

**EN004119****RAPPORT D'ENQUÊTE**

**Accident mortel survenu le 30 mai 2016  
à un travailleur de l'entreprise Pétro-Max 1995 inc.  
située au 1845, route 122 à Notre-Dame-du-Bon-Conseil**

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

**Inspecteurs :**

---

**Vincent Ouellette, ing.**

---

**Marie-Claude Latulippe****Date du rapport : 17 novembre 2016**

**Rapport distribué à :**

- Monsieur [ A ], [ ... ], Pétro-Max 1995 inc.
- Monsieur [ B ], [ ... ], Pétro-Max 1995 inc.
- M<sup>e</sup> Yvon Garneau, coroner
- Docteur Horicio Arruda, directeur de la santé publique par intérim

**TABLE DES MATIÈRES**

<b>1</b>	<b>RÉSUMÉ DU RAPPORT</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>ORGANISATION DU TRAVAIL</b>	<b>4</b>
2.1	STRUCTURE GÉNÉRALE DE L'ÉTABLISSEMENT .....	4
2.2	ORGANISATION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL .....	4
2.2.1	MÉCANISMES DE PARTICIPATION .....	4
2.2.2	GESTION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ.....	4
<b>3</b>	<b>DESCRIPTION DU TRAVAIL</b>	<b>6</b>
3.1	DESCRIPTION DU LIEU DE TRAVAIL .....	6
3.2	DESCRIPTION DU TRAVAIL À EFFECTUER .....	7
<b>4</b>	<b>ACCIDENT : FAITS ET ANALYSE</b>	<b>8</b>
4.1	CHRONOLOGIE DE L'ACCIDENT .....	8
4.2	CONSTATATIONS ET INFORMATIONS RECUEILLIES .....	10
4.2.1	OBSERVATION FAITES SUR LES LIEUX DE L'ACCIDENT .....	10
4.2.2	PHÉNOMÈNE D'INCENDIE ET D'EXPLOSION.....	12
4.2.3	PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DU DIESEL .....	13
4.2.4	ANALYSE DE L'ÉCHANTILLON DE DIESEL PROVENANT DU RÉSERVOIR N° 3.....	14
4.2.5	EXPERTISE TECHNIQUE .....	14
4.2.6	TRAVAIL À CHAUD EN ESPACE CLOS.....	15
4.3	ÉNONCÉS ET ANALYSE DES CAUSES.....	17
4.3.1	DES TRAVAUX DE SOUDAGE EFFECTUÉS DANS LE RÉSERVOIR D'UNE CITERNE ROUTIÈRE, ADJACENT À UN AUTRE RÉSERVOIR CONTENANT DU DIESEL, PROVOQUENT UNE EXPLOSION .....	17
4.3.2	UNE PLANIFICATION DÉFICIENTE DES TRAVAUX DE SOUDAGE EN ESPACE CLOS EXPOSE LE TRAVAILLEUR À UN DANGER D'EXPLOSION.....	18
<b>5</b>	<b>CONCLUSION</b>	<b>20</b>
5.1	CAUSES DE L'ACCIDENT .....	20
5.2	AUTRES DOCUMENTS ÉMIS LORS DE L'ENQUÊTE.....	20
5.3	SUIVI À L'ENQUÊTE .....	20

**ANNEXES**

<b>ANNEXE A :</b>	<b>Accidenté.....</b>	<b>21</b>
<b>ANNEXE B :</b>	<b>Rapport d'analyse de SGS Canada Inc. ....</b>	<b>22</b>
<b>ANNEXE C :</b>	<b>Expertise .....</b>	<b>23</b>
<b>ANNEXE D :</b>	<b>Règlements.....</b>	<b>24</b>
<b>ANNEXE E :</b>	<b>Liste des témoins et des autres personnes rencontrées.....</b>	<b>29</b>

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

Le 30 mai 2016, un travailleur doit réparer une fuite dans un réservoir d'une citerne routière à éléments multiples. Alors qu'il se trouve à l'intérieur du réservoir n° 4 pour refaire une soudure, une explosion survient.

**Conséquences**

Le travailleur décède.

Les photos n° 1 et n° 2 montrent un schéma et l'intérieur du réservoir n° 4 où s'est produit l'accident.

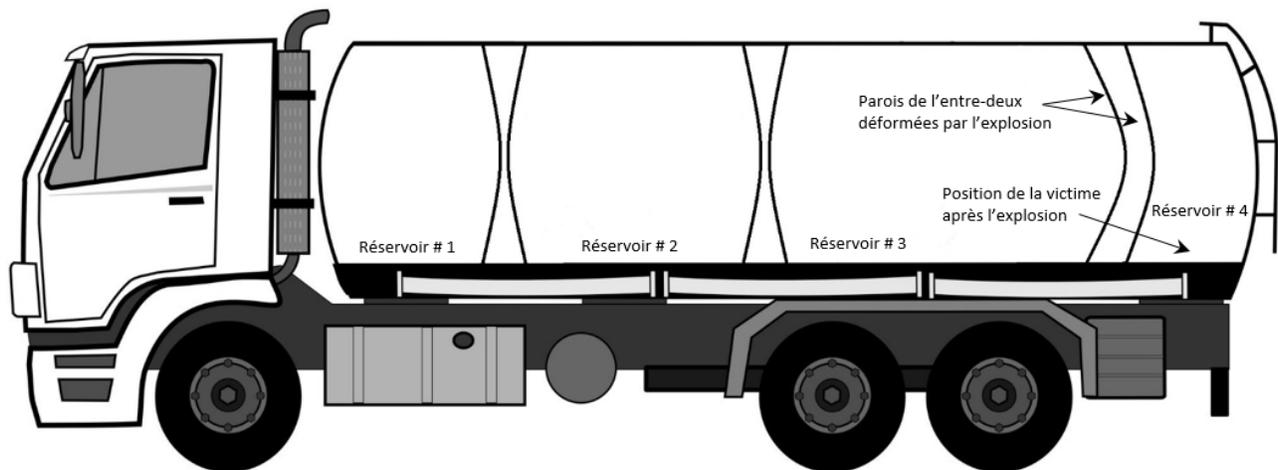


Photo n° 1 - Position de la victime après l'explosion

Source : Petr Student (<http://fr.123rf.com/>) modifiée par la CNESST

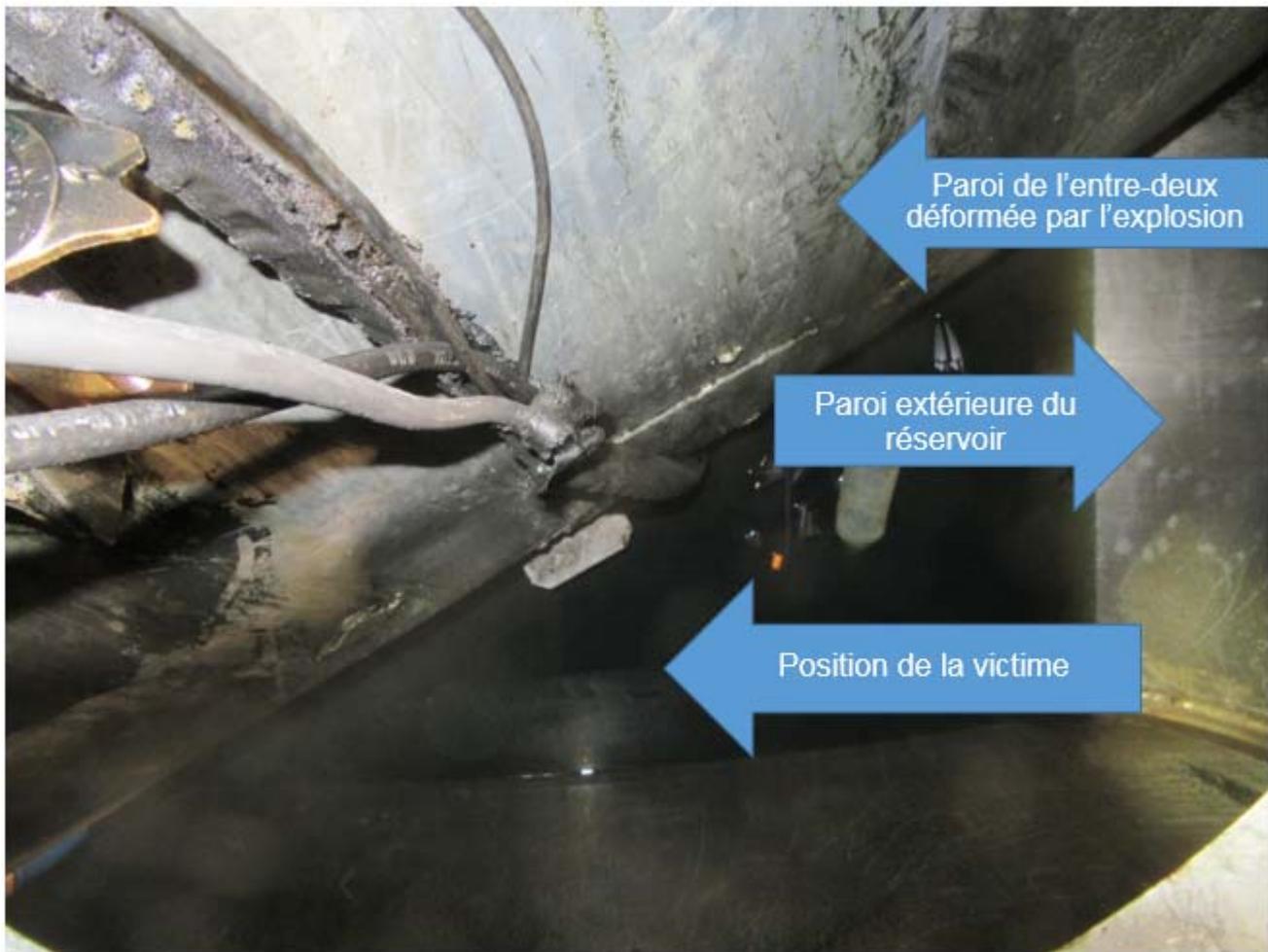


Photo n° 2 - Intérieur du réservoir n° 4 vu du haut avec la paroi de l'entre-deux bombée

Source : CNESST

### **Abrégé des causes**

L'enquête a permis de retenir les deux causes suivantes :

- Des travaux de soudage effectués dans le réservoir d'une citerne routière, adjacent à un autre réservoir contenant du diesel, provoquent une explosion.
- Une planification déficiente des travaux de soudage en espace clos expose le travailleur à un danger d'explosion.

**Mesures correctives**

Le rapport RAP9093107, émis le 30 mai 2016, interdit tout travail en espace clos. L'employeur devra élaborer une procédure pour le travail en espace clos et donner une formation conforme à la section XXVI du Règlement sur la santé et la sécurité du travail (RSST) avant la reprise des travaux.

Sept dérogations sont aussi émises dans le rapport d'intervention RAP1014358 en date du 5 juillet 2016. Les dérogations concernent l'utilisation de l'explosimètre, les procédures de travail à chaud dans le garage, les équipements de protections individuels et le travail en hauteur.

L'employeur a préparé des procédures de travail conformes au RSST concernant les procédures de travail à chaud et les procédures de travail à chaud en espace clos.

L'employeur a élaboré une formation pour les travailleurs devant préparer et effectuer le travail en espace clos.

*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**

L'entreprise Pétro-Max 1995 inc. est spécialisée dans la réparation et la vente de citernes pétrolières. L'entreprise offre les services d'inspection, de fabrication, d'installation et de réparation de citernes. Elle possède également une accréditation lui permettant d'effectuer l'inspection des citernes et d'émettre le certificat de conformité exigé par les autorités fédérales.

L'entreprise compte environ [ ... ] travailleurs non syndiqués.

**2.2 Organisation de la santé et de la sécurité du travail****2.2.1 Mécanismes de participation**

Il n'y a pas de comité de santé et de sécurité dans l'entreprise.

**2.2.2 Gestion de la santé et de la sécurité**

L'entreprise Pétro-Max fait partie d'une mutuelle de prévention et un programme de prévention a été élaboré. Les travailleurs reçoivent aussi un manuel de l'employé lors de leur embauche. Voici quelques extraits des documents relatifs à la santé et à la sécurité des travailleurs :

**a) MANUEL DE L'EMPLOYÉ**

- Le port des chaussures de protection est obligatoire dans le garage et les aires de travail désignées.
- Le port de protecteurs auditifs est obligatoire dans les aires de travail désignées.
- Le port de protecteurs oculaires et faciaux est obligatoire lorsqu'il y a un danger pouvant occasionner une lésion aux yeux ou à la figure.
- Toutes matières dangereuses renversées doivent être nettoyées immédiatement.
- Les outils à mains doivent être rangés immédiatement après leur utilisation.
- L'empilage du matériel doit être fait de façon sécuritaire.
- Les boissons alcooliques et les narcotiques sont interdits.
- Chaque employé est responsable de sa sécurité et doit éviter de créer des situations dangereuses pour les autres travailleurs.

- Il incombe à chaque employé de maintenir son environnement de travail propre.
- Les guenilles imbibées de solvant ou autres matières dangereuses doivent être mises dans les contenants prévus à cet effet.

**b) Programme de prévention**

- Trousse de premiers secours
- Secouristes
- Accueil des nouveaux travailleurs
- Inspection du milieu de travail
- Cour extérieur
- Protection incendie (extincteurs)
- Équipements de protection individuels
- Chariot élévateur
- Inspection et entretien des appareils de levage
- Meule
- Douche oculaire
- Utilisation d'une machine dangereuse
- Travail sous contrainte thermique
- Manutention de charges lourdes
- Fosse de visite (fosse de travail sous les camions)
- Utilisation d'un véhicule

Il n'y a aucune section du manuel de l'employé ou du plan d'action qui concerne le travail en espace clos ou le travail à chaud.

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

Il s'agit d'une entreprise spécialisée dans la vente, la réparation et l'inspection de citernes routières de produits pétroliers légers. L'établissement comporte un bâtiment séparé en quatre parties. Les bureaux se trouvent à la droite du bâtiment sur la photo ci-dessous. Les deux aires de travail centrales servent à la préparation et à l'assemblage des citernes neuves, ainsi qu'aux réparations mécaniques des camions. La dernière aire de travail située à gauche du bâtiment est destinée à l'inspection et à la réparation des citernes.



Photo n° 3 - Vue de l'avant du garage

Source : CNESST

### 3.2 Description du travail à effectuer

Les camions citernes à éléments multiples permettent le transport de plusieurs types de produits pétroliers en même temps. Les réservoirs sont séparés par une double cloison appelée l'entre-deux. Les entre-deux sont munis d'ouvertures sur le haut et le bas permettant un écoulement libre. Si un des réservoirs adjacents à un entre-deux fuit, le liquide s'égoutte par l'ouverture inférieure de l'entre-deux (voir diagramme n° 1).

Lorsqu'un réservoir fuit, les travailleurs doivent déterminer la source de la fuite et la réparer. Pour ce faire, les travailleurs vident les réservoirs adjacents à l'entre-deux. Les réservoirs et l'entre-deux sont alors lavés à la vapeur, puis testés pour s'assurer qu'il n'y a aucune trace de vapeur explosive. C'est pendant la réparation d'une fissure par soudure à l'intérieur du réservoir n° 4 qu'une explosion s'est produite.

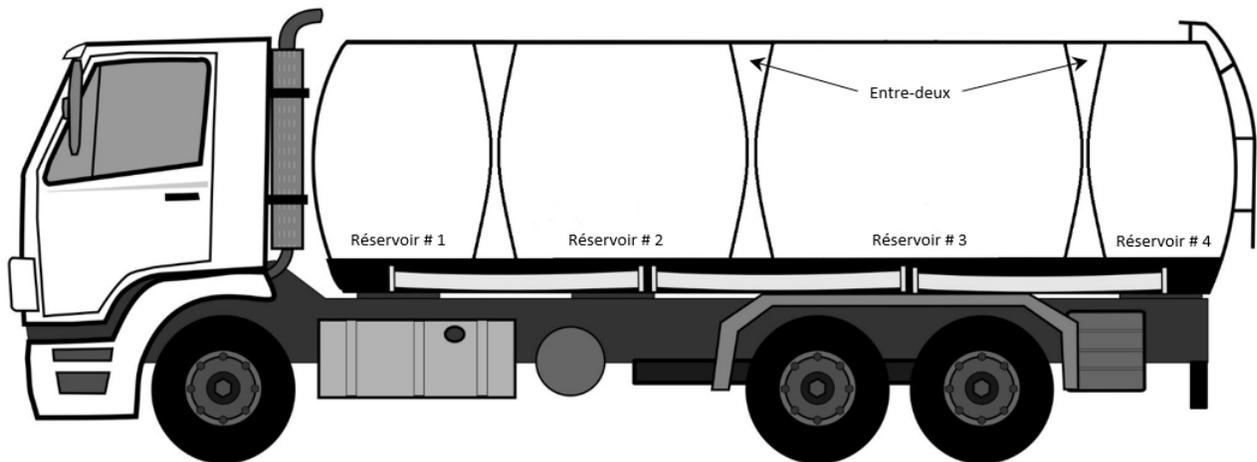


Diagramme n° 1 - Citerne à éléments multiples

Source : Petr Student (<http://fr.123rf.com/>) modifiée par la CNESST

**SECTION 4****4 ACCIDENT : FAITS ET ANALYSE****4.1 Chronologie de l'accident**

Le 30 mai 2016 vers 8 h, le travailleur qui doit préparer le camion pour la réparation arrive au garage (ce travailleur sera désigné comme [ C ] ci-après dans le texte). Le travail que [ C ] doit effectuer est déjà planifié. Il conduit le camion dans la section du garage réservée à la réparation et à l'inspection des citernes. [ C ] signale au [ D ] qu'il faudrait vider le réservoir n° 3 qui contient environ 1 266 litres de diesel clair. [ D ] lui indique que ce n'est pas nécessaire, car il sait que la fuite vient du réservoir n° 4.

[ C ] commence par vider le fond du réservoir n° 4. Pour ce faire, il ouvre la trappe au fond du réservoir n° 4 et débranche le tuyau amenant le produit au collecteur (manifold). Il vide aussi l'entre-deux où s'étaient accumulés environ 5 à 6 litres de diesel provenant de la fuite du réservoir n° 4. [ D ] avait installé un bouchon sur l'ouverture inférieure de l'entre-deux, afin d'éviter que le diesel ne coule dans la rue.

[ C ] entreprend de nettoyer l'entre-deux à l'aide d'un jet de vapeur d'eau. Il nettoie l'entre-deux pendant environ 20 minutes. Il laisse ensuite l'entre-deux se vider puis il pose un bouchon sur l'ouverture inférieure de l'entre-deux. Il installe le manomètre sur l'ouverture supérieure de l'entre-deux pour pouvoir faire les tests d'étanchéité.

Il nettoie ensuite le réservoir n° 4 avec le jet de vapeur d'eau pendant environ 20 minutes. Il assèche le réservoir avec de l'air comprimé. Il utilise ensuite un explosimètre afin de vérifier la présence de gaz explosif près de l'orifice du haut de l'entre-deux et au puits d'accès du réservoir n° 4. Il obtient environ 8 % pour l'entre-deux et 0 % pour le réservoir n° 4.

[ ... ], M. [ E ], entre dans le réservoir n° 4 pour commencer la réparation. [ C ] se trouve sur le dessus du réservoir pour lui donner les outils nécessaires et pour s'occuper de la ventilation du réservoir. La ventilation du réservoir se fait à l'aide d'un tuyau d'aspiration flexible d'environ 25 cm qu'il entre à l'intérieur du réservoir. Il donne d'abord une baladeuse électrique à M. [ E ]. Celui-ci inspecte l'intérieur du réservoir et constate que la soudure d'une pièce de recouvrement d'une réparation antérieure est brisée. [ C ] lui donne une meuleuse électrique afin de rectifier la surface devant être réparée. M. [ E ] utilise ensuite une torche au propane pour préchauffer la surface. [ C ] lui donne ensuite un pistolet à souder de type MIG afin de procéder à la réparation. M. [ E ] a complété environ la moitié de la soudure, soit environ 8 cm sur les 16 cm à réparer, lorsqu'une première explosion se fait sentir. [ C ] entend un son sourd, puis voit la paroi séparant le réservoir n° 4 s'inverser (voir diagrammes n° 2 et n° 3).

Immédiatement après la première explosion (1 à 2 secondes selon les témoins) une deuxième explosion beaucoup plus puissante survient. [ C ] est projeté au sol et voit des flammes intenses sortir du puits d'accès. Il remonte sur le camion. [ F ] lui donne un extincteur. L'incendie s'éteint dès que [ C ] actionne l'extincteur. [ F ] lui donne un tuyau d'arrosage (de type jardinage) muni d'un fusil contrôlant le débit d'eau et [ C ] s'en sert pour arroser légèrement. Il utilise ensuite le tuyau d'aspiration afin d'évacuer la fumée. Il aperçoit finalement M. [ E ] couché dans l'huile. Les secours sont appelés et le décès du travailleur est constaté à l'hôpital.

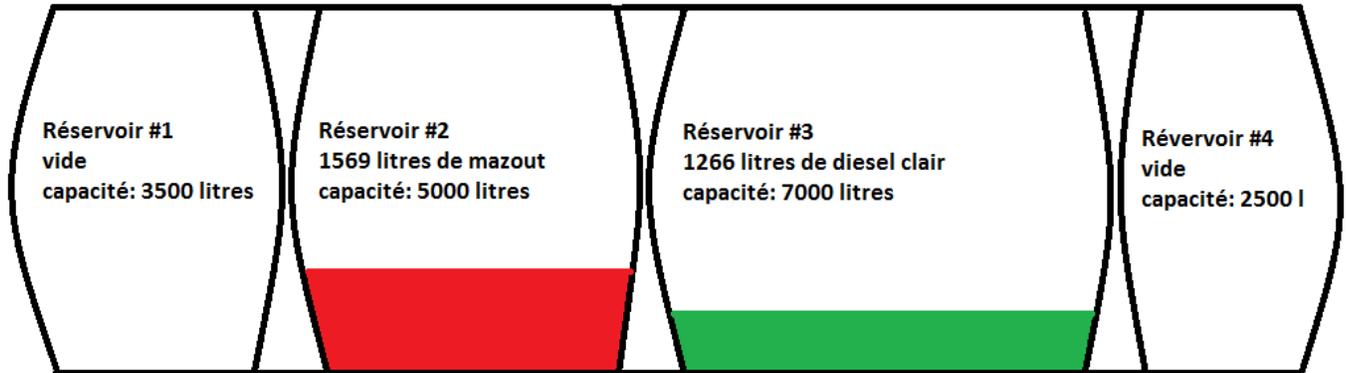


Diagramme n° 2 - Citerne avant l'explosion

Source : CNESST

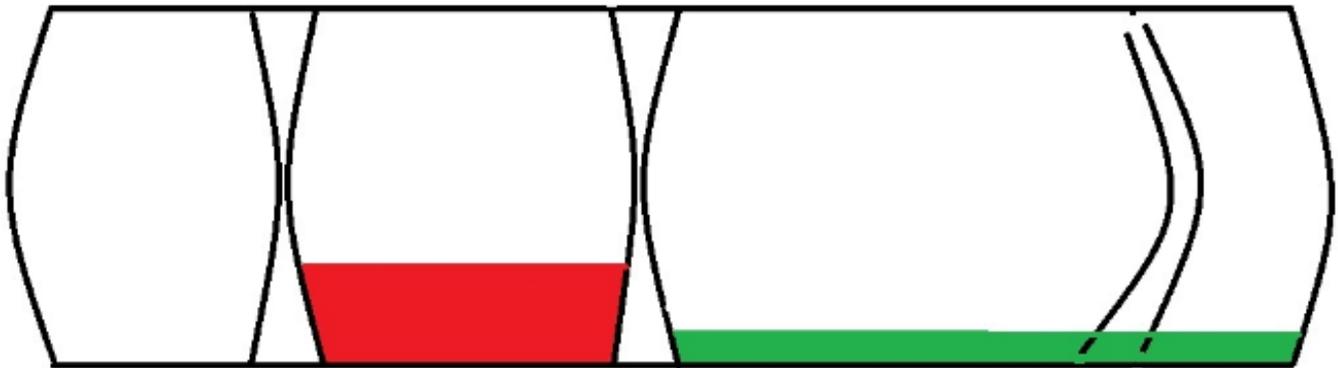


Diagramme n° 3 – Citerne après l'explosion

Source : CNESST

## 4.2 Constatations et informations recueillies

### 4.2.1 Observations faites sur les lieux de l'accident

Les explosions ont été circonscrites à l'intérieur du camion-citerne. Il n'y a aucun dommage apparent à l'extérieur du camion.

La photo suivante montre le réservoir n° 2 qui n'a pas été affecté par l'explosion et qui permet de voir un réservoir en bon état.



Photo n° 4 – Intérieur du réservoir n° 2

Source : CNESST

Voici une photo de l'intérieur du réservoir n° 3 après l'explosion (cette photo a été prise après la vidange des réservoirs).



Photo n° 5 – Intérieur du réservoir n° 3

Source : CNESST

Sur cette photo nous constatons que les parois de l'entre-deux sont dessoudées et qu'elles ont été déplacées vers le réservoir n° 4. L'entre-deux entre le réservoir n° 3 et le réservoir n° 2 est intact (voir photo n° 6).



Photo n° 6 – Paroi du réservoir n° 3 intact (vers le réservoir n° 2)

Source : CNESST

#### 4.2.2 Phénomène d'incendie et d'explosion

Les incendies sont causés par la combinaison simultanée d'une source de chaleur, de matières combustibles et de comburant, en général l'oxygène, nommée triangle de feu.



Diagramme no. 4 - Triangle de feu

Source : ASPHME

À la différence de l'incendie, l'explosion implique des éléments additionnels dont : le confinement, le domaine d'explosivité (d'un produit) et un produit en suspension (gaz, vapeur, poussière). Le diagramme suivant schématise le phénomène d'une explosion.

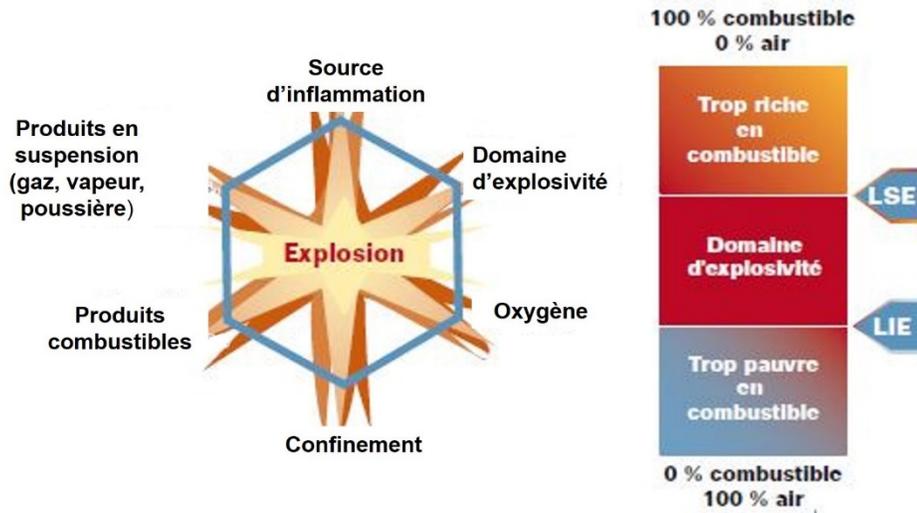


Diagramme n° 5 – Phénomène d'une explosion

Source : INRS

Les six éléments décrits dans ce diagramme doivent être réunis simultanément pour qu'une explosion survienne.

### 4.2.3 Propriétés physiques du diesel

Le point d'éclair est la température la plus basse à laquelle un produit dégage assez de vapeurs pour former avec l'air un mélange inflammable au contact d'une flamme ou d'une étincelle. Par exemple, du diesel exposé à une température de moins de 38 °C (le point d'éclair minimal du diesel) ne produira pas assez de vapeur pour s'enflammer même en présence d'une flamme.

Les limites inférieures et supérieures d'explosibilité sont les concentrations minimales et maximales d'un produit dans l'air entre lesquelles peut se former un mélange explosif en présence d'une source d'ignition. Ces concentrations sont exprimées en pourcentage de volume dans l'air. Le pourcentage de volume de diesel dans l'air d'un réservoir fermé doit être entre 1 % et 7 % pour former un mélange explosif.

La température d'auto ignition est la température à partir de laquelle une substance s'enflamme spontanément en l'absence d'une flamme pilote.

Selon la littérature, le carburant diesel présente les propriétés physiques suivantes :

- le point d'éclair est compris entre 38 °C et 62 °C;
- la limite inférieure d'explosivité (LIE) dans l'air varie de 0,4 % à 1 %;
- la limite supérieure d'explosivité (LES) dans l'air varie de 6 % à 7 %;
- la température d'auto ignition varie de 175 °C à 260 °C.

#### **4.2.4 Analyse de l'échantillon de diesel provenant du réservoir n° 3**

Des analyses effectuées par la firme SGS Canada Inc. sur un échantillon de diesel qui a été récupéré dans le réservoir n° 3 de la citerne (voir ANNEXE B), démontrent notamment que :

- son point d'éclair est de 53 °C;
- aucune présence d'hydrocarbures légers n'a été détectée dans l'échantillon analysé.

Le diesel présent dans le réservoir n° 3 correspond à un diesel standard et son comportement est le même que celui prévu par la littérature.

#### **4.2.5 Expertise technique**

Une expertise technique a été effectuée afin de valider si les conditions propices à une explosion ont été atteintes lors des travaux effectués.

Les principales conclusions de cette analyse sont les suivantes (le document complet se trouve à l'ANNEXE C) :

La température de la paroi interne du réservoir n° 3 faisant face au réservoir n° 4 a atteint au moins 417 °C.

Les travaux préparatoires à la soudure, c'est-à-dire le lavage et le préchauffage, ont permis le dépassement du point d'éclair du diesel contenu dans le réservoir n° 3 et ainsi engendrer une évaporation du diesel qui a atteint la limite inférieure d'explosivité.

Le phénomène de la double explosion tel que décrit par les travailleurs est habituel pour un système fermé lorsque l'oxygène est présent en quantité limitée. En effet, l'oxygène étant indispensable pour qu'il y ait une explosion, si la quantité d'oxygène est réduite, l'explosion aura une portée moindre. Par contre, lorsque les parois de l'entre-deux ont été déformées par la première explosion, une grande quantité d'oxygène est devenue disponible créant ainsi une deuxième explosion beaucoup plus puissante.

#### **4.2.6 Travail à chaud en espace clos**

Le travail que doit effectuer M. [ E ] le matin du 30 mai 2016 répond à la définition d'un travail à chaud en espace clos.

Lors de notre enquête, nous constatons qu'il n'existe aucune procédure de travail sécuritaire écrite pour le travail à chaud en espace clos. Les règles de sécurité de Pétro-Max et le plan d'action de la mutuelle ne traitent pas de ces sujets.

Les sections XXVI et XXVII du RSST prévoient comment doivent être effectuées ces opérations. Les articles cités dans les paragraphes suivants se retrouvent à l'ANNEXE D.

Selon le RSST, il y a donc plusieurs points essentiels à respecter avant tout travail à chaud en espace clos. Selon l'article 298, un travailleur devrait avoir reçu une formation pour effectuer un travail en espace clos.

Selon l'article 300, une cueillette de renseignements préalables à l'exécution d'un travail doit être effectuée, consignée et disponible. Les renseignements doivent, entre autres, inclure les dangers spécifiques à l'espace clos en particulier, telle la présence d'un produit inflammable à proximité, les méthodes et techniques de travail sécuritaire pour accomplir le travail, l'équipement de travail approprié et nécessaire pour accomplir le travail, les procédures de sauvetages.

Selon l'article 301, tous les éléments consignés pour répondre aux exigences de l'article 300 doivent être transférés au travailleur responsable des travaux.

Selon les articles 304 et 306, un relevé continu de la concentration des vapeurs inflammables doit être effectué lors d'un travail à chaud en espace clos.

Selon les articles 300, 2<sup>o</sup> d) et 309, une procédure de sauvetage doit être en place avec les équipements requis. Aucun équipement ou procédure de sauvetage n'est en place chez Pétro-Max.

Selon l'article 313, le travail à chaud est interdit à proximité de produits combustibles. Le réservoir n<sup>o</sup> 3 est à proximité et contient du mazout (diesel).

L'article 51 de la Loi sur la santé et la sécurité du travail (LSST) énumère les obligations de l'employeur.

L'article 51.3 prévoit que l'organisation et les méthodes et techniques utilisées pour accomplir un travail sont sécuritaires. L'article 51.5 prévoit l'obligation pour l'employeur de mettre en place des méthodes de contrôles et de surveillance et l'article 51.9 exige la formation des travailleurs afin que ceux-ci sachent reconnaître les dangers reliés à leur travail.

Le guide « Prévention pour le SOUDAGE et le COUPAGE » préparé par l'Association paritaire pour la santé et la sécurité du travail secteur de la fabrication de produit en métal, de la fabrication de produits électriques et des industries de l'habillement (ASPHME) résume bien les mesures de prévention pour le travail à chaud et le travail en espace clos :

**Avant l'exécution du travail :**

- Des renseignements écrits concernant les dangers spécifiques à l'espace clos (ventilation insuffisante, configuration intérieure, pièces en mouvement, sources d'inflammation, etc.) et les mesures préventives à prendre (méthodes de travail, EPI, procédure de sauvetage, etc.) doivent être disponibles sur les lieux.
- Ces renseignements doivent être communiqués au travailleur.
- Une ventilation adéquate doit être assurée.
- Des relevés des concentrations de l'oxygène et des gaz ou des vapeurs inflammables (et autres contaminants si nécessaire) doivent être effectués. Des limites précises doivent être respectées. Par exemple : la concentration d'oxygène doit se situer entre 19,5 % et 23 %.
- Un surveillant ayant les habiletés et les connaissances requises doit être désigné.
- Une procédure de sauvetage doit être établie et connue des personnes impliquées.

**Pendant l'exécution du travail :**

- Une ventilation suffisante doit être assurée pour maintenir les concentrations de contaminants sous les limites permises.
- Des relevés des concentrations de l'oxygène ou des vapeurs inflammables (et autres si nécessaire) doivent être effectués en continu, au cours du travail à chaud.
- Le surveillant doit demeurer à l'extérieur de l'espace clos et garder un contact avec le travailleur à l'intérieur. Il doit être en mesure de déclencher la procédure de sauvetage en cas de problème. Cette procédure doit prévoir les équipements et les moyens nécessaires, par exemple : appareils d'alarme, harnais de sécurité, cordes d'assurance, plan d'évacuation, etc.

Finalement, le Code national de prévention des incendies précise les dispositions qui doivent être respectées lors de travaux utilisant une flamme nue produisant de la chaleur ou des étincelles, notamment le découpage et le soudage. Ces dispositions, visent à prévenir le déclenchement d'un incendie ou d'une explosion. La section 5.2.3.2 stipule que les matières, poussières et les résidus combustibles et inflammables doivent être enlevés de l'aire des travaux par points chauds ou être protégés contre l'inflammation au moyen de matériaux incombustibles. Les matières et les revêtements combustibles qui ne peuvent être enlevés ou protégés doivent être maintenus mouillés pendant toute la durée des travaux. Lorsque des travaux par points chauds doivent être exécutés à proximité de canalisations de gaz inflammable, ces dernières doivent être protégées par une barrière thermique.

### 4.3 Énoncés et analyse des causes

#### 4.3.1 Des travaux de soudage effectués dans le réservoir d'une citerne routière, adjacent à un autre réservoir contenant du diesel, provoquent une explosion.

Le 30 mai 2016, M. [ E ] doit effectuer des travaux de soudages dans le réservoir n° 4 d'un camion-citerne afin de réparer une fuite. [ C ] doit préparer les travaux. Après avoir vidé le réservoir n° 4 et l'entre-deux, il entreprend de nettoyer l'intérieur du réservoir et de l'entre-deux avec un jet de vapeur. Il nettoie tout d'abord l'entre-deux pendant environ 20 minutes puis le réservoir n° 4 pendant environ 20 minutes. Après avoir asséché le réservoir n° 4 avec de l'air comprimé, M. [ E ] peut commencer son travail de préparation et de réparation de la surface à réparer.

M. [ E ] rectifie la surface avec une meuleuse, puis il chauffe la surface avec une torche au propane pour augmenter la température du métal autour de la soudure devant être réparée.

Il procède ensuite à la soudure à l'aide d'un fusil à souder de type MIG. L'explosion survient à ce moment. Afin de produire une explosion, les six conditions énumérées au point 4.2.2 doivent être présentes :

1. Produits combustibles : le réservoir n° 3 contient 1 266 litres de diesel qui est un produit combustible.
2. Confinement : Le réservoir est fermé, il y a un événement permettant un équilibrage des pressions lors de changements de température lents, mais insuffisant en cas d'explosion. Il y a donc un confinement.
3. Oxygène : le réservoir est plein à 18 % seulement, il y a donc 82 % du réservoir qui contient un mélange d'air (donc d'oxygène) et de diesel gazeux.
4. Produits en suspension : le lavage à la vapeur de l'entre-deux et du réservoir n° 3 ainsi que le préchauffage au propane et la soudure au MIG ont contribué à l'augmentation de la température interne du réservoir n° 3. Cette augmentation de la température permet l'évaporation du diesel dans le réservoir n° 3.
5. Domaine d'explosivité : afin d'exploser, le diesel sous forme de vapeur doit se situer entre 0,4 % et 7 %. L'ajout de chaleur sur le réservoir n° 3 lors du lavage à la vapeur de l'entre-deux et du réservoir n° 4, ainsi que le préchauffage à l'aide de la torche au propane et l'opération de soudage a permis d'augmenter le pourcentage de diesel vapeur dans le réservoir n° 3 dans le domaine d'explosivité.

6. Source d'inflammation : dans le cas où il n'y a pas une flamme directe, la température d'auto ignition doit être atteinte afin de permettre une explosion. Selon la littérature, la température du diesel se situe entre 175 °C et 260 °C. Selon l'expertise produite, après les étapes de lavage à la vapeur, le préchauffage au propane et la soudure au MIG, la température minimale atteinte est de 417 °C.

Nos observations et nos analyses démontrent qu'au moment où M. [ E ] effectue la soudure sur la paroi de l'entre-deux, les six conditions nécessaires à une explosion sont atteintes.

Cette cause est retenue.

#### **4.3.2 Une planification déficiente des travaux de soudage en espace clos expose le travailleur à un danger d'explosion.**

Avant l'exécution d'un travail à chaud, plusieurs étapes doivent être accomplies. Des renseignements écrits concernant les dangers spécifiques à l'espace clos et les mesures préventives à prendre doivent être compilés. Les renseignements recueillis par écrits doivent être transférés au travailleur qui exécute les travaux. Finalement, une procédure de sauvetage doit être établie et mise en place.

Le jour de l'accident, il n'y a aucune procédure de travail formalisée, aucun renseignement écrit n'est transféré au travailleur responsable de l'exécution des travaux et aucune procédure de sauvetage n'est prévue. Ces manquements contreviennent aux articles 300, 301 et 305 du RSST. Une fiche d'évaluation des dangers d'un espace clos indique, par exemple, l'obligation de vider et de nettoyer le réservoir adjacent à celui devant être réparé. Cette fiche doit aussi prévoir les équipements de protection individuels obligatoires et les procédures de sauvetage pour un travail spécifique.

Les travailleurs devant effectuer la préparation des travaux et les travaux en espace clos doivent avoir reçu une formation complète leur permettant d'avoir les connaissances pour effectuer leur travail de façon sécuritaire. La formation permet de reconnaître les dangers spécifiques à un environnement de travail. La formation renseigne sur le choix et l'utilisation des équipements de protection individuels appropriés à un travail spécifique. Cette formation permet aussi d'apprendre à calibrer et utiliser les détecteurs de gaz explosifs.

Le jour de l'accident, aucun des travailleurs n'a reçu une formation complète sur le travail en espace clos contrevenant ainsi à l'article 298 du RSST. Les travailleurs n'utilisent pas d'équipements de protection individuels. Les lectures des concentrations de vapeurs explosives sont prises seulement avant la réparation dans la partie supérieure de l'entre-deux et du réservoir n° 4. L'appareil n'est pas calibré selon les normes et une seule mesure a été prise au début des travaux.

En résumé, les deux travailleurs assignés à la réparation du camion-citerne le jour de l'accident n'ont pas reçu la formation permettant d'effectuer le travail de façon sécuritaire. M. [ E ] est [ ... ] de formation, mais n'a reçu aucune formation formelle sur le travail en espace clos. [ C ] n'a reçu aucune formation sur le travail en espace clos ni sur les méthodes de travail à chaud sécuritaire.

La préparation des travaux, le transfert des informations, la surveillance des travaux et les équipements utilisés sont inadéquats. Une formation complète sur le travail à chaud en espace clos et des procédures de travail formelles auraient contribué à l'élimination des risques et à l'accident de travail survenu le 30 mai 2016.

Cette cause est retenue.

**SECTION 5****5 CONCLUSION****5.1 Causes de l'accident**

L'enquête a permis de retenir les deux causes suivantes :

- Des travaux de soudage effectués dans le réservoir d'une citerne routière, adjacent à un autre réservoir contenant du diesel, provoquent une explosion.
- Une planification déficiente des travaux de soudage en espace clos expose le travailleur à un danger d'explosion.

**5.2 Autres documents émis lors de l'enquête**

À la suite de l'accident, une décision a été rendue suspendant tous travaux en espace clos. Le rapport d'intervention RAP9093107 émis le 30 mai 2016 fait état de cette décision. Des rapports complémentaires avec des correctifs ont aussi été apportés pour demander des modifications pour les opérations de travail à chaud autres que ceux en espace clos.

**5.3 Suivi à l'enquête**

La CNESST informera l'Association Québécoise des Indépendants du Pétrole (AQUIP) ainsi que les entreprises effectuant les mêmes activités des conclusions de l'enquête.

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, de l'Enseignement supérieur, à titre informatif et à des fins pédagogiques, le rapport d'enquête dans les établissements de formation qui offrent les programmes d'études Soudage-montage.

**ANNEXE A****ACCIDENTÉ**

**Nom, prénom** : [ E ]

Sexe : masculin

Âge : [ ... ]

Fonction habituelle : [ ... ]

Fonction lors de l'accident : soudeur

Expérience dans cette fonction : [ ... ]

Ancienneté chez l'employeur : [ ... ]

Syndicat : [ ... ]

**ANNEXE B**

Rapport d'analyse de SGS Canada Inc.



Date : 14-Jun-2016

## Certificat d'Analyse: MT16-01339.001

CNESST  
DIRECTION RÉGIONALE DE LA MAURICIE ET  
DU CENTRE-DU-QUÉBEC  
1055, BOULEVARD DES FORGES, BUREAU 200  
TROIS-RIVIÈRES, QUÉBEC, G8Z 4J9  
ATT : VINCENT OUELLETTE  
TEL. : 819-372-3400 POSTE 3250

Le présent rapport est émis par la Société conformément à ses Conditions Générales de Service (disponibles sur demande) et accessibles sur [www.sgs.com](http://www.sgs.com). Nous attirons votre attention sur les clauses de limitation de responsabilité, d'indemnisation et de compétence judiciaire figurant dans nos Conditions Générales de Service. Tout AUTRE détenteur de ce rapport est informé que son contenu reflète uniquement les faits tels qu'ils sont relevés par la Société au moment de son intervention UNIQUEMENT et le cas échéant dans la limite des instructions reçues par SON Client. La SOCIÉTÉ n'est tenue responsable qu'envers son Client. Ce rapport ne saurait excuser toute partie à une transaction d'exercer pleinement tous ses droits et remplir toutes ses obligations légales et contractuelles. Toute modification ou reproduction non autorisée ainsi que toute falsification du contenu de ce rapport ou de son apparence est strictement interdite et fera l'objet de poursuites judiciaires dans l'entière

AVERTISSEMENT : Les échantillon(s) auxquels se rapportent les constatations reportées ici (les « Constatations ») a / ont été(s) prélevé(s) par le Client ou par un tiers agissant pour le Client. Les Constatations ne constituent aucune garantie de représentativité de l'échantillon par rapport à une marchandise quelconque et ne se rapportent qu'à l'échantillon concerné. La Société n'a aucune responsabilité s'agissant de la marchandise d'origine ou de la source dont les échantillon(s) est/sont déclaré(s) provenir.

802-2899					
LIEU :	NA	DESCRIPTION DU PRODUIT:		Diesel	
ORIGINE :	Tel que reçu	PRÉLEVÉ PAR :		Client	
TYPE :	Tel que soumis	REÇU :		08-Jun-2016	
PRÉLEVÉ :	--	COMPLÉTÉ :		10-Jun-2016	
ANALYSÉ :	10-Jun-2016				
PROPRIÉTÉ	MÉTHODE	RÉSULTATS	UNITÉS	MIN.	MAX.
Masse Volumique à 15°C	ASTM D4052	0.8350	kg/L	--	--
Point d'Eclair Pensky-Martens	ASTM D93 (Procédure A)	53.0	°C	40	--
<b>** Fin des résultats analytiques **</b>					

SIGNATAIRE AUTORISÉ

Annie Côté  
Laboratory Supervisor

1406201609190000013142

SGS Canada Inc.

Oil, Gas & Chemicals Services 11000A Sherbrooke St East Unit 33 Montreal-East QC H1B 5W1 t +1 (514) 645-8754

Page 1 de 1

OGC-En\_report-2014-08-12\_v59i

Member of the SGS Group ( Société Générale de Surveillance )

**ANNEXE C**

## Expertise



**RÉSEAU D'EXPERTISE**  
EN PRÉVENTION-INSPECTION

# RAPPORT D'EXPERTISE

*Estimation de la température atteinte par la paroi du réservoir adjacente à la paroi où s'effectue le soudage et détermination des conditions ayant mené aux détonations du réservoir*

Rapport présenté à

*M. Mario Gosselin, DSS , Direction régionale de la Mauricie et du Centre-du-Québec*

*Vincent Ouellette, ing., inspecteur, Direction régionale de la Mauricie et du Centre-du-Québec*

*Marie-Claude Latulippe, inspectrice, Direction régionale de la Mauricie et du Centre-du-Québec*

Préparé par

*Sèdoté Ghislain Hounkpe, ing.*  
Conseiller expert en Prévention-Inspection à la DGPI

*21 juillet 2016*

# Table des matières

---

## SOMMAIRE

1. Mise en contexte
2. Description du mandat
3. Informations recueillies
4. Analyse
5. Conclusion
6. Références

## SOMMAIRE

Le 30 mai 2016 vers 9 h 45, un travailleur procédait au soudage (procédé MIG) sur la paroi interne d'un des réservoirs d'un camion-citerne quand il y a eu une première détonation, suivie d'une deuxième accompagnée d'un incendie.

Pour déterminer les causes de cette double détonation, l'équipe d'inspecteurs désignée par la direction régionale de la Mauricie et du Centre-du-Québec demande à savoir :

1. si la température d'auto-ignition du diesel est atteinte dans le réservoir adjacent à celui où s'effectuait le soudage;
2. si les vapeurs de diesel dans le réservoir adjacent à celui où s'effectuait le soudage se situaient entre la limite inférieure d'explosivité et la limite supérieure d'explosivité;
3. qu'est-ce qui explique les deux détonations survenues.

Une estimation de la température atteinte par la paroi du réservoir adjacent à celui où s'effectuait le soudage a permis de constater qu'elle dépasse 400 °C, donc dépasse la température d'auto-ignition du diesel.

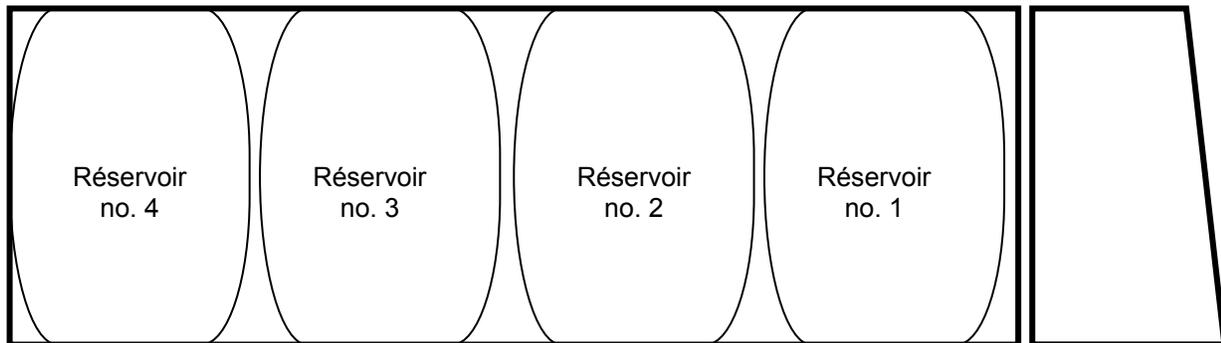
Avant les travaux de soudage, le réservoir n° 4 et l'entre-deux des réservoirs n° 3 et n° 4 ont été lavés à la vapeur d'eau. Ce lavage a permis d'augmenter la température du diesel contenu dans le réservoir n° 3 au-delà du point d'éclair et favoriser la présence de vapeur de diesel en quantité suffisante pour déclencher un incendie.

L'espace confiné du réservoir n° 3 a fait en sorte que la première détonation a pris fin aussitôt que l'oxygène contenu dans cet espace est complètement consommé par la combustion du diesel. Les vapeurs de diesel chauffées se retrouvent ensuite dans le réservoir n° 4 et provoquent une deuxième détonation.

## 1. Mise en contexte

Le 30 mai 2016 vers 9 h 45, un travailleur procédait au soudage (procédé MIG) sur la paroi interne d'un des réservoirs d'un camion-citerne quand il y a eu une première détonation, suivie d'une deuxième accompagnée d'un incendie.

Le camion-citerne est constitué de 4 réservoirs qui se situent à l'intérieur de la citerne. Le soudage avait lieu sur le dernier réservoir identifié comme étant le réservoir n° 4.



Le réservoir n° 4 était vide tandis que le réservoir n° 3, adjacent à ce dernier, contenait du diesel (1 266 litres de diesel clair sur une capacité de 7 000 litres). Avant le soudage, le travailleur a procédé au nettoyage du réservoir n° 4 et l'espace entre les réservoirs n° 3 et n° 4 aux vapeurs d'eau.

## 2. Description du mandat

- 1- Déterminer si la température d'auto-ignition du diesel est atteinte dans le réservoir n° 3.
- 2- Déterminer si la vapeur de diesel contenue dans le réservoir n° 3 se situait entre la limite inférieure d'explosivité (LIE) et la limite supérieure d'explosivité (LSE).
- 3- Expliquer pourquoi il y a eu deux détonations.

## 3. Informations recueillies

Le soudage se faisait dans le réservoir n° 4 sur la paroi qui se situe du côté du réservoir n° 3.

Il s'agit du soudage sur une plaque en aluminium. L'épaisseur des parois est estimée à environ  $\frac{1}{4}$  de pouce.

La distance entre les parois de l'entre-deux environ  $\frac{1}{4}$  pouce au niveau de l'endroit où se faisait le soudage.

Avant les travaux de soudage, le réservoir n° 4 et l'espace entre le réservoir n° 3 et le réservoir n° 4 (l'entre-deux) sont nettoyés à la vapeur d'eau. L'entre-deux a été nettoyé à

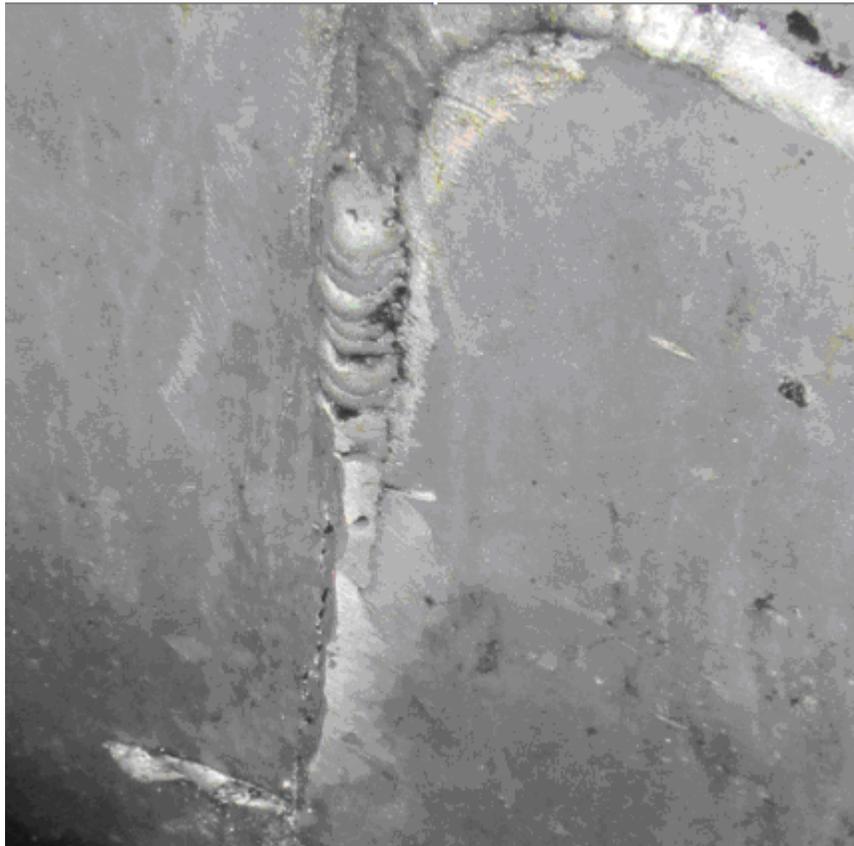
la vapeur d'eau pendant environ 20 minutes. Le réservoir n° 4 a été nettoyé à la vapeur d'eau pendant environ 20 minutes. La température de la vapeur est estimée à 110 °C.

Le travailleur a chauffé l'aluminium autour de la soudure avec une torche au propane. La température idéale de chauffage pour apprêter l'aluminium avant le soudage est de 110 °C.

Le travailleur avait soudé environ 3-4 pouces de la soudure cassée avec un fusil de type MIG.

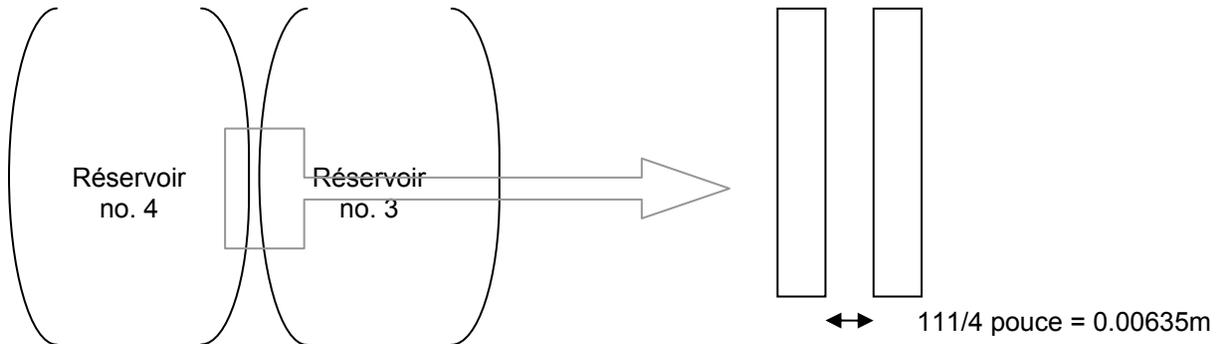
L'évent sur le réservoir permet l'équilibrage des pressions, car il est ouvert sur le côté à l'air libre.

Le fil de soudage utilisé est le MaxalMig 5356 fabriqué par la compagnie Hobart Filler Metals. Selon les données techniques, ce fil fond à la température de 1 060 °F à 1 175 °F, soit de 571 °C à 635 °C.



#### 4. Analyse

##### 1- Détermination de la température atteinte dans la paroi interne du réservoir n° 3 vis-à-vis de la partie soudée dans le réservoir n° 4



Vu que le fil fond entre 1 060 °F (571,1 °C) et 1 175 °F (635 °C), nous allons alors considérer que le métal d'apport se dépose sous forme liquide à environ 571 °C.

On peut soupçonner la présence de la convection naturelle entre les deux plaques aussitôt que la température de la paroi du réservoir n° 4 va augmenter. Pour voir l'ampleur de cette convection naturelle, on se servira de formules empiriques. Il faut évaluer le nombre de Grashof qui est un nombre sans dimension qui permet de caractériser la convection libre dans un fluide.

$$Gr_{\delta} = \frac{g\beta(T_1 - T_2)\delta^3}{\nu^2}$$

où Gr est le nombre de Grashof

g = accélération gravitationnelle en m/s<sup>2</sup>

$\beta$  = coefficient de dilatation qui est l'inverse de la température du film (la moyenne des températures à la surface de la plaque chauffée et la température environnante) en °K<sup>-1</sup>

T = température en °K

$\nu$  = la viscosité du fluide en m<sup>2</sup>/s

$\delta$  = écart entre les plaques, soit 0.00635 m

Pour le chauffage, la température du film est : la moyenne de la température ambiante 20 °C et de la température de chauffage 110 °C, soit 65 °C ou 338 K

Les propriétés de l'air à cette température sont :

$$\nu = 20.76 \cdot 10^{-6}$$

$$Gr_{\delta} = \frac{9.8(110 - 20) \cdot 0.00635^3}{338(20.76 \cdot 10^{-6})^2} = 1550$$

Le nombre de Prandtl est un nombre sans dimension qui représente le rapport entre la diffusivité de quantité de mouvement  $\nu$  et la diffusivité thermique.

Le nombre de Prandtl  $Pr$  à la température du film vaut 0.697

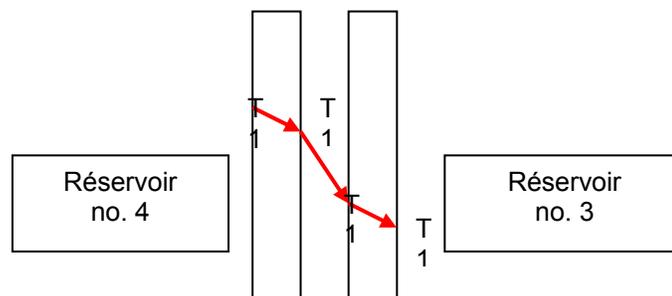
Le produit  $Gr \cdot Pr$  permet de caractériser la nature de la convection entre deux plaques.

Le produit  $Gr \cdot Pr$  vaut 1080.

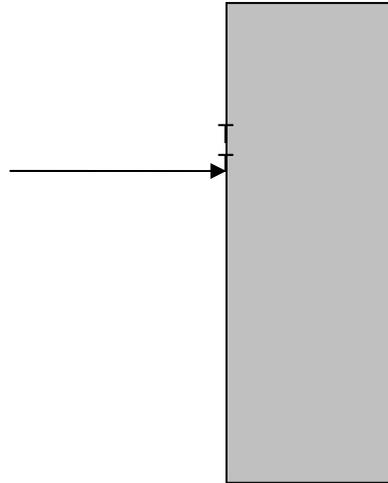
Ce produit étant plus faible que 2000, c'est la conduction qui est le mode de transfert de chaleur prédominant. (Table 7-3, Heat transfer, Ninth edition, J. P. Holman)

#### 4.1 Chauffage de la plaque

La plaque était chauffée à 110 °C avant l'opération de soudage. À quoi s'élève la température de la paroi du réservoir n° 3 vis-à-vis de la partie chauffée?



Un flux constant d'énergie est apporté à la surface à souder dans le réservoir n° 4 afin d'amener sa température autour de 110 °C



$$q_0 = -kA \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)_{x=0}$$

$q_0$  = quantité d'énergie fournie à la paroi en joules

$k$  = conductivité thermique en W/m.°C

$T$  = température en K

$$q = -kA \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)$$

$$\left( \frac{\partial T}{\partial x} \right) = \frac{T_i - T_0}{\sqrt{\pi\alpha t}} e^{-x^2/4\alpha t}$$

$\alpha$  = diffusivité thermique en m<sup>2</sup>/s

$x$  = distance qui sépare le point où est évalué la température de la surface chauffée. Sur la surface chauffée,  $x = 0$ .

À la paroi externe de la plaque chauffée,  $x = \delta = 1/4$  de pouce = 0.00635 m

$$\text{Pour } x = 0, q_0 = -kA \frac{T_i - T_0}{\sqrt{\pi\alpha t}} \text{ donc } q_0/A = -k \frac{T_i - T_0}{\sqrt{\pi\alpha t}}$$

Les valeurs sont tirées de la table A-2 de Heat transfer, Ninth edition, J. P. Holman

$k_{Al} = 204$  W/m.°C

$T_0 = 110$  °C

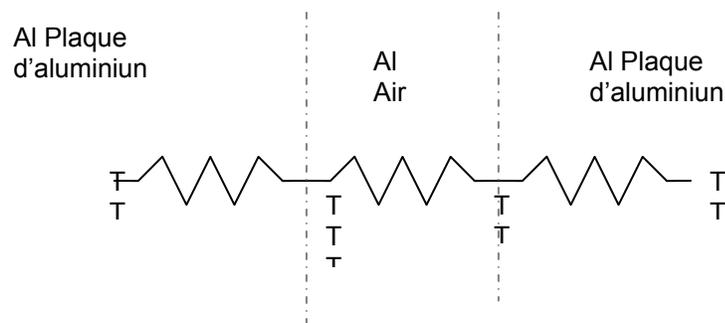
$$T_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\alpha = 8.4 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\frac{q_0}{A} = -204 \frac{20 - 110}{\sqrt{\pi \cdot 8.4 \cdot 10^{-5} \cdot t}} = \frac{1.13 \cdot 10^5}{\sqrt{t}}$$

On suppose que le régime permanent est atteint après 3 minutes de chauffage.

$$\frac{q_0}{A} = \frac{1.13 \cdot 10^5}{\sqrt{180}} = 84241 \text{ j/m}^2$$



$$\frac{q_0}{A} = -k \frac{\Delta T}{\Delta x} \Rightarrow \Delta T = -\left(\frac{q_0}{A}\right) \cdot \frac{\Delta x}{k}$$

Couche d'aluminium du réservoir no. 4:

$$k_{Al} = 204 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$$

$$\Delta x = \delta = \frac{1}{4} \text{ pouce, soit } 0.00635 \text{ m}$$

$$\Delta T = -2.62$$

$$T_1 - T_0 = -2.62 \text{ donc } T_1 = \mathbf{107.38 \text{ }^\circ\text{C}}$$

Couche d'air :

Les valeurs sont tirées de la table A-5 de Heat transfer, Ninth edition, J. P. Holman

$$k_{air} = 0.02624 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$$

$$\Delta x = \delta = \frac{1}{4} \text{ pouce, soit } 0.00635 \text{ m}$$

$$\alpha = 0.22 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$q_0/A = -0.02624 \frac{20 - 107.38}{\sqrt{\pi * 0.22 * 10^{-4} * 180}} = 20.556 \text{ j / m}^2$$

$$q_0/A = -k \frac{\Delta T}{\Delta x} \Rightarrow \Delta T = -\left(q_0/A\right) * \frac{\Delta x}{k}$$

$$\Delta T = -4.97$$

$$T_2 - T_1 = -4.97 \text{ donc } T_2 = \mathbf{102.41 \text{ }^\circ\text{C}}$$

Couche d'aluminium du réservoir no. 3 :

$$k = 204$$

$$\Delta x = \delta = \frac{1}{4} \text{ pouce, soit } 0.00635 \text{ m}$$

$$\alpha = 8.4 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$q_0/A = -204 \frac{20 - 102.41}{\sqrt{\pi * 8.4 * 10^{-5} * 180}} = 77136 \text{ j / m}^2$$

$$q_0/A = -k \frac{\Delta T}{\Delta x} \Rightarrow \Delta T = -\left(q_0/A\right) * \frac{\Delta x}{k}$$

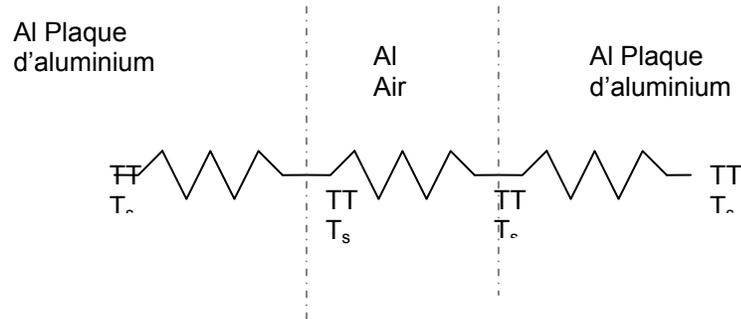
$$\Delta T = -2.04$$

$$T_3 - T_2 = -2.04 \text{ donc } T_3 = \mathbf{100 \text{ }^\circ\text{C}}$$

## **SOUDAGE**

Le métal d'apport est fondu à 571°C et déposé sur la surface de la paroi à souder.  
Le métal d'apport se retrouve alors instantanément à la surface de la couche d'air.

$$T_{s0} = 571^{\circ}\text{C}$$



$T_i$  = température de la surface avant le soudage =  $110^{\circ}\text{C}$

$T_s$  = Température atteinte au soudage à la surface

Le profil de la température répond à l'équation suivante :

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t}$$

qui a pour solution :

$$\frac{T(x,t) - T_0}{T_i - T_0} = \text{erf} \frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}$$

où erf est la fonction d'erreur de Gauss (la table A-5 de la référence "Heat transfer, Ninth edition, J. P. Holman" donne les valeurs de la fonction erf)

$T_i = T(x,0)$  température initiale à n'importe quelle position dans la plaque

$T_0 = T(0,t)$  température à la surface de la plaque

Température sur la paroi externe du réservoir n° 4 en supposant que la torche fasse un séjour de 10 secondes au point d'application du soudage

À  $t = 0$ ,  $T = T_i = 110^{\circ}\text{C}$  (métal d'apport)

À  $x = 0$ ,  $T = T_0 = 571^{\circ}\text{C}$  (Paroi soudée)

$x$  = l'épaisseur du métal d'apport = 1/4 de pouce = 0.00635 m

$\alpha = 8.42 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

$$\frac{T(x,t) - T_0}{T_i - T_0} = \text{erf} \frac{x}{2\sqrt{\alpha t}} = \text{erf} \left( \frac{0.00635}{2\sqrt{8.4 \cdot 10^{-5} \cdot 10}} \right) = \text{erf} (0.109) = 0.12$$

$$\frac{T(x,t) - T_0}{T_i - T_0} = 0.12 \Rightarrow T_{s1} = 515^\circ C$$

La couche d'air est donc exposée à une température de 515 °C.

**T<sub>s1</sub> = 515 °C.**

$$\text{La température du film est : } T_{f1} = \frac{T_1 + T_{s1}}{2} = 311^\circ C = 584 K$$

Les propriétés de l'air à cette température sont :

$$\alpha = 0.75 * 10^{-4}$$

Température sur la paroi externe du réservoir n° 3 10 secondes après l'atteinte de la température T<sub>s1</sub>

$$\text{À } t = 0, T = T_i = T_{s1} = 515^\circ C$$

$$\text{À } t = 0, T = T_0 = 107^\circ C$$

$$x = \text{l'épaisseur de la couche d'air} = 1/4 \text{ de pouce} = 0.00635 \text{ m}$$

$$\alpha = 0.75 * 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\frac{T(x,t) - T_0}{T_i - T_0} = \text{erf} \frac{x}{2\sqrt{\alpha t}} = \text{erf} \left( \frac{0.00635}{2\sqrt{0.75 * 10^{-4} * 10}} \right) = \text{erf} (0.11) = 0.12$$

$$\frac{T(x,t) - T_0}{T_i - T_0} = 0.12 \Rightarrow T_{s2} = 466^\circ C$$

**T<sub>s2</sub> = 466 °C.**

Température sur la paroi interne du réservoir n° 3, 10 secondes après l'atteinte de la température Ts2

$$\text{À } t = 0, T = T_i = T_{s2} = 466^\circ C$$

$$\text{À } t = 0, T = T_0 = 102^\circ C$$

$$x = \text{l'épaisseur de la paroi} = 1/4 \text{ de pouce} = 0.00635 \text{ m}$$

$$\text{La température du film est : } T_{f2} = \frac{T_2 + T_{s2}}{2} = 284^\circ C = 557 K$$

Les propriétés de l'air à cette température sont :

$$\alpha = 0.65 * 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\frac{T(x,t) - T_0}{T_i - T_0} = \text{erf} \frac{x}{2\sqrt{\alpha t}} = \text{erf} \left( \frac{0.00635}{2\sqrt{0.65 * 10^{-4} * 10}} \right) = \text{erf} (0.12) = 0.134$$

$$\frac{T(x,t) - T_0}{T_i - T_0} = 0.134 \Rightarrow T_{s3} = 417^\circ \text{C}$$

$$\mathbf{T_{s3} = 417^\circ \text{C.}}$$

Donc, lors du soudage d'une partie de la paroi du réservoir n° 4, la paroi du réservoir qui se trouve vis-à-vis de la partie soudée voit sa température montée à au moins 417 °C. Ce qui dépasse la température d'auto-ignition du diesel qui se situe autour de 177 °C.

## **2- Limite inférieure d'explosivité (LIE) - limite supérieure d'explosivité des vapeurs de diesel (LSE)**

Le réservoir n° 4 ainsi que l'espace entre les réservoirs n° 3 et n° 4 sont nettoyés à la vapeur d'eau pouvant se situer autour de 110 °C. Il y a donc eu une élévation de température du diesel que contient le réservoir n° 3. Le point éclair d'un liquide combustible correspond à la température la plus basse à laquelle il émet suffisamment de vapeurs pour former, avec l'air ambiant, un mélange gazeux qui s'enflamme sous l'effet d'une source d'énergie, mais pas suffisamment pour que la combustion s'entretienne d'elle-même. Le point éclair du diesel que contient le réservoir est de 40 degrés et le nettoyage du réservoir n° 4 et l'entre-deux des réservoirs n° 3 et n° 4 a permis d'atteindre et de dépasser cette température pour le diesel liquide. Du moins, une partie du diesel liquide se situant proche des parois nettoyées est portée à des températures pouvant atteindre 100 °C. La concentration des vapeurs de diesel contenues dans le réservoir n° 3 dépassait donc la LIE. La température effectivement atteinte par le diesel liquide n'étant pas connue, il n'est pas possible d'estimer la concentration de vapeurs de diesel pour savoir si la LSE est atteinte.

### **3- Pourquoi deux détonations**

Puisque lors du soudage de la paroi du réservoir n° 4, la paroi du réservoir n° 3 se trouve chauffée à une température qui dépasse 400 °C, la température d'auto-ignition du diesel est atteinte. Puisque le mélange air-vapeur de diesel dans le réservoir n° 3 dispose d'une quantité limitée d'oxygène, la première détonation s'est produite et s'est estompée à la fin de l'oxygène disponible. Cette première détonation a défoncé les vieilles soudures réalisées sur les parois des réservoirs n° 4 et n° 3 à l'endroit où s'effectue le soudage puisque ces parois sont suffisamment chauffées et présentent moins de résistance physique. Dans le réservoir n° 4, les vapeurs chaudes de diesel se retrouvent dans un compartiment rempli d'oxygène. Les conditions d'une détonation sont à nouveau réunies, ce qui provoque une deuxième détonation.

### **5. Conclusion**

La configuration des réservoirs est telle que les réservoirs n° 3 et n° 4 sont presque en contact à l'endroit où s'effectuait le soudage dans le réservoir n° 4. Cette situation fait en sorte que lors du soudage, la température de paroi du réservoir n° 3 vis-à-vis de la partie où s'effectuait le soudage monte à plus de 400 °C. Donc, atteint et dépasse la température d'auto-ignition du diesel.

Le nettoyage du réservoir n° 4 et l'entre-deux des réservoirs n° 3 et n° 4 a permis de faire monter la température du diesel contenu dans le réservoir n° 3 au-delà du point éclair. Il y a donc eu des vapeurs de diesel en quantité suffisante pour atteindre et dépasser la LIE.

Lorsque toutes les conditions se sont réunies pour causer la détonation dans le réservoir n° 3, la quantité d'oxygène présente dans le réservoir a limité la réaction de combustion du diesel. Cette première détonation a tout de même défoncé les parois des réservoirs n° 3 et n° 4 et a permis aux vapeurs chaudes de diesel de se retrouver dans un nouvel environnement riche en oxygène. Ce qui a provoqué une deuxième détonation.

### **6. Références**

Heat transfer, Ninth edition, J. P. Holman

**ANNEXE D****Règlements****SECTION XXVI****TRAVAIL DANS UN ESPACE CLOS**

**297. Définitions:** Dans la présente section, on entend par:

«personne qualifiée»: une personne qui, en raison de ses connaissances, de sa formation ou de son expérience, est en mesure d'identifier, d'évaluer et de contrôler les dangers relatifs à un espace clos;

«travail à chaud»: tout travail qui exige l'emploi d'une flamme ou qui peut produire une source d'inflammation.

D. 885-2001, a. 297.

**298. Travailleurs habilités:** Seuls les travailleurs ayant les connaissances, la formation ou l'expérience requises pour effectuer un travail dans un espace clos sont habilités à y effectuer un travail.

D. 885-2001, a. 298.

**299. Interdiction d'entrer:** Il est interdit à toute personne qui n'est pas affectée à effectuer un travail ou un sauvetage dans un espace clos, d'y entrer.

D. 885-2001, a. 299.

**300. Cueillette de renseignements préalable à l'exécution d'un travail:** Avant que ne soit entrepris un travail dans un espace clos, les renseignements suivants doivent être disponibles, par écrit, sur les lieux mêmes du travail:

1° ceux concernant les dangers spécifiques à l'espace clos et qui sont relatifs:

*a)* à l'atmosphère interne y prévalant, soit la concentration de l'oxygène, des gaz et des vapeurs inflammables, des poussières combustibles présentant un danger de feu ou d'explosion, ainsi que des catégories de contaminants généralement susceptibles d'être présents dans cet espace clos ou aux environs de celui-ci;

*b)* à l'insuffisance de ventilation naturelle ou mécanique;

*c)* aux matériaux qui y sont présents et qui peuvent causer l'enlèvement, l'ensevelissement ou la noyade du travailleur, comme du sable, du grain ou un liquide;

- d)* à sa configuration intérieure;
  - e)* aux énergies, comme l'électricité, les pièces mécaniques en mouvement, les contraintes thermiques, le bruit et l'énergie hydraulique;
  - f)* aux sources d'inflammation telles que les flammes nues, l'éclairage, le soudage et le coupage, l'électricité statique ou les étincelles;
  - g)* à toute autre circonstance particulière, telle la présence de vermine, de rongeurs ou d'insectes;
- 2° les mesures de prévention à prendre pour protéger la santé et assurer la sécurité et l'intégrité physique des travailleurs, et plus particulièrement celles concernant:
- a)* les méthodes et les techniques sécuritaires pour accomplir le travail;
  - b)* l'équipement de travail approprié et nécessaire pour accomplir le travail;
  - c)* les moyens et les équipements de protection individuels ou collectifs que doit utiliser le travailleur à l'occasion de son travail;
  - d)* les procédures et les équipements de sauvetage prévus en vertu de l'article 309.

Les renseignements visés au paragraphe 1 du premier alinéa doivent être recueillis par une personne qualifiée.

Les mesures de prévention visées au paragraphe 2 du premier alinéa doivent être établies par une personne qualifiée et mises en application.

D. 885-2001, a. 300.

**301. Information des travailleurs préalable à l'exécution d'un travail:** Les renseignements visés aux paragraphes 1 et 2 du premier alinéa de l'article 300 doivent être communiqués et expliqués à tout travailleur, avant qu'il ne pénètre dans l'espace clos, par une personne qui est en mesure de l'informer adéquatement sur la façon d'y accomplir son travail de façon sécuritaire.

D. 885-2001, a. 301.

**302. Ventilation:** Sauf dans le cas où la sécurité des travailleurs est assurée conformément au paragraphe 3 de l'article 303, aucun travailleur ne peut pénétrer ou être présent dans un espace clos à moins que celui-ci ne soit ventilé par des moyens naturels ou par des moyens mécaniques de manière à ce qu'y soient maintenues les conditions atmosphériques suivantes:

- 1° la concentration d'oxygène doit être supérieure ou égale à 19,5% et inférieure ou égale à 23%;

2° la concentration de gaz ou de vapeurs inflammables doit être inférieure ou égale à 10% de la limite inférieure d'explosion;

3° la concentration d'un ou plusieurs des contaminants visés au sous-paragraphe *a* du paragraphe 1 du premier alinéa de l'article 300 ne doit pas excéder les normes prévues à l'annexe I, pour ces contaminants.

S'il se révèle impossible, en ventilant l'espace clos, d'y maintenir une atmosphère interne conforme aux normes prévues aux paragraphes 1 et 3 du premier alinéa, un travailleur ne peut pénétrer ou être présent dans cet espace clos que s'il porte l'équipement de protection respiratoire prévu à l'article 45 et que si l'atmosphère interne de cet espace clos est conforme aux normes prévues au paragraphe 2 du premier alinéa.

D. 885-2001, a. 302.

**304. Travail à chaud:** Dans le cas où un travail à chaud est exécuté dans l'espace clos, un travailleur ne peut y pénétrer ou y être présent que si les conditions suivantes sont respectées:

1° celles prévues aux articles 302 et 303;

2° un relevé continu de la concentration des gaz et des vapeurs inflammables s'y trouvant y est effectué au moyen d'un instrument à lecture directe et muni d'une alarme.

D. 885-2001, a. 304.

**306. Méthode et fréquence des relevés:** Des relevés de la concentration de l'oxygène dans l'espace clos ainsi que des gaz et des vapeurs inflammables et des contaminants mesurables par lecture directe et susceptibles d'être présents dans l'espace clos ou aux environs de celui-ci doivent être effectués:

1° avant que les travailleurs ne pénètrent dans l'espace clos et, par la suite, de façon continue ou périodique suivant l'évaluation du danger faite par une personne qualifiée;

2° si des circonstances viennent modifier l'atmosphère interne de l'espace clos et entraînent une évacuation des travailleurs en raison du fait que la qualité de l'air n'est plus conforme aux normes prévues aux paragraphes 1 à 3 du premier alinéa de l'article 302;

3° si les travailleurs quittent l'espace clos et le lieu de travail, même momentanément, à moins que ces relevés ne soient effectués de façon continue.

Les relevés doivent être effectués de manière à obtenir une précision équivalente à celle obtenue en suivant les méthodes décrites à l'article 44 ou, lorsque ces méthodes ne peuvent être appliquées, en suivant une autre méthode reconnue.

D. 885-2001, a. 306; D. 1120-2006, a. 7.

**307. Registre des relevés:** Les résultats des relevés effectués en vertu de l'article 306 doivent être inscrits par l'employeur dans un registre, sur les lieux mêmes du travail, en y identifiant l'espace clos visé.

Toutefois, dans le cas où les relevés sont effectués au moyen d'instruments à lecture continue et dotés d'alarmes se déclenchant lorsque la qualité de l'air n'est pas conforme aux normes prévues aux paragraphes 1 à 3 du premier alinéa de l'article 302, les relevés ne doivent être inscrits au registre que si l'alarme est déclenchée.

Seules les inscriptions apparaissant au registre qui ne sont pas conformes aux normes prévues aux paragraphes 1 à 3 du premier alinéa de l'article 302 doivent être conservées pendant une période d'au moins 5 ans.

D. 885-2001, a. 307.

**308. Surveillance:** Lorsqu'un travailleur est présent dans un espace clos, une autre personne ayant pour fonction d'assurer la surveillance du travailleur et ayant les habiletés et les connaissances pour ce faire doit demeurer en contact visuel, auditif ou par tout autre moyen avec le travailleur, afin de déclencher, si nécessaire, les procédures de sauvetage rapidement.

La personne assurant la surveillance du travailleur doit être à l'extérieur de l'espace clos.

D. 885-2001, a. 308.

**309. Procédure de sauvetage:** Une procédure de sauvetage qui permet de porter secours rapidement à tout travailleur effectuant un travail dans un espace clos doit être élaborée et éprouvée.

Une telle procédure doit être appliquée dès que la situation le requiert.

Cette procédure doit prévoir les équipements de sauvetage nécessaires. Elle peut aussi notamment prévoir une équipe de sauveteurs, un plan d'évacuation, des appareils d'alarme et de communications, des équipements de protection individuels, des harnais de sécurité et des cordes d'assurance, une trousse et des appareils de premiers secours ainsi que des équipements de récupération.

D. 885-2001, a. 309.

**310. Accès sans obstruction:** Les moyens ou les équipements de protection individuels ou collectifs utilisés par les travailleurs ne doivent pas nuire à ceux-ci lors de leur entrée dans l'espace clos ou de leur sortie.

D. 885-2001, a. 310.

**SECTION XXVII  
SOUDAGE ET COUPAGE**

**313. Interdiction:** Les opérations de soudage et de coupage sont interdites à proximité de matériaux combustibles ou dans des lieux contenant soit des gaz ou des vapeurs inflammables, soit des poussières combustibles présentant un danger de feu ou d'explosion, à moins que des mesures de sécurité ne soient prises pour prévenir tout risque d'incendie ou d'explosion.

D. 885-2001, a. 313.

**317. Écrans de protection:** Des écrans de protection fixes ou amovibles doivent être installés aux endroits où des travaux de soudage ou de coupage sont normalement effectués et où des personnes, autres que les soudeurs, travaillent ou circulent.

D. 885-2001, a. 317.

**318. Travaux sur un récipient:** Avant d'effectuer des travaux de soudage, de coupage ou de chauffage sur un récipient, tel un réservoir, il faut s'assurer que ce récipient n'a pas déjà contenu des matières combustibles ou susceptibles de dégager des vapeurs toxiques ou inflammables sous l'effet de la chaleur.

Si le récipient a déjà contenu de telles matières, aucun travail de soudage, de coupage ou de chauffage ne peut être effectué sur le récipient avant que celui-ci ne soit bien nettoyé afin d'y éliminer toute matière combustible ou susceptible de dégager des vapeurs toxiques ou inflammables sous l'effet de la chaleur.

Si, après avoir nettoyé le récipient et fait un relevé de la concentration des vapeurs et gaz inflammables, il subsiste des risques d'explosion, les travaux de soudage, de coupage ou de chauffage ne peuvent être effectués que si l'une ou l'autre des conditions suivantes est satisfaite:

1° le récipient est rempli avec de l'eau jusqu'à quelques centimètres du point de soudage, de coupage ou de chauffage et l'espace restant est ventilé pour permettre l'évacuation de l'air chaud;

2° le récipient est purgé avec des gaz inertes.

Les canalisations et les raccords doivent être débranchés, puis obturés afin d'y éliminer tout déversement de matière combustible ou susceptible de dégager des vapeurs toxiques ou inflammables sous l'effet de la chaleur.

D. 885-2001, a. 318.

**ANNEXE E**

## Liste des témoins et des autres personnes rencontrées

M. [ **A** ], [ ... ]M. [ **B** ], [ ... ]M. [ **G** ], [ **A** ]