



Résumé de recherche – Évaluation des essais non destructifs par mesure du champ de courant alternatif (END ACFM) pour inspecter les wagons-citernes

*Direction générale du transport des marchandises dangereuses |
Division de la recherche scientifique*

RÉSUMÉ

Les techniques d'essais non destructifs (END) sont souvent utilisées pour détecter des défauts lors des inspections de routine de wagons-citernes. Les fabricants de wagons-citernes proposent l'utilisation d'une technique connue sous le nom de mesure du champ de courant alternatif (ACFM, ou Alternating Current Field Measurement) à des fins d'inspection. De plus, un certificat d'équivalence^[1] a été temporairement approuvé par la Direction générale du transport des marchandises dangereuses (DGTMD) de Transports Canada (TC) pour permettre l'inspection par ACFM afin de vérifier l'intégrité structurale, sous réserve de conditions supplémentaires, avant l'inclusion de cette technique dans le *Manual of Standards and Specifications for Tank Cars*, M-1002, Annexe T de l'Association of American Railroads (AAR). Le certificat d'équivalence fait mention du besoin immédiat d'acquérir une compréhension de l'ACFM en fonction d'une évaluation comparative avec d'autres méthodes bien établies d'inspection de surface des wagons-citernes par END, telles que le contrôle

magnétoscopique (MT, ou Magnetic Particle Testing) et le contrôle par ressuage (PT, ou Liquid Penetrant Testing).

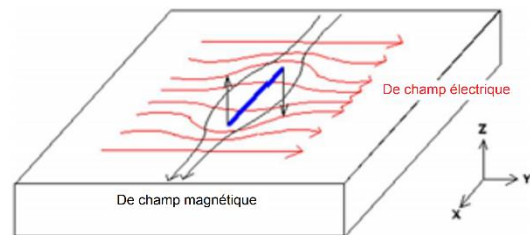


Figure 1 – ACFM - Perturbation de la ligne de flux d'excitation par la présence d'une fissure

CONTEXTE

En vertu d'un protocole d'entente conclu avec TC en 2019, CanmetMATÉRIAUX (CMAT) de Ressources naturelles Canada (RNCAN) a effectué une première analyse documentaire à usage interne pour examiner les techniques d'END émergentes, y compris la ACFM, et déterminer si l'on pourrait les utiliser pour inspecter des wagons-citernes de marchandises dangereuses^[2]. Un groupe directeur a été formé de représentants compétents de TC, de la Federal Railroad Administration (FRA) du U.S. Department

of Transportation (DOT), du Transportation Technology Center Inc. (TTCI), de CMAT et du Conseil national de recherches Canada (CNRC) en vue d'élaborer un plan d'essai visant à évaluer la possibilité d'utiliser la technique de l'ACFM pour inspecter des wagons-citernes.

OBJECTIFS

Dans le cadre de ce travail, TC a chargé le CNRC d'effectuer une évaluation de l'ACFM en tant que technique d'END pour détecter des défauts et défaillances connus. Cette étude de faisabilité visait à évaluer la technique de l'ACFM et à la comparer à d'autres techniques d'inspection de surface établies, soit le MT ou le PT. Des inspecteurs d'END certifiés de l'Office des normes générales du Canada (ONGC) ont été chargés d'inspecter des plaques d'essai fournies par la FRA, sans connaissance préalable du nombre de défauts ou de leurs caractéristiques (emplacement, longueur, profondeur). Cette étude de faisabilité n'est toutefois pas une étude de probabilité de détection de la technique de l'ACFM.

MÉTHODES

Cette étude de faisabilité visait à comparer l'efficacité de l'ACFM par rapport aux techniques d'inspection de surface établies MT et PT. L'annexe T du *Manual of Standards and Specifications for Tank Cars*, M-1002, de l'AAR, énonce les exigences pour les trois méthodes d'END utilisées dans cette étude. Les procédures de MT et de PT étaient basées sur les pratiques standards de l'industrie, et celles pour l'ACFM ont été élaborées par des experts certifiés pour inspecter des wagons-citernes.

L'ACFM est une technique d'essai électromagnétique reposant sur l'induction de champ uniforme et l'utilisation de deux (2) capteurs de champ magnétique. Les lignes de champ magnétique et électrique

se déplacent autour et sous la fissure en choisissant le chemin de moindre résistance électrique et de moindre réluctance.

Le MT permet de détecter les défauts situés en surface ou proches de la surface dans les échantillons ferromagnétiques. Les indications de discontinuités sont visibles par une agglomération des particules magnétiques appliquées à la surface testée.

Le PT permet de détecter les fissures ouvertes en surface en utilisant l'action capillaire d'un colorant liquide.

Quatre (4) inspecteurs d'END certifiés par l'ONGC (tableau 1) ont inspecté des plaques d'essai de calibres-étalons provenant de la bibliothèque de défauts de la FRA, et leurs résultats sur la détection, la longueur et l'emplacement de la fissure ont été enregistrés.

Tableau 1 – Profils des opérateurs

Opérateur et méthode	Certifications	Expérience END (années)
1 – PT	ONGC 48.9712 PT - Niveau 2 MT - Niveau 2 UT - Niveau 2 ET - Niveau 2 RT - Niveau 2	35
2 – MT	ONGC 48.9712 PT - Niveau 2 MT - Niveau 2 UT - Niveau 2 ET - Niveau 2 RT - Niveau 2	15
3 - ACFM	ONGC 48.9712 MT - Niveau 2 ET - Niveau 2 EN473 CSWIP ACFM Niveau 2 PA Niveau 2 SNT-TC-1A ET - Niveau 2	15
4 - ACFM	BINDT PCN ACFM Niveau 2D&3D	12

PT : Contrôle par ressuage
 MT : Contrôle magnétoscopique
 UT : Contrôle par ultrasons
 ET : Contrôle par courants de Foucault
 RT : Essai radiographique
 PA : Inspection par ultrasons multiéléments

RÉSULTATS

Aucune technique d'END ne peut s'appliquer à toutes les situations; chaque technique a ses propres capacités et limites, ainsi qu'une portée d'application pour ce qui est des matériaux, des types de discontinuité, des emplacements et des tailles. Ces caractéristiques, ainsi que l'expérience des inspecteurs, ont entraîné des différences dans le taux de réussite entre les méthodes. Le taux de réussite (tableau 2) est défini comme le pourcentage de défauts connus détectés à l'aide de la méthode d'END par rapport au nombre total de défauts connus.

Tableau 2 - Comparaison d'END – taux de réussite (%)

Plage de longueur des fissures (mm)	<12,7	12,7-25,4	>25,4
Nombre de défauts	2	9	2
Opérateur 1 (PT)	100	100	100
Opérateur 2 (MT)	100	100	100
Opérateur 3 (ACFM)	50	67	50
Opérateur 4 (ACFM)	100	89	100

Les opérateurs 1 et 2, utilisant respectivement le PT et le MT, ont réussi à détecter tous les défauts connus des plaques, toutes tailles confondues. L'opérateur 4, un technicien en ACFM plus expérimenté, a mieux réussi à détecter les défauts en utilisant l'ACFM que l'opérateur 3 ayant une certification de niveau 2.

L'étude a révélé que toutes les techniques utilisées dans l'étude permettent de détecter des fissures ouvertes en surface, et plus précisément des fissures de fatigue dans le cas de l'ACFM. L'étude a également révélé que pour la détection des fissures, les méthodes de MT et de l'ACFM pouvaient être affectées négativement par l'orientation du champ d'excitation magnétique par rapport à la longueur de la fissure, tandis que la méthode de PT pouvait être affectée négativement par des fissures fermées, bouchées ou obstruées.

CONCLUSIONS

L'étude de faisabilité révèle que l'ACFM permet de détecter une large gamme de longueurs de fissures. Précisons toutefois que le niveau d'expérience de l'opérateur a une incidence sur l'exactitude des résultats. Les résultats de cette étude devraient être pris en compte lors de l'élaboration de toute exigence de futures inspections de wagons-citernes. Dans



l'ensemble, il est important de s'assurer de détecter les fissures à l'aide de l'ACFM avant qu'elles n'atteignent une taille critique, qui est souvent propre à chaque constructeur.

MESURES À VENIR

Une évaluation plus complète de la capacité de l'ACFM à détecter les fissures ouvertes en surface d'une taille critique par rapport aux techniques établies pourrait permettre d'évaluer les résultats dans des conditions de surface complexes, telles que des surfaces rugueuses et non uniformes, des soudures à côté de bobines de chauffage, des surfaces difficiles d'accès, etc. Ainsi, il est fortement recommandé de mener une étude de mécanique de la rupture avant de réaliser un plan d'expériences de probabilité de détection.

RÉFÉRENCES

1. [Transports Canada - Approbations – Rechercher par numéro de certificat \(tc.gc.ca\)](#), numéro de dossier SR 13171, date d'expiration : 2022-05-31 (au moment de la publication)

2. McKinley, Jonathan, Ressources naturelles Canada CanmetMATÉRIAUX, Hamilton (Ontario) 2020, pp. 1-83, *Investigation into Non-Destructive Testing for Tank Car Inspection* (document interne de TC)

Rapport : Assessment of ACFM NDT for Use on Tank Cars (2021)

Auteur(s) : S. Mackie, C. Mandache (Conseil national de recherches Canada)

TP : TP 15513E

ISBN : 978-0-660-41613-7

Catalogue : T44-3/28-2022E-PDF

REMERCIEMENTS

Ce projet a été financé par TC et réalisé par le CNRC.

TC reconnaît avec gratitude l'aide des membres suivants du Groupe d'orientation :

US DOT FRA

- Francisco Gonzales III
CNRC

- Catalin Mandache, Marc Genest et Stephen Mackie
CanmetMATÉRIAUX de RNCan

- Jonathan McKinley
TTCI

- Anish Poudel

COMMUNIQUER AVEC

Pour obtenir une copie du rapport, veuillez communiquer avec nous :

Division de la recherche scientifique de la DGTMD

TC.TDGScientificResearch-RecherchescientifiqueTMD.TC@tc.gc.ca

MOTS CLÉS

essais non destructifs, END, contrôle non destructifs, CND, NDT, wagons-citernes, inspections, mesure par courant de champ alternatif, ACFM, contrôle magnétoscopique, MT, contrôle par ressuage, PT, chemins de fer