



Résumé de recherche – Évaluation du rendement de fin de vie utile et des méthodes de requalification des bouteilles à gaz TC-3CCM

Transport des marchandises dangereuses | Division de la recherche scientifique

RÉSUMÉ

La présente étude a permis de déterminer que les bouteilles à gaz TC-3CCM dont la durée de vie utile était de 15 ans ou qui s'en approchaient possédaient :

- une résistance à l'éclatement résiduelle plus grande que celle qui était requise au moment de la fabrication (figure 1);
- une durée de vie résiduelle comparable à 15 années de service supplémentaires;
- une résistance acceptable aux défauts et aux chocs;
- une durée de vie résiduelle relativement aux épreuves cycliques environnementales à haute et basse température.

L'étude a également permis de comparer l'efficacité de trois (3) méthodes de requalification (essais hydrostatiques, par émissions acoustiques modales (EAM) et par émissions acoustiques (EA)) pour

l'inspection des bouteilles à gaz en matériaux composites de type 3.



Figure 1 – Épreuve d'éclatement

CONTEXTE

Les recherches portant sur la continuité de la durée de vie potentielle des bouteilles à gaz TC-3CCM (DOT-CFFC) utilisées par les premiers intervenants ont été lancées par la Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration (PHMSA) de l'US Department of Transportation (DOT) en 2014. Trois (3) études parallèles ont permis d'évaluer la force d'éclatement en fin de vie, la durée de vie ambiante, la tolérance aux déformations, la tolérance aux chocs, l'exposition environnementale et l'amélioration de la durée de vie en fatigue des chemises cylindriques des

bouteilles à gaz de type 3 (1) (2) (3). De plus, il a été validé que des essais par EAM étaient efficaces pour évaluer l'intégrité des bouteilles à gaz en matériaux composites et qu'ils possédaient au moins un degré équivalent de sécurité à titre de méthode requise par la réglementation. Des permis spéciaux ont été délivrés aux États-Unis pour la prolongation de la durée de vie selon des études réalisées récemment. À partir de 2020, environ 10 000 bouteilles à gaz ont bénéficié d'une durée de vie prolongée qui a été approuvée après une inspection EAM.

OBJECTIFS

Les objectifs visés par la présente étude portaient sur deux facettes :

- Évaluer le rendement physique des bouteilles à gaz qui avaient près de 15 ans de durée de vie utile (bouteilles jugées être « en fin de vie »);
- Évaluer l'efficacité de la méthode d'essai hydrostatique, de la méthode d'essai par EAM et de la méthode d'essai par EA.

MÉTHODES

Des bouteilles à gaz d'une durée de vie de 15 ans ou qui s'en approchent ont été données par des services canadiens d'incendie et regroupées par variantes de conception (c.-à-d. pression de service et débit d'air). Trois (3) variantes de conception s'appliquant aux modèles les plus susceptibles de présenter un liner défaillante, des dommages dus aux chocs, une dégradation du matériau composite et une disponibilité commerciale ont été choisies à prendre en compte dans le cadre de la présente étude. Le tableau 1 indique les méthodes d'essai physique, les normes régissant les protocoles d'essai et

les critères d'acceptabilité de chacune des méthodes d'essai physique.

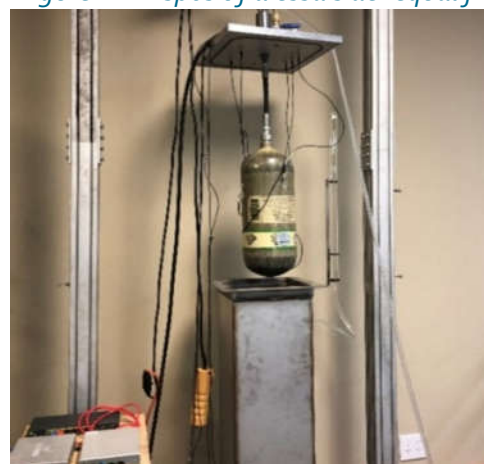
Tableau 1 – Méthodes d'essai physique

Épreuve physique	Norme applicable	Critères d'acceptabilité
Essai de rupture	CSA B339 §9.11.4	$P_B \geq 3.4 P_S$
Essai cyclique à température ambiante	ISO 11119.2 §8.5.5	$N = 7500$ cycles à P_{MAX}
Essai de détection de défauts	ISO 11119.2 §8.5.7	Réplicat de fatigue $N > 1000$ cycles à P_S sans fuite d'étanchéité $N = 5000$ cycles sans défaillance catastrophique
		Réplicat de rupture $P_B \geq 1.33 P_H$
Essai de chute	CSA B339 §9.13.8	Réplicat de fatigue $N > 1000$ cycles à P_S
		Réplicat de rupture $P_B \geq 3.06 P_S$
Épreuve cyclique environnementale à haute et basse température	CSA B339 §9.13.4	$N = 5000$ cycles à P_S à 60°C et $\geq 95\%$ HR $N = 5000$ cycles à P_S à -50°C $P_B \geq 3.06 P_S$

(P_B : pression d'éclatement; P_S : pression de service, P_{MAX} : pression maximale; P_H : pression d'essai; RH: humidité relative)

Outre le rendement physique de la bouteille, l'efficacité de trois (3) méthodes d'essai normalisées actuelles ou proposées a été évaluée simultanément pour déterminer l'intégrité des bouteilles à gaz (figure 2), soit les essais hydrostatiques (CSA B339 §24), les essais par EAM (DOT-SP 16320 et ISO/TS 19016) et par EA (ISO/CD 23876).

Figure 2 – Dispositif d'essais de requalification



RÉSULTATS

Les bouteilles à gaz des trois (3) variantes de conception qui se trouvent en fin de durée de vie utile de 15 ans possédaient une résistance à l'éclatement résiduelle plus grande que la résistance à l'éclatement requise au moment de la fabrication aux termes de la norme CSA B339 §9.13.5 pour les bouteilles à gaz TC-3CCM.

Les bouteilles à gaz des trois (3) variantes de conception qui se trouvent en fin de durée de vie utile de 15 ans ont complété quinze 15 années supplémentaires de service conformément à la norme ISO 11119.2 §8.5.5 sans présenter de défaillances catastrophiques ou de fuites d'étanchéité.

Les bouteilles à gaz des trois (3) variantes de conception qui se trouvent en fin de durée de vie utile de 15 ans ont excédé les exigences de performance au moment de la fabrication relativement à la résistance acceptable aux défauts exigée par la norme ISO 11119.2 §8.5.7.

Les bouteilles à gaz des trois (3) variantes de conception qui se trouvent en fin de durée de vie utile de 15 ans ont excédé les exigences de performance au moment de la fabrication relativement à la résistance acceptable aux chocs exigée par la norme CSA B339 §9.13.8.

Enfin, les bouteilles à gaz des trois (3) variantes de conception qui se trouvent en fin de durée de vie utile de 15 ans ont excédé les exigences de performance au moment de la fabrication relativement aux épreuves cycliques environnementales à haute et basse température précisé à la norme CSA B339 §9.13.4(b).

Le tableau 2 résume l'efficacité des trois (3) méthodes d'essais de requalification

envisagées. Un faux résultat positif signifie qu'un résultat indique qu'une bouteille à gaz échouerait à un essai de rupture même si elle est assez résistante pour satisfaire aux exigences de l'essai de rupture. En pareil cas, une bouteille peut être rejetée prématurément, occasionnant des frais plus élevés pour les utilisateurs. Un faux résultat négatif signifie qu'un résultat indique qu'une bouteille à gaz répondrait aux exigences de l'essai de rupture même si elle l'échouerait ensuite, et devrait donc être rejetée. Le deuxième cas est plus préoccupant, car un faux résultat négatif mène à une situation éventuellement dangereuse.

Tableau 2 – Résultats de la méthode de requalification

Méthode d'essai	Faux résultats positifs [%]	Faux résultats négatifs [%]
Essais hydrostatiques	1,3	3,8
EAM	3,8	1,3
EA (Ns = 500)	24,4	1,3

(Ns: nombre de signaux)

CONCLUSIONS

Toutes les bouteilles à gaz TC-3CCM mises à l'essai qui sont parvenues à la fin de leur durée de vie utile ou qui s'en approchent possédaient une résistance à l'éclatement résiduelle plus grande que celle qui était exigée au moment de la fabrication, un cycle de vie résiduel comparable à 15 années supplémentaires de durée de service, une tolérance acceptable aux défauts et aux chocs, et une durée de vie résiduelle relativement aux épreuves cycliques



environnementales à haute et basse température.

Dans le cadre de la présente étude, on a constaté que la méthode d'essai hydrostatique engendrait le taux le plus bas de faux résultats positifs (1,3 %), mais également le taux le plus élevé de faux résultats négatifs (3,8 %), car elle ne menait pas correctement au rejet de toute bouteille à gaz ayant un rendement structurel compromis. La méthode d'essai EAM menait à un taux plus élevé de faux résultats positifs que les essais hydrostatiques (3,8 %), mais à un taux plus bas de faux résultats négatifs (1,3 %). Des critères d'acceptation pour les essais par EA ont été personnalisés pour atteindre un taux de faux résultats négatifs de 1,3 % mais ont mené à un taux de faux résultats positifs de 24,4 %. Les tentatives pour réduire le nombre de faux résultats positifs pour la méthode par EA en augmentant les critères d'acceptation ont occasionné une augmentation du taux de faux résultats négatifs.

MESURES À VENIR

Ce projet ayant été mené à terme, la Division de la recherche scientifique ne prévoit pas mener d'autres travaux à cet égard.

RÉFÉRENCES

1. **Burks, Brian, Ziola, Steve et Gorman, Michael.** *Use of Modal Acoustic Emission (MAE) for life extension of civilian self-contained breathing apparatus (SCBA) DOT-CFFC cylinders.* Washington, D.C. : US DOT/PHMSA, 2014.

2. —. *Environmental Exposure Effects on DOT-CFFC Cylinders with Modal Acoustic Emission Examination.* Washington D.C. : US Department of Transportation, 2015.

3. —. *Fatigue life improvement of DOT-CFFC composite cylinders.* Washington D.C. : US Department of Transportation, 2015.

ISBN: 978-0-660-36818-4

Numéro de Catalogue: T86-66/2020E-PDF

REMERCIEMENTS

Tous nos remerciements pour les bouteilles à gaz qui nous ont été gracieusement offertes par le service d'incendies de Moncton, Uxbridge Fire Service, Whitby Fire and Emergency Services, les forces armées canadiennes et la base de soutien de la 5e Division du Canada, Firefighters Without Borders, Vaughan Fire and Rescue Service, le service des incendies d'Ottawa et le Service de protection contre l'incendie de la Ville de Québec.

Ces travaux ont été réalisés avec Hexagon Digital Wave, LLC, et la DGTMD souhaite remercier D^r Brian Burks et son équipe, soit Zack Prather, Tyler Perkins, Sal Passalacqua, Cody Estes et Shannon Austgen.

COMMUNIQUER AVEC :

Pour obtenir une copie du rapport, veuillez communiquer avec :

Division de la recherche scientifique du TMD
TC.TDGScientificResearch-RecherchescientifiqueTMD.TC@tc.gc.ca

MOTS CLÉS :

Prolongation de la durée de vie utile, bouteille à gaz en matériaux composite à pression, TC-3CCM, durée de vie prolongée, émissions acoustiques modales (EAM), émissions acoustiques (EA), essai hydrostatique,

