

EN004295

RAPPORT D'ENQUÊTE

**Accident ayant causé des brûlures graves à un travailleur de
l'entreprise 9301-7309 Québec inc.
(Entreprise de Ferme Agricole Idéal)
lors de travaux de nettoyage de toitures sur
une ferme située à Saint-Léonard-d'Aston le 5 juin 2020**

Version dépersonnalisée

**Service de la prévention-inspection Mauricie et Centre-du-Québec
Direction de la prévention-inspection Capitale-Nationale et Centre-Nord**

Inspecteurs :

_____ **Vincent Ouellette, ing.**

_____ **Daniel Lemieux, ing.**

Date du rapport : 18 février 2021

Rapport distribué à :

- Madame [A], [...], Entreprise de Ferme Agricole Idéal
 - D^{re} Marie-Josée Godi, directrice de la santé publique et de la responsabilité populationnelle, CIUSSS MCQ
-

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'ENTREPRISE	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	4
<u>4</u>	<u>ACCIDENT : FAITS ET ANALYSE</u>	<u>5</u>
4.1	CHRONOLOGIE DE L'ACCIDENT	5
4.2	CONSTATATIONS ET INFORMATIONS RECUEILLIES	6
4.2.1	DESCRIPTION DES ÉQUIPEMENTS	6
4.2.2	OBSERVATIONS	9
4.2.3	ANALYSE DES CAUSES DE L'INCENDIE	11
4.2.3.1	Étouffement du moteur	11
4.2.3.2	Projection du bouchon	12
4.2.3.3	Cause de l'incendie	13
4.2.4	DISPOSITION DES ÉQUIPEMENTS DANS LE CAMION	14
4.3	ÉNONCÉS ET ANALYSE DES CAUSES	15
4.3.1	L'ÉJECTION DU BOUCHON DU RÉSERVOIR PROVOQUE UNE PROJECTION D'ESSENCE QUI S'ENFLAMME AU CONTACT DU MOTEUR DE LA LAVEUSE À PRESSION TOUJOURS EN FONCTION.	15
4.3.2	LA DISPOSITION DES ÉQUIPEMENTS À ESSENCE DANS LE CAMION CUBE NE PERMET PAS AUX MACHINES DE FONCTIONNER DANS UN ENVIRONNEMENT SÉCURITAIRE ET EXPOSE LE TRAVAILLEUR À UN DANGER DE BRÛLURES LORSQU'IL SE TROUVE À L'INTÉRIEUR DE CELUI-CI.	16
<u>5</u>	<u>CONCLUSION</u>	<u>18</u>
5.1	CAUSES DE L'ACCIDENT	18
5.2	AUTRES DOCUMENTS ÉMIS LORS DE L'ENQUÊTE	18
5.3	SUIVI DE L'ENQUÊTE	18

ANNEXES

ANNEXE A :	Accidenté	19
ANNEXE B :	Liste des témoins et des autres personnes rencontrées	20
ANNEXE C :	Rapport d'expertise	21
ANNEXE D :	Extrait du communiqué de presse du Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles	46
ANNEXE E :	Références bibliographiques	47

SECTION 1

1 RÉSUMÉ DU RAPPORT

Description de l'accident

Le vendredi 5 juin 2020 vers 13 h, alors qu'il procède au lavage des toits des bâtiments d'une ferme, un travailleur constate que la laveuse à pression qu'il utilise ne fonctionne plus. Il descend alors du toit et entre dans la boîte du camion où sont situées les deux laveuses à pression pour déterminer la cause de l'arrêt de la machine. Au moment où le travailleur touche le bouchon, ce dernier est projeté. L'essence est alors vaporisée et elle s'enflamme au contact du moteur de la laveuse à pression toujours en fonction. L'essence enflammée atteint le travailleur et le brûle aux mains, au torse et au visage.

Conséquences

Le travailleur subit des brûlures au deuxième degré.



Figure 1 : Camion incendié (Source : CNESST)

Abrégé des causes

L'enquête a permis d'identifier les deux causes suivantes pour expliquer cet accident :

- L'éjection du bouchon du réservoir provoque une projection d'essence qui s'enflamme au contact du moteur de la laveuse à pression toujours en fonction.
- La disposition des équipements à essence dans le camion cube ne permet pas aux machines de fonctionner dans un environnement sécuritaire et expose le travailleur à un danger de brûlures lorsqu'il se trouve à l'intérieur de celui-ci.

Mesures correctives

À la suite de cet événement, la CNESST a interdit à l'employeur Entreprise de Ferme Agricole Idéal l'utilisation de machines fonctionnant avec des moteurs à combustion installées dans une boîte de camion fermée. Le rapport d'intervention RAP1310166 émis le 8 juin 2020 mentionne cette interdiction.

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'entreprise

L'Entreprise de Ferme Agricole Idéal est spécialisée dans le lavage et la peinture de bâtiments industriels et agricoles. Bien que l'entreprise soumissionne les travaux de lavage et de peinture, elle a recours à des sous-traitants pour tous ses travaux de peinture. L'entreprise saisonnière emploie environ [...] travailleurs lors de la saison estivale.

2.2 Organisation de la santé et de la sécurité du travail

2.2.1 Mécanismes de participation

Il n'y a pas de mécanismes formels de participation des travailleurs. La propriétaire de l'entreprise est en contact fréquent avec les travailleurs pour régler tous les enjeux relatifs à la santé et la sécurité des travailleurs.

2.2.2 Gestion de la santé et de la sécurité

Lors de leur embauche, les travailleurs reçoivent une formation adaptée à la tâche à réaliser. Après avoir reçu la formation de base, ils sont jumelés avec un travailleur d'expérience afin de mettre en pratique les consignes de sécurité.

Les formations comprennent le travail en hauteur, les équipements de protection individuels, l'utilisation des produits décapants et les consignes générales concernant l'utilisation des machines à essence.

Finalement, l'employeur fait des suivis pour s'assurer que les règles de sécurité sont respectées lors des travaux.

SECTION 3

3 DESCRIPTION DU TRAVAIL

3.1 Description du lieu de travail

L'entreprise est spécialisée dans le lavage et les travaux de peinture de bâtiments industriels et agricoles. La plupart des contrats qui sont réalisés par l'entreprise consistent à l'entretien des toitures de bâtiments d'exploitation agricole. Il s'agit donc de toitures métalliques dont la hauteur excède généralement trois mètres.

La ferme où les travaux étaient prévus le 5 juin 2020 est composée d'une grange et d'une habitation dont les toits devaient être lavés le jour de l'accident.

3.2 Description du travail à effectuer

Selon l'état de la toiture, les travailleurs peuvent utiliser de l'eau froide, de l'eau chaude, du dégraissant ou du décapant pour nettoyer la toiture et enlever la peinture restante. La toiture pourra ensuite être peinte.

Le 5 juin 2020, les travailleurs doivent laver à l'eau froide les toitures de la grange et de la maison. Les contenants de produits dangereux tels que les bidons d'essence, de carburant diesel et de décapant doivent être sortis du camion. Les travailleurs doivent remplir les réservoirs d'eau et vérifier ensuite les niveaux d'essence et de carburant diesel dans les réservoirs des machines devant être utilisées. Les travailleurs peuvent par la suite démarrer les moteurs et procéder au lavage du toit.

L'autonomie des laveuses à pression à essence est d'environ deux heures. Lorsqu'une machine arrête, les travailleurs prennent généralement une pause afin de laisser les moteurs refroidir avant de remplir le réservoir d'essence et de poursuivre le travail.

SECTION 4

4 ACCIDENT : FAITS ET ANALYSE

4.1 Chronologie de l'accident

Le 5 juin 2020, le travailleur va chercher son collègue [...] vers 8 h 30 pour l'amener sur le lieu de travail. Ils arrêtent à une station-service pour remplir les réservoirs d'essence et de carburant diesel et arrivent à la ferme vers 9 h 30.

Le camion cube contenant tous les équipements est sur place depuis le début des travaux, soit le jour précédent. Ils entreprennent donc de le vider pour avoir accès aux machines. Ils vérifient les niveaux d'huile, d'essence et de carburant diesel des différentes machines. Ils remplissent les réservoirs d'eau et démarrent les moteurs.

Par la suite, ils montent sur le toit de la grange et commencent le nettoyage du toit à l'eau froide à l'aide des laveuses à haute pression. Environ deux heures après le début du travail, une des machines tombe en panne d'essence. Le travailleur et son collègue descendent du toit et décident de dîner immédiatement afin de laisser les machines refroidir.

Ils redémarrent les machines vers 12 h 30 après avoir fait le plein d'essence. Le travailleur monte sur un autre toit, soit celui de la maison, pendant que son collègue remonte sur le toit de la grange pour compléter son nettoyage. Environ 20 minutes plus tard, le travailleur constate qu'il n'y a plus de pression d'eau. Il redescend du toit de la maison et entre dans le camion pour comprendre la raison de l'arrêt de la machine.

Son premier réflexe est de vérifier si son collègue a bien rempli le réservoir d'essence. Le travailleur approche le dos de sa main du bouchon du réservoir. Au moment où il touche le bouchon situé entre les deux laveuses à pression, ce dernier est projeté. L'essence est alors vaporisée et elle s'enflamme à la gauche du travailleur. L'essence enflammée l'atteint et le brûle aux mains, au torse et au visage. Il sort du camion, se roule au sol pour éteindre le feu et appelle à l'aide son collègue.

Ce dernier descend alors du toit où il se trouvait et entreprend d'arroser le travailleur brûlé avec une lance d'eau afin d'atténuer la douleur des brûlures. Il constate que la boîte du camion brûle et que le feu risque de se propager à la grange. Le travailleur brûlé se relève, démarre le camion pour le déplacer et ainsi l'éloigner de la ferme, et retourne auprès de son collègue pour que celui-ci puisse recommencer à l'arroser.

Les pompiers et les ambulanciers interviennent quelques minutes plus tard et le travailleur est conduit au centre hospitalier.

4.2 Constatations et informations recueillies

4.2.1 Description des équipements

L'entreprise possède un camion cube dans lequel certains équipements sont fixés et d'autres sont mobiles. La boîte du camion permet le transport de l'essence, du carburant diesel, du savon et du dégraissant pour toitures, des vis de toiture, des coffres à outils et des outils nécessaires au lavage des toitures.

Le camion, de marque Ford E-450, est équipé d'une boîte fermée dont les dimensions approximatives de la boîte sont 4,34 m de longueur sur 2,34 m de largeur sur 2,18 m de hauteur.

La figure 2 donne un aperçu de la disposition des équipements dans le cube du camion tels qu'installés par l'employeur.

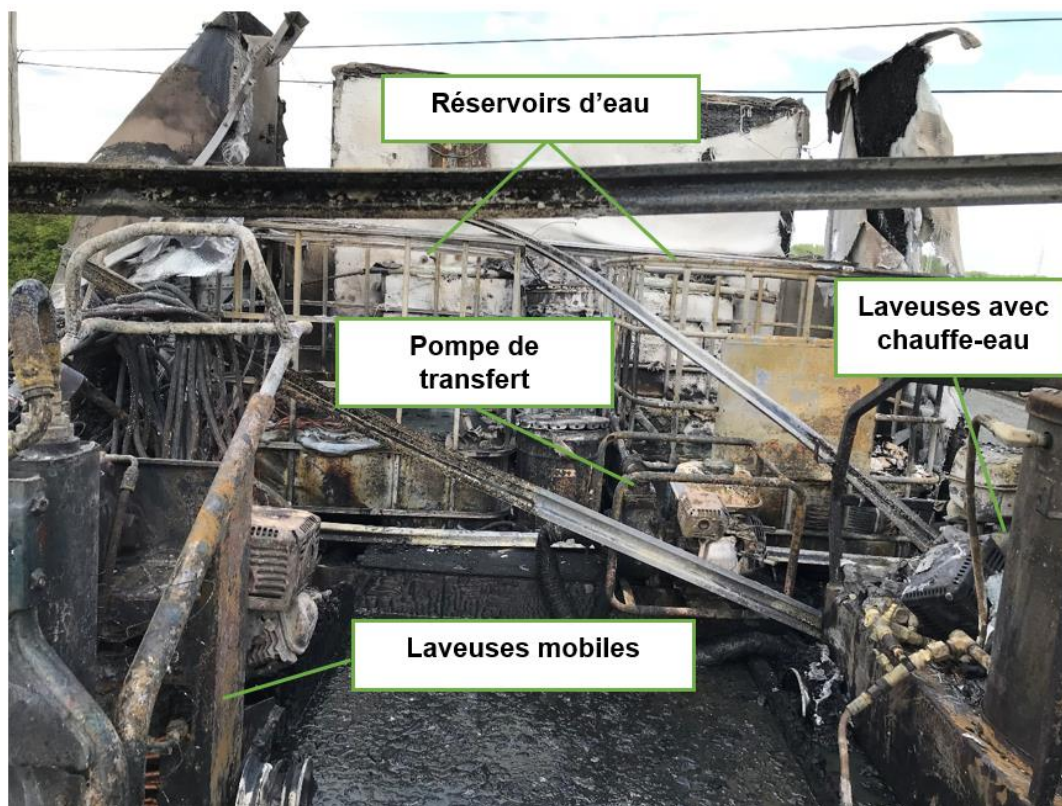


Figure 2 : Disposition des équipements dans le cube (Source : CNESST)

Dans le fond de la boîte du camion se trouvent deux réservoirs d'eau de mille litres chacun. Il s'agit de réservoir en plastique avec une cage métallique (tote tank). Les travailleurs remplissent les réservoirs avant de procéder au lavage des toitures.

L'eau est acheminée sous pression vers les laveuses à l'aide d'une pompe de transfert située à l'avant des réservoirs. Les réservoirs peuvent aussi être vidés par une valve prévue à cet effet sur le côté conducteur du véhicule.

Dans le camion, il y a quatre laveuses haute pression. Deux laveuses mobiles sont situées du côté conducteur et servent au dégraissage et au décapage des toitures. L'employeur nous signale que ces deux laveuses sont installées à l'extérieur de la boîte du camion lors de leur utilisation.

Les deux autres laveuses à pression sont fixées dans le camion. Il s'agit de deux laveuses à pression de marque Vid-Ham avec chauffe-eau intégré (figure 3). Les moteurs fonctionnent à l'essence et les chauffe-eau au carburant diesel.

Les laveuses avec chauffe-eau intégré utilisées au moment de l'accident ont été achetées neuves en date du 21 mai 2020 et possèdent les caractéristiques suivantes :

- Modèle PJO3504-12-K-GP
- Débit de 13,25 l/minute (3.5 GPM)
- Pression 27.6 MPa (4000 PSI)
- Moteur :
 - Marque Kohler
 - Modèle Command Pro CH440
 - Puissance de 10,4 kW (14 HP)
 - Capacité du réservoir d'essence : 7,0 litres
 - Démarrage électrique



Figure 3 : Laveuse à pression avec chauffe-eau neuve (Source : CNESST)

Sur les machines neuves, des pictogrammes sont apposés pour indiquer les dangers liés à l'utilisation de cet appareil (figures 4 et 5) :



Figure 4 : Pictogrammes indiquant les dangers (Source : CNESST)



Figure 5 : Pictogramme sur le réservoir d'essence (Source : CNESST)

Ces deux laveuses à pression avec chauffe-eau intégré sont reliées entre elles par une cheminée évacuant les gaz de combustion des chaudières à l'extérieur (figure 6).

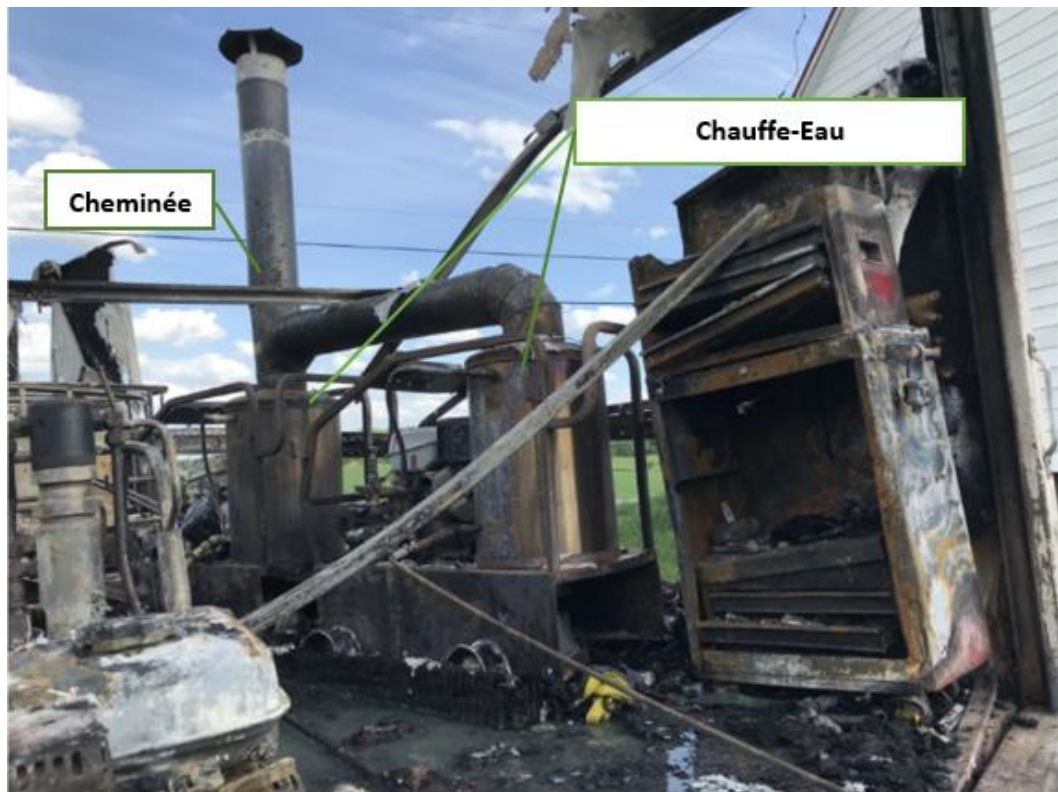


Figure 6 : Laveuses reliées par une cheminée (Source : CNESST)

4.2.2 Observations

À notre arrivée sur les lieux, nous recueillons les premières informations auprès des travailleurs et de l'employeur et nous effectuons une première observation du camion et des équipements situés à l'intérieur de la boîte.

Les travailleurs nous signalent que les laveuses à pression mobiles servant au décapage et au dégraissage n'étaient pas en fonction le jour de l'accident. Les équipements utilisés pour nettoyer les toitures étaient la pompe de transfert et les deux laveuses avec chauffe-eau intégré. Les chauffe-eau n'étaient pas allumés, car le lavage à l'eau froide était suffisant pour effectuer les travaux.

L'employeur nous signale que les réservoirs d'essence, le décapant et le dégraissant doivent être sortis de la boîte du camion avant de commencer le travail. Nous constatons que le décapant et le dégraissant se trouvent toujours dans le camion.

Les travailleurs nous expliquent aussi que la porte du camion était ouverte au moment des travaux et qu'il y a une trappe d'aération sur le toit du camion de type champignon. De plus, une grille d'aération est présente sur un des côtés de la boîte du camion. Cependant, nous n'avons aucune donnée sur les dimensions de la trappe et de la grille d'aération latérale, car

elles ont été détruites par l'incendie. Toutes les opérations de remplissage et de démarrage se font à l'intérieur et les pots d'échappement des moteurs sont tous situés à l'intérieur du cube.

Au moment de l'accident, la journée est ensoleillée et la température est de 28 °C. Le vent souffle dans la direction ouest-sud-ouest à environ 15-20 km/h. Le camion est garé tout près du mur de la grange. Sur la figure 7, nous pouvons voir la position du camion par rapport à la grange et aux points cardinaux. Nous constatons que le camion est protégé du vent et se trouve à une exposition maximale au soleil à l'heure de l'accident.

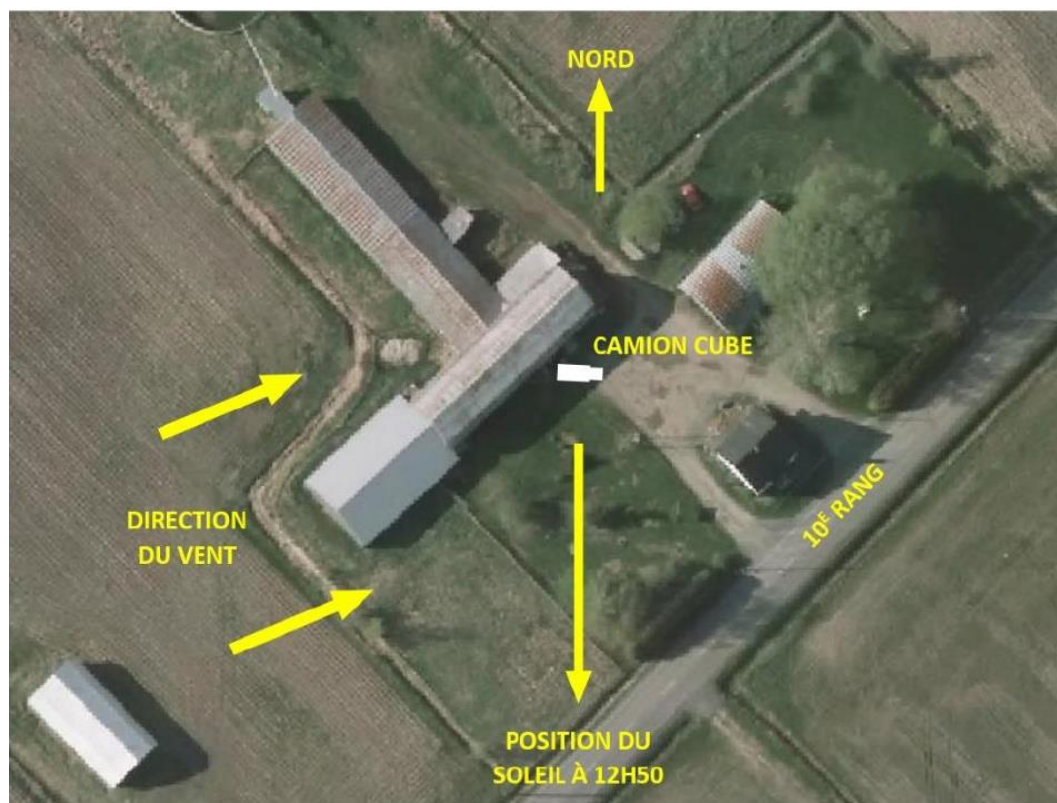


Figure 7 : Position du camion (Source : rapport d'expertise le_SAE)

Dans le camion, nous constatons que tous les bouchons des réservoirs d'essence sont encore en place avec différents degrés de dégradation, sauf le bouchon de la machine qui s'était arrêlée comme l'a décrit le travailleur ayant subi des brûlures. Ce bouchon n'a pas été retrouvé, mais la chaîne le retenant se trouve à l'extérieur du réservoir. Cette observation corrobore le témoignage du travailleur qui explique que le bouchon a été projeté.



Figure 8 : Bouchon manquant et chaîne à l'extérieur (Source : CNESST)

Nous constatons aussi l'étendue des dommages causés par le feu à l'ensemble de la boîte du camion.

4.2.3 Analyse des causes de l'incendie

Afin de déterminer ce qui a conduit à l'arrêt du moteur, à la projection du bouchon et à l'incendie, nous avons confié un mandat d'expertise à un groupe de personnes spécialisées dans les recherches de causes d'incendies de véhicules automobiles (Annexe C). Voici les principaux éléments retenus.

4.2.3.1 Étouffement du moteur

Le premier élément à vérifier pour comprendre les raisons de l'incendie est de déterminer ce qui a causé l'étouffement du moteur. Selon le rapport d'expertise, trois causes ont contribué à l'arrêt de l'équipement.

Tout d'abord, les pots d'échappement de la pompe de transfert et les deux laveuses à pression sont situés à l'intérieur de la boîte du camion. Les gaz d'échappement et la faible ventilation font augmenter la quantité de monoxyde et de dioxyde de carbone et diminuent l'apport d'oxygène nécessaire au bon fonctionnement des moteurs.

D'autre part, cette faible ventilation et la présence de trois moteurs à combustion interne conjuguées à une journée ensoleillée et à une température atteignant près de

30 °C ont contribué à élever la température dans la boîte du camion. De façon conservatrice, la température au moment du début de l'incendie à l'intérieur du camion a été évaluée à au moins 50 °C par les experts.

Puis, le dernier élément particulier lors de l'accident survenu au printemps 2020 est la présence probable de carburant d'hiver dans le réservoir d'essence alors que la température extérieure avoisine les 30 °C. Le début de la pandémie de COVID-19 à la mi-mars 2020 et le confinement qui a été imposé par le gouvernement ont diminué la consommation d'essence. Le 9 avril 2020, le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles publiait un communiqué (Annexe D) permettant d'étendre la période de transition vers l'essence d'été jusqu'au 30 juin 2020 afin de permettre aux raffineurs de vider leur réserve.

L'essence d'hiver est composée d'hydrocarbures avec des fractions plus légères qui facilitent sa combustion en hiver. Sa tension de vapeur est plus élevée et sa température d'ébullition beaucoup plus basse. L'essence d'hiver utilisée lors d'une journée chaude aura tendance à s'évaporer et les fractions d'hydrocarbures les plus légères auront tendance à entrer en ébullition.

Selon le rapport d'expertise, l'appauvrissement de l'air en oxygène, l'augmentation des résidus de combustion dans la boîte du camion, l'augmentation de la température et l'utilisation d'essence d'hiver ont contribué à l'arrêt du moteur. Selon les calculs des experts, la combustion devenait très difficile après environ 18 à 20 minutes ce qui correspond à la situation le jour de l'accident.

4.2.3.2 Projection du bouchon

Afin de déterminer ce qui a causé la projection du bouchon, les experts ont acheté un réservoir et des bouchons identiques à ceux installés sur la laveuse à pression. Ce type de bouchon est utilisé depuis l'imposition des nouvelles réglementations environnementales en Californie en 2014.

Le bouchon permet généralement un équilibrage des pressions entre l'intérieur et l'extérieur. Il est équipé d'une cartouche de charbon activé qui permet d'adsorber les hydrocarbures quand la pression interne dépasse la pression externe, tel qu'il se produit lorsque la température augmente.

Les experts ont aussi constaté que si l'augmentation de la pression interne du réservoir est trop rapide, la valve d'équilibrage ne permet pas d'évacuer la pression interne et celle-ci peut alors augmenter rapidement.

Dans leur rapport, les experts expliquent que leurs simulations ont permis d'établir que le réservoir d'essence était pressurisé au moment de l'accident. Le type d'essence utilisé et la température atteinte dans la boîte du camion ont contribué à l'augmentation rapide de la pression dans le réservoir. Selon leurs calculs, l'intérieur de la boîte du camion a atteint une température moyenne d'environ 50 °C et une température plus élevée près des moteurs et des silencieux.

De plus, dans l'intervalle de temps entre l'arrêt du moteur et l'arrivée du travailleur dans le camion, l'essence dans le réservoir a continué à s'échauffer par la radiation provenant du carter du moteur et du silencieux. L'arrêt du moteur a aussi provoqué l'arrêt du ventilateur de refroidissement intégré au volant du moteur.

Lors de différentes simulations, les experts ont aussi fait les observations suivantes : la chaîne retenant le bouchon a tendance à interférer avec la fermeture du bouchon. Cependant, lorsque le bouchon est bien fermé, il est toujours resté bien en place même en reproduisant les conditions présentes dans la boîte du camion le jour de l'accident.

D'autre part, lors de son témoignage, le travailleur nous explique qu'il a l'habitude de toucher aux objets qu'il juge dangereux avec le dos de sa main pour éviter le phénomène de la main qui se serre sur l'objet électrisé vu sa formation d'électricien. La seule façon dont les experts ont réussi à reproduire la projection du bouchon en n'y touchant qu'avec le dos de la main est que celui-ci soit mal vissé.

4.2.3.3 Cause de l'incendie

Au moment de l'accident, c'est-à-dire au moment où le bouchon a été projeté, plusieurs phénomènes permettent d'expliquer l'incendie.

Premièrement, le réservoir d'essence est presque plein (il ne fonctionne que depuis environ 20 minutes) et la température de l'essence est assez élevée comme en témoigne la pression interne au moment de l'éjection du bouchon.

Dans le rapport d'expertise, il est mentionné ceci :

Avec une pression relativement élevée dans le réservoir et une température qui pouvait faire bouillir les composants plus volatils de l'essence, une éjection soudaine du bouchon crée une diminution soudaine de la pression dans le réservoir. Les gaz dissous dans le liquide vont rapidement s'en échapper et entraîner une partie du liquide. C'est un phénomène similaire à l'ouverture du bouchon d'un radiateur d'automobile qui a surchauffé ou à l'ouverture d'une bouteille d'eau gazeuse qui a été agitée. Nos calculs ont permis d'établir que la vitesse d'éjection des gaz avoisinait les 100 m/s pour une pression relative de 0,6 lb/po² (4 kPa) et pouvait atteindre 220 m/s pour une pression de 3,1 lb/po² (21 kPa).

Le brouillard d'essence ainsi projeté a pu facilement atteindre les environs de l'échappement du moteur de l'autre laveuse encore en fonction qui ne se trouvait qu'à environ 75 cm vers la gauche du travailleur.

La température de l'échappement d'un moteur se situe généralement entre 375 °C et 550 °C selon les données empiriques et la température d'auto-inflammation de l'essence se situe entre 350 °C et 460 °C. Il est donc crédible que l'essence projetée sur le moteur voisin toujours en fonction se soit enflammée.

4.2.4 Disposition des équipements dans le camion

Plusieurs équipements utilisés pour le lavage des toitures sont fixés dans la boîte du camion cube. Les gaz d'échappement sont émis directement dans la boîte du camion.

La ventilation est assurée par l'ouverture de la porte, par une trappe sur le toit et une grille sur le côté. Dans le rapport d'expertise, les auteurs calculent que la pression engendrée par les trois moteurs en marches est légèrement positive. Ceci empêche l'arrivée d'air frais en quantité suffisante pour alimenter les moteurs en oxygène et ne permet pas un refroidissement efficace des moteurs.

Dans le manuel d'utilisation des laveuses à pression, plusieurs recommandations du fabricant ne sont pas respectées. En effet, il est recommandé d'assurer une ventilation adéquate et d'utiliser l'équipement dans un endroit où les flammes ne présentent pas un danger (figures 9 et 10).

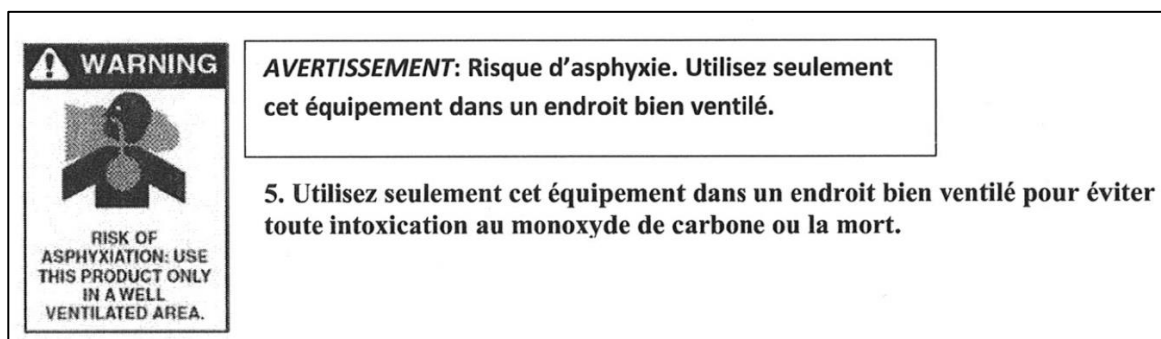


Figure 9 : Risque d'asphyxie
(Source : manuel de l'utilisateur www.powerjetpressure.com)

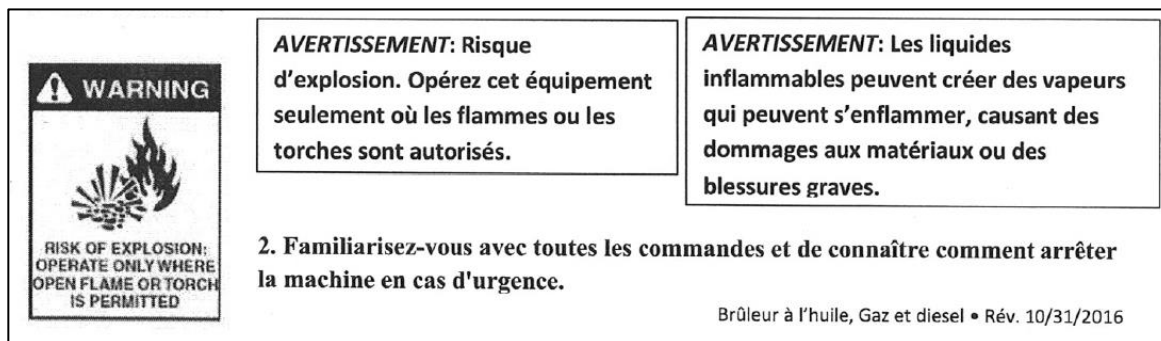


Figure 10 : Risque d'incendie
(Source : manuel de l'utilisateur www.powerjetpressure.com)

Dans le guide Réparations mécaniques en forêt émis en 2002, la CNESST donne plusieurs recommandations qui s'avèrent pertinentes pour cet accident de travail. Il est notamment recommandé d'assurer la ventilation naturelle de l'endroit où se situent les appareils fonctionnant à l'aide d'un moteur à combustion interne par deux ouvertures d'au moins 900 centimètres carrés situées sur des parois opposées, en haut et en bas. De plus, les systèmes d'échappement des moteurs à combustion interne doivent être localisés dans la partie supérieure du camion et dirigés vers l'extérieur.

Dans l'image suivante, le guide donne un aperçu d'une installation possible pour des moteurs à combustion interne située à l'intérieur d'un camion :

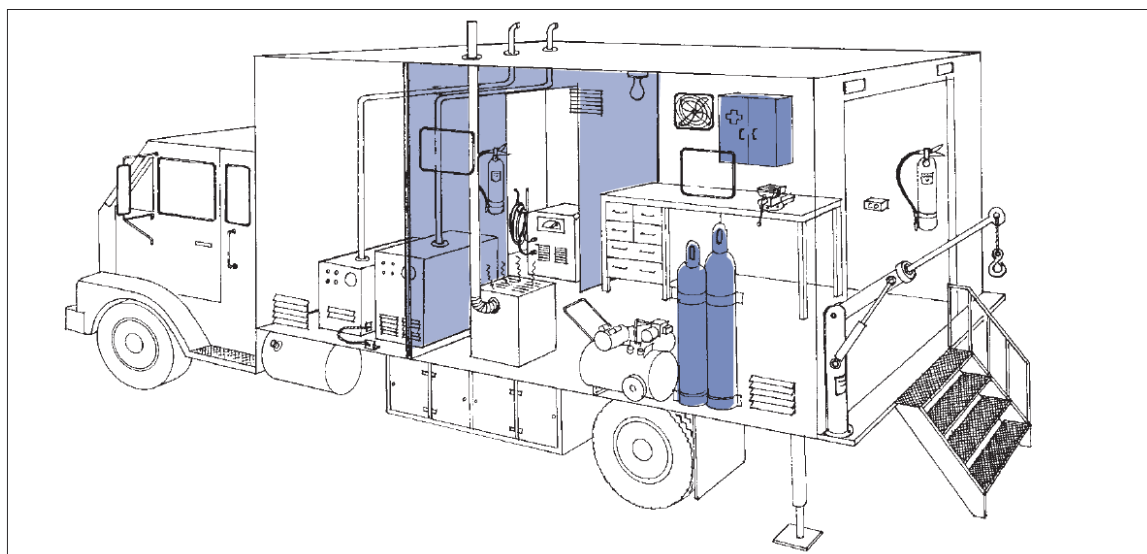


Figure 11 : Camion atelier (Source : CNESST)

Les différentes informations trouvées sur le sujet suggèrent que s'il est possible d'installer des machines à combustion interne à l'intérieur de la boîte d'un camion, plusieurs aménagements doivent être faits. Les échappements doivent obligatoirement être acheminés vers l'extérieur en passant par le toit et une ventilation adéquate doit permettre le refroidissement et l'apport d'air frais des moteurs.

4.3 Énoncés et analyse des causes

4.3.1 L'éjection du bouchon du réservoir provoque une projection d'essence qui s'enflamme au contact du moteur de la laveuse à pression toujours en fonction.

La température le jour de l'accident, le type d'essence utilisé, la configuration du bouchon, le manque de ventilation et la température atteinte à l'intérieur du camion sont tous des éléments qui expliquent l'augmentation de la pression dans le réservoir d'essence. En effet, la présence d'essence d'hiver alors que la température extérieure atteignait 28 °C et que la température intérieure du camion atteignait environ 50 °C a provoqué une surpression dans le réservoir et la conception du bouchon n'a pas permis la diminution de la pression interne.

La principale hypothèse expliquant que le bouchon ait été projeté quand le travailleur lui a touché est qu'il était mal vissé. Il est aussi possible que la chaîne ait interféré avec la possibilité de bien le fermer et nous ne pouvons exclure un défaut de fabrication. Cependant, ceci a eu un impact limité sur l'accident.

En effet, le travailleur avait l'intention de vérifier le niveau d'essence dans le réservoir et si le bouchon n'avait pas été projeté au premier contact, le travailleur l'aurait dévissé. Dans le rapport d'expertise, les auteurs constatent que le bouchon devient plus facile à dévisser lorsque la température du système augmente, car le lubrifiant sous le joint d'étanchéité devient alors plus fluide.

C'est donc l'éjection du bouchon causée par la pression dans le réservoir qui a provoqué une vaporisation de l'essence avec une vitesse suffisante pour que celle-ci entre en contact avec l'échappement du moteur voisin et qu'elle s'enflamme.

Cette cause est retenue.

4.3.2 La disposition des équipements à essence dans le camion cube ne permet pas aux machines de fonctionner dans un environnement sécuritaire et expose le travailleur à un danger de brûlures lorsqu'il se trouve à l'intérieur de celui-ci.

La disposition des équipements dans la boîte du camion a joué un rôle prépondérant dans l'accident de travail subit par le travailleur.

En effet, le fait que toutes les machines soient installées dans la boîte oblige les travailleurs à y entrer régulièrement. Le remplissage des réservoirs, le démarrage et l'arrêt des machines et les diagnostics, comme le jour de l'accident, doivent se faire de l'intérieur de la boîte du camion. Ceci expose les travailleurs aux gaz d'échappement et aux dangers inhérents aux machines à essence, tels que l'inflammation des vapeurs.

De plus, comme nous l'avons constaté dans le rapport d'expertise, les gaz d'échappement émis directement dans la boîte et le manque de ventilation ont contribué au mauvais fonctionnement de la machine obligeant le travailleur à entrer dans la boîte du camion pour comprendre les raisons de l'arrêt inopiné du moteur de la laveuse à pression.

Les manuels d'utilisation des machines à essence et le guide Réparations mécaniques en forêt confirment que les travailleurs ne doivent pas être exposés aux gaz d'échappement. Les gaz d'échappement doivent donc être évacués vers l'extérieur et non à l'intérieur comme dans le cas présent.

L'article 51,3° de la Loi sur la santé et la sécurité du travail indique que l'employeur doit prendre les mesures nécessaires pour protéger la santé et assurer la sécurité et l'intégrité physique du travailleur. Il doit notamment s'assurer que l'organisation du travail et les méthodes et techniques utilisées pour l'accomplir sont sécuritaires et ne portent pas atteinte à la santé du travailleur.

Le fait de devoir entrer dans la boîte du camion exposait le travailleur au gaz d'échappement et au danger de subir des brûlures. La disposition des équipements ne permettait pas d'établir des procédures de travail sécuritaires.

Cette cause est retenue.

SECTION 5

5 CONCLUSION

5.1 Causes de l'accident

- L'éjection du bouchon du réservoir provoque une projection d'essence qui s'enflamme au contact du moteur de la laveuse à pression toujours en fonction.
- La disposition des équipements à essence dans le camion cube ne permet pas aux machines de fonctionner dans un environnement sécuritaire et expose le travailleur à un danger de brûlures lorsqu'il se trouve à l'intérieur de celui-ci.

5.2 Autres documents émis lors de l'enquête

À la suite de cet événement, la CNESST a interdit à l'employeur Entreprise de Ferme Agricole Idéal l'utilisation de machines fonctionnant avec des moteurs à combustion installées dans une boîte de camion fermée. Le rapport d'intervention RAP1310166 émis le 8 juin 2010 mentionne cette interdiction.

5.3 Suivi de l'enquête

Pour éviter la répétition d'un accident similaire, la CNESST transmettra les conclusions de son enquête aux associations sectorielles paritaires de même qu'aux gestionnaires de mutuelles de prévention afin qu'elles puissent informer leurs membres.

Dans le cadre de son partenariat avec la CNESST visant l'intégration de la santé et de la sécurité dans la formation professionnelle et technique, le Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur diffusera, à titre informatif et à des fins pédagogiques, le rapport d'enquête dans les établissements de formation qui offrent les programmes d'études en nettoyage industriel et en mécanique de véhicules légers.

Finalement, en 2021, une page d'information regroupant les principaux risques ainsi que les mesures de prévention à mettre en place lors de travaux de lavage à haute pression sera publiée sur le site Web de la CNESST.

ANNEXE A**Accidenté**

Nom, prénom : [B]

Sexe : [...]

Âge : [...]

Fonction habituelle : [...]

Fonction lors de l'accident : Opérateur de laveuse à pression

Expérience dans cette fonction : [...]

Ancienneté chez l'employeur : [...]

ANNEXE B

Liste des témoins et des autres personnes rencontrées

- Mme [A], [...]
- M. [B], [...]
- M. [C], [...]

ANNEXE C

Rapport d'expertise



Le regroupement des services aux entreprises des trois centres de services scolaires de la région Centre-du-Québec

RAPPORT D'EXPERTISE

Objet : Déflagration et incendie d'un camion de l'entreprise Entretien idéal de fermes

Réalisée pour le compte de :

Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail du Québec

Direction régionale de la Mauricie et du Centre-du-Québec

Contrat no 712639

Par :

Daniel Deak, CFEI, agent de développement et enquêteur en incendie

Dany Picard, enseignant en mécanique automobile

Pierre Q. Gauthier, Ph.D. P.Eng., expert en modélisation de la combustion

Projet no 20107

Date de dépôt, version originale : 22 octobre 2020

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	3
MANDAT D'EXPERTISE.....	4
DESCRIPTION DU MOTEUR EN CAUSE.....	5
Caractéristiques principales	5
Système d'alimentation en essence	7
Contrôle des émissions polluantes.....	7
CARACTÉRISTIQUES DU CARBURANT	10
Composition	10
Pression de vapeur des essences	11
Cas particulier du printemps 2020	13
Essais réalisés dans le cadre de l'expertise	13
EFFETS DE LA CONFIGURATION DES LIEUX SUR LA PERFORMANCE DES MOTEURS	16
Boîte du camion.....	16
Conditions météorologiques au moment de l'accident	17
Température atteinte et conditions dans la boîte du camion	18
CAUSE PROBABLE DE L'ARRÊT DU MOTEUR	19
Effets de l'appauvrissement de l'air en oxygène.....	19
Effets de la température ambiante	20
CAUSE PROBABLE DE L'ÉJECTION DU BOUCHON DU RÉSERVOIR.....	20
Évacuation des gaz d'évaporation.....	20
Fixation du bouchon au réservoir.....	21
PROJECTION ET INFLAMMATION DE L'ESSENCE	22
CONCLUSION	24

INTRODUCTION

L'entreprise Entretien idéal de fermes offre des services de lavage et de peinture de bâtiments et d'installations de fermes. Le 5 juin 2020, une équipe s'affairait au lavage sous pression de la toiture d'un bâtiment agricole situé au 440, 10^e rang à Saint-Léonard-d'Aston dans la région Centre-du-Québec. Tous les équipements motorisés nécessaires aux travaux étaient installés dans la boîte de 4,3 mètres de longueur d'un camion de marque Ford, modèle E-450. Parmi ces équipements, il y avait deux laveuses à pression et une pompe à eau pour les alimenter.

Les travaux se sont déroulés normalement en avant-midi. Après deux heures de travail, les travailleurs ont pris une pause et en ont profité pour faire le plein des réservoirs d'essence. Les travaux ont repris sur l'heure du midi et une vingtaine de minutes plus tard, vers 12 h 50 selon les témoignages, le moteur d'une des laveuses s'est arrêté. Un travailleur est descendu du toit puis est monté dans la boîte du camion cube afin d'investiguer. Il toucha alors le bouchon du réservoir d'essence du moteur arrêté avec le dos de sa main. Aussitôt, le bouchon fut projeté et un brouillard d'essence le fut également. Ce brouillard s'est enflammé ensuite à partir de la gauche du travailleur, là où se trouvait la deuxième laveuse à pression. Le travailleur a subi des brûlures au deuxième degré et le camion a été détruit par l'incendie qui s'en est suivi.

Dans le cadre de son enquête, la CNESST nous a contacté afin de procéder à une expertise sur le modèle de moteur à combustion interne impliqué et son système d'alimentation en essence au niveau de leur fonctionnement dans les conditions présentes cette journée-là et d'étudier les causes possibles de la défaillance du bouchon du réservoir d'essence.

MANDAT D'EXPERTISE

Sans s'y limiter, et en fonction des éléments découverts en cours d'expertise, le mandat obtenu consistait principalement en :

- Étude de la conception spécifique du moteur en cause et de son système d'alimentation en essence;
- Recherche documentaire sur les caractéristiques physiques de l'essence en ce qui a trait à son inflammabilité, son taux d'expansion et sa pression de vapeur en fonction de divers environnements;
- Étude de la configuration des lieux de l'accident, du véhicule et des conditions météo afin de déterminer les facteurs pouvant causer une surchauffe de l'environnement du moteur et une diminution du taux d'oxygène dans l'air;
- Recherche documentaire et essais réels pour déterminer les températures atteintes par les composants reliés au système d'échappement d'un moteur identique dans des conditions similaires;
- Étude des pressions atteintes dans un réservoir d'essence identique en fonction de la température ambiante;
- Essai des conditions dans lesquelles le bouchon du réservoir d'essence peut défaillir et permettre l'éjection de vapeur et de brouillard d'essence;
- Détermination des conditions pouvant mener à un arrêt soudain de ce type de moteur.

DESCRIPTION DU MOTEUR EN CAUSE

Caractéristiques principales

Dans la boîte du camion cube, du côté droit, se trouvaient deux unités commerciales de lavage à eau sous pression de marque Vid-Ham mues par un moteur à combustion interne (MCI) et équipées d'une unité de chauffage de l'eau fonctionnant au diesel. Le jour de l'accident, l'unité de chauffage n'était pas utilisée.



Figure 1 – Unité de lavage à pression identique à celles installées dans le camion cube
Photo : CNESST

Caractéristiques du moteur de chaque unité de lavage selon le manufacturier (brochure Kohler Command Pro 4.5-14 HP Engines, 02/20, page 14) :

- Marque : Kohler
- Modèle : Command Pro CH440
- Description : Moteur à 4 temps, monocylindre, à soupapes en tête, refroidi à l'air, à arbre horizontal, culasse et carter en aluminium avec chemise de cylindre en fonte
- Puissance maximale : 10,5 kW (14 HP) à 3 600 RPM
- Cylindrée : 429 cc
- Diamètre du cylindre : 89 mm
- Course du cylindre : 69 mm
- Capacité du réservoir d'essence : 7,0 litres

Parmi les caractéristiques standard mentionnées en page 15 de la brochure, il y est inscrit :

- Certifié CARB Tier 3
- Bouchon de réservoir d'essence à cartouche de charbon actif



Figure 2 – Gros plan du moteur Kohler CH440 (côté face au mur de la boîte du camion cube)

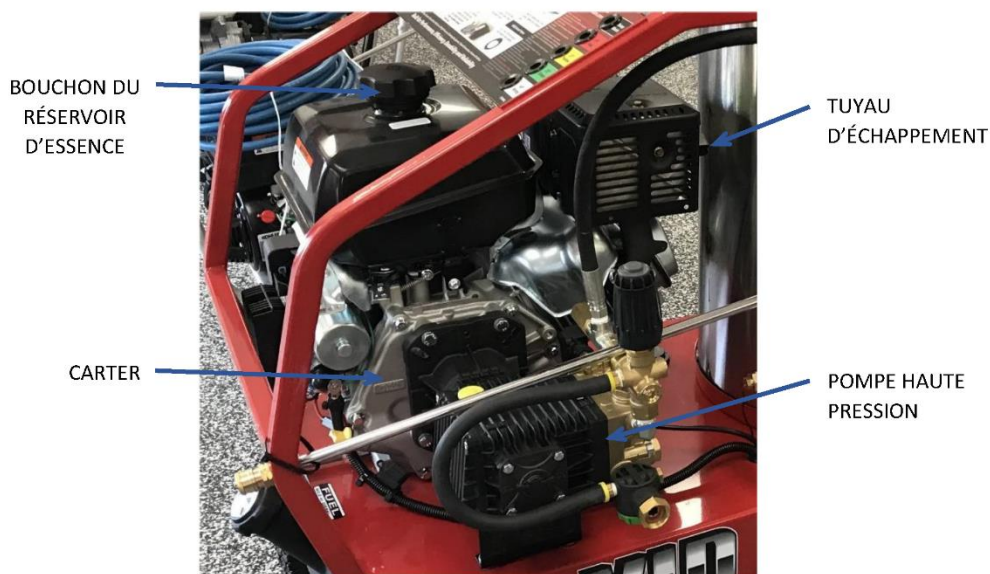


Figure 3 - Gros plan du moteur Kohler CH440 (côté accessible du milieu de la boîte du camion cube)

Système d'alimentation en essence

Ce moteur possède un système d'alimentation en essence fonctionnant par gravité. Un réservoir en acier est installé sur le dessus du carter et un tuyau souple d'un diamètre intérieur de 3,3 mm alimente le carburateur situé plus bas sous l'assemblage du filtre à air.

Ce carburateur simple corps de type horizontal comporte une cuve dans sa partie inférieure qui sert à accumuler une petite quantité d'essence permettant d'alimenter le gicleur en fonction du régime du moteur. L'essence arrivant du réservoir passe d'abord par une valve avant d'entrer dans la cuve. Tel qu'illustré à la figure 4, le débit d'essence est contrôlé par une flotte à l'intérieur de la cuve. Lorsque le niveau d'essence baisse, le pointeau relié à la flotte descend et libère l'orifice d'arrivée. Lorsque le moteur est arrêté, le niveau dans la cuve augmente jusqu'à ce que le pointeau obstrue totalement l'arrivée d'essence, ce qui empêche le réservoir de se vider par le carburateur.

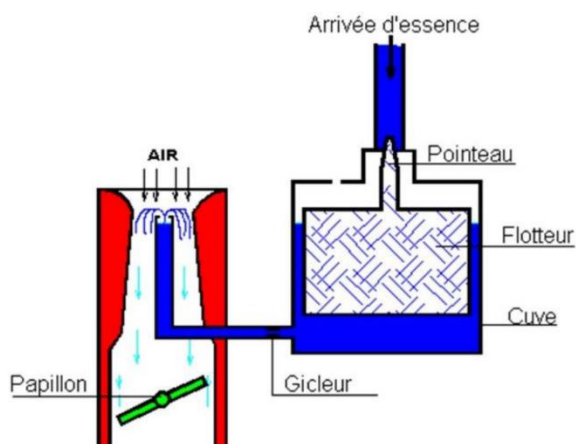


Figure 4 – Schéma simplifié du fonctionnement du carburateur

Contrôle des émissions polluantes

Ce moteur Kohler est certifié CARB Tier 3 au niveau du contrôle des émissions polluantes. Cette certification particulière émane de l'organisme California Air Resources Board qui fixe le niveau de ces émissions tant pour les systèmes d'échappement que pour les pertes par évaporation. Dans le cas du moteur impliqué, il fait partie de la catégorie Small Off-Road Engine. Au Canada, les émissions polluantes des petits moteurs sont régies par le *Règlement sur les émissions des petits moteurs hors route à allumage commandé DORS/2003-355* avec modifications de mars 2018.

Pour contrôler les pertes par évaporation provenant du réservoir d'essence, Kohler a fait appel à une conception du bouchon utilisant une cartouche de charbon actif. Cette conception est beaucoup plus complexe que celle des bouchons réguliers que nous avons l'habitude de voir sur ce type de réservoir. Le modèle installé sur le moteur CH440 comporte quinze (15) pièces en plus d'un volume d'environ 87 cm³ de charbon actif. Les figures 5 et 6 illustrent le modèle de bouchon 1717349 (numéro de pièce Kohler). Dans le texte qui suit, les numéros d'items réfèrent au bulles de la figure 6.



Figure 5 – Bouchon du réservoir d'essence vu de côté (à gauche) et vu de dessous (à droite)

Figure 6 – Vue en coupe du bouchon du réservoir d'essence
Illustration : [D]

Le principe général de fonctionnement est que la cartouche de charbon actif (item 13) absorbe les vapeurs produites par l'essence dans le réservoir avant que celles-ci ne s'échappent dans l'atmosphère. Lorsque que le moteur fonctionne, le niveau d'essence descend lentement dans le réservoir et de l'air est admis pour compenser la différence de pression. Les gaz peuvent donc circuler dans les deux directions à travers le bouchon, en autant que le débit ne soit pas trop élevé. L'item 6 sert de clapet anti-retour des gaz. Sa conception et son comportement sont décrits en pages 20 et 21.

La circulation des vapeurs à travers le bouchon se fait grâce à 4 trous d'un diamètre de 1 mm dont les centres sont équidistants sur un cercle de 9 mm de diamètre. Ces trous se retrouvent au centre des items 1, 3, 10 et 12 dans l'axe vertical du bouchon.

Pour s'assurer que les vapeurs ne s'échappent qu'en circulant à travers la cartouche de charbon actif, le bouchon doit être très étanche sur le pourtour de l'ouverture circulaire où il est installé sur le réservoir. Dans le modèle étudié, cette étanchéité est obtenue par un joint de caoutchouc d'une épaisseur de 8,2 mm (item 5) qui glisse sur un siège en plastique lubrifié (item 4). Cette lubrification permet de mieux visser le bouchon pour appliquer une pression sur la rondelle de caoutchouc et créer l'étanchéité.

L'ouverture du réservoir permettant son remplissage possède un siège d'un diamètre intérieur de 42 mm et d'un diamètre extérieur de 51 mm où vient s'asseoir le joint de caoutchouc du bouchon (voir figure 7). Les deux ergots de l'item 8 du bouchon qui est fait d'acier, s'engagent dans les deux rainures correspondantes dans le pourtour de l'ouverture du réservoir. Une légère pression est appliquée pour pouvoir tourner le bouchon qui scellera l'ouverture au maximum après un tiers de tour dans le sens horaire. Ce tiers de tour comprime le joint de caoutchouc d'environ 1,5 mm.

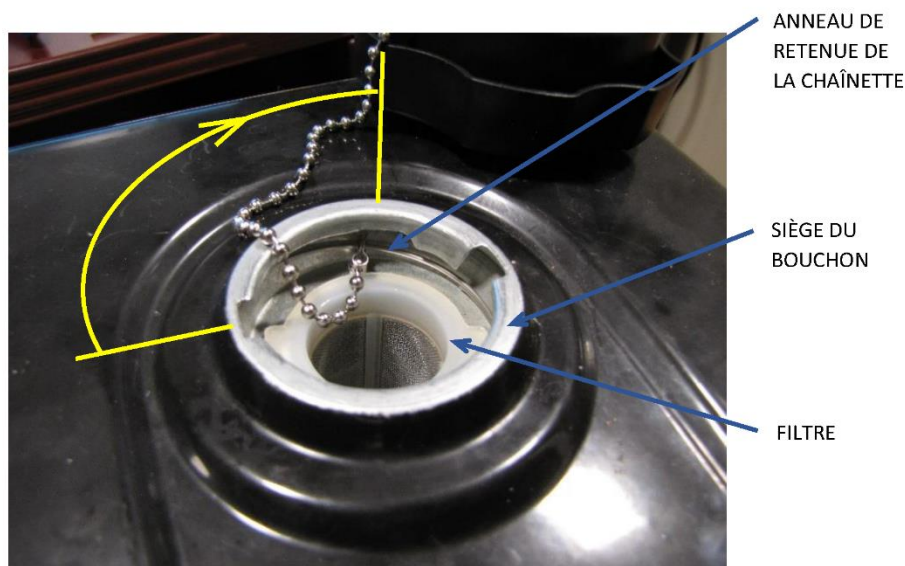


Figure 7 – Ouverture de remplissage du réservoir d'essence montrant le tiers de tour requis pour le serrage du bouchon

Une chaînette en acier chromé retient le bouchon au réservoir. Celle-ci a 21 cm de long et est retenue au réservoir par un anneau d'acier chromé fait d'une tige de 1,2 mm enroulée en un diamètre de 5 cm. Cet anneau est comprimé pour pouvoir être installé dans l'ouverture du réservoir. Les bouchons de rechange que nous avons achetés pour l'expertise comprenaient chacun leur chaînette avec l'anneau.

La présence de la chaînette dans l'ouverture du bouchon peut cependant occasionner des difficultés lorsqu'on désire remettre et visser le bouchon. Lors de nos expérimentations, il est arrivé à au moins deux reprises que la chaînette causait une interférence nous empêchant de bien visser le bouchon.

CARACTÉRISTIQUES DU CARBURANT

Composition

L'essence utilisée comme carburant moteur (numéro CAS 8006-61-9) est un mélange d'un grand nombre d'hydrocarbures (combinaisons d'atomes de carbone et d'hydrogène) de différentes densités et possédant autant de points d'ébullition. La composition exacte d'une essence varie en fonction du raffineur qui la produit, des performances attendues, de la température d'utilisation et de la réglementation en vigueur.

De façon générale, ses propriétés physiques sont :

- Densité : 0,71 à 0,77 g/ml (en comparaison, l'eau est à 1 g/ml)
- Température de fusion : -95 à -90 °C
- Température d'ébullition initiale : 26 à 49 °C
- Température d'ébullition finale : 171 à 233 °C
- Point d'éclair : -45 à -40 °C
- Température d'inflammation : 350 à 460 °C
- Plage d'inflammabilité : 1,4 à 7,6 % en volume

Les deux caractéristiques importantes pour la présente expertise sont la température d'ébullition et la température d'inflammation. La grande variation de ces températures s'explique par la composition du mélange. Les hydrocarbures dont les molécules contiennent le moins d'atomes de carbone sont les plus légers et volatils et vont bouillir à plus basse température, comme par exemple -1 °C pour le butane et 36 °C pour le pentane. Les composés plus lourds, donc moins volatils, vont bouillir à plus haute température, comme par exemple 69 °C pour l'hexane et 126 °C pour l'octane. La température d'inflammation représente la température la plus basse à laquelle les vapeurs d'essence vont s'enflammer spontanément en présence de la bonne proportion d'oxygène sans avoir besoin d'une flamme ou d'une étincelle.

Pression de vapeur des essences

Dans un réservoir hermétique partiellement rempli d'un liquide, celui-ci va émettre des vapeurs jusqu'à ce que la pression de la partie gazeuse atteigne une certaine valeur. Cette pression ou tension de vapeur est dite d'équilibre. Cette pression ne dépend uniquement que de la substance impliquée et de la température du milieu où elle se trouve. Elle est mesurée en kPa (kiloPascal) dans le système international d'unités ou en lb/po² (livres par pouce carrée) dans le système impérial. Aux fins de conversion :

$$1 \text{ kPa} = 0,145 \text{ lb/po}^2$$

$$1 \text{ lb/po}^2 = 6,895 \text{ kPa}$$

Bien entendu, ce phénomène s'applique à l'essence. Afin de comparer les essences et autres produits pétroliers entre eux, on utilise la pression de vapeur Reid (PVR). Elle est définie comme étant la pression de vapeur absolue exercée par la vapeur du liquide à 37,8 °C (100 °F) et déterminée par la méthode d'essai ASTM D323.

Il faut distinguer la pression de vapeur Reid de la pression de vapeur réelle qui, elle, est mesurée à n'importe quelle température et dans des conditions qui peuvent différer de celles imposées par la méthode d'essai ASTM D323.

En plus des variations observées dans les propriétés énumérées précédemment, la pression de vapeur des essences au Canada varie de façon appréciable d'une région à l'autre et d'une saison à l'autre. Afin de maintenir les performances et le bon fonctionnement d'un moteur, la pression de vapeur de l'essence doit être ajustée en fonction de la température extérieure moyenne. Une essence trop volatile en été pourra créer trop de vapeur sous forme, entre autres, de bulles qui risquent de bloquer la circulation dans les conduites et à l'inverse, une essence pas assez volatile en hiver créera des problèmes de démarrage et de fonctionnement.

Au Canada, ce sont les normes *CAN/CGSB-3.5-2016 Essence automobile* et *CAN/CGSB-3.511-2016 Essence automobile oxygénée contenant de l'éthanol (E1-E10)* qui fixent la composition des essences et elles contiennent huit (8) tables de valeurs de pression de vapeur pour autant de zones géographiques à travers le pays. Au Québec, l'application de ces normes est spécifiée dans le *Règlement sur les produits pétroliers (ch. P-30.01, r. 2)*.

Selon les normes CAN/CGSB, les régions situées au sud du 46^e parallèle au Québec et en Ontario font partie de la zone D. Le siège social de l'entreprise Entretien idéal de fermes se situe dans cette zone, alors que le lieu de l'accident se trouve à peine plus au nord mais dans la zone C.

Le tableau 1 présente quelques exemples de spécifications pour les pressions de vapeur de l'essence en fonction de la période de l'année tirés de ces normes.

Tableau 1 – Pression de vapeur de l'essence vendue chez le détaillant en fonction du moment de l'année et de la zone géographique. Source : Adapté de CAN/CGSB-3.5-2016 Essence automobile

Nous entendons souvent parler d'essence d'hiver et d'essence d'été. Il est donc question ici de volatilité et, dans les faits, celle-ci varie progressivement tout au long de l'année. Une essence dite d'hiver aura tendance à s'évaporer beaucoup plus pendant les températures chaudes de l'été. Sa pression de vapeur réelle sera donc supérieure à une essence dite d'été. Concrètement, si de l'essence d'hiver est conservée dans un contenant hermétique jusqu'en été, la pression à l'intérieur de celui-ci va se maintenir à un niveau plus élevé que s'il s'agissait d'essence d'été.

Dans le cas des mélanges d'hydrocarbures, la pression de vapeur de vapeur dans un contenant n'est pas proportionnelle à la température comme c'est le cas pour d'autres liquides purs qui obéissent à la loi de Gay-Lussac. La hausse de pression suivra plutôt une courbe exponentielle comme en témoigne la figure suivante.

Figure 8 – Pression de vapeur réelle des produits pétroliers raffinés en fonction de la température ambiante et de leur pression de vapeur Reid. Source : Mesures Canada - Perte de produit pendant l'inspection d'un distributeur de carburant de vente au détail, page 7

Cas particulier du printemps 2020

À partir de la mi-mars au Québec, comme un peu partout dans le monde, les mesures de confinement imposées par le Gouvernement ont peu à peu ralenti l'activité humaine et économique. Du 25 mars au 4 mai 2020, les entreprises et les commerces non essentiels ont été fermés et la population confinée chez elle. Durant cette période, la vente d'essence automobile a considérablement chuté.

Le 9 avril 2020, le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles publiait un communiqué annonçant « que la date exigée pour le passage à l'essence d'été est temporairement modifiée et sera en vigueur du 9 avril au 30 juin 2020, donnant ainsi la marge nécessaire aux raffineurs pour produire et entreposer des essences à faible volatilité pour la période estivale. ». Il est raisonnable de croire que l'essence automobile vendue dans la période autour de la date de l'accident pouvait posséder une pression de vapeur Reid supérieure à celle normalement exigée.

Les températures chaudes se sont installées tôt au printemps de sorte que la première canicule fut enregistrée dans la région du 26 au 29 mai. La journée du 5 juin fut la plus chaude de la première moitié de juin. Ces températures, combinées aux valeurs de PVR plus élevées de l'essence, pouvaient sûrement provoquer une évaporation plus rapide de l'essence contenue dans des réservoirs.

Essais réalisés dans le cadre de l'expertise

Nous avons mené nos propres expériences de deux façons sur de l'essence achetée chez un distributeur local afin d'en déterminer la pression de vapeur réelle :

- Une première série à l'aide d'un contenant en plastique hermétique d'une capacité de 5,5 litres
- Une deuxième série à l'aide d'un réservoir en acier et d'un bouchon ventilé identique à ceux du modèle de moteur Kohler

Pour la première série d'essais effectuée au début de juillet 2020, nous avons utilisé un petit bidon d'essence semblable à ceux servant à remplir des scies à chaînes ou autres outils motorisés similaires. Une quantité de 4,5 litres y fut versée, ce qui représente environ 80 % de la capacité du contenant. Un manomètre fut installé à la place du bec verseur et le reste du contenant était scellé. Le contenant fut ensuite placé dans une cuve contenant de l'eau chaude dont la température était réglée à la valeur désirée. La pression fut mesurée une fois la température stabilisée et les résultats sont présentés dans les tableaux 2 et 3.



Figure 9 – Montage utilisé pour les essais de pression de vapeur réelle en contenant hermétique

Tableau 2 – Pression réelle des vapeurs en fonction de la température de l'essence

Essence à indice d'octane de 87 achetée au début de juillet 2020	
Température (°C)	Pression (lb/po ²)
24	0,0
38	3,3
44	5,0
49	8,0

Tableau 3 - Pression réelle des vapeurs en fonction de la température de l'essence

Essence à indice d'octane de 91 achetée à la fin de mars 2020	
Température (°C)	Pression (lb/po ²)
21	0,0
38	3,5
43	5,0
48	9,5

En milieu fermé, nous avons donc constaté que l'essence évaporée pouvait entraîner une hausse de pression appréciable dans le réservoir. L'essence achetée à la fin de mars étant plus volatile que celle achetée en juillet, il était normal de mesurer une pression de vapeur supérieure d'environ 1,5 lb/po² à une température autour de 50 °C.

Pour la deuxième série d'essais, nous avons acheté un réservoir et un bouchon identiques à ceux du moteur impliqué. Un manomètre fut installé au bout d'une conduite raccordée à la sortie sous le réservoir. Une quantité d'essence équivalente à environ 80 % de la capacité du réservoir de 7 litres y fut versée et tout le réservoir fut plongé dans une cuve d'eau chaude dont nous contrôlions la température.



Figure 10 – Montage utilisé pour les essais sur un réservoir de moteur Kohler CH440

Tableau 4 - Pression réelle des vapeurs en fonction de la température de l'essence

Essence à indice d'octane de 91 achetée à la fin de mars 2020	
Température (°C)	Pression (lb/po ²)
40	0,0
44	0,5
48	1,0
53	1,5
60	2,7

Cet essai nous a démontré que la conception du bouchon du réservoir ne permettait pas une évacuation assez rapide des vapeurs d'une essence volatile pour des températures ambiantes de plus de 40 °C. Sous cette température, aucune hausse de pression ne fut enregistrée et nous pouvions même entendre un léger sifflement provoqué par les gaz qui s'échappaient du bouchon.

Lors d'un essai subséquent avec de l'essence dite d'été, achetée en septembre 2020, la pression dans le réservoir est restée sensiblement stable malgré que celui-ci fut chauffé à 50 °C. La conception du réservoir et de son bouchon semble donc sensible à la volatilité de l'essence utilisée.

EFFETS DE LA CONFIGURATION DES LIEUX SUR LA PERFORMANCE DES MOTEURS

Boîte du camion

Tous les équipements motorisés nécessaires au travail étaient installés dans la boîte d'un camion cube de marque Ford, modèle E-450. Les dimensions hors tout de la boîte fournies par la CNESST étaient :

- Longueur : 4,34 m
- Largeur : 2,34 m
- Hauteur : 2,18 m

Le volume de la boîte vide se situe donc autour de 22 m³. Une porte à roulement vertical se trouvait à l'arrière et mesurait 2,21 m de largeur par 1,95 m de hauteur.

Au niveau de la ventilation de cette boîte, selon les témoignages, elle était passive et constituée d'un « champignon » sur le toit ainsi que d'une grille latérale de dimensions inconnues. L'arrière de la boîte du camion se situait en angle par rapport au bâtiment de ferme avec son coin le plus près à environ 1,5 mètre du bâtiment, selon les témoignages. La photo ci-dessous montre l'emplacement des deux unités de lavage à pression du côté droit de la boîte du camion.



Figure 11 – Emplacement des deux unités de lavage à pression constaté après l'incendie. Photo : CNESST

Conditions météorologiques au moment de l'accident

Trois stations météorologiques du réseau d'Environnement Canada se trouvent dans la région où s'est produit l'accident. Comme elles sont toutes à au moins une trentaine de kilomètres du lieu exact, nous avons extrapoler les conditions météorologiques à partir des stations de Saint-Germain-de-Grantham, située à 37 km au sud-ouest, et de Lemieux, située à 29 km au nord-est. Nous n'avons pas tenu compte de la station de Nicolet puisque celle-ci se trouve en bordure du fleuve Saint-Laurent, ce qui influence les relevés. La figure 12 montre les emplacements relatifs des stations météo.

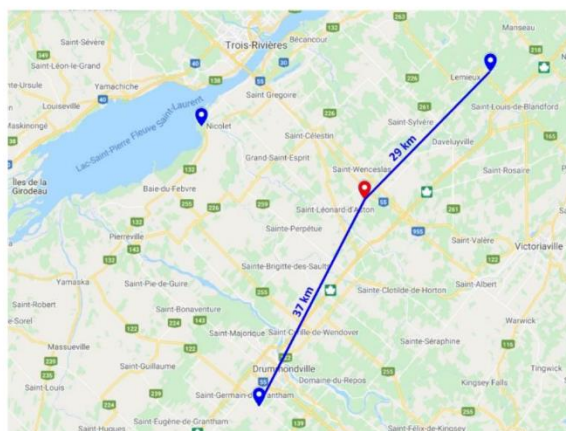


Figure 12 – Emplacement des stations météorologiques par rapport au lieu de l'accident

Le tableau 5 présente les relevés archivés de ces stations ainsi que les données calculées pour le lieu de l'accident. Les données sont valables pour 12 h 00 HAE.

Tableau 5 – Relevés météorologiques à 12h HAE le 5 juin 2020 des stations de Saint-Germain-de-Grantham et de Lemieux et valeurs calculées pour le lieu de l'accident

Lieu	Latitude nord	Longitude ouest	Temp. (°C)	Dir. du vent (azimuth)	Vitesse du vent (km/h)	Humidité relative (%)
St-Germain	45,8253 °	72,5369 °	27,9	260 °	22	38
Lemieux	46,3036 °	72,0608 °	26,4	240 °	15	42
440, 10 ^e rang	46,1218 °	72,3220 °	27	249 °	18	40

Au niveau des conditions générales, le ciel était dégagé et, comme le taux d'humidité était relativement bas, le rayonnement solaire contribuait de façon significative au réchauffement des objets ayant des surfaces exposées. Une simulation utilisant le logiciel astronomique Starry Night Pro Plus 8 a permis d'établir les données suivantes pour le lieu de l'accident et la journée du 5 juin 2020 :

- Le Soleil s'est levé à 04h59m26s HAE.

- Il était à son maximum d'élévation à 12h47m58s HAE à une élévation de 66,5 ° au-dessus de l'horizon sud.
- Il s'est couché à 20h36m48s HAE.

La figure 13 représente l'emplacement du camion cube par rapport au bâtiment et illustre la direction du vent et la position du Soleil à son maximum de hauteur. Cette figure fait ressortir deux constats importants :

- La boîte du camion était protégée du vent par le bâtiment de ferme. De plus, la direction de ce vent, n'eut été de la présence du bâtiment, faisait que les gaz d'échappement auraient été refoulés dans la boîte du camion.
- Le camion a subi l'influence du rayonnement solaire à partir du moment de son arrivée. Au maximum d'élévation du Soleil, qui correspond au moment où le rayonnement est le plus important, celui-ci était pratiquement perpendiculaire à la boîte du camion, du côté où se trouvait les laveuses à pression.



Figure 13 – Position du camion cube par rapport au bâtiment de ferme
Créée à partir d'une orthophotographie du Gouvernement du Québec

Température atteinte et conditions dans la boîte du camion

Dans le but de trouver la cause probable de l'arrêt soudain du moteur d'une des deux laveuses à pression, il convenait d'estimer la température qui fut atteinte à l'intérieur de la boîte du camion cube. Au moment de l'accident, trois petits moteurs à combustion interne fonctionnaient. Comme nous n'avons pas les données concernant le moteur actionnant la pompe à eau, nous n'avons tenu compte dans notre analyse que des deux moteurs Kohler 14 HP faisant fonctionner les laveuses à

pression. Nous n'avons pas tenu compte non plus des effets de la radiation solaire sur les parois de la boîte du camion qui est d'une puissance d'environ 950 W/m^2 sur une surface horizontale à midi en juin selon le site Internet de Énergie solaire Québec.

Nous nous sommes basés sur la cylindrée de chaque moteur qui était de 429 cm^3 et fonctionnant à pleine puissance avec une vitesse de rotation d'environ 3 600 RPM. Comme c'est un moteur à quatre temps, il y a échappement des gaz de combustion une fois par deux révolutions. Nous avons présumé une efficacité volumétrique de 80 %, ce qui est raisonnable pour ce type de moteur.

Le débit de gaz d'échappement en litres par minute fut calculé comme suit :

Débit = Cylindrée x RPM/2 x Efficacité volumétrique

Débit = $0,429 \text{ litres} \times 1\,800 \text{ RPM} \times 0,80 = 618 \text{ litres/minutes}$

La température de sortie des gaz d'échappement d'un moteur brûlant de l'essence varie selon la source consultée. Une recherche à travers la littérature scientifique démontre que cette température dépendra du régime moteur (RPM) et du type d'essence. Elle varie généralement entre 375 et 550 °C. dans le cadre de notre analyse, nous avons utilisé la valeur conservatrice de 420 °C.

En supposant une température extérieure de 25°C, une simulation faite en utilisant le logiciel Simcenter STAR-CCM + nous a permis d'estimer la température moyenne atteinte dans la boîte du camion à 50 °C. Localement, cette température pouvait être plus élevée, comme par exemple près des silencieux des deux moteurs. De plus, étant donnée l'expansion des gaz chauds produits par la combustion, la pression à l'intérieur de la boîte du camion fut estimée à 15,2 lb/po², ce qui est 0,5 lb/po² supérieur à la pression atmosphérique ambiante. La boîte du camion se trouvait donc légèrement pressurisée, ce qui empêchait l'apport d'air frais en quantité appréciable.

CAUSE PROBABLE DE L'ARRÊT DU MOTEUR

Effets de l'appauvrissement de l'air en oxygène

L'absence d'apport d'air frais décrit au paragraphe précédent a eu pour effet de diminuer rapidement la concentration d'oxygène présent dans l'air, celui-ci étant remplacé par les gaz d'échappement riches en azote, en CO₂ et CO. La simulation nous a permis d'estimer le temps requis pour que l'air dans la boîte soit assez appauvri en oxygène pour que la combustion devienne très difficile, provoquant ainsi l'arrêt du moteur. Ce temps fut de 18 à 20 minutes.

Effets de la température ambiante

Une température de 50 °C et plus au niveau du réservoir d'essence provoque une émission de plus en plus importante de vapeurs dans le réservoir. Certains composés de l'essence ayant un point d'ébullition inférieur à cette température, nous pouvons nous attendre à un taux d'évaporation qui dépassera la capacité du bouchon à évacuer les gaz dans l'atmosphère. La pression interne du réservoir augmentera et avec elle, la pression dans la conduite reliant le réservoir au carburateur.

Cette pression accrue dans la conduite va combattre la force créée sur le pointeau par la flotte du carburateur. Le débit de carburant pourra ainsi être supérieur à celui requis pour le bon fonctionnement du moteur et un débordement par le gicleur devient possible. Le mélange air-essence deviendra alors trop riche et le moteur pourra éventuellement s'arrêter.

CAUSE PROBABLE DE L'ÉJECTION DU BOUCHON DU RÉSERVOIR

Évacuation des gaz d'évaporation

La quantité de vapeur produites par l'essence dans le réservoir va dépendre, entre autres, de la température ambiante, de la surface de liquide exposée à l'air et du degré d'agitation de l'essence causée par les vibrations du moteur. La conception du bouchon du moteur Kohler CH440 repose sur le principe que ces vapeurs ne doivent pas être évacuées dans l'atmosphère mais captées par le charbon actif.

La circulation des gaz à travers le bouchon rencontre quatre types de restriction :

- Les quatre séries de 4 trous d'un millimètre de diamètre;
- Le clapet anti-retour (item 6 de la figure 6);
- Les deux filtres en fibres (items 9 et 11);
- La diffusion à travers le charbon actif.

La clapet anti-retour nous a particulièrement intéressé au niveau de sa conception. Cette pièce est faite d'une matière flexible semblable à du silicone et mesure 19 mm de diamètre par 7 mm d'épaisseur. Tel que montré dans la figure 14, sa partie conique, dont la pointe est dirigée vers le réservoir, permet l'entrée de l'air à travers une fente d'environ 4 mm de longueur qui s'ouvre pour compenser la baisse du niveau d'essence quand le moteur fonctionne. Sa conception fait qu'il se referme au cas de pression émanant du réservoir. Cependant, en position neutre, la fente fermée laisse quand même voir un minuscule trou d'environ 0,35 mm de diamètre.

Figure 14 – Clapet anti-retour à l'intérieur du bouchon du réservoir d'essence
Illustration : [D]

Nous avons toutefois constaté la présence de deux autres fentes d'environ 4 mm à la surface de cette pièce qui s'ouvrent sur des dépressions de forme semi-circulaire du côté réservoir. Leur géométrie nous permet de croire qu'elles sont conçues pour évacuer une surpression du réservoir. Nous avons cependant constaté durant nos essais que ces fentes ne permettaient pas facilement la circulation des gaz vers l'extérieur au point où nous n'avons découvert leur existence qu'au cours de la production des dessins détaillés des pièces.

Lors de nos essais, il fut très facile de faire monter la pression dans le réservoir uniquement avec l'air s'échappant d'une légère fuite de notre valve d'admission d'air comprimé. C'est comme si la circulation des gaz ne pouvait se faire que de l'atmosphère vers le réservoir et non l'inverse.

Nous voulions savoir également si les séries de 4 trous d'un millimètre de diamètre étaient suffisants pour permettre d'évacuer du réservoir le surplus des vapeurs libérées à plus haute température. Nos calculs ont permis d'établir que oui mais que le débit des gaz passant par ces trous plafonnerait quand la température de l'essence atteindrait 70 °C environ.

Fixation du bouchon au réservoir

Dans le but de déterminer la cause de l'éjection soudaine du bouchon du réservoir, nous avons d'abord testé sa résistance à la pression sous différentes températures. Nos essais furent faits avec un bouchon correctement fermé.

La pression dans le réservoir fut montée jusqu'à 45 lb/po² (310 kPa) à l'aide d'air comprimé et jusqu'à une température de surface de 70 °C à l'aide d'une grande lampe à infrarouge et il n'a jamais cédé ou ne s'est jamais détérioré d'une quelconque façon. La seule différence que nous avons remarquée dans sa manipulation, fut qu'il était plus facile à tourner à plus haute température, sûrement à cause du lubrifiant rendu plus fluide et qui est contenu entre le joint de caoutchouc et la rondelle de plastique qui se trouve entre le joint et le corps du bouchon.

La seule façon de reproduire l'éjection du bouchon par un simple contact du dos d'une main fut de ne pas le visser à fond. En fait, l'éjection ne se produit que lorsque le bouchon est à peine vissé. Dès qu'il est en contact avec le bord de l'ouverture dans le réservoir et qu'il est tourné le moins dans le sens horaire, le bouchon devient étanche aux vapeurs. La pression peut ainsi s'accumuler et un léger coup du revers de la main le fait s'éjecter.



Figure 15 – Images extraites de la vidéo du test d'éjection du bouchon avec une pression dans le réservoir de 4,5 lb/po².

PROJECTION ET INFLAMMATION DE L'ESSENCE

Nos simulations et nos essais ont permis d'établir que le réservoir d'essence était pressurisé au moment de l'accident par les vapeurs libérées sous l'effet de la température atteinte dans la boîte du camion cube. De plus, dans l'intervalle de temps entre le moment où le moteur de la laveuse à pression s'est arrêté et celui où le travailleur a voulu vérifier son niveau d'essence, cette dernière a continué à s'échauffer par la radiation provenant du carter du moteur et du silencieux ainsi que par la convection d'air chaud provenant du carter. Le moteur ne tournant plus, le ventilateur de refroidissement intégré au volant du moteur ne pouvait plus faire circuler l'air autour.

Avec une pression relativement élevée dans le réservoir et une température qui pouvait faire bouillir les composants plus volatils de l'essence, une éjection soudaine du bouchon crée une diminution soudaine de la pression dans le réservoir. Les gaz dissous dans le liquide vont rapidement s'en échapper et entraîner une partie du liquide. C'est un phénomène similaire à l'ouverture du bouchon d'un radiateur d'automobile qui a surchauffé ou à l'ouverture d'une bouteille d'eau gazeuse qui a été agitée. Nos calculs ont permis d'établir que la vitesse d'éjection des gaz avoisinait les 100 m/s pour une pression relative de 0,6 lb/po² (4 kPa) et pouvait atteindre 220 m/s pour une pression de 3,1 lb/po² (21 kPa).

Le brouillard d'essence ainsi projeté a pu facilement atteindre les environs de l'échappement du moteur de l'autre laveuse encore en fonction qui ne se trouvait qu'à environ 75 cm vers la gauche du travailleur.

Pour expliquer l'inflammation de ce brouillard, deux propriétés de l'essence entrent en jeu :

- la température d'inflammation;
- la plage d'inflammabilité.

La température de l'échappement du moteur encore fonctionnel était de toute évidence égale ou supérieure à la température d'inflammation de l'essence qui se situe entre 350 et 460 °C. Ce moteur devait par contre fonctionner avec un mélange riche en essence à cause de la diminution de la concentration en oxygène dans l'air ambiant. Un mélange trop riche fait en sorte que la combustion peut se poursuivre dans le tuyau d'échappement lorsque la soupape du moteur s'ouvre. La présence d'une telle combustion à l'extérieur du cylindre du moteur va provoquer l'inflammation de tout mélange combustible se trouvant sur son chemin.

Pour provoquer l'inflammation du brouillard, il faut aussi que de l'oxygène s'y trouve en proportion suffisante. L'air étant appauvri en oxygène au moment de l'arrêt du moteur, le fait qu'il s'arrête va diminuer de moitié les émissions de gaz polluants et favoriser une remontée du taux d'oxygène dans l'air ambiant. De plus, le déplacement d'air provoqué par le travailleur qui entre dans la boîte du camion a, lui aussi, entraîné un apport d'oxygène.

CONCLUSION

À la lumière des essais, des simulations numériques ainsi que des recherches documentaires que nous avons effectués, nous pouvons affirmer que la cause probable de l'incendie est l'allumage, par les gaz d'échappement d'un moteur situé à proximité, d'un brouillard d'essence projeté lors de l'éjection du bouchon du réservoir d'essence du moteur qui s'était arrêté.

Cette éjection a été initiée par le contact du dos de la main du travailleur avec le bouchon.

Les facteurs contributifs sont les suivants :

- La disposition des équipements motorisés fonctionnant dans une boîte de camion peu ventilée a créé une augmentation importante de la température ambiante et un appauvrissement en oxygène de l'air présent dans la boîte;
- Le bouchon du réservoir d'essence n'était pas vissé correctement;
- La pression de vapeur de l'essence utilisée ne convenait pas pour les températures ambiantes chaudes rencontrées dans le camion cube;
- La conception du bouchon du réservoir d'essence ne permettait pas une évacuation suffisante des gaz accumulés dans le réservoir dans ces conditions, ce qui a créé une surpression;
- Le positionnement du camion par rapport au bâtiment de ferme et à la direction du vent n'a pas favorisé une ventilation adéquate.

Ce résultat d'expertise est basé sur les informations rendues disponibles au moment de l'exécution du mandat.

ANNEXE D**Extrait du communiqué de presse du
Ministère de l'Énergie et des
Ressources naturelles****Pandémie de COVID-19 – Modification temporaire apportée à la date du passage à l'essence d'été**

Québec, le 9 avril 2020 - Le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles annonce que la date exigée pour le passage à l'essence d'été est temporairement modifiée et sera en vigueur du 9 avril au 30 juin 2020, donnant ainsi la marge nécessaire aux raffineurs pour produire et entreposer des essences à faible volatilité pour la période estivale.

Les restrictions quant aux déplacements et les mesures d'isolement, causées par la pandémie de COVID-19, ont réduit considérablement la demande pour les produits pétroliers au Québec et partout en Amérique du Nord. Malgré des mesures prises par les raffineurs pour réduire la production, les stocks sont à un niveau exceptionnellement élevé et les capacités d'entreposage atteignent leurs limites.

L'allègement accordé permettra aux raffineurs, importateurs et distributeurs de produits pétroliers de se conformer aux exigences de volatilité au cours des prochaines semaines et ainsi être en mesure d'écouler leurs stocks et commencer à produire et à entreposer de l'essence à volatilité moins élevée pour la période estivale. Cette période de dérogation temporaire permettra d'assurer la distribution des carburants essentiels au transport des marchandises et au maintien de la sécurité publique. L'approche retenue est cohérente avec les actions posées par plusieurs provinces canadiennes, dont l'Ontario et le Nouveau-Brunswick ainsi que de nombreux États américains, dont l'État de New York.

[...]

ANNEXE E**Références bibliographiques**

QUÉBEC (PROVINCE). *Loi sur la santé et la sécurité du travail, RLRQ, chapitre S-2.1, à jour au 1^{er} septembre 2020*, [En ligne], [Québec], Éditeur officiel du Québec, 2020, vii, 65, xii p. [<http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/ShowDoc/cs/S-2.1>] (Consulté le 21 décembre 2020).

COMMISSION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL DU QUÉBEC, *Réparations mécaniques en forêt*, [En ligne], [Québec], CSST, 2006, 81 p. (DC200-632-3) [https://www.cnesst.gouv.qc.ca/Publications/200/Documents/dc_200_632_4.pdf] (Consulté le 21 décembre 2020).

POWERJET PRESSURE CLEANING SYSTEMS, *Manuel d'utilisateur : commerciale et industriel à l'eau chaude : entraînement de gaz et diesel, brûleur à l'huile*, [En ligne], [Sussex Corner, N.B.], PowerJet Pressure Cleaning Systems, 2016, 25 p. [<https://powerjetpressure.com/wp-content/uploads/2017/10/06-PJ-Commerciale-et-industriel-à-l'eau-chaude-Entraînement-de-gaz-et-diesel-Brûleur-à-l'huile.pdf>] (Consulté le 21 décembre 2020)

DEAK, Daniel, Dany PICARD et Pierre Q. Gauthier. *Rapport d'expertise : déflagration et incendie d'un camion de l'entreprise Entretien idéal de fermes*, Drummondville, Le_SAE, 2020, 24 p.

ÉNERGIE ET DES RESSOURCES NATURELLES QUÉBEC. *Pandémie de COVID-19 : modification temporaire apportée à la date du passage à l'essence d'été*, [En ligne], 2020, [<https://mern.gouv.qc.ca/covid-19-modification-temporaire-date-passage-essence-ete-2020-04-09/>] (Consulté le 21 décembre 2020)