeuse;
- Le coroner précise qu'il y a une seule blessure importante au cou de M. [H] et qu'il n'y a aucun signe de défense comme des lésions aux mains et aux bras. De ce fait, le coroner conclut que l'accident est survenu très rapidement et sans possibilité d'évitement;
- M. [H] est retrouvé allongé sur le dos près de la paroi verticale ouest du perron où une zone de coincement du disque est présente;

De plus, des marques sont présentes sur les deux côtés du disque utilisé et elles sont symétriques. Ces marques sont situées à l'endroit où le disque a une épaisseur de 3,03 mm, tandis que la partie dentelée a une épaisseur de 3,74 mm. Habituellement, seule la partie dentelée du disque est sollicitée lors de la coupe de béton. Le fait de retrouver ces marques sur la partie la moins épaisse du disque montre qu'elle a été coincée. La présence de marques symétriques de deux côtés du disque confirme le coincement du disque, dans ce cas-ci entre deux sections du perron.

Dans sa chute, la section des marches coupée par M. [H] côté est bascule vers le sol, car son centre de gravité est décentré vers cette direction en raison de la marche qui était déjà affaissée au moment de la coupe (photo 10). Le basculement accentue la pression sur le disque dans la zone de coincement (photo 13).

Tel qu'il est précisé dans les rapports d'expertise « Évaluation analytique des forces impliquées dans le fonctionnement d'une découpeuse à disque » et « Évaluation expérimentale des forces réactives produites par le coincement du disque d'une découpeuse à disque » précédemment cités, M. Jean Ruel, démontre que lorsqu'un coincement du disque se produit, l'opérateur doit retenir une force soudaine de 130 kg, car la découpeuse fait un demi-tour vers lui en moins de 0,1 seconde. Le mouvement de la découpeuse à ce moment est donc imprévisible pour l'utilisateur.

Lors du coincement du disque, l'intensité de ces forces est telle que M. [H] n'a pas pu retenir la découpeuse, qui a été projetée vers lui à grande vitesse.

Dans les documents *Stihl TS 700, 800 : notice d'emploi⁴* et « *Stihl Travailler en sécurité avec la découpeuse à disque* » produit par Stihl, il est mentionné :

- De ne pas couper avec le quart supérieur du disque;
- Que le rebond peut causer des blessures mortelles;
- Que le rebond se produit lorsque le disque se coince, surtout dans le quart supérieur;
- Qu'il faut toujours s'attendre à ce que, par déplacement de l'objet à découper ou pour une autre raison quelconque, la coupe se resserre et coince le disque;
- De fixer solidement l'objet à découper et le stabiliser de telle sorte que la coupe reste bien ouverte au cours du travail et à la fin du découpage.

L'ensemble de ces éléments montre que le coincement du quart supérieur de la partie frontale du disque a provoqué un cabrage violent de la découpeuse. Durant le cabrage, la découpeuse a atteint M. [H] au cou.

Cette cause est retenue.

SECTION 5

5 CONCLUSION

5.1 Causes de l'accident

Les causes retenues sont :

- La méthode de travail permet le coincement du disque de la découpeuse.
- Le coincement du quart supérieur de la partie frontale du disque d'une découpeuse provoque un cabrage violent.

5.2 Autres documents émis lors de l'enquête

La CSST interdit toute modification au perron, lieu de l'accident, aux fins d'enquête. La décision indiquant que le lieu de travail doit demeurer inchangé est inscrite dans le rapport d'intervention RAP0984476, daté du 23 avril 2015 et adressé à la propriétaire de l'immeuble situé au [...], rue Saint-Pierre Est, à Saint-Hyacinthe.

À la suite de l'accident, les découpeuses à disque sont saisies par la CSST. Le rapport d'intervention RAP0916427, daté du 28 avril 2015, répertorie les décisions relativement à cette saisie.

Dans le rapport RAP0916434, daté du 6 mai 2015, la CSST autorise la reprise des travaux sur les lieux de l'accident. Le rapport est adressé à la propriétaire du bâtiment.

Dans le rapport RAP0901454, daté du 24 juillet 2015, la CSST interdit l'utilisation de la découpeuse à disque TS 800 numéro de série 171014608, car deux protecteurs ont été modifiés sans l'autorisation du fabricant. [...]

5.3 Suivi à l'enquête

La CSST diffusera les conclusions du rapport d'enquête à l'Association des constructeurs de routes et de grands travaux du Québec (ACRGTQ), à l'Association de la construction du Québec (ACQ), à l'Association de location du Québec (ALQ), à l'Association des professionnels de la construction et de l'habitation du Québec (APCHQ) et à l'Association québécoise des entrepreneurs en infrastructures (AQEI), à l'Association des chefs en sécurité incendie du Québec (ACSIQ) et l'Association des Paysagistes professionnels du Québec (APPQ) pour qu'elles communiquent à leurs membres les résultats du rapport d'enquête.

La CSST diffusera aussi le rapport d'enquête aux fabricants de découpeuses à disque et à Santé Canada.

ANNEXE A

Accidenté

Nom, prénom : M. [H]
Sexe : [...]
Âge : [...]
Fonction habituelle : [...]
Fonction lors de l'accident : Journalier spécialisé
Expérience dans cette fonction : [...]
Syndicat : [...]

ANNEXE B

Liste des personnes rencontrées

Personnes rencontrées :

M. [I], résident au [...], rue Saint-Pierre Est à Saint-Hyacinthe
M. Hugo Lavigne, agent, Sûreté du Québec, MRC des Maskoutains
M. Maxime Laforest, sergent enquêteur, Sûreté du Québec, MRC des Maskoutains
M. [J], voisin du [...], rue Saint-Pierre Est à Saint-Hyacinthe
M. [K], [...], Construction Steve Durand inc.
M. [L], [...], Ville de Saint-Hyacinthe
M. [M], [...], Les Entreprises André Chagnon
Mme [N], résidente au [...] rue Saint-Pierre Est à Saint-Hyacinthe
M. [O], [...], Stihl Itée Canada

Personnes jointes par téléphone ou courriel :

M. [P], [...], Stanley Black & Decker Canada Corporation
M. [Q], [...], Stihl Itée Canada
M. [R], [...], Mécanique Cam-Lift Mobile
Mme [S], [...], Location d'outil Simplex
M. [T], [...], Papineau Collette S.E.N.C.R.L.
Mme [U], propriétaire du [...], rue Saint-Pierre Est à Saint-Hyacinthe
D^r René-Maurice Bélanger, coroner
Mme [A], [...]

ANNEXE C

Extrait du manuel d'instructions de la découpeuse à disque Stihl TS 700, 800

français

concentration croissant, arrêter immédiatement le travail – ces symptômes peuvent, entre autres, provenir d'une trop forte concentration de gaz d'échappement dans l'air ambiant – **risque d'accident !**

Ne pas fumer en travaillant ou à proximité de la machine – **risque d'incendie !**

Si la machine a été soumise à des sollicitations sortant du cadre de l'utilisation normale (par ex. si elle a été soumise à des efforts violents, en cas de choc ou de chute), avant de la remettre en marche, il faut impérativement s'assurer qu'elle se trouve en parfait état de fonctionnement – voir également « Avant la mise en route du moteur ». Contrôler tout particulièrement l'étanchéité du système de carburant et la fiabilité des dispositifs de sécurité. Il ne faut en aucun cas continuer d'utiliser la machine si la sécurité de son fonctionnement n'est pas garantie. En cas de doute, consulter le revendeur spécialisé.

Ne pas travailler avec la commande d'accélérateur en position de démarrage – dans cette position de la gâchette d'accélérateur, il n'est pas possible de régler le régime du moteur.

Ne jamais toucher un disque en rotation avec la main ou toute autre partie du corps.

Examiner l'aire de travail. Éviter tout risque d'endommager de conduites ou de câbles électriques.

Il est interdit d'utiliser la machine à proximité de matières combustibles et de gaz inflammables.

Ne pas couper des conduites, des fûts métalliques ou autres conteneurs sans être certain qu'ils ne renferment pas de substances volatiles ou inflammables.

Ne pas laisser le moteur en marche sans surveillance. L'arrêter avant de quitter la machine (par ex. pour faire une pause).

Avant de poser la découpeuse sur le sol :

- arrêter le moteur ;
- attendre que le disque soit arrêté.



Vérifier fréquemment le disque à découper – le remplacer immédiatement s'il présente des fissures, des bombements ou d'autres dommages (par ex. des traces de surchauffe), car il pourrait casser – **risque d'accident !**

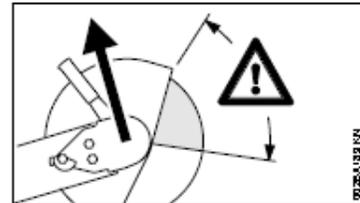
En cas de variation des caractéristiques de la machine au découpage (par ex. plus fortes vibrations, rendement de coupe réduit), interrompre le travail et éliminer les causes de ce changement.

Forces de réaction

Les forces de réaction les plus fréquentes sont le rebond et la traction.

Danger en cas de rebond

Le rebond peut causer des blessures mortelles.



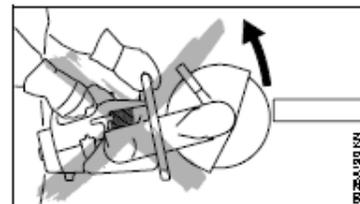
En cas de rebond (kick-back), la découpeuse est brusquement projetée vers l'utilisateur qui ne peut plus contrôler la machine.

Un rebond se produit par ex. lorsque le disque

- se coince – surtout dans le quart supérieur ;
- est fortement freiné en frottant contre un objet solide.

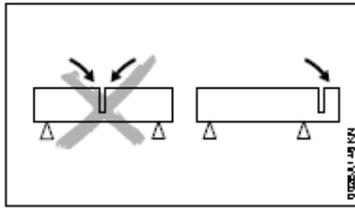
Pour réduire le risque de rebond :

- travailler de façon réfléchie, en appliquant la technique qui convient ;
- toujours prendre la découpeuse à deux mains et la tenir fermement ;



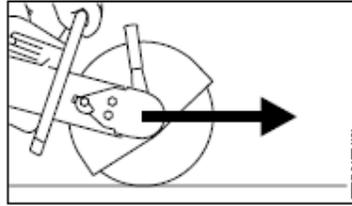
- ne pas couper avec le quart supérieur du disque. Faire très attention en introduisant le disque dans une coupe – ne pas le gauchir ou l'introduire en frappant ou en forçant ;

français



- toujours s'attendre à ce que, par suite d'un déplacement de l'objet à découper ou pour une autre raison quelconque, la coupe se resserre et coince le disque ;
- fixer solidement l'objet à découper et le caler de telle sorte que la coupe reste bien ouverte au cours du travail et à la fin du découpage ;
- pour le découpage avec des disques diamantés, un arrosage est nécessaire.
- Suivant leur version, les disques en résine synthétique conviennent pour le découpage seulement à sec, ou seulement avec arrosage. Les disques en résine synthétique qui conviennent uniquement pour le découpage avec arrosage doivent être utilisés avec arrosage.

Traction



Lorsque le disque touche la surface supérieure de l'objet à découper, la découpeuse est attirée vers l'avant, dans le sens opposé à l'utilisateur.

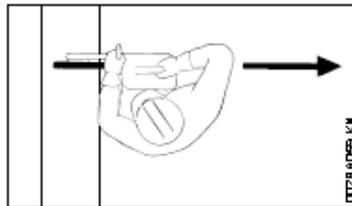
Travail à la découpeuse



Introduire le disque dans la fente en le présentant à la verticale, sans le gauchir ni le soumettre à un effort latéral.



Ne pas utiliser la machine pour un meulage de côté ou un dégrossissage.



Se tenir de telle sorte qu'aucune partie du corps ne se trouve dans le prolongement du plan de coupe du disque.

Ne pas trop se pencher vers l'avant. Ne jamais se pencher au-dessus du disque, tout particulièrement lorsque le capot protecteur est relevé.

Ne pas travailler à bras levés – c'est-à-dire à une hauteur supérieure aux épaules.

Utiliser la découpeuse exclusivement pour le découpage. Elle ne convient pas pour faire levier ou pour écarter ou soulever des objets.

Ne pas exercer de pression sur la découpeuse.

Déterminer tout d'abord la direction du découpage avant d'attaquer la coupe avec le disque à découper. Ne pas changer de direction au cours de la coupe. Ne jamais faire cogner le disque dans la fente de coupe ou frapper avec la machine – ne pas laisser tomber la machine dans la fente de coupe – **le disque risquerait de casser !**

Dans le cas de disques diamantés : en cas de baisse du rendement de coupe, contrôler le mordant du disque diamanté. Le cas échéant, lui redonner du mordant en coupant brièvement des matières abrasives telles du grès, du béton expansé ou de l'asphalte.

À la fin de la coupe, la découpeuse n'est plus soutenue dans la coupe, par le disque. L'utilisateur doit donc reprendre tout le poids de la machine – **risque de perte de contrôle !**



Au découpage de l'acier : la projection de particules incandescentes présente un **risque d'incendie !**

français

Utiliser les disques en résine synthétique à sec ou avec arrosage – suivant la version

Suivant leur version, les disques en résine synthétique conviennent pour le découpage seulement à sec, ou seulement avec arrosage.

Disques en résine synthétique convenant exclusivement pour le découpage à sec

Pour le découpage à sec, porter un masque antipoussière approprié.

En cas de risque de dégagement de vapeurs ou de fumées (par ex. au découpage de matériaux composites), porter un **masque respiratoire**.

Disques en résine synthétique convenant exclusivement pour le découpage avec arrosage



Utiliser le disque à découper exclusivement avec arrosage.

Pour lier la poussière, arroser le disque avec un débit d'eau de 1 l/mn au minimum. Pour ne pas réduire le rendement de coupe, le débit d'eau d'arrosage du disque ne doit pas dépasser 4 l/mn au maximum.

Après le travail, pour éjecter l'eau qui adhère au disque, faire tourner le disque, sans arrosage, pendant env. 3 à 6 secondes au régime de travail normal.

- Prise d'eau de la machine, pour toute sorte d'alimentation en eau
- Réservoir d'eau sous pression d'une capacité de 10 l, pour lier la poussière
- Réservoir d'eau utilisable sur le chariot de guidage, pour lier la poussière

Consignes à suivre avec disques diamantés et disques en résine synthétique

Les objets à couper

- ne doivent pas être posés de telle sorte qu'ils forment un pont ;
- doivent être bien calés pour qu'ils ne risquent pas de rouler ou de glisser ;
- doivent être calés de sorte qu'ils ne vibrent pas.

Parties coupées

Pour traverser une cloison ou pour découper des échancrures etc., il est important de prévoir l'ordre chronologique des coupes. Toujours exécuter la dernière coupe de telle sorte que le disque ne risque pas d'être coincé et que la chute de la partie coupée ne présente pas de risque pour l'utilisateur de la machine.

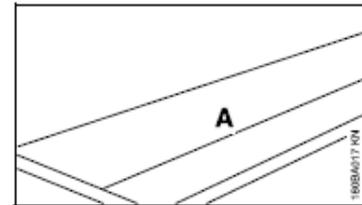
Le cas échéant, laisser de petites barrettes non coupées pour retenir la partie découpée. Pour finir, casser ces barrettes.

Avant la séparation définitive de la partie découpée, il faut tenir compte :

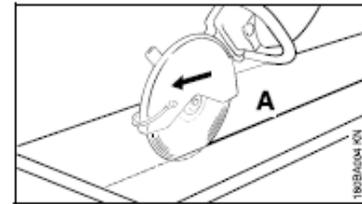
- du poids de cette partie coupée ;
- de son déplacement possible, après la séparation ;
- du fait qu'elle peut se trouver sous contrainte.

En cassant les barrettes restantes pour la séparation de la partie coupée, veiller à ce que les aides éventuels ne s'exposent pas à des risques d'accident.

Couper en plusieurs passes



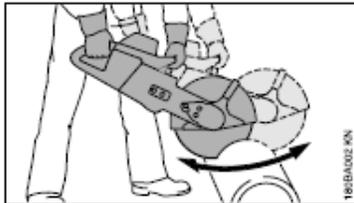
- Tracer la ligne de coupe (A) ;



- travailler en suivant la ligne de coupe ; Pour des corrections éventuellement nécessaires, ne pas gauchir le disque, mais se repositionner et attaquer une nouvelle coupe – à chaque passe, la profondeur de coupe devrait

français

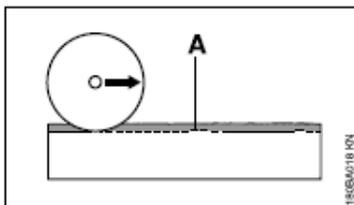
atteindre au maximum 5 à 6 cm. Si la matière est plus épaisse, procéder en plusieurs passes ;



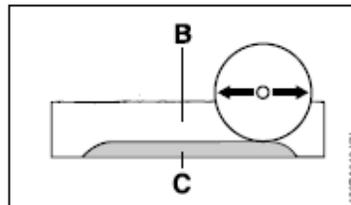
- pour traverser des parois épaisses, décrire un mouvement de va-et-vient régulier.

Découpage de dalles

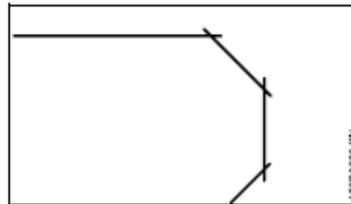
- Caler la dalle sur une surface antidérapante ;



- meuler une rainure de guidage (A) en suivant la ligne marquée ;

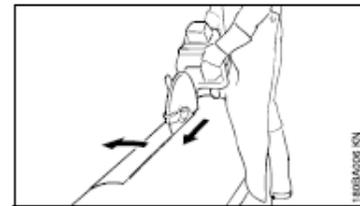


- approfondir la fente de coupe (B) en décrivant des mouvements de va-et-vient réguliers ;
- laisser une petite barrette (C) à casser après la coupe ;
- aux extrémités de la coupe, traverser complètement la dalle, pour éviter l'éclatement des bords ;
- casser la barrette non coupée de la dalle ;



- pour décrire une courbe, procéder en plusieurs phases – veiller à ne pas gauchir le disque.

Découpage de corps cylindriques ou creux



- Caler les tubes, corps cylindriques etc. pour qu'ils ne risquent pas de rouler ;
- en déterminant la ligne de coupe, éviter les armatures, surtout dans le sens de la coupe ;
- meuler une rainure de guidage le long de la ligne de coupe marquée ;
- approfondir la fente de coupe en décrivant des mouvements de va-et-vient réguliers – avancer en suivant la rainure de guidage et en pénétrant à la profondeur requise pour traverser complètement la paroi – pour des corrections éventuellement nécessaires, ne pas gauchir le disque, mais se repositionner et attaquer une nouvelle coupe – le cas échéant, laisser de petites barrettes pour maintenir la partie découpée en place. Pour finir, casser ces barrettes.

français

personnes portant un stimulateur cardiaque de consulter leur médecin traitant et le fabricant du stimulateur cardiaque.

Il est interdit de travailler avec la machine après avoir consommé de l'alcool ou de la drogue ou bien après avoir pris des médicaments qui risquent de limiter la capacité de réaction.

En cas d'intempéries défavorables (neige, verglas, tempête) repousser le travail à plus tard – **grand risque d'accident!**

La machine est conçue exclusivement pour le travail avec des disques à découper. Elle ne convient pas pour la coupe du bois ou d'objets en bois.

La poussière d'amiante est extrêmement nocive – **ne jamais découper de l'amiante!**

L'utilisation de cette machine pour d'autres travaux est interdite et pourrait provoquer des accidents ou endommager la machine.

N'apporter aucune modification à cette machine – cela risquerait d'en compromettre la sécurité. STIHL décline toute responsabilité pour des blessures ou des dégâts matériels occasionnés en cas d'utilisation d'équipements à rapporter non autorisés.

Monter exclusivement des disques à découper et des accessoires autorisés par STIHL pour cette machine ou des pièces similaires du point de vue technique. Pour toute question à ce sujet, s'adresser à un revendeur spécialisé. Utiliser exclusivement des disques à découper ou des accessoires

de haute qualité. Sinon, des accidents pourraient survenir ou la machine risquerait d'être endommagée.

STIHL recommande d'utiliser des disques à découper et des accessoires d'origine STIHL. Leurs caractéristiques sont optimisées tout spécialement pour ce produit, et pour répondre aux exigences de l'utilisateur.

Pour le nettoyage de cette machine, ne pas utiliser un nettoyeur haute pression. Le puissant jet d'eau risquerait d'endommager certaines pièces de la machine.

Ne pas nettoyer la machine au jet d'eau.



Ne jamais utiliser des scies circulaires, des outils à plaquettes de carbure, des outils de désincarcération ou des outils pour le sciage du bois, ni tout autre outil denté – **risque de blessures mortelles!**

Contrairement aux disques à découper qui tournent régulièrement en enlevant des particules, les dents d'une scie circulaire en rotation peuvent s'accrocher dans la matière à couper. Cela se manifeste par une coupe saccadée et peut provoquer des réactions incontrôlées de la machine, engendrant des forces de réaction extrêmement dangereuses (rebond).

Vêtements et équipement

Porter des vêtements et équipements de protection réglementaires.



Les vêtements doivent être fonctionnels et garantir une liberté de mouvement totale. Porter des vêtements bien ajustés – ne pas porter une blouse de travail, mais une combinaison.

Pour le découpage d'éléments en acier, porter des vêtements en matières difficilement inflammables (par ex. en cuir ou en coton spécialement traité pour réduire le risque d'inflammation) – ne pas porter des tissus en fibres synthétiques – **risque d'inflammation par les étincelles projetées!**

Les vêtements ne doivent pas non plus être enduits de matières inflammables (copeaux, carburant, huile etc.).

Ne pas porter des vêtements flottants, un châle, une cravate, des bijoux – qui risqueraient de se prendre dans le disque à découper. Les personnes aux cheveux longs doivent les nouer et les assurer par ex. à l'aide d'un filet à cheveux.



Porter des **chaussures de sécurité** avec semelle antidérapante et coquille d'acier.

français

Bouchon de réservoir à baïonnette



Ne jamais utiliser un outil pour ouvrir ou fermer le bouchon de réservoir à baïonnette. En effet, cela pourrait endommager le bouchon et du carburant risquerait de s'échapper.

Après le ravitaillement, refermer soigneusement le bouchon à baïonnette.

Bouchon de réservoir à visser



Après le ravitaillement, visser le bouchon du réservoir le plus fermement possible.

Cela réduit le risque de desserrage du bouchon du réservoir sous l'effet des vibrations du moteur, et de fuite de carburant.

Découpeuse à disque, palier de broche

L'état impeccable du palier de broche garantit l'absence de faux-ronde et de voile du disque diamanté – le cas échéant, le faire contrôler par le revendeur spécialisé.

Disques à découper

Choix des disques à découper

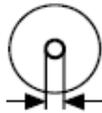
Les disques à découper doivent être expressément homologués pour le découpage à main levée. Ne pas utiliser d'autres disques ou appareils auxiliaires – **risque d'accident !**

Des disques à découper sont proposés pour les matières les plus diverses : tenir compte des marques d'identification appliquées sur les disques.

STIHL recommande de travailler systématiquement avec arrosage.



Utiliser uniquement des disques à découper ayant le diamètre extérieur prescrit.



Le diamètre de l'alésage pour broche, dans le disque, et celui de l'arbre de la découpeuse doivent coïncider.

S'assurer que l'alésage pour broche n'est pas endommagé. Ne pas utiliser des disques à découper dont l'alésage pour broche est endommagé – **risque d'accident !**



La vitesse de rotation maximale admissible pour le disque à découper doit être égale ou supérieure au régime maximal de la broche de la découpeuse à disque ! – Voir chapitre « Caractéristiques techniques ».

Avant de monter des disques à découper qui ont déjà servi, s'assurer qu'ils ne présentent aucun défaut : fissures, ébréchures, crénelures, manque de planéité, signes de fatigue sur le corps, endommagement ou perte d'un segment, traces de surchauffe (variation de teinte) ou endommagement de l'alésage de centrage sur la broche.

Ne jamais utiliser des disques à découper fissurés, ébréchés ou déformés.

Ne jamais redresser des disques diamantés.

Ne pas utiliser un disque à découper tombé sur le sol – les disques à découper endommagés peuvent éclater – **risque d'accident !**

En cas de disques en résine synthétique, respecter la date limite d'utilisation.

Montage des disques à découper

Contrôler la broche de la découpeuse à disque, ne pas employer une découpeuse dont la broche est endommagée – **risque d'accident !**

En cas de disques diamantés, tenir compte des flèches indiquant le sens de rotation prescrit.

français

Positionner correctement la rondelle de pression avant – serrer fermement la vis de serrage – faire tourner le disque à la main, en contrôlant le faux-ronde et le voile.

Stockage des disques à découper

Entreposer les disques au sec et à l'abri du gel, sur une surface plane, à des températures constantes – **risque de cassure et d'éclatement !**

Toujours veiller à ce que le disque ne cogne pas sur le sol ou contre des objets quelconques.

Avant la mise en route

S'assurer que la découpeuse à disque se trouve en parfait état pour un fonctionnement en toute sécurité – conformément aux indications des chapitres correspondants de la Notice d'emploi :

- disque convenant pour la matière à découper, en parfait état et correctement monté (sens de rotation, bonne fixation) ;
- contrôler la bonne fixation du capot protecteur – si le capot protecteur est desserré, consulter le revendeur spécialisé ;
- fonctionnement facile de la gâchette d'accélérateur et du blocage de gâchette – la gâchette d'accélérateur doit faire ressort et revenir d'elle-même en position de ralenti ;

- le curseur combiné / levier de commande universel / commutateur d'arrêt doit pouvoir être facilement amené dans la position **STOP** ou **0** ;
- contrôler le serrage du contact de câble d'allumage sur la bougie – un contact desserré peut provoquer un jaillissement d'étincelles risquant d'enflammer le mélange carburé qui aurait pu s'échapper – **risque d'incendie !**
- n'apporter aucune modification aux dispositifs de commande et de sécurité ;
- les poignées doivent être propres et sèches – sans huile ni autre salissure – un point très important pour que l'on puisse manier la découpeuse en toute sécurité.

Il est interdit d'utiliser la machine si elle ne se trouve pas en parfait état de fonctionnement – **risque d'accident !**

Mise en route du moteur

Aller au moins à 3 m du lieu où l'on a fait le plein et ne pas lancer le moteur dans un local fermé.

Pour lancer le moteur, il faut impérativement se tenir bien d'aplomb, sur une aire stable et plane – tenir fermement la machine – le disque ne doit toucher ni le sol, ni un objet quelconque et il ne doit pas non plus se trouver dans la coupe.

Après la mise en route du moteur, le disque peut être entraîné immédiatement.

La machine doit être maniée par une seule personne – ne pas tolérer la présence d'autres personnes dans la zone de travail – pas même à la mise en route du moteur.

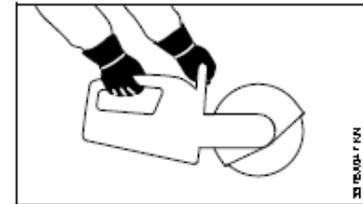
Ne pas lancer le moteur en tenant la machine à bout de bras – pour la mise en route du moteur, procéder comme décrit dans la Notice d'emploi.

Après le relâchement de la gâchette d'accélérateur, le disque tourne encore pendant quelques instants – **par inertie** – **risque de blessure !**

Prise en main et utilisation

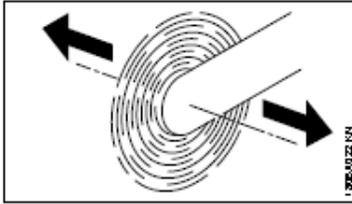
Utiliser la découpeuse exclusivement pour le découpage en tenant la machine à la main ou sur le chariot de guidage STIHL.

Découpage en tenant la machine à la main



Toujours tenir fermement la machine à **deux mains** : main droite sur la poignée arrière – ce ci est également valable pour les gauchers. Pour pouvoir guider la machine en toute sécurité, empoigner fermement la poignée tubulaire et la poignée de commande en les entourant avec les pouces.

français



Lorsqu'on déplace une découpeuse dans le sens de la flèche alors que le disque est en rotation, cela engendre une force qui a tendance à faire basculer la machine.

L'objet à couper doit être posé fermement sur le sol et il faut toujours travailler en amenant la machine vers l'objet à découper – ne jamais procéder à l'inverse.

Chariot de guidage

Les découpeuses STIHL peuvent être montées sur un chariot de guidage STIHL.

Capot protecteur



Ajuster correctement le capot protecteur qui recouvre le disque : de telle sorte que les particules de l'objet à découper soient déviées dans le sens opposé à l'utilisateur et à la machine.

Surveiller l'orientation du jet de particules projetées.

Au cours du travail

En cas d'urgence ou de danger imminent, arrêter immédiatement le moteur – placer le curseur combiné / le levier de commande universel / le commutateur d'arrêt sur la position **STOP** ou **0**.

Veiller à ce que le ralenti soit correctement réglé – de telle sorte qu'après le relâchement de la gâchette d'accélérateur le disque ne soit plus entraîné et s'arrête.

Contrôler régulièrement et rectifier si nécessaire le réglage du ralenti. Si le disque est entraîné au ralenti, malgré un réglage correct, faire réparer la machine par le revendeur spécialisé.

Dégager l'aire de travail – ne pas trébucher sur des obstacles, dans des trous ou des fossés.

Faire particulièrement attention sur un sol glissant – mouillé, couvert de neige ou de verglas – de même qu'en travaillant à flanc de coteau ou sur un sol inégal etc. – **risque de dérapage !**

Ne pas travailler sur une échelle – ou sur un échafaudage instable – jamais à bras levés – jamais d'une seule main – **risque d'accident !**

Toujours se tenir dans une position stable et sûre.

Ne pas travailler seul – toujours rester à portée de voix d'autres personnes, pour pouvoir appeler quelqu'un au secours si nécessaire.

Ne tolérer la présence d'aucune autre personne dans la zone de travail – garder une distance suffisante par rapport à d'autres personnes, pour ne pas les exposer au bruit et aux risques dus aux particules et objets projetés.

En travaillant avec des protège-oreilles, il faut faire tout particulièrement attention – des bruits signalant un danger (cris, signaux sonores etc.) sont moins bien perceptibles.

Faire des pauses à temps.

Travailler calmement, de manière bien réfléchie – seulement dans de bonnes conditions de visibilité et d'éclairage. Prendre les précautions utiles pour exclure le risque de blesser d'autres personnes.



Dès que le moteur est en marche, il dégage des gaz d'échappement toxiques. Ces gaz peuvent être inodores et invisibles, et renfermer des hydrocarbures imbrûlés et du benzène. Ne jamais travailler avec cette machine dans des locaux fermés ou mal aérés – pas non plus si le moteur est équipé d'un catalyseur.

En travaillant dans des fossés, des dépressions de terrain ou des espaces restreints, toujours prendre soin d'assurer une ventilation suffisante – **danger de mort par intoxication !**

En cas de nausée, de maux de tête, de troubles de la vue (par ex. rétrécissement du champ de vision) ou de l'ouïe, de vertige ou de manque de

français

Caractéristiques techniques

EPA / CEPA

L'étiquette d'homologation relative aux émissions de nuisances à l'échappement indique le nombre d'heures de fonctionnement durant lequel ce moteur satisfait aux exigences des normes antipollution fédérales.

Catégorie

A = 300 heures

B = 125 heures

C = 50 heures

Moteur

Moteur STIHL deux-temps, monocylindrique

TS 700

Cylindrée : 98,5 cm³

Alésage du cylindre : 56 mm

Course du piston : 40 mm

Puissance suivant ISO 7293 : 5,0 kW à 9300 tr/mn

Régime de ralenti : 2200 tr/mn

Régime max. de la broche : 5350 tr/mn

TS 800

Cylindrée : 98,5 cm³

Alésage du cylindre : 56 mm

Course du piston : 40 mm

Puissance suivant ISO 7293 : 5,0 kW à 9300 tr/mn

Régime de ralenti : 2200 tr/mn

Régime max. de la broche : 4600 tr/mn

Dispositif d'allumage

Volant magnétique à commande électronique

Bougie (antiparasitée) : Bosch WSR 6 F, NGK BPRM 7 A

Écartement des électrodes : 0,5 mm

Ce système d'allumage respecte toutes les exigences du règlement sur le matériel blindé du Canada ICES-002 (dispositions relatives à l'antiparasitage).

Dispositif d'alimentation

Carburateur à membrane toutes positions avec pompe à carburant intégrée

Capacité du réservoir à carburant : 1,2 l

Filtre à air

Filtre principal (filtre en papier) et filtre additionnel en treillis métallique floqué

Poids

Poids à vide, sans disque à découper, avec prise d'eau

TS 700 : 11,6 kg

TS 800 : 13,0 kg

Disques à découper

Le régime de fonctionnement maximal admissible du disque à découper, expressément indiqué, doit être supérieur ou égal au régime maximal de la broche de la découpeuse utilisée.

Disques à découper (TS 700)

Diamètre extérieur : 350 mm

Diamètre d'alésage / diamètre de broche : 20 mm

Couple de serrage : 30 Nm

Disques en résine synthétique

Diamètre extérieur minimal de la rondelle de pression avant : 103 mm

Profondeur de coupe maximale : 125 mm

Disques diamantés

Diamètre extérieur minimal de la rondelle de pression avant : 103 mm

Profondeur de coupe maximale : 125 mm

français

Disques à découper (TS 800)

Diamètre extérieur :	400 mm
Diamètre d'alésage / diamètre de broche :	20 mm
Couple de serrage :	30 Nm

Disques en résine synthétique

Diamètre extérieur minimal de la rondelle de pression avant :	103 mm
Profondeur de coupe maximale :	145 mm

Disques diamantés

Diamètre extérieur minimal de la rondelle de pression avant :	103 mm
Profondeur de coupe maximale :	145 mm

Accessoires optionnels

- Jeu d'outils
- Chariot de guidage STIHL FW 20
- Kit de montage pour chariot de guidage FW 20
- Kit réservoir d'eau
- Kit réservoir d'eau sous pression
- Indicateur de direction de coupe
- Jeu de roues

Pour obtenir des informations d'actualité sur ces accessoires ou sur d'autres accessoires optionnels, veuillez vous adresser au revendeur spécialisé STIHL.

Instructions pour les réparations

L'utilisateur de ce dispositif est autorisé à effectuer uniquement les opérations de maintenance et les réparations décrites dans la présente Notice d'emploi. Les réparations plus poussées ne doivent être effectuées que par le revendeur spécialisé.

STIHL recommande de faire effectuer les opérations de maintenance et les réparations exclusivement chez le revendeur spécialisé STIHL. Les revendeurs spécialisés STIHL participent régulièrement à des stages de perfectionnement et ont à leur disposition les informations techniques requises.

Pour les réparations, monter exclusivement des pièces de rechange autorisées par STIHL pour ce dispositif ou des pièces similaires du point de vue technique. Utiliser exclusivement des pièces de rechange de haute qualité. Sinon, des accidents pourraient survenir et le dispositif risquerait d'être endommagé.

STIHL recommande d'utiliser des pièces de rechange d'origine STIHL.

Les pièces de rechange d'origine STIHL sont reconnaissables à leur référence de pièce de rechange STIHL, au nom **STIHL** et, le cas échéant, au symbole d'identification des pièces de rechange STIHL  (les petites pièces ne portent parfois que ce symbole).

ANNEXE D

Fiche caractéristique du disque diamantée de la découpeuse à disque modifiée



PRODUITS DIAMANTÉS

INFORMATIONS TECHNIQUES

ABMAST est reconnue comme un important fournisseur de produits diamantés, et offre uniquement des produits de haute qualité qui répondent aux exigences du marché. Ces produits, utilisables à sec ou à l'eau, sont disponibles sous formes segmentées, turbo et à jante continue. Un vaste choix de carottes diamantées est également offert afin de répondre à toutes les applications.

Nous offrons plusieurs qualités dans la majorité des lames, déterminées selon la hauteur du segment, la concentration et la qualité des diamants contenus dans chaque segment. (Écono - Standard - Premium - Extra Premium).

Choisir le bon outil pour la bonne application est un choix critique et important pour une meilleure performance à coût moindre par pied de coupe.

PROFONDEUR MAXIMALE DE COUPE				VITESSE D'OPÉRATION DES LAMES À DIAMANTS		
Diamètre de la lame	Profondeur de la coupe	Diamètre de la lame	Profondeur de la coupe	Diamètre*	Vitesse d'opération recommandée (RPM)	Vitesse d'opération max sécuritaire (RPM)**
Lames pour scies de rouler						
12"	3-5/8"	3-3/8"	1/2"	3-3/8"	7,685	12,600
14"	4-5/8"	4"	3/4"	4"	9,072	15,000
16"	5-5/8"	6"	1-3/4"	4-1/2"	8,063	13,300
18"	6-5/8"	7"	2-1/4"	5"	7,257	12,000
20"	7-5/8"	8"	2-3/4"	6"	6,048	10,165
24"	9-5/8"	9"	3-1/4"	7"	5,184	8,730
26"	10-5/8"	10"	3-3/4"	8"	4,536	7,640
30"	11-3/4"	12"	4-3/4"	9"	4,032	6,790
36"	14-3/4"	14"	5-3/4"	10"	3,629	6,115
Lames pour scies à haute vitesse						
12"	4"	Lames pour scies circulaires ou meuleuses angulaires		12"	3,024	5,095
14"	5"	4"	1"	14"	2,592	4,365
16"	6"	4-1/2"	1-1/4"	16"	2,268	3,820
Lames pour scies stationnaires				18"	2,016	3,395
10"	3"	5"	1-1/2"	20"	1,874	3,085
12"	4"	6"	2"	22"	1,649	2,780
14"	5"	7"	2-1/2"	24"	1,512	2,550
16"	7"	8"	3"	26"	1,396	2,350
20"	8"	9"	3-1/2"	28"	1,296	2,185
				30"	1,210	2,040
				32"	1,134	1,910
				36"	1,008	1,700
				Scie mécanique à haute vitesse		
				12"	N/A	6,300
				14"	N/A	5,400
				16"	N/A	4,700



Autres dimensions et spécifications disponibles sur demande.

PRODUITS DIAMANTÉS

LAMES POUR SCIES DE CONSTRUCTION DE ROUTE

Lames de coupe à l'eau pour béton durci



Dimensions	Qualité	Code + Spéc		R.P.M.
		WBC 24	WBC 30	
12" x 125 x 1" (P.H.)	Premium	N208P	N358P	5 095
	Extra	N209X	N359X	5 095
14" x 125 x 1" (P.H.)	Premium	N220P	N370P	4 365
	Extra	N221K	N371K	4 365
14" x 187 x 1" (P.H.)	Premium	N223P	N373P	4 365
	Extra	N224K	N374K	4 365
16" x 125 x 1" (P.H.)	Premium	N229P	N379P	3 820
	Extra	N230X	N380X	3 820
18" x 155 x 1" (P.H.)	Premium	N235P	N385P	3 395
	Extra	N236K	N386K	3 395
20" x 155 x 1" (P.H.)	Premium	N247P	N397P	3 055
	Extra	N248K	N398K	3 055
24" x 187 x 1" (P.H.)	Premium	N256P	N406P	2 550
	Extra	N257X	N407X	2 550
30" x 187 x 1" (P.H.)	Premium	N271P	N421P	2 040
	Extra	N272K	N422K	2 040
36" x 187 x 1" (P.H.)	Premium	N289P	N439P	1 700
	Extra	N290X	N440X	1 700
36" x 250 x 1" (P.H.)	Premium	N292P	N442P	1 700
	Extra	N293K	N443K	1 700



WBC 24 USAGE GÉNÉRAL, LONGUE DURÉE

Conçue pour les travaux les plus rigoureux de l'industrie de la construction de la route. Cette lame de première qualité coupe rapidement et dure longtemps.

Applications:

Béton durci, Agrégats doux et de dureté moyenne.

WBC 30 USAGE GÉNÉRAL, COUPE RAPIDE

Conçue pour les travaux les plus rigoureux de l'industrie de la construction de la route. Cette lame de première qualité coupe rapidement et dure longtemps.

Applications:

Béton durci (renforcé), Agrégats durs.

8

ANNEXE E

Expertises effectuées dans le cadre de l'enquête de la CSST
suite à l'accident mortel survenu le 18 août 2006 à Québec
(extrait du rapport d'enquête RAP0469549)

Évaluation analytique des forces impliquées dans le fonctionnement d'une scie à béton

Rapport présenté à

Madame Isabelle Émond, ing.

Inspectrice à la Direction régionale de Québec de la
Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec (CSST)

par

Jean Ruel, Ph.D., ing.

Département de génie mécanique, Université Laval

14 décembre 2006

Évaluation analytique des forces impliquées dans le fonctionnement d'une scie à béton

Jean Ruel, Ph.D., ing.

1 Introduction

Ce rapport fait suite à une requête de Madame Isabelle Émond, ing., inspectrice de la direction régionale de Québec de la CSST, concernant l'évaluation des forces impliquées dans l'utilisation d'une scie à béton. La motivation de cette étude est le fait que plusieurs accidents se sont produits récemment au Québec avec ce type d'équipement. Suite à ces accidents, des recherches effectuées par Madame Émond lui ont permis de rassembler plusieurs références à des accidents similaires suggérant que certaines des utilisations très variées de cet outil présentent un danger significatif pour l'utilisateur.

Les principes généraux qui sont énoncés dans ce rapport sont applicables à l'ensemble des modèles de scies à béton correspondant à la description présentée en préambule. Cependant, à la demande de la CSST, les calculs ont été effectués en utilisant les données techniques de la scie STIHL TS 400.

Différentes situations d'utilisation seront analysées. Certaines hypothèses seront formulées pour définir de façon adéquate le contexte physique et la portée des résultats. L'interprétation des résultats devra tenir compte de ces hypothèses. Le but de la présente étude étant d'obtenir une évaluation quantitative du niveau de danger associée à l'utilisation de l'outil, et puisque son utilisation est largement répandue et jugée acceptable, il sera présumé au départ que l'outil est sécuritaire. Ceci implique que dans les calculs, lorsqu'un paramètre peut varier à l'intérieur d'un certain intervalle, la valeur la plus conservatrice sera utilisée, c'est-à-dire celle qui sera le plus favorable à l'outil. Ainsi, si en conclusion certaines situations sont jugées dangereuses, il sera opportun de conclure dans ce sens parce que nous aurons été prudents à toutes les étapes pour assurer la présomption d'acceptabilité de l'outil et des méthodes de travail.

2 Description générique de l'équipement étudié

La figure 1 illustre l'équipement étudié. Il s'agit d'une scie à béton comportant un bâti muni de deux poignées et soutenant un moteur à essence. Un bras d'extension supporte une lame rotative, entraînée par le moteur et tournant à haute vitesse.

Dans ce rapport, le terme lame sera utilisé pour désigner la partie tournante seulement, tandis que le terme scie sera utilisé pour désigner l'équipement complet, incluant la lame.

Les caractéristiques et les symboles qui seront utilisées dans les calculs sont¹ :

Diamètre de la lame	$D = 0.356 \text{ m (14")}$
Masse de la lame	$m = 2 \text{ kg}$
Masse totale de la scie ²	$M = 12.5 \text{ kg}$
Vitesse de rotation de la lame	$\omega = 4800 \text{ rpm} = 80 \text{ tour/sec} = 502 \text{ rad/sec}$
Puissance du moteur	$P_{\text{mot}} = 3200 \text{ W}$

3 Description des conditions d'opération normales et des situations occasionnelles problématiques

L'utilisation normale de la scie consiste à la tenir à deux mains, l'une sur la poignée arrière (la main droite) permettant l'action de l'interrupteur d'accélération de la lame, et l'autre (la main gauche) sur la poignée centrale sur la poignée centrale.

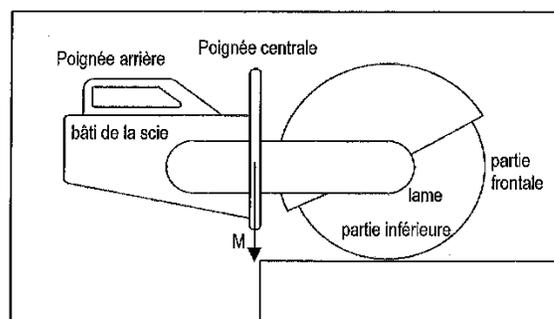


Figure 1

¹ Ces données ont été fournies par Madame Isabelle Émond le 27 octobre 2006.

² Incluant la lame et l'essence.

La répartition de la masse est telle que la scie peut être soulevée par la poignée centrale et qu'elle se tient alors en équilibre statique, c'est-à-dire que le centre de masse de l'équipement est situé dans le plan de la poignée centrale.

Lorsque le moteur à essence est en marche et que la scie est maintenue bien en main par l'utilisateur, l'interrupteur d'accélération peut être actionné pour mettre la lame en mouvement. Un guide d'utilisation de la compagnie STIHL intitulé « Travailler en sécurité avec la découpeuse »³ préconise d'effectuer la coupe avec la partie inférieure de la lame. Cependant, le garde qui protège l'utilisateur de la partie supérieure de la lame peut être rétracté pour permettre d'effectuer une coupe avec la partie frontale de la lame. Cette situation est plus dangereuse.

Une mise en garde sérieuse est formulée dans le guide d'utilisation intitulé « Travailler en sécurité avec la découpeuse »⁴. On y mentionne que « si le contact a lieu avec la partie frontale du disque, le disque aura tendance à remonter sur l'objet à découper et à sortir de la coupe (cabrage) ». On poursuit « si la partie avant du disque se coince, tout spécialement dans le quart supérieur, le disque peut être brusquement projeté vers le haut et vers l'arrière, en décrivant un mouvement de rotation très violent en direction de l'utilisateur », et on conclut cet avertissement par les mots « danger de mort ».

Une analyse des forces impliquées dans le fonctionnement « normal » de la scie (c'est-à-dire sans coincement de la lame) sera d'abord présentée pour des situations de coupe avec la partie inférieure du disque, puis avec la partie frontale. Ensuite, la situation de coincement sera étudiée dans le but d'évaluer les forces développées par la scie et les mouvements possibles de projection de l'outil.

4 Analyse

Analyse des efforts en situation normale

Dans cette section, les efforts produits par l'utilisation de la scie en situation normale de travail seront étudiés. Une situation normale est une opération de coupe sans problème de coincement de la lame.

Situation normale 1 : coupe avec la partie inférieure de la lame, représentée à la figure 2.

³ Voir la référence [4].

⁴ Voir la référence [4] à la page 8.

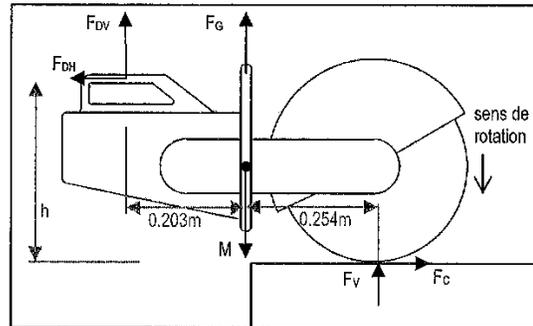


Figure 2

Sur la figure 2, les forces impliquées dans le procédé sont superposées au schéma de la scie. La force exercée par la main droite sur la poignée arrière a été divisée en une composante verticale F_{DV} et une composante horizontale F_{DH} . Il est important de mentionner qu'une partie de la force horizontale F_{DH} pourrait être transférée à la main gauche, mais ceci ne changerait pas l'analyse. De plus, dans certaines situations qui seront présentées dans ce qui suit, les forces F_G et F_V peuvent être nulles.

Estimation de la force de coupe F_C

Lors de la coupe, la puissance du moteur (3200 W) est transmise à la lame avec un rendement de 95 %⁵. La lame reçoit une puissance $P_{\text{lame}} = 0.95 P_{\text{mot}} = 3040 \text{ W}$.

Cette puissance peut être exprimée en fonction du couple C imposé à la lame (exprimé en N.m) et de la vitesse de rotation de la lame $\omega = 4800 \text{ rpm} = 502 \text{ rad/sec}$ par l'équation :

$$P_{\text{lame}} = C \times \omega$$

Le couple peut être calculé :

$$C = P_{\text{lame}} / \omega = 3040 \text{ W} / 502 \text{ rad/sec} = 6.06 \text{ N.m}$$

Le couple C sert à maintenir la lame en mouvement, c'est-à-dire à vaincre la force de coupe F_C exercée à la périphérie de la lame. Le couple peut être exprimé en fonction de la force F_C et du rayon r de la lame ($r = 0.178 \text{ m}$) par l'équation

$$C = F_C \times r$$

La force de coupe peut être calculée :

⁵ La référence [2] propose un rendement de 95 à 97% pour un entraînement par courroies. Selon le principe de présomption de sécurité exposé en introduction, la valeur de 95% sera utilisée.

$$F_C = C / r = 6.06 \text{ N.m} / 0.178 \text{ m} = 34.0 \text{ N} = 3.47 \text{ kg}$$

Premier cas étudié : *l'opérateur tient la scie avec ses deux mains, et effectue la coupe sans exercer de pression vers le bas sur la scie ($F_V = 0$).*

La première situation analysée est celle où l'opérateur tient la scie à deux mains et n'exerce aucune force verticale sur la lame ($F_V = 0$).

L'équilibre des forces horizontales sur la scie implique la présence d'une force F_{DH} exercée de la main droite égale et opposée à la force de coupe F_C :

$$F_{DH} = F_C = 34 \text{ N} = 3.47 \text{ kg}$$

La hauteur h entre le point d'application de la force de coupe F_C et la prise de la main droite sur la poignée arrière dépend de plusieurs paramètres variables, tels que la profondeur d'enfoncement de la lame dans la coupe et l'angle de l'axe horizontal de la scie par rapport au sol. Une valeur moyenne de 0.356 m (14") sera utilisée pour les calculs. L'équilibre des moments par rapport au centre de masse (somme des moments = 0) implique que

$$F_{DH} \times (0.178 \text{ m}) + F_C \times (0.178 \text{ m}) = F_{DV} \times (0.203 \text{ m})$$

$$F_{DV} = 2 \times 34 \text{ N} \times 0.178 \text{ m} / 0.203 \text{ m} = 59.6 \text{ N} = 6.1 \text{ kg}$$

L'équilibre des forces verticales sur la scie implique que

$$F_{DV} + F_G = M = 12.5 \text{ kg} \text{ donc } F_G = 6.4 \text{ kg}$$

Ainsi, la masse de la scie est répartie assez également sur les deux mains, et la charge totale correspond à la masse de la scie soit 12.5 kg. Il faut également que l'opérateur exerce une force de retenue vers l'arrière de 3.47 kg pour empêcher la scie d'avancer.

Ces forces sont faibles et peuvent être retenues assez facilement par l'opérateur. Puisqu'elle ne nécessite pas de grand effort, cette situation peut conduire à une vigilance réduite de l'opérateur pouvant augmenter son temps de réaction en cas de problème.

Deuxième cas étudié : *l'opérateur tient la scie avec ses deux mains, mais n'exerce plus de force vers le haut avec sa main gauche ($F_G = 0$), et effectue la coupe en laissant porter la scie sur la lame.*

Selon toute vraisemblance, l'opérateur peut avoir tendance à forcer moins de la main gauche et à laisser porter la scie sur la lame tout en la retenant avec la main droite.

Ici encore, l'équilibre des forces horizontales sur la scie implique la présence d'une force F_{DH} exercée de la main droite égale et opposée à la force de coupe F_C :

$$F_{DH} = F_C = 34 \text{ N} = 3.47 \text{ kg}$$

Considérant l'équilibre des moments par rapport à l'endroit où la main droite maintient la scie par la poignée arrière (somme des moments = 0) :

$$12.5 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 \times 0.203 \text{ m} = F_C \times (0.356 \text{ m}) + F_V \times (0.457 \text{ m})$$

$$F_V = 28 \text{ N} = 2.85 \text{ kg}$$

L'équilibre des forces verticales sur la scie implique que

$$F_{DV} + F_V = M = 12.5 \text{ kg} \text{ donc } F_{DV} = 9.65 \text{ kg}$$

Ainsi, seule la main droite exerce des forces sur la scie, soit une force de retenue vers l'arrière de 3.47 kg et une force verticale de 9.65 kg.

Ici encore ces forces sont faibles et peuvent être retenues assez facilement par l'opérateur, ce qui peut conduire à une vigilance réduite et augmenter le temps de réaction en cas de problème.

On peut finalement remarquer que la force réactive F_V de 2.85 kg, qui correspond à la force verticale naturelle avec laquelle la masse de la scie pousse la lame dans la coupe si l'opérateur laisse porter la scie, n'est pas très élevée. Il est fort probable que l'opérateur puisse appliquer une force vers le bas avec sa main gauche pour augmenter la réaction F_V et accélérer l'enfoncement de la lame dans la coupe.

Situation normale 2 : coupe occasionnelle avec la partie frontale de la lame, représentée à la figure 3.

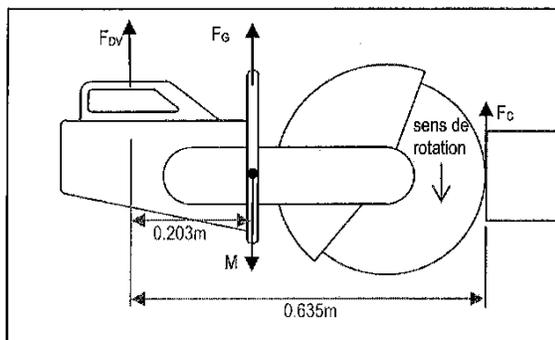


Figure 3

Au départ, avant d'engager la lame dans le matériau à couper, l'opérateur s'approche en soutenant la scie avec ses deux mains mais principalement avec sa main gauche puisqu'elle est

située au-dessus du centre de masse de la scie⁶, de telle sorte que la masse M produit une force F_G vers le haut.

Lorsque la lame de la scie s'engage dans le matériau, une force de coupe est générée vers le haut sur la partie frontale de la lame, selon

$$F_C = C / r = 6.06 \text{ N.m} / 0.178 \text{ m} = 34.0 \text{ N} = 3.47 \text{ kg}$$

Cette force déséquilibre le système et doit être compensée. L'opérateur doit alors continuer de soutenir la scie avec ses deux mains, mais il doit réduire le soutien de la main gauche et effectuer un transfert de masse vers la main droite à l'arrière. À l'équilibre, la somme des moments par rapport au centre de masse est nulle :

$$F_{DV} \times 0.203 \text{ m} = F_C \times 0.432 \text{ m}$$

La force exercée par la main droite est donc :

$$F_{DV} = F_C \times (0.432 \text{ m} / 0.203 \text{ m}) = 34 \text{ N} \times (0.432 \text{ m} / 0.203 \text{ m}) = 72 \text{ N} = 7.38 \text{ kg}$$

L'équilibre des forces verticales sur la scie implique que

$$F_{DV} + F_G + F_C = M = 12.5 \text{ kg} \text{ donc } F_G = 1.65 \text{ kg}$$

Ainsi, la masse de la scie est répartie principalement sur la main droite (7.38 kg) tandis que la main gauche force peu (1.65 kg).

Ces forces sont très faibles, ce qui peut conduire à une vigilance réduite et augmenter le temps de réaction en cas de problème.

Analyse des efforts lorsqu'il y a coincement de la lame

Dans cette section, les efforts produits par le coincement et l'arrêt instantané de la lame seront étudiés pour les deux situations de coupe, soit la coupe normale avec la partie inférieure de la lame et la coupe occasionnelle avec la partie frontale de la lame.

Les phénomènes physiques impliqués sont complexes mais ils peuvent être traités par la méthode des énergies, en formulant certaines hypothèses.

Le coincement de la lame se produit lorsque l'un ou les deux blocs du matériau coupé situés de part et d'autre de la lame se déplacent vers celle-ci et la bloquent, ou encore lorsque l'alignement de la lame dans la coupe change brusquement.

Lors du coincement, la lame est freinée et s'arrête extrêmement rapidement. Pendant ce freinage, une partie de son énergie cinétique de rotation est dissipée en chaleur dans le béton et dans le

⁶ D'après les données fournies par Madame Isabelle Émond le 27 octobre 2006.

matériau de la lame elle-même, mais une grande partie de son énergie initiale peut être transférée à la scie, qui est alors mise en mouvement et projetée.

Immédiatement avant le coincement, l'énergie cinétique de rotation E de la lame est ⁷ :

$$E = \frac{1}{2} J \omega^2$$

où $\omega = 502$ rad/sec est la vitesse de rotation de la lame et J est son moment d'inertie polaire par rapport à l'axe de rotation.

Pour un disque de rayon r et de masse m, le moment d'inertie polaire par rapport à l'axe de rotation s'exprime par ⁸

$$J = \frac{1}{2} m r^2 = \frac{1}{2} (2 \text{ kg}) (0.178 \text{ m})^2 = 0.0317 \text{ kg.m}^2$$

L'énergie cinétique de rotation E de la lame correspondante est

$$E = \frac{1}{2} (0.0317 \text{ kg.m}^2) (502 \text{ rad/sec})^2 = 3994 \text{ J}$$

Cette quantité d'énergie est considérable. Lors d'une situation d'urgence, cette énergie est dissipée et/ou transférée en un très court intervalle de temps et peut produire de grandes forces. Simplement à titre d'indication, cette énergie correspond à celle d'un objet de 10 kg projeté à une vitesse de 100 km/h.

Les hypothèses suivantes permettront l'analyse :

- la durée de l'impact de décélération de la lame dû au coincement est très court. Étant donné que cette durée dépend de plusieurs conditions situationnelles extrêmement variables, des calculs seront effectués pour différentes valeurs de temps d'impact. Cependant, je juge que la majorité des situations de coincement risquent de se produire en un temps d'impact ne dépassant pas 0.2 seconde, et que l'utilisation de cette valeur comme cas limite respecte la présomption de sécurité et d'acceptabilité de l'outil formulée en introduction;
- pendant l'impact, la lame est freinée mais continue de couper jusqu'à son immobilisation et une partie de son énergie cinétique est perdue dans cette coupe;
- le couple de freinage attribuable au coincement crée un couple réactif qui projette la scie;

Le couple requis pour freiner un objet en rotation s'exprime en fonction du moment d'inertie polaire par rapport à l'axe de rotation J et du taux de décélération angulaire $d\omega / dt$ par l'équation ⁹

$$C = J d\omega / dt$$

La différentielle de vitesse lors de l'arrêt de la lame est de $d\omega = 502$ rad/sec, et le taux de décélération dépend du temps de l'impact. Plus l'impact est rapide, plus grandes sont les forces

⁷ Voir la référence [1] à la page 417.

⁸ Voir la référence [1] à la page 630.

⁹ Voir la référence [1] à la page 389.

réactives et plus grand est le couple développé. Il a été mentionné dans la formulation des hypothèses qu'un temps d'impact de 0.2 seconde constitue une limite raisonnable, en ce sens que la majorité des situations de coincement se produisent en un temps ne dépassant pas 0.2 seconde. Dans ce qui suit, l'importance des forces réactives sera discutée pour un temps d'impact de 0.2 seconde, en gardant à l'esprit que des temps d'impact plus rapides risquent également de se produire et de générer des forces encore plus grandes. Rappelons que les résultats obtenus pour le temps d'impact de 0.2 seconde constituent la valeur limite respectant la présomption de sécurité et d'acceptabilité de l'outil. Mentionnons aussi que dans tous les tableaux de résultats, les données seront aussi calculées pour un temps d'impact de 0.5 seconde, à titre de référence comparative.

Le tableau 1 présente la valeur du couple requis pour freiner la lame de la scie en fonction du temps d'impact.

Tableau 1

Temps d'impact (sec)	Couple (N.m)
0.05	318.3
0.10	159.1
0.15	106.1
0.20	79.6
0.50	31.8

Les deux situations de coupe traitées précédemment, c'est-à-dire la coupe normale avec la partie inférieure de la lame et la coupe avec la partie frontale seront maintenant analysées en fonction de ces données.

Situation 3 : coincement lors d'une coupe avec la partie inférieure de la lame

Référant à la figure 2, on peut observer que si la partie inférieure de la lame coince dans le plan de coupe et s'arrête sous l'effet du couple produit par l'augmentation soudaine de la force de coupe F_c (coincement), une réaction équivalente sera transférée au bâti de la scie par son moyeu et projettera la scie vers l'avant. Le tableau 2 présente la valeur de la force réactive de projection vers l'avant en fonction du temps d'impact.

Tableau 2

Temps d'impact (sec)	Force réactive (kg)
0.05	182.3
0.10	91.1
0.15	60.8
0.20	45.6
0.50	18.2

On peut y noter que les forces réactives sont importantes : dans le cas du temps d'impact de 0.2 seconde, la force réactive est de 45.6 kg. Rappelant que la force d'appel vers l'avant est

normalement de l'ordre de 3.47 kg, un passage soudain à 45.6 kg ou même plus peut surprendre l'opérateur qui risque d'échapper la scie.

Dans cette éventualité, la scie se mettra en mouvement vers l'avant. Utilisant le principe de conservation de l'énergie, il est possible d'évaluer la vitesse de projection de la scie vers l'avant.

Il faut d'abord évaluer l'énergie restituée après l'impact en calculant l'énergie absorbée par l'effet de coupe pendant l'impact et en la retranchant de l'énergie initiale de la lame (3994 J).

L'énergie absorbée par l'effet de coupe pendant l'impact est évaluée en multipliant la puissance de coupe de 3040 J/s par le temps d'impact.

Le tableau 3 présente l'énergie restituée en fonction du temps d'impact.

Tableau 3

Temps d'impact (sec)	Énergie dissipée (J)	Énergie restituée (J)
0.05	152	3842
0.10	304	3690
0.15	456	3538
0.20	608	3386
0.50	1520	2474

L'énergie restituée E_{res} se retrouvera sous forme de vitesse de projection avant de la scie (notée V), ainsi que de rotation résiduelle (ω_{res}) de la lame. La rotation résiduelle de la lame est attribuable au fait qu'elle sera probablement remise en rotation en sortant du coincement, bien qu'à une vitesse beaucoup plus faible que sa vitesse initiale. Même si cette vitesse est faible, elle peut constituer un danger pour l'opérateur si celui-ci est touché par la lame.

L'énergie restituée E_{res} exprimée en fonction des paramètres déjà établis est :

$$E_{res} = \frac{1}{2} M V^2 + \frac{1}{2} J (\omega_{res})^2$$

La vitesse de rotation résiduelle de la lame est liée à la vitesse de projection par la relation géométrique

$$V = \omega_{res} \times r \rightarrow \omega_{res} = V / r$$

En introduisant cette relation et les valeurs des constantes M , J et r , nous obtenons une équation reliant E_{res} et V :

$$E_{res} = \frac{1}{2} M V^2 + \frac{1}{2} J V^2 / r^2 = \frac{1}{2} V^2 (M + J / r^2) = \frac{1}{2} V^2 (12.5 \text{ kg} + 0.0317 \text{ kg.m}^2 / (0.178 \text{ m})^2)$$

$$E_{res} = 6.75 V^2$$

Le tableau 4 présente la vitesse de projection avant de la scie en fonction du temps d'impact.

Tableau 4

Temps d'impact (sec)	Vitesse (m/s)
0.05	23.9
0.10	23.4
0.15	22.9
0.20	22.4
0.50	19.1

On peut y noter que les vitesses de projection avant de la scie sont importantes, même dans le cas limite à 0.2 seconde pour lequel la vitesse est de 22.4 m/s (81 km/h).

Situation 4 : coincement lors d'une coupe avec la partie frontale de la lame

Référant à la figure 3, on peut observer que si la partie frontale de la lame coince dans le plan de coupe et s'arrête sous l'effet du couple produit par l'augmentation soudaine de la force de coupe F_C , une réaction équivalente sera transférée au bâti de la scie par son moyeu, cependant dans cette situation la force sera verticale et orientée vers le haut. La partie avant de la scie sera alors poussée vers le haut. Les valeurs de forces réactives de poussée vers le haut sont celles présentées au tableau 2.

Considérant un point de pivot à la main droite de l'opérateur ou à la partie inférieure arrière de la scie si la main droite échappe la poignée, on peut évaluer la force vers le bas que doit soudainement exercer la main gauche en étudiant l'équilibre des moments autour du pivot. Dans le cas de l'impact de 0.2 seconde, pour empêcher la rotation de la scie vers lui, la main gauche de l'opérateur doit produire une force F_G telle que

$$(M - F_G) \times (0.203 \text{ m}) = F_C \times (0.635 \text{ m})$$

$$F_G = M - F_C \times (0.635 \text{ m}) / (0.203 \text{ m}) = 12.5 \text{ kg} - 45.6 \text{ kg} \times (0.635 \text{ m}) / (0.203 \text{ m}) = - 130 \text{ kg}$$

Il est assez clair qu'une telle force peut difficilement être développée par la main gauche de l'opérateur et que celui-ci risque d'être blessé.

La vitesse de rotation ω_{impact} de la scie par rapport au point pivot (main droite ou partie inférieure arrière de la scie en contact avec le sol) peut être évaluée par l'équation :

$$E_{\text{res}} = \frac{1}{2} J_{\text{scie}} (\omega_{\text{impact}})^2$$

dans laquelle E_{res} est l'énergie restituée calculée au tableau 3, et J_{scie} est le moment d'inertie polaire de la scie par rapport au point de pivot, évalué à 2.6 kg.m².

Le tableau 5 présente la vitesse de rotation de la projection de la scie autour du point pivot en fonction du temps d'impact.

Tableau 5

Temps d'impact (sec)	rotation (tour/s)
0.05	8.7
0.10	8.5
0.15	8.3
0.20	8.1
0.50	6.9

On peut y noter que les vitesses de rotation sont importantes : pour un temps d'impact de 0.2 seconde, la scie fait un demi-tour en moins de 0.1 seconde. C'est le temps requis pour que la lame se retourne vers l'opérateur.

À partir des résultats présentés dans ce chapitre, il est raisonnable d'affirmer que le coincement de la lame de la scie risque de résulter en une projection vers l'avant ou une rotation autour d'un axe perpendiculaire au plan de coupe, et que ceci constitue une situation dangereuse.

Il est également possible et probable que la projection principale soit accompagnée d'autres mouvements combinés, c'est-à-dire de rotations simultanées selon plusieurs axes. Ceci peut être attribuable au fait que le phénomène de coincement n'est pas nécessairement symétrique et qu'il peut produire une composante de projection latérale, ou encore une rotation autour de l'axe longitudinal de la scie (axe horizontal aligné avec le bâti de la scie). On imagine aisément que ces mouvements combinés à la projection principale de la scie rendent la situation imprévisible et difficilement maîtrisable par l'opérateur.

C'est vraisemblablement à cette situation que l'auteur du document cité en référence [3] réfère lorsqu'il rapporte des accidents similaires et mentionne que « in both of these accidents the cause was attributed to the jamming of the blade followed by instantaneous reactive forces that caused the saw to become uncontrollable ».

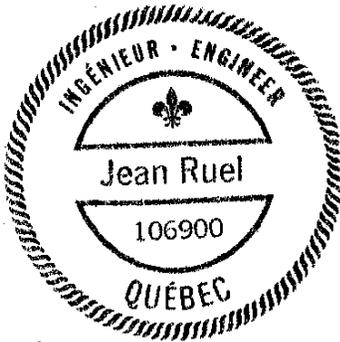
5 Conclusion

Dans ce rapport, deux situations de coupe avec une scie à béton ont été analysées, soit la coupe avec la partie inférieure de la lame ainsi que la coupe avec la partie frontale. Pour chacune de ces situations, les efforts produits par l'utilisation normale de la scie et ceux produits par le phénomène de coincement ont été calculés. Il en ressort que :

1) en situation de coupe avec la partie inférieure de la lame, l'opérateur doit retenir une force modérée qui tire la scie vers l'avant. Si un coincement de la lame se produit, cette force augmente soudainement de façon significative et risque de projeter la scie vers l'avant à grande vitesse.

2) la situation de coupe avec la partie frontale de la lame est plus dangereuse. L'opérateur doit retenir la scie avec des forces modérées, et le niveau relativement faible de ces forces peut réduire sa vigilance. Si un coincement de la lame se produit, des forces réactives intenses sont produites. L'intensité de ces forces est telle que dans la plupart des cas l'opérateur risque de ne pas pouvoir retenir la scie qui peut être projetée vers lui à grande vitesse.

Le danger inhérent à l'utilisation de ce type équipement est déjà reconnu, et les risques d'accidents sont élevés, comme en témoignent les événements récents et ceux qui sont enregistrés. La présente analyse fournit une évaluation quantitative de l'importance des forces impliquées dans ces accidents.



J. Ruel, ing.

Jean Ruel, Ph.D., ing.

Québec, le 14 décembre 2006

Références

- [1] Engineering Mechanics, Volume 2 : Dynamics, 2nd Edition. Meriam J.L., Kraige, L.G. John Wiley and Sons, New York 1986.
- [2] Theory and Problems of Machine Desing. Hall A.S., Holowenko A.R., Laughlin, H.G. Schaum's Outline Series, McGraw-Hill, New York 1961.
- [3] Use of concrete cutting saws. Notice no. 30 de la série Hazard Alert du Gouvernement d'Australie Sud, disponible à à l'adresse internet <http://www>
- [4] Travailler en sécurité avec la découpeuse. Manuel d'utilisation de la compagnie STIHL disponible à l'adresse internet http://www.stihl.de/safety_manuals/fr/Trennschleifgeraet_franzoesisch.pdf

Évaluation expérimentale des forces réactives produites par le
coincement de la lame d'une découpeuse à disque

Rapport présenté à

Madame Isabelle Émond, ing.

Inspectrice à la Direction régionale de Québec de la
Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec (CSST)

par

Jean Ruel, Ph.D., ing.

Département de génie mécanique, Université Laval

3 avril 2007

Évaluation expérimentale des forces réactives produites par le coincement de la lame d'une découpeuse à disque

Jean Ruel, Ph.D., ing.

1 Introduction

Ce rapport fait suite au rapport intitulé « Évaluation analytique des forces impliquées dans le fonctionnement d'une scie à béton », produit en décembre 2006 ¹.

Il présente des mesures expérimentales effectuées sur un modèle réduit reproduisant les éléments principaux d'une découpeuse à disque.

L'objectif de ces essais était de confirmer les hypothèses formulées dans le premier rapport pour évaluer les forces produites par le coincement de la lame d'une découpeuse à disque, et ainsi confirmer que le coincement produit des forces réactives qui peuvent difficilement être contenues par l'opérateur.

¹ Référence [5].

2 Description du modèle réduit

Un modèle réduit de découpeuse à disque a été conçu par le bureau de design et fabriqué à l'atelier du département de génie mécanique de l'Université Laval. Une instrumentation de mesure y a été intégrée pour mesurer en temps réel les quantités physiques permettant de vérifier les hypothèses et les forces.

La figure 1 présente le modèle réduit. Ses principaux éléments sont un bâti en aluminium et une lame rotative (faite d'acier) supportée par un ensemble de roulements à billes. La lame rotative est mise en rotation par un moteur externe qui entraîne le disque pas sa périphérie. Le moteur n'est pas représenté sur la photo.

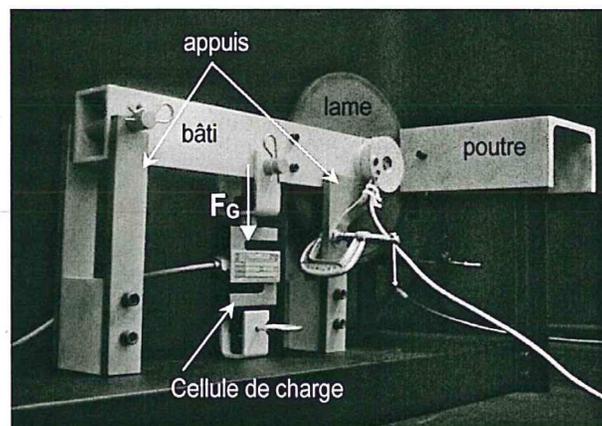


Figure 1

Dans ce rapport, le terme lame sera utilisé pour désigner la partie tournante seulement, tandis que le terme découpeuse à disque sera utilisé pour désigner l'équipement complet, incluant la lame.

Les caractéristiques de la lame rotative sont :

Diamètre de la lame	$D = 0.178 \text{ m}$
Masse de la lame	$m = 1.24 \text{ kg}$
Vitesse de rotation de la lame	$\omega = 1200 \text{ rpm} = 20 \text{ tour/sec} = 125.6 \text{ rad/sec}$
Moment d'inertie de la lame	$J = 0.005 \text{ kg.m}^2$

La lame est engagée dans une poutre en aluminium (voir la figure 1) représentant le bloc de béton qui doit être coupé par la découpeuse. À l'intérieur de la poutre, un frein a été installé pour permettre le coincement instantané la lame (voir la figure 2).

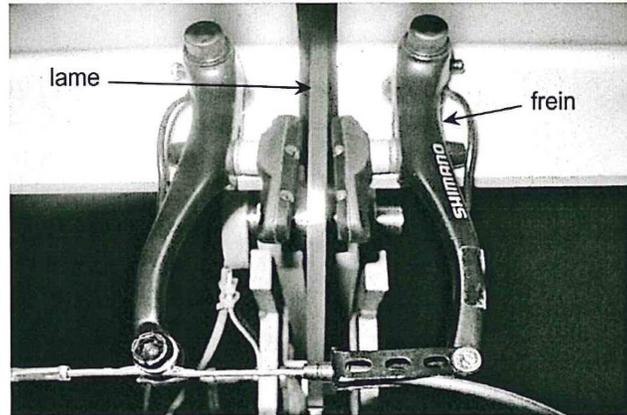


Figure 2

La configuration du montage peut être modifiée pour tester deux conditions de coupe, c'est-à-dire une coupe avec la partie frontale de la lame (comme c'est le cas sur la figure 1), et une coupe avec la partie inférieure de la lame (illustrée sur la figure 3).

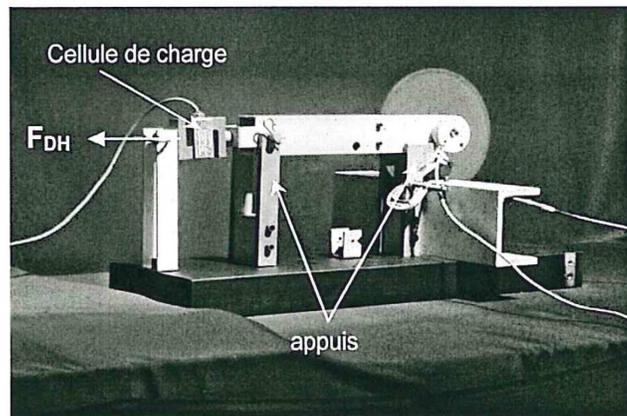


Figure 3

Le modèle réduit repose sur des appuis simples qui le supportent verticalement tout en lui laissant la liberté de se déplacer vers l'avant (c'est-à-dire vers la droite sur les photos) ou vers le haut, pour permettre les deux type de projection, le cabrage avec rotation vers l'arrière (coincement lors d'une coupe avec la partie frontale de la lame) ou la projection vers l'avant (coincement lors d'une coupe avec la partie inférieure de la lame).

Une cellule de charge (un senseur permettant de mesurer la force) retient le modèle comme le feraient les mains de l'opérateur.

Lors du coincement en situation de coupe avec la partie frontale (figure 1), la cellule de charge agit à l'endroit où agirait la main gauche de l'opérateur : elle produit une force verticale F_G dirigée vers le bas pour retenir la découpeuse et empêcher le cabrage.

De façon analogue, lors du coincement en situation de coupe avec la partie inférieure de la lame (figure 3), la cellule de charge agit à l'endroit où agirait la main droite de l'opérateur : elle produit une force horizontale F_{DH} dirigée vers l'arrière pour retenir la découpeuse et empêcher la projection avant.

L'instrumentation du montage est complétée par un senseur permettant de mesurer la vitesse de rotation de la lame immédiatement avant le coincement (Figure 4).

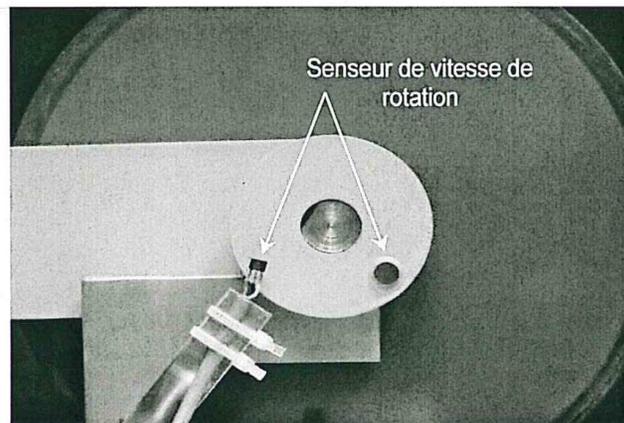


Figure 4

3 Rappel des hypothèses

Dans le premier rapport, il a été mentionné que les phénomènes physiques impliqués lors du coincement sont complexes, mais qu'ils peuvent être traités par la méthode des énergies en formulant certaines hypothèses.

► Les hypothèses suivantes ont permis l'analyse :

- 1 La durée de l'impact de décélération de la lame dû au coincement est très court. Une valeur limite jugée conservatrice a été fixée à 0.2 seconde.
- 2 Le couple de freinage attribuable au coincement crée un couple réactif qui projette la découpeuse à disque.
- 3 L'énergie cinétique de la lame est transférée à la découpeuse, ce qui en cause la projection.

► Ces hypothèses ont conduit au calcul des forces de retenue suivantes :

Cas de la coupe avec la partie frontale : en considérant un temps d'impact de 0.2 seconde, la main gauche doit retenir une force soudaine de 130 kg.

Cas de la coupe avec la partie inférieure de la lame : en considérant un temps d'impact de 0.2 seconde, la main droite doit retenir une force soudaine de 45.6 kg.

► Ces forces de retenues ont été obtenues par la suite de raisonnements suivants :

Le coincement produit un couple C exprimé par l'équation ²

$$C = J \, d\omega / dt$$

où J est le moment d'inertie de la lame et $d\omega / dt$ est son taux de décélération angulaire.

Ce couple se traduit par une force au point de coincement exprimée par

$$F_c = C / r$$

où r est le rayon de la lame.

² Voir la référence [1] à la page 389.

4 Résultats expérimentaux

Les hypothèses ont été vérifiées expérimentalement de la façon suivante :

- la lame du modèle réduit a été mise en rotation ;
- la vitesse de rotation a été mesurée ;
- le frein a été appliqué soudainement ;
- l'évolution de la force réactive a été mesurée en temps réel à l'aide de la cellule de charge, d'un système d'acquisition de données et d'un ordinateur ;
- la durée du coincement a été évaluée à partir des données ;
- la durée du coincement et la vitesse de rotation ont permis de calculer le taux de décélération angulaire $d\omega / dt$;
- le couple C , puis la force de coincement F_C ont pu être évalués ³.

Coincement lors d'une coupe avec la partie frontale de la lame

La figure 5 présente la configuration du modèle réduit lors de cette expérience, ainsi que les forces impliquées.

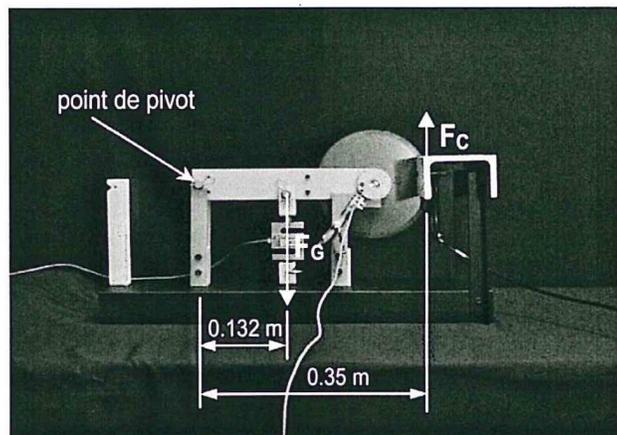


Figure 5

³ Le moment d'inertie polaire de la lame du modèle réduit par rapport à l'axe de rotation est $J = 0.005 \text{ kg.m}^2$.

Dans ce cas, la force de coincement F_C produira un couple cherchant à faire tourner la découpeuse à disque dans le sens anti-horaire autour du pivot arrière. Cependant, la découpeuse à disque est retenue en équilibre par la cellule de charge qui produit un couple réactif égal mais de sens opposé de sorte que l'ensemble est stable. La force F_G mesurée par la cellule de charge correspond à celle qui devrait être appliquée par la main gauche de l'opérateur sur la poignée centrale pour éviter le cabrage.

L'équilibre statique des forces implique que

$$F_C \times 0.35 \text{ m} = F_G \times 0.132 \text{ m}$$

Cette équation permet, à partir des équations présentées à la section 3, de calculer la force théorique qui devrait être mesurée par la cellule de charge en vertu des hypothèses qui doivent être vérifiées par cette expérience.

Le tableau 1 présente les résultats obtenus pour les essais expérimentaux de coincement avec la partie frontale.

On y retrouve :

- la vitesse de rotation avant le coincement ;
- le temps d'impact ;
- la force F_G maximale mesurée par la cellule de charge ;
- la force F_G théorique calculée à partir des hypothèses.

Tableau 1

Essai	Vitesse de rotation (rpm)	Temps d'impact (sec)	Force F_G maximale mesurée (kg)	Force F_G théorique calculée (kg)
1	1245	0.051	61.8	42.1
2	1310	0.047	76.8	47.9
3	1260	0.048	78.6	45.2

Discussion des résultats

Première observation

La première chose qu'on peut observer est la rapidité de l'impact : pour les trois essais présentés, les temps d'impact sont de l'ordre de 0.050 seconde, soit quatre fois plus petit que la limite de 0.2 seconde.

Cette première observation permet d'affirmer que

l'hypothèse selon laquelle la durée de l'impact est plus courte que 0.2 seconde est confirmée (ainsi que le caractère conservateur de cette valeur).

Par le fait même, ceci implique que

les forces réelles risquent d'être plus importantes que celle prédite avec la valeur de 0.2 seconde, soit F_G 130 kg.

Il est aussi intéressant de mentionner que l'arrêt de la lame s'effectue en moins d'un tour.

Deuxième observation

On remarque également que les valeurs théoriques calculées de la force F_G , (ces valeurs sont celles qui devraient normalement être mesurées avec la cellule de charge) sont plus faibles que les valeurs effectivement mesurées.

Cette différence s'explique de la façon suivante : le raisonnement théorique conduisant à l'évaluation des forces réactives suppose que le couple de freinage est constant pendant tout le coincement. Or, l'observation de la figure 6, qui présente l'évolution de la force F_G mesurée en fonction du temps pendant un essai de coincement ⁴, nous montre qu'en réalité la force F_G varie pendant l'impact. Puisque la quantité d'énergie à dissiper est donnée par l'énergie cinétique de la lame avant l'impact, si le couple de freinage est inférieur à la valeur moyenne (la valeur constante supposée par le raisonnement théorique) pendant certains intervalles de temps du coincement, il doit en contrepartie être supérieur à d'autres moments. C'est ce qui peut être observé sur la figure 6.

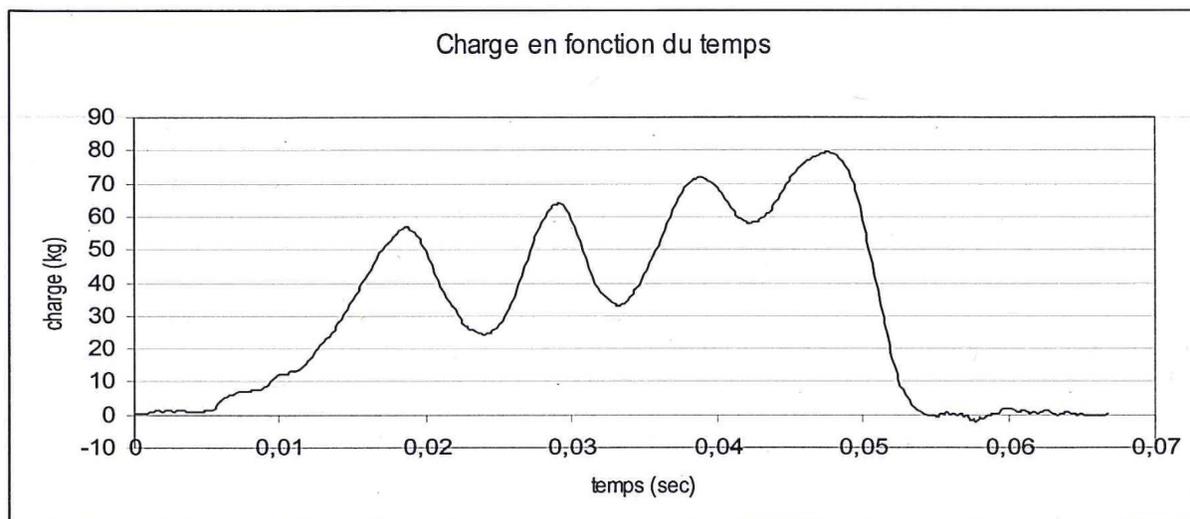


Figure 6

En fait, si l'on considère la valeur moyenne de la force F_G mesurée avec la cellule de charge plutôt que la valeur maximale, nous obtenons les résultats présentés au tableau 2 : les valeurs de force

⁴ Il s'agit des données de l'essai 3.

moyenne mesurée pendant l'impact sont très près des valeurs théoriques calculées. Ceci confirme la justesse de l'analyse théorique, et le fait d'avoir accès à l'information concernant la valeur instantanée de la force nous renseigne de façon très pertinente sur le fait que la valeur instantanée de la force peut dépasser de façon significative la valeur moyenne.

Tableau 2

Essai	Force F_G maximale mesurée pendant l'impact (kg)	Force F_G théorique calculée (kg)	Force moyenne mesurée pendant l'impact (kg)
1	61.8	42.1	38.6
2	76.8	47.9	44.4
3	78.6	45.2	43.7

En résumé,

Les résultats expérimentaux obtenus avec le modèle réduit confirment clairement que l'approche utilisée pour évaluer les forces réactives lors du coincement de la lame d'une découpeuse à disque est très appropriée et décrit bien la situation réelle.

Suite à l'analyse de l'évolution en temps réel de la force F_G , on peut également ajouter que

la force maximale réelle risque de dépasser la valeur prédite à un instant donné pendant le coincement, ce qui renforce ici encore le caractère prudent et conservateur des estimés initiaux.

Coincement lors d'une coupe avec la partie inférieure de la lame

La figure 7 présente la configuration du modèle réduit lors de cette expérience, ainsi que les forces impliquées.

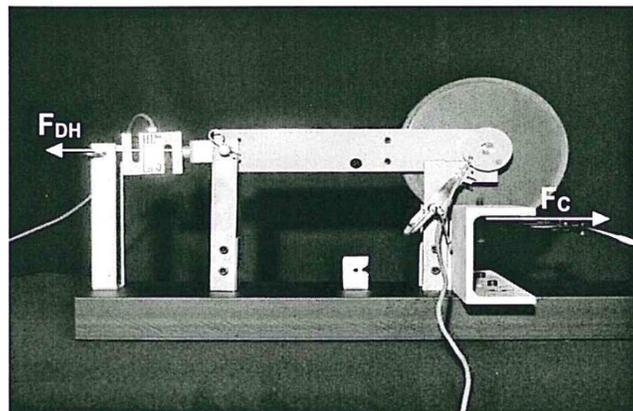


Figure 7

Dans ce cas, c'est l'équilibre des forces horizontales qui nous intéresse : la force de coincement F_c est égale à la force F_{DH} mesurée par la cellule de charge, et cette force correspond à celle qui doit normalement être retenue par l'opérateur. Le tableau 3 présente les résultats obtenus.

Tableau 3

Essai	Vitesse de rotation (rpm)	Temps d'impact (sec)	Force maximale mesurée (kg)	Force théorique calculée (kg)
4	1095	0.065	14.5	11.0
5	1080	0.038	25.5	18.5
6	1140	0.038	28.2	19.5

Discussion des résultats

Ici encore, les mêmes observations s'appliquent :

Les résultats expérimentaux obtenus avec le modèle réduit confirment clairement que l'approche utilisée pour évaluer les forces réactives lors du coincement de la lame d'une découpeuse à disque est très appropriée et décrit bien la situation réelle.

Suite à l'analyse de l'évolution en temps réel de la force F_G , on peut également ajouter que

la force maximale réelle risque de dépasser la valeur prédite à un instant donné pendant le coincement, ce qui renforce ici encore le caractère prudent et conservateur des estimés.

5 Conclusion

Dans ce rapport, les résultats expérimentaux d'essais réalisés sur un modèle réduit instrumenté de découpeuse à disque ont été présentés.

L'objectif de ces essais était de confirmer les hypothèses formulées pour évaluer les forces produites par le coincement de la lame de la découpeuse à disque, et ainsi confirmer que le coincement produit des réactions qui peuvent difficilement être contenues par l'opérateur ⁵.

Les conclusions de ces essais sont les suivantes :

1. les résultats expérimentaux obtenus avec le modèle réduit confirment clairement que l'approche utilisée pour évaluer les forces réactives lors du coincement de la lame d'une découpeuse à disque est très appropriée et décrit bien la situation réelle ;
2. l'hypothèse selon laquelle la durée de l'impact est plus courte que 0.2 seconde est confirmée (ainsi que le caractère conservateur de cette valeur) ;
3. les forces réelles risquent d'être plus importantes que celles prédites. En effet,
 - a. la durée des impact observés est quatre fois moins importante que la limite fixée de 0.2 seconde, et
 - b. pendant l'impact, des forces maximales instantanées significativement plus importantes que la valeur moyenne ont été mesurées.



Jean Ruel, Ph.D., ing.

Québec, le 3 avril 2007

⁵ Voir référence [5].

Références

- [1] Engineering Mechanics, Volume 2 : Dynamics, 2nd Edition. Meriam J.L., Kraige, L.G. John Wiley and Sons, New York 1986.
- [2] Theory and Problems of Machine Desing. Hall A.S., Holowenko A.R., Laughlin, H.G. Schaum's Outline Series, McGraw-Hill, New York 1961.
- [3] Use of concrete cutting saws. Notice no. 30 de la série Hazard Alert du Gouvernement d'Australie Sud, disponible à l'adresse internet <http://www>
- [4] Travailler en sécurité avec la découpeuse. Manuel d'utilisation de la compagnie STIHL disponible à l'adresse internet http://www.stihl.de/safety_manuals/fr/Trennschleifgeraet_franzoesisch.pdf
- [5] Évaluation analytique des forces impliquées dans le fonctionnement d'une scie à béton. Rapport d'expertise produit pour la direction régionale de Québec de la Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec (CSST), Ruel, J., 2006.

ANNEXE F

Références bibliographiques

ABMAST. *ABMAST, abrasifs de qualité pour professionnels*, Saint-Hyacinthe, ABMAST, [200?], 104 p. [<http://abmast.com/pdf/fr/catalogue.pdf>].

COMMISSION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL. *Découpeuse à disque*, [Montréal], CSST, 2013, 1 affiche. (DC: 900-220-2) (Avis danger). [http://www.csst.qc.ca/publications/900/Documents/DC900_220web.pdf].

COMMISSION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL DU QUÉBEC. DIRECTION RÉGIONALE DE MONTRÉAL 1. *Rapport d'enquête d'accident : accident mortel survenu à un travailleur de l'entreprise Phil Excavation inc. le 16 juillet 2009 sur le chantier situé au 2315, rue Wellington à Montréal arrondissement de Pointe St-Charles, Québec*, Québec, CSST, 2010, 25 p. [<http://www.centredoc.csst.qc.ca/pdf/ed003828.pdf>].

COMMISSION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL DU QUÉBEC. DIRECTION RÉGIONALE DE QUÉBEC. *Rapport d'enquête d'accident : accident mortel survenu à un travailleur de l'entreprise Laval Construction inc. le 18 août 2006 devant le 9370, rue Pradier à Québec, arrondissement de Charlesbourg, Québec*, Québec, CSST, 2007, 15 p. [<http://www.centredoc.csst.qc.ca/pdf/ed003665.pdf>].

HUSQVARNA. *Comment utiliser votre découpeuse avec plus de sécurité, de confort et d'efficacité*, [Stockholm], Husqvarna, [201?], 43 p. [http://www.husqvarna.com/files/husqvarna/construction/user_guide/k760_analog_book_new_fr.pdf].

HUSQVARNA. *Husqvarna FS 8400 D*, [En ligne], 2011. [<http://www.husqvarna.com/ch/fr/construction/products/floor-saws-product-range/fs-8400-d/>] (Consulté le 22 juillet 2015).

MULTIQUIP. *Pavement saws*, [En ligne], 2015. [<http://www.multiquip.com/multiquip/pavement-saws.htm>] (Consulté le 22 juillet 2015).

STIHL. *Découpeuses à disque : conçues pour durer*, [En ligne], 2015. [<http://fr.stihl.ca/Produits-STIHL/Machines-pour-la-construction/0510/Découpeuses-à-disque.aspx>] (Consulté le 22 juillet 2015).

STIHL. *GS 461 : découpeuse à pierre : un autre produit innovateur de Stihl*, [En ligne], 2015. [<http://fr.stihl.ca/Produits-STIHL/Machines-pour-la-construction/01607/Découpeuse-à-pierre.aspx>] (Consulté le 22 juillet 2015).

STIHL. *Stihl GS 461 : notice d'emploi*, London, Ont., Stihl, 2013, 76 p. [http://www.ctrentals.ca/pdf/GS_461.pdf].

STIHL. *Stihl TS 700, 800 : notice d'emploi*, London, Ont., Stihl, 2009, 88 p.
[\[http://en.stihl.ca/p/media/download/en-ca/TS_700-800.pdf\]](http://en.stihl.ca/p/media/download/en-ca/TS_700-800.pdf).

STIHL. *Travailler en sécurité avec la découpeuse à disque*, [London, Ont.], Stihl, 2010, 21 p.
[\[http://www.stihl.de/safety_manuals/fr/Trennschleifgeraet_franzoesisch.pdf\]](http://www.stihl.de/safety_manuals/fr/Trennschleifgeraet_franzoesisch.pdf)