

Techniques de sécurité ferroviaire

Présenté au

Secrétariat sur l'Examen de la
Loi sur la sécurité ferroviaire

par

RESEARCH AND TRAFFIC GROUP

Juillet 2007

Technologies de sécurité ferroviaire

Présenté au

Secrétariat sur l'Examen de la *Loi sur la sécurité ferroviaire*

par

T.W. Moynihan, G.W. English

Research and Traffic Group

Juillet 2007

Résumé

Les objectifs de ce projet étaient :

- d'examiner les technologies existantes et le potentiel offert par les technologies futures d'améliorer la sécurité ferroviaire;
- de déterminer si oui ou non la législation en vigueur permet facilement d'adopter des technologies;
- de formuler des recommandations sur les développements technologiques les plus prometteurs.

Ce projet repose sur les données provenant d'une analyse de la documentation, de contacts avec les fournisseurs et d'entrevues avec certains intervenants, parmi lesquels le Bureau de la sécurité des transports, Transports Canada (personnel de l'administration centrale et des régions), des chemins de fer de transport de marchandises de classe 1 (CN, CFCP), VIA Rail et un exploitant de chemins de fer d'intérêt local.

La technologie et les résultats des recherches ont servi par le passé à renforcer la sécurité des chemins de fer canadiens, et il continuera d'y avoir à l'avenir des possibilités de faire progresser la sécurité. Nous sommes d'avis que la *Loi sur sécurité ferroviaire (LSF)* ne fait pas obstacle à l'adoption de technologies de sécurité, même si elle ne facilite pas en soi le développement de technologies. La *LSF* permet d'actualiser le règlement en matière de sécurité au fur et à mesure que les progrès des technologies et des connaissances le justifient. Toutefois, la procédure d'élaboration des règlements n'a guère favorisé le passage à des normes axées sur le rendement. L'industrie et l'organe de réglementation n'ont pas encore convenu de ce qu'est une norme de rendement ou des caractéristiques qu'elle doit présenter. Près d'une vingtaine d'années après l'adoption de la *LSF*, Transports Canada est toujours perçu comme fonctionnant en régime de conformité tout comme celui de l'ancienne Commission canadienne des transports.

Pour faciliter le développement technologique, il faut des ressources financières et humaines qui n'ont pas encore été attribuées. Si Transports Canada souhaite exercer une influence sur les questions de sécurité propres au milieu d'exploitation ou au milieu physique canadien, nous sommes d'avis que le Ministère doit investir à la fois dans la recherche et les ressources humaines. Nous recommandons à Transports Canada d'affecter les ressources nécessaires pour respecter pleinement l'esprit de la *LSF*.

Les exigences d'harmonisation et la structure de l'industrie font plus obstacle au développement technologique de matériel ferroviaire que la *Loi sur la sécurité ferroviaire*. Il est plus facile d'adopter un train de mesures indépendant dans le domaine des voies. Nous recommandons que l'initiative en cours visant à actualiser le *Règlement sur la sécurité de la voie (RSV)* permette d'interpréter l'esprit de la *LSF* et d'actualiser le processus qui entre en jeu dans l'établissement des règles. De l'avis de tous, une excellente première mesure a été prise. Les ressources et les priorités nécessaires à la poursuite de ce processus jusqu'à son aboutissement doivent être attribuées. L'objectif doit être de concilier de manière optimale la surveillance de la sécurité par le gouvernement à l'appui de la confiance du public et la liberté laissée à l'industrie de gérer/faire progresser la sécurité avec efficacité. D'après nos entrevues, nous avons constaté des points de vue diamétralement opposés sur certaines questions

fondamentales. Nous invitons l'industrie ainsi que le gouvernement à aborder cette tâche dans un esprit d'ouverture et en reconnaissant l'importance de rectifier le tir après 15 ans d'expérience de l'actuel *RSV*.

Nous partageons l'avis de la majorité des personnes interrogées qui ont déclaré que les activités de recherche et développement devaient faire partie intégrante de la démarche adoptée par la Direction générale de la sécurité ferroviaire (DGSF) pour remplir son mandat qui consiste à surveiller la sécurité et à la faire progresser. Nous sommes d'avis que le programme de recherche conçu dans le cadre de Direction 2006 illustre une initiative conjointe industrie-gouvernement qui a réussi à faire progresser la sécurité aux passages à niveau et a permis à Transports Canada de participer et de contribuer à ces progrès à l'échelle internationale. Nous recommandons que Transports Canada adopte un programme conjoint industrie-gouvernement analogue pour faire progresser la sécurité ferroviaire et affecte des ressources financières et humaines suffisantes pour que, d'ici à 2010, la structure organisationnelle et les cibles de progrès de la sécurité pour 2020 soient fixées, et qu'un programme de recherche préliminaire échelonné sur cinq ans soit établi.

Au lieu de se concentrer sur des technologies précises, nous recommandons de suivre les lignes directrices générales suivantes pour cibler les activités de recherche futures :

- le gouvernement doit assumer un rôle dirigeant plus important dans la conception de technologies qui ne sont pas axées sur la réalisation des économies d'exploitation appréciables et où il existe des limites interfonctionnelles;
- le choix de sujets précis dans ces catégories doit tenir compte des limites possibles de l'harmonisation transfrontalière;
- il existe plus de possibilités d'influer sur les progrès de la sécurité dans le domaine des voies et de l'exploitation que dans les sujets relatifs au matériel;
- pour ce qui est de matériel, il faut s'attaquer aux problèmes de sécurité qui sont aggravés par le milieu d'exploitation et le milieu naturel du Canada.

TABLE DES MATIERES

1	Introduction	1
1.1	Contexte	1
1.2	Objectifs	1
1.3	Étendue et méthodologie	2
1.4	Répartition des accidents de déraillement en voie principale	2
1.5	Présentation du rapport	3
2	Rôle des facteurs institutionnels	4
2.1	Avancées technologiques sous la <i>Loi sur la sécurité ferroviaire</i>	4
2.2	Processus de développement des règlements	6
2.2.1	Processus général	6
2.2.2	Règlements sur le matériel roulant	7
2.2.3	Règlements sur les voies	7
2.3	Progrès technologiques et leurs aspects économiques	9
2.3.1	À l'échelle de l'industrie	9
2.3.2	Particuliers aux chemins de fer d'intérêt local	9
2.4	Entraves à l'harmonisation	10
2.4.1	Exemple des systèmes de détection en voie	11
3	Les technologies en matière de sécurité liées au matériel roulant	13
3.1	Technologies liées aux problèmes rencontrés au niveau des roues	14
3.1.1	Détecteurs de défauts de roues	15
3.1.2	Détecteurs de roues chaudes et froides	16
3.1.3	Semelles de freins à conditionnement	16
3.1.4	Détecteurs de surcharge ou de charge mal répartie	17
3.1.5	Systèmes de contrôle du profil de roue	17
3.1.6	Système de détection automatisée de fissures	17
3.2	Technologies liées aux problèmes rencontrés au niveau des essieux et des roulements	18
3.2.1	Détecteurs de boîtes chaudes	18
3.2.2	Détecteurs de boîtes chaudes à bord	18
3.2.3	Détecteurs acoustiques en voie (TADS)	22
3.2.4	Détection automatisée de fissures des essieux	22
3.3	Technologies liées aux problèmes rencontrés au niveau des bogies	23
3.3.1	Détecteurs de performance des bogies	23
3.3.2	Contrôle d'état des bogies	25
3.4	Technologies liées aux problèmes rencontrés au niveau des systèmes de freins et d'attelage	25
3.4.1	Puissance de traction répartie	25
3.4.2	Outils de conception des systèmes de voie et de train	26
3.4.3	Performance des systèmes de serrage de freins améliorés	27
3.4.4	Contrôle d'état des caisses de wagon	30
3.5	Technologies liées à l'analyse et à l'atténuation des conséquences des accidents	31
3.5.1	Wagon-citerne de prochaine génération	31
3.5.2	Consignateurs électroniques de données	32
4	Technologies liées à la voie	36
4.1	Technologies liées à l'état géométrique de la voie	37

4.1.1	Mesure de l'état géométrique de la voie	37
4.1.2	Système de mesure de l'écartement des voies soumises à des charges.....	39
4.1.3	Évaluation de la performance de la voie en temps réel	40
4.1.4	Systèmes de mesure des contraintes exercées sur le rail sur site.....	41
4.1.5	Dispositifs de fixation élastiques	43
4.2	Technologies liées aux rails.....	44
4.2.1	Techniques de détection aux ultrasons	46
4.2.2	Technique d'essais par courants de Foucault.....	48
4.2.3	Inspection des éclisses	49
4.2.4	Inspection automatisée des traverses	51
4.2.5	Meulage des rails.....	51
4.3	Technologies liées à la gestion des risques géologiques	52
4.3.1	Barrières anti-chutes et systèmes de détection des glissements de terrain.....	52
4.3.2	Capteurs à fibres optiques	54
4.3.3	Géophones	54
4.3.4	Système d'auscultation des ponts.....	55
4.3.5	Radar à pénétration du sol.....	55
5	Autres technologies (signaux, passages à niveaux).....	56
5.1	Système de commande intégrale des trains	56
5.2	Indicateurs de position d'aiguille en zones exemptes de signalisation	57
5.3	Systèmes de passages à niveau.....	58
6	Observations et recommandations.....	61
ANNEXE A		

Liste des tableaux

Tableau 1	Consignateurs électroniques de données pour les différents modes de transport.....	32
Tableau 2	Critères de survivabilité du module mémoire du consignateur d'événements de la FRA - Option A.....	34
Tableau 3	Critères de survivabilité du module mémoire du consignateur d'événements de la FRA - Option B.....	35
Tableau A-1	Spécifications de l'enregistreur de données de vol de l'aéronef.....	A-1
Tableau A-2	Spécifications de l'enregistreur de la parole de l'aéronef.....	A-1
Tableau A-3	Données enregistrées par un enregistreur de données du transport maritime.....	A-2

Liste des figures

Figure 1	Facteurs contributifs des déraillements en voie principale au Canada (1999-2006).....	2
Figure 2	Facteurs de causalité des déraillements en voie principale liés aux sous-composants du matériel roulant (1999-2006).....	13
Figure 3	Configuration du système de surveillance de condition à bord.....	20
Figure 4	Configuration du capteur du système de surveillance de condition à bord.....	21
Figure 5	Système de détecteurs acoustiques en voie.....	23
Figure 6	Site de détecteur de performance des bogies, Loudon, Tennessee.....	25
Figure 7	Facteurs de causalité des déraillements en voie principale liés aux sous-composants de la voie (1999-2006).....	36
Figure 8	Système de mesure de l'état géométrique de la voie Solid Track de Andian Technologies.....	39
Figure 9	Variation de l'amplitude de vibration de la barre d'écoute avec les températures du rail.....	42
Figure 10	Propagation d'un défaut du rail interne dû à des contraintes de contact du congé de roulement intérieur.....	44
Figure 11	Fissures du champignon à la surface du rail.....	45

Figure 12 Coupe transversale d'un champignon de rail montrant la propagation des fissures du champignon.....	45
Figure 13 Système de mesure par courants de Foucault installé sur un train meuleur.....	49
Figure 14 Prototype de système d'inspection des éclisses monté sur un véhicule rail-route.....	50
Figure 15 Image numérique de l'état des traverses et des crampons.....	51
Figure 16 Une barrière anti-chutes sur la voie de CN.....	53

1 INTRODUCTION

1.1 Contexte

La *Loi sur la sécurité ferroviaire (LSF)*, qui est entrée en vigueur en janvier 1989, vise à faire progresser la sécurité ferroviaire au Canada en donnant au ministre des Transports la responsabilité de la réglementation de la sécurité ferroviaire; en fournissant un cadre réglementaire moderne, de concert avec un processus rationalisé d'élaboration et d'approbation de la réglementation; et en offrant une plus grande liberté aux sociétés ferroviaires pour gérer leur exploitation en toute sécurité et efficacité. Depuis 2002, le nombre d'accidents ferroviaires et de déraillements sur les voies principales au Canada a augmenté. De plus, dans le cours de l'application courante des dispositions légales, les fonctionnaires de Transports Canada ont relevé des lacunes dans la *Loi*.

D'aucuns sont d'avis que le cadre de réglementation actuel n'offre pas un ensemble complet d'outils pour régler efficacement le nombre d'accidents ferroviaires et de déraillements sur les voies principales. On estime aussi que le cadre actuel doit être modernisé et mieux harmonisé avec la législation de la sécurité concernant les autres modes de transport au Canada.

En conséquence, en décembre 2006, le gouvernement a annoncé l'examen de la *Loi sur la sécurité ferroviaire* pour améliorer encore davantage la sécurité ferroviaire au Canada et de favoriser une culture de sécurité au sein de l'industrie ferroviaire, et ce, tout en maintenant et en renforçant le rôle essentiel que joue cette industrie au sein de l'économie canadienne.

Le ministre des Transports, de l'Infrastructure et des Collectivités, a nommé un Comité consultatif sur l'Examen de la *Loi sur la sécurité ferroviaire*. Ce Comité, formé de quatre membres, a pour mandat de mener une étude et une analyse indépendantes, d'entreprendre des consultations et de préparer un rapport comportant leurs recommandations et leurs observations.

Des études et des recherches ont été préalablement menées afin d'apporter au comité des informations et analyses complémentaires relatives à ces domaines spécifiques.

1.2 Objectifs

Les objectifs de ce projet étaient :

- d'examiner les technologies existantes et le potentiel offert par les technologies futures d'améliorer la sécurité ferroviaire;
- de déterminer si oui ou non la législation en vigueur permet facilement d'adopter des technologies;
- de formuler des recommandations sur les développements technologiques les plus prometteurs.

1.3 Étendue et méthodologie

Le présent document a été préparé pour résumer à l'intention du comité les technologies existantes et futures visant à améliorer la sécurité dans l'industrie ferroviaire. Ce rapport identifie aussi les problèmes de mise en oeuvre découlant à la fois de la réglementation et du modèle d'entreprise de l'industrie ferroviaire nord-américaine. Les informations recueillies pour ce projet proviennent d'analyse documentaire, de contacts avec les fournisseurs et d'entrevues avec des intervenants sélectionnés, y compris le Bureau de la sécurité des transports, Transports Canada (le personnel de l'Administration centrale et des bureaux régionaux), le transport ferroviaire des marchandises de classe 1 (CN, CFCP), VIA Rail et un exploitant d'un chemin de fer d'intérêt local.

1.4 Répartition des accidents de déraillement en voie principale

Une analyse des accidents ferroviaires au Canada entre 1999 et 2006 a montré que les deux principaux facteurs qui ont contribué aux déraillements en voie principale sont les voies et les matériels roulants. Comme le montre la figure 1, les voies et les matériels roulants ont été mis en cause dans 63 % des déraillements en voie principale. De plus, si on prend en compte uniquement les déraillements qui ont été provoqués par un facteur contributif (c'est à dire si on ne tient pas compte des 29 % où aucune raison n'est connue), les voies et les matériels roulants sont impliqués dans 89 % des déraillements en voie principale.

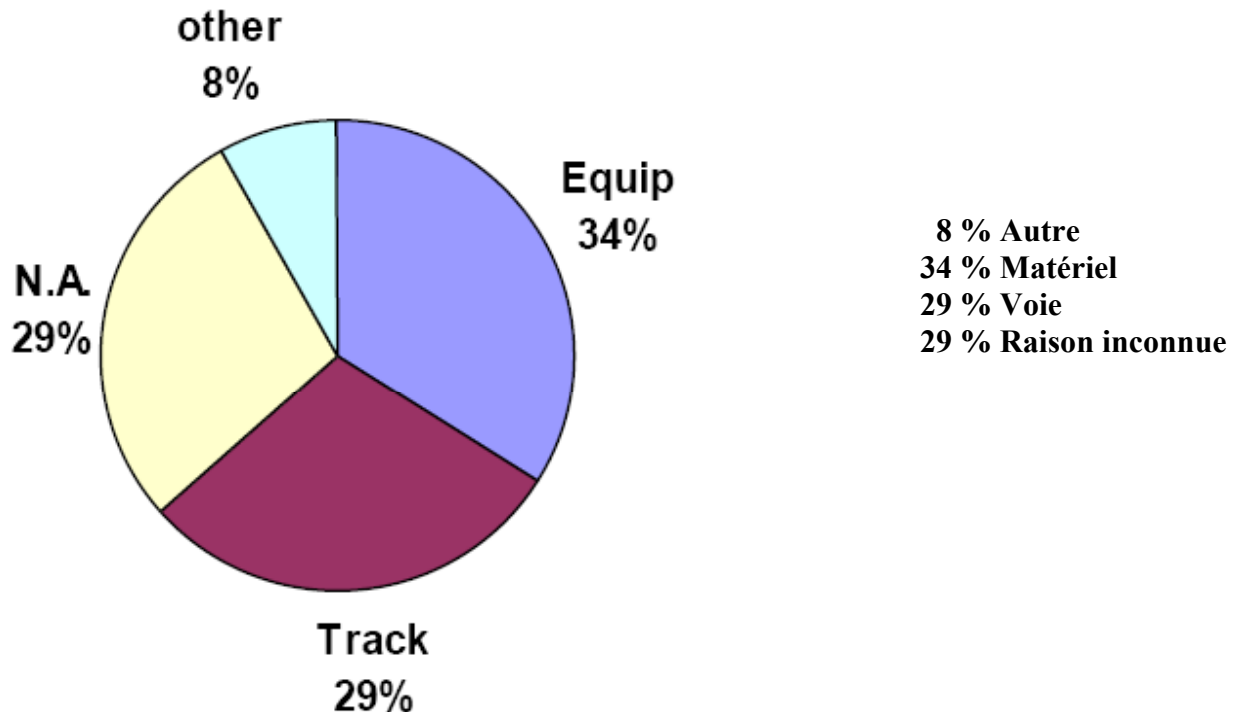


Figure 1 Répartition des facteurs de causalité cités des déraillements en voie principale au Canada (1999-2006)

Sur les 34 % de facteurs imputables au matériel roulant, les défaillances au niveau des roues constitue la principale cause de déraillement en voie principale. Sur les 29 % de facteurs imputables à la voie, les problèmes de géométrie de la voie constituent la principale cause de déraillement en voie principale, suivis par les bris de rail. Le lecteur du présent document peut se reporter au rapport complémentaire préparé pour le Comité consultatif sur l'Examen de la *LSF* par le Transportation Research Ltd. intitulé « Causes des accidents et stratégies d'atténuation ».

1.5 Présentation du rapport

Au vu des résultats de l'analyse précédente, le présent rapport se concentre donc sur les technologies liées à la sécurité au niveau du matériel et de la voie. Il est divisé en six chapitres et une annexe.

Le chapitre 2 traite du rôle des facteurs institutionnels, y compris la *Loi sur la sécurité ferroviaire*, pour faire progresser la technologie appliquée à la sécurité.

Le chapitre 3 fait un survol des technologies de la sécurité relatives aux véhicules ferroviaires.

Le chapitre 4 traite des technologies de la sécurité relatives à la voie et aux infrastructures.

Le chapitre 5 aborde d'autres technologies de la sécurité relatives à l'exploitation ferroviaire.

Le chapitre 6 présente nos observations et recommandations.

2 RÔLE DES FACTEURS INSTITUTIONNELS

Dans le cadre de l'étude, nous avons interrogé le personnel de l'industrie (y compris du CN, du CFCP, de VIA Rail et d'un exploitant d'un chemin de fer d'intérêt local), du BST et de Transports Canada (incluant le siège et le personnel régional). Nous avons rassemblé les thèmes communs qui ressortaient des questions posées lors des entrevues afin d'élaborer et d'identifier les problèmes présentés dans le présent chapitre. Les réponses issues directement des entrevues sont indiquées en italique et non entre guillemets.

2.1 Avancées technologiques sous la *Loi sur la sécurité ferroviaire*

Aucun des répondants ne conteste le bien-fondé de *Loi sur la sécurité ferroviaire* à faire progresser la technologie appliquée à la sécurité, mais certains soulèvent des questions sur l'application de la *Loi*. La majorité des répondants sont en faveur d'une présence accrue de Transports Canada (TC) en matière de recherche et développement. Les réponses suivantes reflètent ce thème général suite à la question posée – La *Loi sur la sécurité ferroviaire* favorise-t-elle l'adoption de technologie améliorant la sécurité ?

Ne considère pas que le système actuel empêche l'adoption d'un « projectile magique », le problème reste de trouver ce « projectile magique ».

L'application de la Loi nécessite de simplifier Transports Canada - Transports Canada devrait se fixer des objectifs et encourager l'adoption de la technologie par l'industrie ferroviaire.

La Loi sur la sécurité ferroviaire favorise l'adoption de technologie améliorant la sécurité. Mais le coût du processus d'application et la charge de la preuve exigée par un organe de réglementation qui a démontré qu'il y a de fortes chances de ne pas obtenir de réponses après la soumission, est un élément dissuasif majeur.

La Loi est bonne mais elle n'est pas utilisée de manière adéquate - par exemple, l'article 14 sur les projets pilotes n'a jamais été utilisée. Transports Canada doit s'impliquer et participer davantage, au lieu de contrôler les activités de R&D du FRA américain.

En ce qui concerne l'application de la *Loi* au sein de Transports Canada, voici les principaux thèmes communs soulevés par le personnel de l'industrie et de Transports Canada :

Quinze ans après la révision de la Loi sur la sécurité ferroviaire, le personnel de l'administration centrale suit toujours l'ancien modèle de la CCT sur la supervision de la sécurité « axé sur la mise en conformité ». L'Administration centrale n'a pas les compétences pour rédiger des réglementations et elle s'occupe uniquement des exemptions. Elle a besoin de ressources et de compétences pour élaborer des réglementations.

Transports Canada a besoin de personnel et de ressources pour s'impliquer et comprendre les problèmes et les technologies discutés. Il faut passer d'un rôle de culture

de conformité aux règles et de personnel/qualifications y associés à un niveau d'ingénierie de qualification et d'entente basé sur le rendement. Pour ce faire, Transports Canada a besoin d'un programme R&D plus actif et de resserrer les liens entre le personnel chargé de la gestion de la sécurité et celui de la recherche et développement en matière de sécurité.

Transports Canada devrait disposer du personnel et des installations nécessaires pour évaluer les technologies – à l'heure actuelle, le secteur ferroviaire doit non seulement investir dans la technologie mais aussi évaluer les risques pour le compte de Transports Canada.

Adopter l'approche du FRA en matière de technologie. Le FRA fait ses propres évaluations en recherche et développement et encourage les nouvelles technologies en matière de sécurité en faisant des choix à l'encontre des autres règles. Par exemple, l'installation des détecteurs à conductibilité thermique pour remplacer les tests sur les freins 1-a.

Transports Canada devrait se montrer plus proactif en matière de recherche et développement, procéder à une analyse comparative dans le domaine de la sécurité et encourager le secteur ferroviaire à opter pour de nouvelles technologies.

Les initiatives canadiennes sont nécessaires. Il n'y a pas d'activité réelle au Canada. Nous avons besoin d'un groupe avec des bases solides en matière de sécurité pour aborder les questions/problèmes relatifs à la sécurité.

Transports Canada peut saisir l'opportunité de faire progresser la sécurité ferroviaire en coopérant avec l'industrie sous la présente Loi, à condition de se projeter dans le futur et d'avoir la volonté de jouer un rôle de leader.

Le programme Direction 2006, et en particulier deux de ses initiatives en matière de recherche, a été cité à titre d'exemple pour prouver que le Canada pouvait avoir une influence en matière de sécurité, à condition de s'investir. La première initiative porte sur le processus général et une étude de recherche relative à l'adoption au Canada d'un klaxon de locomotive à deux niveaux sonores. L'enquête du BST suite à une mort d'un intrus a soulevé la question du caractère adéquat du klaxon de locomotive. En réponse, Transports Canada a mandaté une évaluation de l'enquête en collaboration avec le secteur ferroviaire dans le cadre du programme Direction 2006. Cette recherche confirme que l'emplacement actuel du klaxon est inadéquat sur certaines locomotives en vitesses d'exploitation. Elle a recommandé d'installer un klaxon d'urgence spécifique pour les locomotives à haute vitesse avec un son caractéristique pour relever le niveau d'attention et de le positionner sur la locomotive de manière à en maximiser la retransmission du son. L'Association des chemins de fer du Canada (ACFC) a développé un libellé proposant une nouvelle norme pour les klaxons de locomotive qui a été adopté dans le cadre de la règle soit le règlement relatif aux locomotives. La deuxième initiative du programme Direction 2006 citée dans les entrevues porte sur la recherche menée en vue de démontrer les avantages en terme de sécurité de la technologie LED pour les feux clignotants des passages à niveau. Notons que dans

ces deux cas, les normes/régulations finalement adoptées ont été influencées par les objectifs d'harmonisation. Les contraintes d'harmonisation sont traitées à la section 2.4.

2.2 Processus de développement des règlements

2.2.1 Processus général

Le problème général soulevé concernant la réglementation porte sur le processus lui-même, et particulièrement sur les différences d'interprétation sur le terrain des réglementations. Certains notent que chaque mot utilisé dans un règlement peut être sujet à interprétation. De plus, le manque de documentation sur les raisons qui motivent l'adoption d'un règlement limite parfois la possibilité future d'évaluer la validité d'une réglementation ou le bien-fondé d'une nouvelle technologie de remplacer/modifier la réglementation d'origine. On pense que les informations complémentaires apportées dans le cadre du processus de mise en place de la réglementation dans le « Notice of Proposed Rulemaking » (Avis de proposition de réglementation) du FRA américain réduisent considérablement les erreurs d'interprétation sur le bien-fondé et l'intention d'une réglementation spécifique. Les représentants de Transports Canada observent que les ressources financières et humaines affectées au processus de réglementation du FRA américain sont bien plus importantes que celles dont dispose la Direction de la sécurité ferroviaire de Transports Canada. Adopter une approche similaire nécessitera une importante augmentation des ressources à affecter à Transports Canada.

Un répondant pense que le processus s'est détérioré et est devenu un processus de négociation, dans lequel l'industrie soumet un libellé incohérent, sachant pertinemment que, quels que soient les termes utilisés, ceux-ci feront l'objet d'une modification ou d'un rejet de la part des membres du personnel de Transports Canada. Alors que le souhait commun est de mettre en place une plus grande coopération en matière de réglementation liée à la sécurité, le pessimisme domine. L'expérience montre qu'un libellé ayant fait l'objet d'un accord en totale coopération a subi des modifications après une soumission formelle sur lesquels aucun accord n'avait été donné, ou dans certains cas, qui n'avaient même pas été discutées.

D'autres personnes pensent que les inspecteurs régionaux de Transports Canada ont trop de pouvoir. Ils ont ainsi la possibilité d'interpréter la réglementation comme ils l'entendent en s'éloignant de son intention première. Beaucoup soulèvent le problème de la structure organisationnelle (l'administration centrale et les bureaux régionaux) de Transports Canada dans d'autres perspectives. Notons que les problèmes de structure organisationnelle de Transports Canada font l'objet d'un autre rapport dans le cadre de l'Examen de la *LSF*.

Certains indiquent que Transports Canada ne souhaite pas rester dans le cadre des évaluations de la sécurité pour étudier de nouvelles technologies. Un répondant pense que les « décisions en matière de sécurité devraient être basées sur les bien-fondés de la sécurité et ne pas tenir compte

de l'aspect main d'œuvre ». Ce point de vue est partagé par un grand nombre de répondants de l'industrie ferroviaire.

2.2.2 Règlements sur le matériel roulant

Les seuls problèmes soulevés concernant la réglementation sur le matériel roulant portent sur le besoin de classer les différents règlements en fonction de l'incidence sur la sécurité. Ils portent aussi sur le souhait de l'industrie de disposer de technologies d'inspection des voies évaluées à partir d'un cadre d'inspections réglementaires visuelles de compensation. Le problème le plus important portant sur le développement/l'adoption des technologies basées sur le matériel roulant montre la nécessité d'harmonisation en Amérique du Nord. Ce thème est traité à la section 2.4.

2.2.3 Règlements sur les voies

De nombreux problèmes relatifs à la règle intitulée le *Règlement sur la sécurité de la voie* sont soulevés. Certains font l'objet d'une étude distincte dans le cadre de l'Examen de la *LSF* intitulée « Causes des accidents et stratégies d'atténuation ». Il est plus facile en Amérique du Nord d'harmoniser les voies que le matériel roulant. Toutefois, l'harmonisation nationale présente des obstacles. Le secteur ferroviaire national opère dans des environnements différents – usage différent du matériel roulant, difficultés dues au degré de courbure de la voie, à la déclivité et à un environnement différents. Par conséquent, différentes normes d'entretien de la voie ont évolué, et il a été difficile d'arriver à un accord sur les normes de sécurité minimale relatives à la voie lors de la première version du *Règlement canadien sur la sécurité de la voie* en 1992. Alors que les avis divergent sur le type/l'étendue des changements souhaités, Transports Canada et l'industrie sont d'accord sur le fait qu'une mise à jour du *Règlement sur la sécurité de la voie* est nécessaire :

Le Règlement sur la sécurité de la voie doit être modernisé afin qu'il soit en phase avec le contexte opérationnel ferroviaire moderne et le niveau actuel des technologies.

Les chemins de fer ont besoin de normes de sécurité minimales pour protéger les matériels échangés et préserver l'image/confiance du public dans l'industrie. Toutefois, à peine environ 20 % des défauts existants définis dans le Règlement sur la sécurité de la voie représentent une situation dangereuse.

La vitesse des trains autorisée est l'unique paramètre de contrôle dans le *Règlement sur la sécurité de la voie* actuel. On note largement que la pertinence du risque est une caractéristique souhaitable pour toutes les réglementations, mais particulièrement sur celles qui s'appliquent aux voies :

La perception du public est différente de la sécurité du public. Il est nécessaire de mesurer les dangers réels que risquent le public (par exemple, les comparaisons fondées la gravité et entre les différents modes de transport).

Il est plus logique de rattacher les règlements aux conséquences d'un événement – on peut tolérer les déraillements lorsque les conséquences pour les employés,

l'environnement ou la sécurité et la sûreté du public sont nulles (et que ces déraillements n'ont alors qu'une incidence sur les coûts d'exploitation des chemins de fer).

Les normes sur la sécurité de la voie doivent avoir une structure qui tient compte davantage du risque. Les règlements doivent favoriser les technologies et les innovations en autorisant un réexamen continu justifié par les changements technologiques.

Toutefois, cette vision commune n'existe pas pour les autres aspects du processus de révision. L'organe de réglementation concentre ses remarques sur la mise en conformité :

Le but de Transports Canada est de s'assurer de lever toute ambiguïté en ce qui concerne la gestion de la vitesse des trains, l'inspection des voies et leur entretien au-delà des normes minimales. Cela représenterait un changement radical par rapport aux règles actuelles.

Un autre problème concerne le sens des expressions « personnel certifié ou qualifié ». Le fait de ne pas détecter de défaillances au niveau de la voie (les défauts sont détaillés ci-dessus et les pièces manquantes ci-dessous) par le biais de l'inspection est la preuve que, soit le personnel employé est insuffisamment formé à cette tâche, soit les ressources en matière de contrôle sont inadaptées.

Un obstacle principal aux règles ou règlements « basées sur le rendement » est le manque de clarté de la notion « basé sur le rendement ». Il faut que les exigences en matière de règlements, règles ou normes, que ce soient des spécifications basées sur le rendement ou des spécifications physiques détaillées, doivent être parfaitement comprises par les personnes faisant l'objet de cette réglementation et par l'organe de réglementation lui-même. À leur lecture, on doit clairement savoir si la conformité est respectée ou non. Une norme basée sur le rendement doit être « prescriptive » pour savoir précisément ce qu'on entend par rendement.

Le Règlement sur la sécurité de la voie actuel est ambigu car il contient beaucoup de recommandations générales qui sont sujet à interprétation (bonne ou mauvaise). Il faut que le Règlement sur la sécurité de la voie indique clairement les mesures qui sont à la fois pertinentes et quantifiables ; les chemins de fer doivent à cet effet utiliser des outils modernes permettant d'évaluer correctement les capacités et les limites opérationnelles des voies. Toutefois, de tels modifications peuvent être perçues par les chemins de fer comme étant trop « prescriptives », sous-entendant que l'organe de réglementation leur dicte comment gérer certains aspects de leur activité.

Les chemins de fer concentrent leurs remarques sur la liberté de gestion :

Les limites réglementaires sont inutiles. Il faut inclure les normes de sécurité des voies dans le giron du « système de gestion de la sécurité » et évaluer leur efficacité par le biais de procédures d'audit. Les plus petits chemins de fer échangent avec les plus grandes et elles peuvent vouloir adopter les mêmes normes.

La Loi devrait encourager la technologie sans toutefois l'imposer sur les chemins de fer. Les nouvelles technologies doivent être un choix pour les chemins de fer d'intérêt local et ne doivent pas faire partie d'une exigence réglementaire.

2.3 Progrès technologiques et leurs aspects économiques

2.3.1 À l'échelle de l'industrie

Les aspects économiques sont présents à deux niveaux : 1) au niveau de l'ensemble de l'industrie et 2) au niveau des aspects liés aux spécificités des chemins de fer d'intérêt local. Les commentaires relevant de l'industrie dans sa globalité sont les suivants :

Le choix de l'organe de réglementation d'ajouter des réglementations basées sur la recherche et développement plutôt que de substituer les anciennes réglementations par de nouvelles fait craindre une augmentation des coûts d'exploitation liés à la recherche et développement en matière de sécurité. Il est alors plus difficile d'obtenir un soutien en matière de gestion dans ces conditions.

Un grand nombre de technologies liées à la sécurité existe depuis plusieurs années, mais elles attendent une justification économique pour être mises en œuvre. Il faut taxer davantage les pratiques dangereuses (par exemple, par le biais d'amendes).

Certains problèmes de structure organisationnelle au sein des compagnies de chemin de fer ont un impact sur les technologies liées à la sécurité. Alors que l'industrie reconnaît petit à petit les aspects de niveau du système et les interdépendances fonctionnelles, les ressources restent affectées en priorité au niveau ministériel au sein de l'industrie ferroviaire. Il est en effet difficile de mettre en œuvre une technologie qui génère des coûts dans un cadre ministériel et qui réalise des économies dans un autre. Un grand nombre de technologies liées à la sécurité et les initiatives sous-jacentes en matière de recherche et développement se classent dans la catégorie interministérielle.

2.3.2 Particuliers aux chemins de fer d'intérêt local

Un certain nombre de problèmes étaient soulevés concernant les chemins de fer d'intérêt local, mais sans aborder les préoccupations relatives à la sécurité. Les normes relatives au matériel roulant ne posent aucun problème aux plus grandes compagnies de chemins de fer d'intérêt local car celles-ci possèdent chacune leurs propres inspecteurs certifiés. Les voies de plus petites compagnies de chemins de fer d'intérêt local sont « courtes » par définition et le matériel roulant ne reste pas sur les tronçons qui leur appartiennent sur de longues distances. Le matériel roulant est inspecté et entretenu par les compagnies de chemins de fer de classe 1 avec lesquelles les chemins de fer d'intérêt local font des interconnexions.

La majorité des voies des chemins de fer d'intérêt local sont « courtes » par définition – les échanges de matériel roulant qui ont lieu avec les chemins de fer de classe 1 permettent aux wagons de bénéficier d'une protection adéquate. Si une ligne est une ancienne ligne d'un chemin de fer de classe 1 et que celui-ci utilise cette ligne, alors il pourra envisager de proposer de l'assistance.

La voie constitue un problème plus important – beaucoup de chemins de fer d'intérêt local ont hérité de voies que l'on a laissées se détériorer avant leur cession, et de nombreux exploitants de chemins de fer d'intérêt local ne disposent pas du capital nécessaire pour les remettre en état.

Toutefois, le rendement de la sécurité ne constitue pas vraiment un problème étant donné que les chemins de fer d'intérêt local exploitent des trains plus courts roulant à des vitesses moindres que les chemins de fer de classe 1, ce qui limite les conséquences en cas de déraillements. Dans certains cas, un chemin de fer d'intérêt local choisira de voir ses voies se détériorer et réduira ses limites de vitesse en conséquence. Cette pratique peut aller jusqu'à l'obligation d'obtenir une exemption ou des limites de vitesse tellement basses qu'il n'est alors plus rentable d'exploiter ces voies. Dès lors, il faut envisager de procéder à de très lourds investissements pour remettre correctement les voies en état. Il est possible d'obtenir une aide financière des provinces ou des chemins de fer de classe 1 pour effectuer ces travaux s'ils y trouvent un quelconque intérêt.

Le processus d'exemption soulève quelques problèmes. Certains proposent la mise en place de normes mesurables pour les voies exemptées plutôt que des normes spécifiques pour les voies de classe 1 en fixant une limite de vitesse de 10 MPH et une exemption totale de normes pour les voies qui ne peuvent pas économiquement répondre aux normes de classe 1.

2.4 Entraves à l'harmonisation

L'industrie ferroviaire nord-américaine est dominée par les transporteurs, fournisseurs et organes de réglementation américains – cette domination permet de faire des économies, mais présente des contraintes. On doit largement tenir compte de ce facteur pour les technologies liées au matériel roulant (en raison des accords d'interconnexion), mais aussi pour les technologies liées à l'exploitation et aux infrastructures, et pour l'élaboration de la réglementation elle-même. Le marché potentiel pour les technologies liées à la sécurité ferroviaire est relativement limité. La recherche et développement d'initiatives relatives à la sécurité est en grande partie menée en partenariat avec l'industrie et/ou le gouvernement. Le FRA américain dispose d'un budget annuel de 35 millions de dollars contre 0,5 million de dollars pour Transports Canada. Les engagements financiers de l'industrie en matière de recherche et développement initiés par le TTCI (Transportation Technology Center Inc.) constituent une première étape, mais proportionnelle à sa contribution (soit un dixième).

Une fois mises au point, les technologies commercialement viables doivent être conformes aux normes ou aux spécifications nord-américaines avant qu'une entreprise ne s'engage à les proposer sur le marché. Ce processus d'approbation des normes est dominé par les sociétés ferroviaires et fournisseurs américains, en terme de taille et de priorité. Au final, si les technologies impliquent une modification de la réglementation, la loi canadienne autorise ces modifications, contrairement à la loi américaine – l'harmonisation limite la portée des changements qui peuvent être menés au Canada.

Les problèmes d'harmonisation sont complexes. Certains aspects découlant du développement de la technologie en matière de systèmes de détection en voie sont traités dans la sous-section suivante.

2.4.1 Exemple des systèmes de détection en voie

Dans le service d'interconnexion nord-américain, la mise en place de seuils de performance peut s'avérer difficile car elle doit recueillir l'accord de tous les partenaires touchés par une telle mesure. Les problèmes les plus courants touchent le matériel roulant car les conventions d'interconnexion jouent un rôle prépondérant dans l'efficacité des opérations entre l'ensemble des chemins de fer d'Amérique du Nord. Les systèmes de détection en voie permettent d'illustrer ces problèmes.

Certaines technologies de détection en voie, tel que le système de surveillance de profilé de la roue, peuvent être configurées pour fournir des mesures identiques à celles obtenues par inspections manuelles, permettant ainsi d'appliquer les règles d'interconnexion existantes. Toutefois, les systèmes de détecteurs acoustiques en voie (TADS) ou les détecteurs de défauts de roues (en anglais Wheel Impact Load Detectors ou WILD) peuvent déceler un défaut en cours de développement qui continuera à se développer de manière critique. Les systèmes de détecteurs de performance des bogies peuvent déceler des problèmes au niveau de la performance qui ne sont pas dus à un défaut en particulier.

Pour les charges d'impact des roues, lorsque les charges périodiques élevées endommagent les lignes ferroviaires, une société de chemins de fer exploitant préférerait que le seuil critique de la charge d'impact soit plus bas pour pouvoir retirer un wagon de la circulation, contrairement au propriétaire du wagon qui devra supporter le coût financier du remplacement du train de roues.

L'AAR a récemment mis en place des règles qui autorisent les chemins de fer exploitants à retirer les trains de roues lorsque le système de détecteurs acoustiques en voie (TADS) a décelé un défaut au niveau des roulements. Toutefois, en plus de dépasser un certain seuil, le défaut au niveau du roulement doit faire l'objet d'une vérification indépendante, soit en le faisant rouler manuellement, soit en procédant à une inspection en cours de démontage¹.

Les systèmes de détecteurs de performance des bogies permettent de détecter des wagons sur lesquels aucune défectuosité apparente n'a été décelée lors d'une inspection complémentaire. Lors de l'examen des wagons « mauvais élèves » (c'est à dire qui présentent de faibles performances au niveau des bogies) détectés par les systèmes de détecteurs de performance des bogies, les enquêteurs de la TTCI découvrent qu'environ 60 % de ces wagons présentent des défectuosités facturables par l'AAR, telles que des ressorts brisés, des coins usés ou des glissiers de traverse danseuse défectueux, tandis que 20 % de ces wagons ont alerté les enquêteurs en raison de ratios L/V élevés². Toutefois, les 20 % restants ne présentent aucun défaut et les enquêteurs observent que ces wagons continuent d'afficher des performances médiocres lors de leur retour en service.

¹“TTCI Update, Sounding out those “growlers””, Russel Walker & Gerald Anderson, Railway Age, mai 2007, p 22.

² “Bad actors aren't always Bad”, Bob Tuzik, Railway Age, juillet 2005, p 34-35.

Les propriétaires privés de wagons rapportent que les taux de remplacement de certains composants sont en augmentation et sont de 3 à 5 fois supérieurs à ceux relevés avant la mise en application des systèmes avancés de détection en voie faisant partie des règles sur l'interconnexion de wagons de l'AAR³. Ce problème engendre une importante augmentation des coûts pour les propriétaires privés de wagons qui possèdent environ 64 % des wagons⁴, et qui sont en fin de compte responsables de l'entretien de leur propre parc. De plus, les propriétaires qui ont investi dans des wagons modernes intégrant des composants et matériaux de première qualité afin de maximiser la capacité de transport de charges pour des opérations à kilométrage élevé sur de longs parcours, rapportent que les pièces de première qualité sont parfois remplacées par des pièces de qualité standard, qui se trouvent plus facilement en stock dans les magasins des chemins de fer exploitants. Même si ces pièces de qualité standard sont totalement conformes aux spécifications de l'AAR, elles peuvent diminuer la valeur et les performances des wagons.

De plus, les règles sur l'interconnexion de wagons de l'AAR autorisent le chemin de fer exploitant, pour des wagons qui ont été condamnés en raison d'un impact de roue égal ou supérieur à 90 kips, à remplacer les roues, les essieux et les roulements neufs par des roues à épaisseur minimale remises à neuf, des essieux usagés et des roulements remis en état sans devoir rembourser au propriétaire du wagon la différence de valeur, et ce même si le chemin de fer peut remettre en état et réutiliser par la suite ces pièces de meilleure qualité. Le Groupe consultatif technique de l'AAR estime que les chemins de fer voient 97 % des avantages financiers associés à la mise en place des systèmes avancés de détection en voie contre seulement 3 % pour les propriétaires privés de wagons⁵.

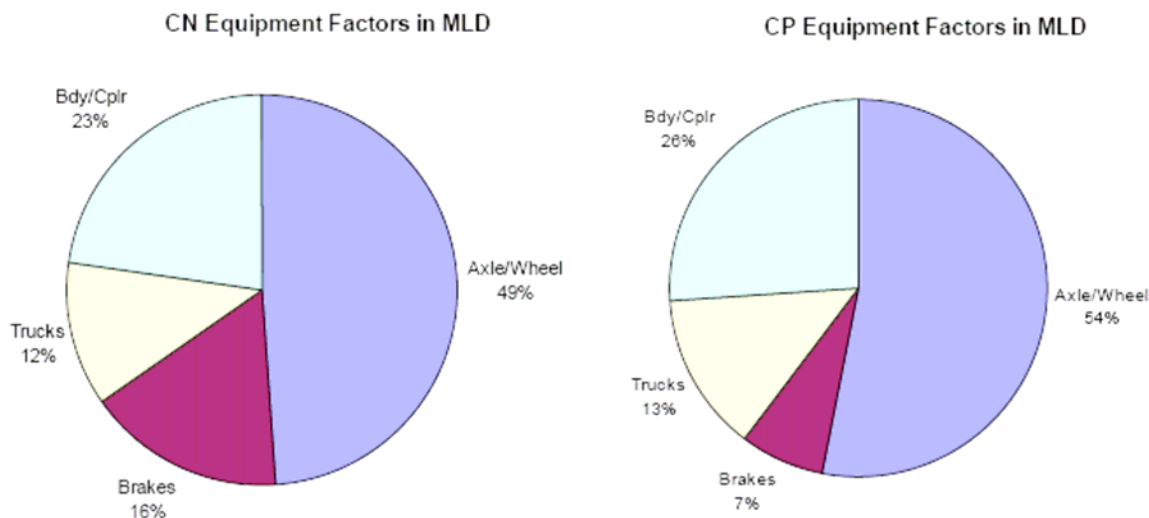
³ "Why private-car owners want a voice", Tom Canter, Railway Age, février 2004.

⁴ Par exemple, la compagnie TTX maintient une flotte de plus de 210 000 wagons de transport intermodal, couverts à automobiles et d'usage général qu'elle loue à diverses compagnies de chemins de fer nord-américaines.

⁵ "Condition Based Maintenance (CBM) and Advanced Technology Safety Initiative (ATSI)", Firdausi Irani, TTCI (UK) Ltd., novembre 2005, p 28. <http://www.uic.asso.fr/html/monde/irbb-112005/docs/1-lundi21/irani.ppt>

3 LES TECHNOLOGIES EN MATIÈRE DE SÉCURITÉ LIÉES AU MATÉRIEL ROULANT

Les facteurs liés au matériel roulant associés aux déraillements en voie principale peuvent être regroupés en plusieurs catégories. Celles-ci s'appuient sur le principal sous-composant du matériel roulant identifié après enquête comme étant la cause fondamentale de déraillement. La figure 2 décrit la répartition des causes des déraillements en voie principale liées au matériel roulant qui se sont produits respectivement sur CN Rail et CFCP et qui correspondent aux relevés d'accidents qui ont eu lieu entre 1999 et 2006. Dans leur ensemble, ces facteurs liés au matériel roulant sont responsables de 34 % des déraillements en voie principale avec des causes désignées qui s'étendent au-delà de cette période. Environ un quart des causes liées au matériel roulant est attribué aux essieux et aux roues, un autre quart aux caisses et attelages, le reste étant réparti entre les bogies et les freins. Bien que la répartition des facteurs liés au matériel roulant soit en général quasi identique pour les deux chemins de fer, la grande différence se situe au niveau des facteurs liés aux freins. Cet écart peut s'expliquer par des différences au niveau des comptes rendus. Par exemple, un grand nombre de défaillances au niveau des roues sont en réalité dus à un mauvais réglage des freins ou à une manœuvre de freinage incorrecte.



Facteurs liés au matériel roulant de CN lors de déraillements en voie principale

Corps/coupleur 23 %

Bogies 12 %

Freins 16 %

Essieu/roue 49 %

Facteurs liés au matériel roulant de CFCP lors de déraillements en voie principale

Corps/coupleur 26 %

Bogies 13 %

Freins 7 %

Essieu/roue 54 %

Figure 2 Facteurs de causalité des déraillements en voie principale liés aux sous-composants du matériel roulant (1999-2006)

Tous les chemins de fer de classe 1 et les plus importants chemins de fer d'intérêt local utilisent certains systèmes de détection en voie pour surveiller automatiquement l'état de leur matériel roulant déployé sur leurs voies, notamment les détecteurs de boîtes chaudes et les détecteurs de pièces traînantes qui sont les systèmes les plus évolués utilisés en Amérique du Nord depuis les années 60. Les domaines de détection et de contrôle de l'état de fonctionnement du matériel qui utilisent les systèmes automatisés de détection en voie ne cessent de croître, car de nouvelles technologies d'inspection sont inventées et développées pour que les systèmes soient plus établis et plus fiables.

Empêcher les déraillements dus à des défaillances au niveau du matériel roulant reste un principe sous-jacent, mais les améliorations qui portent sur l'exactitude et la précision des technologies de détection permettent de mieux se concentrer sur la surveillance de l'état du matériel roulant. Les chemins de fer pourraient éviter des coûts d'exploitation en identifiant les signes avant-coureurs de défaillance du matériel roulant. De cette manière, ils pourraient planifier l'entretien nécessaire avant d'être obligés d'interrompre leur activité, ou dans le pire des cas, avant qu'un déraillement ne se produise. Les technologies modernes de communication et le traitement de l'information permettent aux chemins de fer de recueillir les antécédents et d'évaluer les tendances pour déclencher tout signe de dégradation sur leur matériel roulant.

3.1 Technologies liées aux problèmes rencontrés au niveau des roues

Les chemins de fer ont mis en place un grand nombre de technologies pour mettre fin à l'augmentation des problèmes rencontrés au niveau des roues, dus généralement à une accumulation excessive de chaleur au cours du freinage et à des contraintes en surface qui se produisent lors des contacts avec les rails. Les premières technologies sont traitées dans les paragraphes suivants.

3.1.1 Détecteurs de défauts de roues

Les détecteurs de défauts de roues (WILD) sont utilisés pour détecter la présence de défaillance au niveau des roues, telle qu'une roue excentrée ou présentant des entailles ou tout autre défaut de la bande de roulement. Ces systèmes fonctionnent en détectant les charges d'impact élevées qui se produisent lorsque la partie défectueuse d'une roue est en contact avec le rail. Les charges d'impact élevées contribuent à augmenter l'usure normale du matériel et des voies, et peuvent provoquer une rupture de rail ou une grave défaillance au niveau de la roue. Les systèmes disponibles sur le marché utilisent généralement des jauges de contraintes et/ou des cellules manométriques pour mesurer la magnitude des charges des roues transitoires lorsqu'un train passe en service payant. Leur configuration leur permet de détecter les charges qui dépassent un seuil préétabli. Ces systèmes font partie des technologies de détection les plus établies qui sont largement adoptées par l'industrie ferroviaire en Amérique du Nord. Elles sont désormais intégrées dans un système global de sites de détection étalonnés qui comparent les relevés avec les seuils préétablis pour détecter toute présence éventuelle de défauts au niveau des et évaluer leur magnitude. Les WILD de Salient System et Teknis WCM font partie des systèmes installés. GE Transportation commercialise un détecteur MATTILD qui mesure la déviation d'un faisceau laser et la convertit en une charge de roue équivalente.

Les règles d'interconnexion de l'AAR, qui formalisent les critères ou les seuils préétablis de détection, ont été adoptées pour réparer le matériel roulant en s'appuyant sur des mesures directes prises par des détecteurs en voie. Les changements les plus importants, adoptés en 2004 et 2005, portent sur la mise en place de plusieurs seuils préétablis de charges d'impact qui doivent être appliqués aux mesures effectuées par les détecteurs de défauts de roues (WILD) et déterminer les réparations nécessaires à effectuer^{6, 7}. Le niveau de seuil préétabli le plus bas, appelé « fenêtre d'opportunité », correspond à une charge d'impact de roue entre 65 et 80 kips (1 kip équivaut à 1000 livres). À ce niveau, le propriétaire du wagon sera prévenu afin qu'il établisse un calendrier de réparations le plus efficace possible. Le prochain seuil, appelé « réparation opportuniste », correspond à une charge d'impact de roue comprise entre 80 et 90 kips. Le chemin de fer qui l'exploite devra alors changer l'essieu si le wagon passe sur une voie de réparations désignée pour un tout autre problème. Le troisième seuil, appelé « roue condamnable par l'AAA », correspond à une charge d'impact de roue équivalente ou supérieure à 90 kips. Le chemin de fer devra alors envoyer le wagon sur une voie de réparations à n'importe quel moment pour que l'essieu monté soit réparé. Le propriétaire devra s'acquitter des frais de réparations établis selon le barème de prix PriceMaster de l'AAR. Le dernier seuil, « dernière alerte », correspond à une charge d'impact de roue équivalente ou supérieure à 140 kips. Le chemin de fer qui l'exploite devra alors changer la roue et fixer elle-même le prix de la réparation qu'elle réclamera au propriétaire du matériel roulant.

⁶ "AAR Advanced Technology Safety Initiative (ATSI), Background and Current Status", décembre 2005.

<http://www.dters.com/Articles/DTERS%20ATSI%20Update%20Dec.%202005.pdf>

⁷ http://www.railinc.com/docs/EHMS/EHMS_Circular.pdf

3.1.2 Détecteurs de roues chaudes et froides

Les détecteurs de roues chaudes (en anglais Hot Wheel Detectors ou HWD) et les détecteurs de roues froides (en anglais Cold Wheel Detectors ou CWD) sont utilisés pour évaluer automatiquement la température des roues lorsque les trains circulent. Ces détecteurs modernes proches des anciens détecteurs de boîtes chaudes (en anglais Hot Box Detectors, HBD) permettent de mesurer avec précision les températures des roues à haute vitesse opérationnelle grâce à un traitement numérique des images infrarouges. Une température de roue chaude peut indiquer qu'un train circule avec des freins qui ne sont pas totalement relâchés; la roue subit alors des dommages à cause de la contrainte interne accumulée. Une température de roue froide relevée à un point où le train doit normalement freiner indique que le système de freinage ne fonctionne pas correctement. Ces technologies établies sont actuellement utilisées par les chemins de fer. Lorsqu'elles sont combinées à des technologies de compteurs d'essieux et d'annonces par radio, l'équipe de train peut alors être automatiquement avertie que certaines roues dans leur rame affichent des températures anormales immédiatement après être passées devant le site de détection. L'identification automatisée du matériel roulant permet de faciliter l'identification centrale des wagons qui pourrait être utilisée pour repérer les roues ayant besoin d'être inspectées.

Comme nous l'avons vu précédemment, les défauts au niveau des roues se développent progressivement en raison des contraintes de contact élevées qui se produisent lorsqu'elles roulent. D'abord des fissures peu profondes, puis une exfoliation et un écaillage apparaissent sur la surface de roulement. Le processus d'usure normale modifie aussi le profil de surface de la roue en altérant la zone de contact entre la roue et le rail et pouvant conduire à des contraintes de contacts plus importantes. Les roues font l'objet d'une inspection périodique et sont reprofilées afin de supprimer les défauts en surface, qui dépassaient les seuils établis, permettant ainsi au contour de la surface de roulement de retrouver sa forme originelle. Le fait d'utiliser des aciers « propres » de qualité supérieure dans la fabrication des roues permet de réduire l'apparition des défauts de manière significative. Les technologies utilisées pour éviter les problèmes de contraintes de contact des roues sont les suivantes.

3.1.3 Semelles de freins à conditionnement

Les semelles de freins à conditionnement, ou meulantes, de la table de roulement sont des semelles de freins qui meulent continuellement la surface de la roue pendant le freinage, supprimant au fil du temps une fine couche du matériau qui s'abîme. Ces semelles de freins se montrent efficaces pour limiter l'exfoliation des roues lorsqu'elles sont installées sur du matériel roulant qui montre les premiers signes défectueux décelés par les systèmes de détecteur de défauts de roues (WILD).

3.1.4 Détecteurs de surcharge ou de charge mal répartie

Les détecteurs de surcharge ou de charge mal répartie permettent d'identifier une roue qui est plus chargée que les autres roues du wagon. Une roue plus lourdement chargée subit plus de contraintes de contact et donc s'abîme plus rapidement, et imposera au rail une charge plus lourde. Des charges latérales mal réparties peuvent provoquer une mauvaise performance de la voie, dont l'état géométrique était adéquat sans ce déséquilibre, provoquant ainsi des déraillements d'interaction entre la voie et les wagons. Le déséquilibre ou la surcharge en long du wagon peut provoquer des défaillances au niveau des composants des suspensions et dans des cas extrêmes, la rupture totale de l'essieu. Il est donc judicieux de maintenir un équilibre entre les charges des roues. Ces détecteurs fonctionnent selon les mêmes principes que les détecteurs de défauts de roues, mais ils sont configurés pour décomposer et comparer les charges verticales statiques de chacune des roues d'un wagon. Cette fonctionnalité peut être intégrée dans un système de détecteur de défauts de roues (WILD).

3.1.5 Systèmes de contrôle du profil de roue

Les systèmes de contrôle du profil de roue actuellement sur le marché utilisent des techniques de traitement d'images numériques pour mesurer le profil d'une roue. Ces systèmes permettent de comparer le profil actuel d'une roue avec celui d'une nouvelle roue en mesurant notamment l'épaisseur et la hauteur des boudins de roue et l'épaisseur des jantes. WheelSpec d'ImageMap, Tread View d'AEAT/Alstom et ATEx de LynxRail font partie des systèmes disponibles sur le marché. Environ sept systèmes sont actuellement installés sur les chemins de fer d'Amérique du Nord et on pense que l'utilisation de cette technologie va continuer à se développer.

Le Fully Automated Car Train Inspection System (FactISTM) (Système de détection du train et des wagons entièrement automatisé) est une technologie d'inspection visionique mise au point en Australie par la société Lynxrail et commercialisée en Amérique du Nord par TTCI. Ce système utilise des caméras numériques à grande vitesse et des lampes stroboscopiques accolées aux voies afin de prendre des photos des roues et des semelles de frein lorsque le train circule sur la voie à une vitesse normale. Ces images sont ensuite stockées puis analysées par les systèmes électroniques locaux afin de détecter la présence éventuelle de défauts pratiquement en temps réel. Le système analyse les profils de roue pris en photo et calcule la largeur et la hauteur de chaque boudin de roue, l'épaisseur de la jante et le nombre de creux détectés dans la bande de roulement. Il calcule aussi la distance entre les faces arrières des roues de chaque essieu. Les images des semelles de frein servent à mesurer l'épaisseur des semelles supérieures et inférieures. Le système permet aussi de détecter les irrégularités au niveau des semelles de frein.

3.1.6 Système de détection automatisée de fissures

Les systèmes de détection automatisée de fissures des roues utilisent des ondes ultrasonores parcourant les roues pour détecter la présence éventuelle de fissures et de défauts intérieurs. La majorité des systèmes doivent utiliser un support de couplage acoustique, souvent de l'eau, pour

faire la jonction entre les transducteurs et la surface de la roue. Les transducteurs émettent des ondes ultrasonores qui se propagent (prolifèrent) à l'intérieur de la roue. Si la roue présente des défauts, un affaiblissement du signal et/ou des réflexions se produisent qui sont captés par les transducteurs. Ces systèmes sont généralement mis en place pour vérifier uniquement les trains de passagers à grande vitesse dans les installations d'entretien, mais il est à noter que VIA Rail ne les utilisent pas actuellement. Les lasers focalisés ont été utilisés avec succès pour produire des ondes ultrasonores dans les essieux montés qui sont alors détectés par des transducteurs ultrasoniques couplés dans l'air (c'est à dire sans contact). Le prototype de station de détection dynamique du TTCI est un exemple de ce type de technique ultrasonique hybride au laser couplée dans l'air (LAHUT). Ce système a prouvé que ces tests sur les essieux montés à de très faibles vitesses sont concluants, mais il n'est pas encore suffisamment développé pour être généralisé.

3.2 Technologies liées aux problèmes rencontrés au niveau des essieux et des roulements

Les ruptures dues à roulements surchauffés (et dans une moindre mesure, aux essieux fissurés) sont l'une des causes principales de déraillements en voie principale. Les essieux en acier forgé sont utilisés pour les services passagers en raison d'une plus grande résistance à la rupture. De plus, des modifications au niveau de leur conception sont actuellement à l'étude en vue d'améliorer la performance des essieux utilisés dans les services affectés au transport à fort tonnage. Les premières technologies utilisées, ou en cours de développement, pour détecter les défauts au niveau des essieux et des roulements sont les suivantes.

3.2.1 Détecteurs de boîtes chaudes

Les détecteurs de boîtes chaudes (HBD) servent à détecter des roulements de roues anormalement chauds, signes d'une rupture imminente. Ces technologies aujourd'hui bien maîtrisées ont évolué depuis leurs premières installations qui remontent à la fin des années 50 et au début des années 60. Les premiers capteurs détectaient les radiations infrarouges grâce à des résistances thermosensibles alors que les systèmes modernes utilisent un traitement numérique des images infrarouges pour augmenter les vitesses de traitement et obtenir des mesures de température plus précises. Aujourd'hui, les chemins de fer de classe 1 possèdent de vastes réseaux de détecteurs de boîtes chaudes répartis sur tout leur réseau à des intervalles de 30 milles ou moins.

3.2.2 Détecteurs de boîtes chaudes à bord

Les détecteurs de boîtes chaudes à bord sont installés sur les trains et les locomotives transportant des passagers pour contrôler en continu les boîtes d'essieux et détecter des niveaux anormaux d'accumulation de chaleur. Ils permettent de fournir un niveau de sécurité supérieur à celui des détecteurs de boîtes chaudes sur voies, étant donné que les ruptures des boîtes d'essieux peuvent se produire très rapidement si elles chauffent et montent à des niveaux de température

normalement détectables. Si la boîte d'essieu chauffe anormalement, le personnel du train peut immédiatement arrêter un train de passagers avant que la rupture ne se produise.

Suivi à distance des capteurs à bord de surveillance de condition

VIA Rail a fait savoir qu'il souhaitait moderniser ses systèmes de surveillance à bord pour qu'ils puissent communiquer avec un site central afin d'assurer une surveillance en continu. Le système permettrait d'éviter l'erreur humaine lors des rapports et/ou interprétations des résultats des capteurs à bord. Il permettrait aussi au personnel de diagnostiquer certains problèmes à distance en surveillant les écarts et les historiques des comptes-rendus des capteurs.

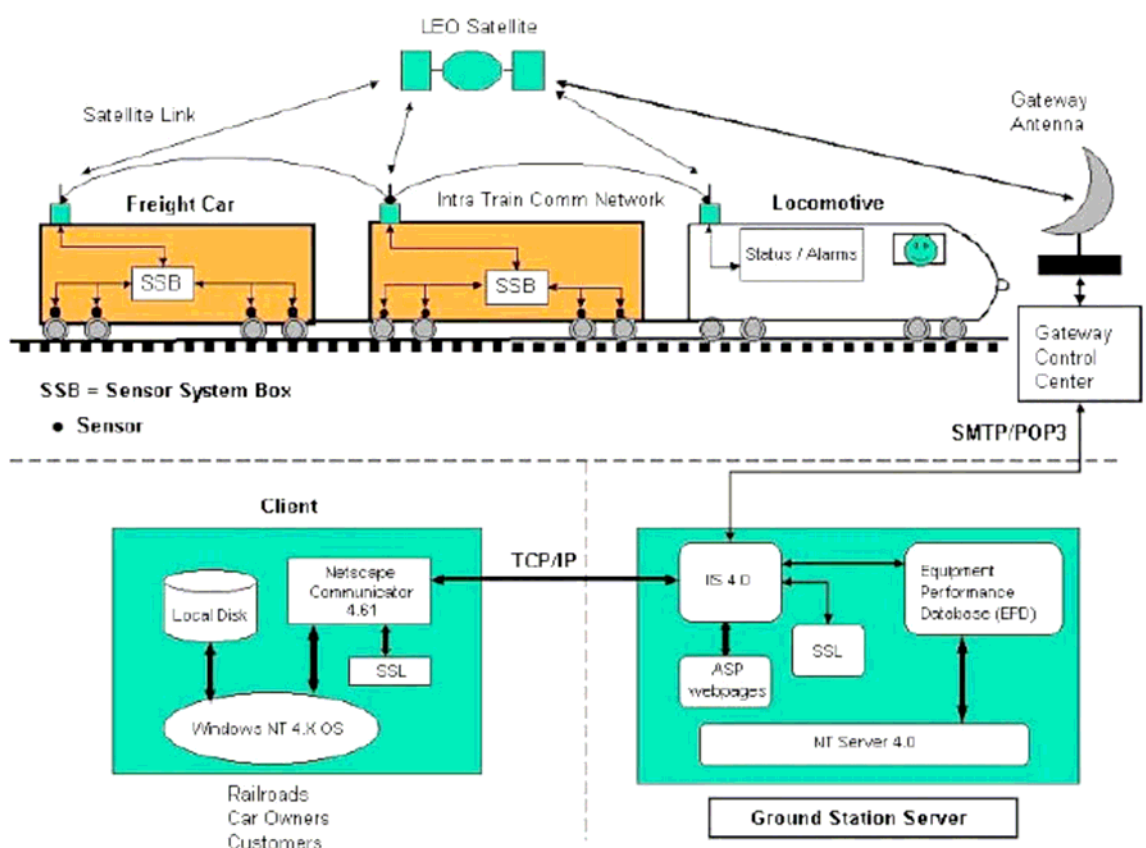
La mise en place d'une surveillance à bord des voitures de voyageurs est facilitée par la présence de câblage électrique de conduite générale réparti sur toute la longueur du train. Actuellement en Amérique du Nord, les trains de marchandises n'ont pas de conduite générale électrique, ce qui rend la mise en place de surveillance à bord plus coûteuse. L'utilisation future dans l'industrie du système de freinage pneumatique à commande électronique (en anglais Electronically-Controlled Pneumatic ou ECP brakes), abordé dans une autre section du présent rapport, rendra possible l'intégration des systèmes de surveillance à bord puisqu'il sera nécessaire de mettre en place une conduite générale électrique.

Les capteurs à bord et la surveillance à distance ont également fait l'objet d'évaluations pour les trains de marchandises. En juin 1999, le FRA a lancé un programme de recherche de 5 ans pour développer et démontrer l'utilisation des systèmes de surveillance de condition à bord sur les trains de marchandises. Le Science Applications International Corporation Canada (SAIC) et le Wilcoxon Research (WR) ont développé au cours des deux années suivantes des systèmes prototypes qui ont été testés sur un wagon prêté par la Norfolk Southern Corporation⁸. Le système testé a alors été installé sur cinq wagons-trémies à l'automne 2003 qui ont servi à la vérification financière sur les voies de la Norfolk Southern en Alabama au cours de l'année 2004.

Le système de surveillance de condition à bord intègre des capteurs pour contrôler les roulements, les roues, les bogies et les freins grâce à un ordinateur de contrôle monté sur le véhicule. Ce système permet de communiquer à l'intérieur du train par la technologie de réseau LAN sans fil et avec les ordinateurs distants par Internet grâce à la technologie des téléphones cellulaires. La figure 3 décrit le concept des communications distantes utilisé et la figure 4 la configuration des capteurs de surveillance installés sur chacun des wagons. Les accéléromètres sont installés sur chaque adaptateur de roulement pour mesurer les accélérations verticales qui sont alors traitées numériquement. Ces informations permettent alors d'identifier les caractéristiques des signaux propres aux dommages sur les roulements, aux défauts au niveau des roues et les roues déraillées s'accrochant le long des traverses et des ballasts. Les thermocouples sont installés sur les roulements intérieurs et extérieurs de chaque essieu et servent à mesurer la

⁸ "Performance of an On-Board Monitoring System in a Revenue Service Demonstration", Dr. John Donelson III et. al., travaux de la Joint Rail Conference de l'IEEE 2005, 16-18 mars 2005, Pueblo, Colorado, <http://ieeexplore.ieee.org/iel5/9881/31413/01460829.pdf?arnumber=1460829>

température du roulement. Un accéléromètre à trois axes – qui permet de mesurer les accélérations dans les directions verticales, latérales et longitudinales – est installé sur le longeron central au-dessus de la traverse de chaque bogie. On procède à des accélérations latérales pour détecter le mouvement de galop du bogie, à des accélérations verticales pour connaître la qualité de la voie ferrée et à des accélérations longitudinales pour détecter tout déplacement anormal du train au cours du freinage. Les systèmes électroniques posés sur chaque wagon de marchandises fonctionnent grâce à un générateur innovant intégré sur les roulements.



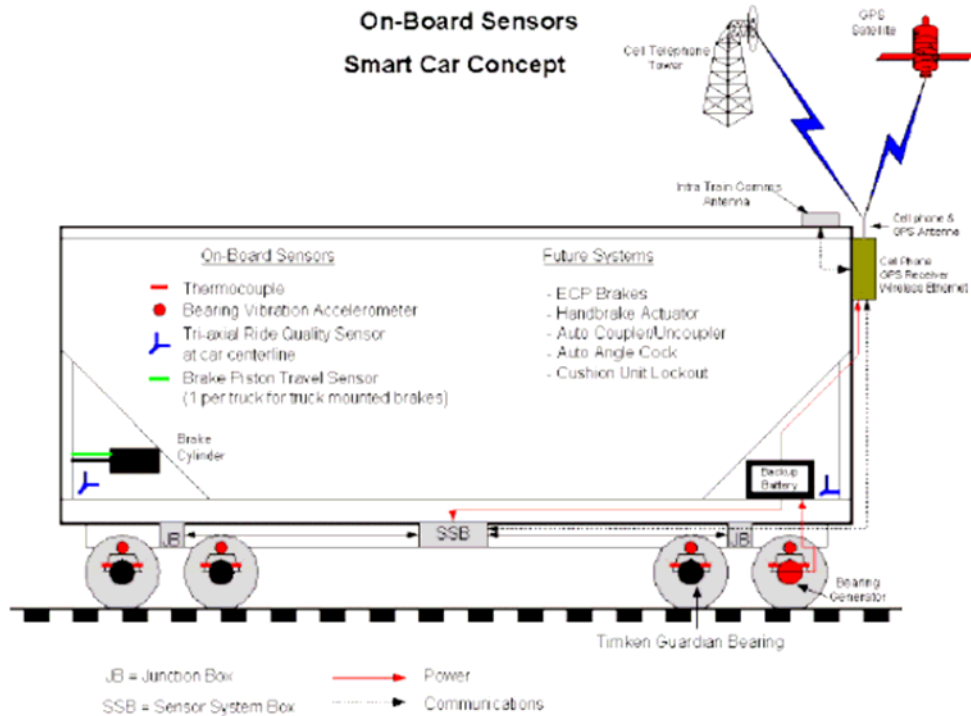
Satellite LEO
Lien satellite
Wagon de marchandises
SSB
SSB = Boîte du groupe-capteur
Capteur
Réseau de communication à l'intérieur du wagon
SSB
Locomotive
Statuts/Alarmes
Antenne de transit
Centre de contrôle de transit
SMTP/POP3

Client
Disque local
Netscape Communicator 4.61
SSL
Windows NT 4 X OS
Clients propriétaires de wagons de chemins de fer
TCP/IP

IIS 4.0
SSL
Pages Web
Serveur NT 4.0
Serveur de station terrestre

Figure 3 Configuration du système de surveillance de condition à bord⁹

Capteurs
Concept
voiture



à bord
de

intelligente

Satellite GPS
Pylône relais pour téléphone cellulaire
Antenne de communications à l'intérieur du train
Antenne GPS et pour téléphone cellulaire
Ethernet sans fil du récepteur GPS pour téléphone cellulaire

Capteurs à bord
Thermocouples
Accéléromètre de vibration de roulement
Capteur de mesure à trois axes des accélérations au niveau de l'axe central du wagon
Capteur de mouvement du piston de frein (un par bogie pour les bogies équipés de freins)
Cylindre de frein

Systèmes futurs
Freins pneumatiques à commande électronique
Actionneur du frein à main
Attelage/dételage automatique
Robinet d'arrêt automatique
Fermeture de boîte de coussinet

Cylindre de frein
Batterie de secours

⁹ Source : <http://www.fra.dot.gov/us/content/926>

Générateur de roulement
Roulement Timken Guardian

JB : boîte de jonction
SSB : boîte du groupe capteur

Puissance
Communications

Figure 4 Configuration du capteur du système de surveillance de condition à bord¹⁰

3.2.3 Détecteurs acoustiques en voie (TADS)

Les systèmes de détecteurs acoustiques en voie (en anglais Trackside Acoustic Detectors ou TADS) sont des systèmes plus récents que les détecteurs de boîtes chaudes. Ces systèmes utilisent des microphones et des techniques de traitement de signaux numériques pour détecter les sons propres aux défaillances de roulements. Ces détecteurs sont très sensibles et sont capables de détecter des ruptures de roulements bien avant que la chaleur excessive dégagée au niveau de ces roulements ne soit décelée par les détecteurs de boîtes chaudes. On estime qu'au moins 35 % des ruptures de roulements chauds pourraient être détectées grâce aux capacités de détection acoustique actuelles¹¹. Le RailBAM® de VIPAC¹² et le système de détecteur acoustique en voie (TADS®) de TTCI sont, par exemple, des systèmes disponibles sur le marché. Plusieurs systèmes sont actuellement utilisés en Amérique du Nord. Comme le montre la figure 5, une installation classique en voie se compose de plusieurs microphones installés dans des coffrets situés très près des deux côtés de la voie ferrée. Le matériel de traitement électronique est entreposé à proximité dans une structure qui fournit une protection climatique.

3.2.4 Détection automatisée de fissures des essieux

Le nombre de déraillements dus à des ruptures d'essieux a augmenté ces dernières années en raison de l'augmentation des charges fortes sur les essieux par l'industrie ferroviaire en Amérique du Nord. Par exemple, aux États-Unis, 4 déraillements causés par des ruptures d'essieux se sont produits à la fin des années 90, contre une vingtaine 4 à 5 ans plus tard. L'AAR étudie les possibilités de modifier la conception des essieux et met au point des méthodologies de détection de fissures plus perfectionnées. TTCI développe actuellement un prototype de système sur voie qui utilise une technique ultrasonique hybride laser à air couplé (LAHUT) pour déceler les éventuelles fissures sur les voies ferrées lorsque le train roule. Cette étude fait suite à une expérimentation en laboratoire qui en a prouvé la viabilité de cette démarche¹³. Ce système fonctionne de la façon suivante : une impulsion laser génère des ondes ultrasonores de surface qui partent du milieu de l'essieu vers les deux roues dans lesquelles sont positionnés deux transducteurs ultrasoniques à air couplé. Ces transducteurs détectent la source des pulsations et

¹⁰ Source: <http://www.fra.dot.gov/us/content/1446>

¹¹ "TTCI Update, Sounding out those "growlers", R. Walker & G. Anderson, Railway Age, mai 2007, p. 22.

¹² "RailBAM® - an Advanced Bearing Acoustic Monitor: Initial Operational Performance Results", Conference On Railway Engineering, Darwin 20-23 juin 2004, p. 23.01-23.07, http://www.railbam.com.au/railbam/railbam_o_performance.pdf

¹³ "Cracked Axle Detection on Moving Freight Railcars, Safety IDEA Project 08", NEW IDEAS FOR SAFETY, Annual Report of the Safety IDEA Program", janvier 2007, p. 12-14, <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/sp/SafetyIDEAReport2007.pdf>

tout autre écho radar qui serait produit lorsqu'une fissure est détectée¹⁴. Ce système est toujours en cours d'étude et il est peu probable qu'il soit installé à court terme.



Figure 5 Système de détecteurs acoustiques en voie¹⁵

3.3 Technologies liées aux problèmes rencontrés au niveau des bogies

Les faibles performances des bogies peuvent provoquer des déraillements causés soit par le mouvement de galop des bogies (une oscillation latérale instable qui peut faire bouger violemment la caisse), soit par une faible inscription en courbe qui favorise inutilement le développement de forces latérales considérables. Ces problèmes se produisent généralement sur du matériel roulant avec des composants de suspension usés ou défaillants et un graissage insuffisant des pièces moulées. Les technologies mises au point pour détecter les faibles performances des bogies sont présentées dans les sous-sections suivantes.

3.3.1 Détecteurs de performance des bogies

Les détecteurs de performances des bogies sont des systèmes en voie utilisés pour identifier les mauvaises performances des bogies en mesurant l'angle d'attaque d'un essieu monté. Certains systèmes peuvent aussi identifier le mouvement de galop des bogies en détectant les oscillations latérales grâce à de nombreuses stations de mesures. Les exemples de systèmes actuellement disponibles sur le marché sont les suivants : les systèmes TBOGI et TBOGI-HD¹⁶ de Wayside Inspection Devices, Hunting Truck Detector (détecteur de mouvement de galop des bogies) de Salient Systems, le système ATE_x de LynxRail et le Truck Performance Detector (TPD) (Détecteur de performance des bogies) et le Truck Hunting and Tracking Error Detector

¹⁴ "Using Technology to Protect the Railway Asset", A. J. Reinschmidt, presentation to the Global Rail Freight Conference, New Delhi, 22 mars 2007, p. 38-41.

¹⁵ Source: A. J. Reinschmidt, IBID.

(Détecteur d'erreur en voie et du mouvement de galop des bogies) de Progressive Rail Technologies.

Le système Hunting Truck Detector¹⁷ (détecteur de mouvement de galop des bogies) de Salient Systems mesure les forces latérales qui s'exercent sur les rails par les mouvements de galop des bogies et évalue un indice du mouvement de galop. L'installation en parallèle avec le système de WILD permet de faciliter la comparaison des mesures des forces verticales et latérales simultanées afin d'identifier les conditions qui favorisent les déraillements par chevauchement du rail.

TTCI a soumis à un essai le système de LynxRail qui utilise des paires de capteurs de proximité. Les essais ont été concluants, mais à l'époque, les algorithmes utilisés pour calculer l'accélération RMS finale de la caisse avaient besoin d'être améliorés¹⁸.

Le détecteur de performance des bogies de Progressive Rail Technologies utilisent des extensomètres installés sur les rails pour mesurer les forces verticales et latérales à de nombreux endroits. Il recommande d'installer des détecteurs sur une courbe inversée (ou courbe en S) avec un tronçon intermédiaire en alignement droit. Il faut aussi positionner deux cases instrumentées minimum sur la courbe d'entrée, deux autres sur le tronçon intermédiaire et au moins deux autres sur la courbe de sortie. Cette technique permet d'une part d'évaluer précisément l'angle d'attaque des bogies dans les courbes, et d'autre part de savoir si le bogie se réaligne correctement après la courbe d'entrée.

Ces technologies de détecteur de mouvement de galop des bogies sont suffisamment développées et un grand nombre de chemins de fer les ont déjà installées sur leurs réseaux. L'AAR travaille actuellement à développer des seuils basés sur la performance qui s'appliqueront aux mesures données par ces détecteurs, permettant ainsi de lancer des actions de réparation conformément aux règles d'interconnexion de l'AAR. Ce concept élargira l'ensemble des seuils basés sur la performance déjà utilisés avec les mesures du système WILD. La figure 6 montre un site d'essai de détecteur de performance des bogies qui intègre l'identification automatisée du matériel roulant, la détection des mouvements de galop des bogies et un système de mesure du profil de la roue.

¹⁶ "Predictive Condition Monitoring of Railway Rolling Stock", Conférence sur la mécanique ferroviaire, Darwin 20-23 juin 2004, <http://www.railbam.com.au/alliance/wma.pdf>

¹⁷ http://www.salientsystems.com/prod_hunting.html

¹⁸ "System to Detect Truck Hunting on Freight Railroads, Safety IDEA Project 06", New Ideas for Safety, Annual Report of the Safety IDEA Program", janvier 2007, p. 8-10, <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/sp/SafetyIDEAReport2007.pdf>

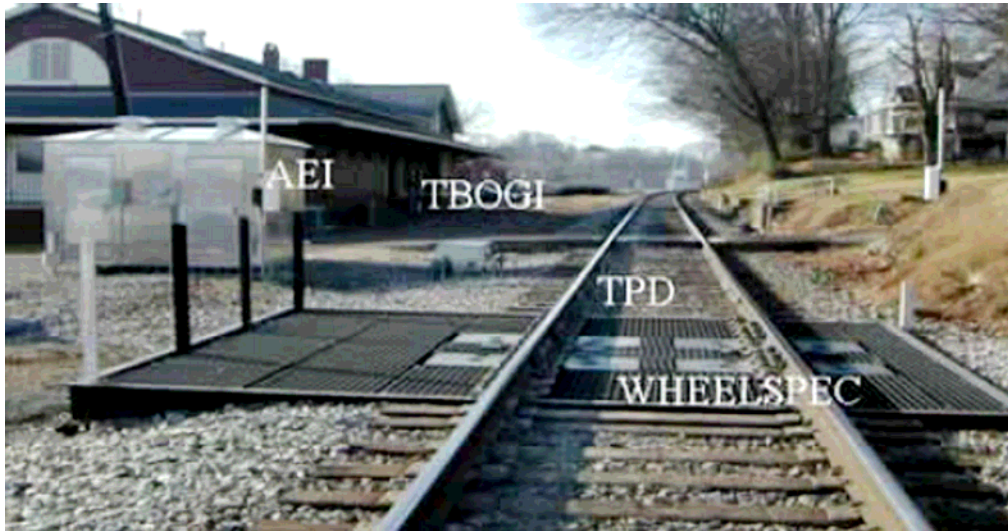


Figure 6 Site de détecteur de performance des bogies, Loudon, Tennessee¹⁹

3.3.2 Contrôle d'état des bogies

La technologie d'imagerie numérique permet de contrôler automatiquement la présence et l'intégrité des différentes pièces de bogies et de procéder à des mesures fondamentales. Ces mesures incluent la vérification des semelles de frein, des ressorts, des frottoirs de traverse danseuse, de l'espacement des colonnes, des picots du triangle de frein, des boulons de bouchon de roulement et des roulements latéraux. Ces technologies sont aujourd'hui quelquefois utilisées par les chemins de fer en Amérique du Nord et plusieurs fabricants proposent des systèmes personnalisés pour répondre aux besoins d'inspection spécifiques, comme le Truck Inspector²⁵ de Progressive Rail Technologies et de LynxRail qui offre des modules pour contrôler l'état des bogies intégrés aux systèmes Automated Train Examination (ATEX).

3.4 Technologies liées aux problèmes rencontrés au niveau des systèmes de freins et d'attelage

L'exploitation ferroviaire évolue et elle utilise désormais des trains plus longs, des charges plus lourdes par essieu, des locomotives plus performantes et des pratiques de transport plus économiques d'énergie. Cette évolution a nécessité la mise en place de stratégies d'atténuation pour conserver les mêmes performances en matière de sécurité. Certaines de ces stratégies sont associées à des technologies décrites dans les sous-sections suivantes.

3.4.1 Puissance de traction répartie

La puissance de traction répartie (en anglais Distributed Power ou DP) est une pratique d'exploitation supportée par la technologie de communication par radiofréquence. Des locomotives sont situées loin de la tête du train et sont contrôlées à distance par une autre

¹⁹ Source : <http://www.fra.dot.gov/us/content/926>

locomotive située à la tête du train. Cette technique est surtout utilisée sur les trains longs sur des parcours fortement pentus. Elle permet de réduire les forces maximales exercées par le train qui doivent être transférées à travers le cadre de caisse, le dispositif de traction et l'attelage d'un wagon. Sans cette puissance de traction répartie, toute la traction nécessaire au passage des pentes, à la résistance au roulement et à la résistance aérodynamique pour chaque wagon de toute la rame doit être générée à la tête du train. La force d'attraction au début du premier wagon sera équivalente à cette résistance totale afin de maintenir sa vitesse. Dans les grandes rames, il est possible de générer des contraintes de traction sur l'attelage qui dépassent la capacité maximale de la force des pièces d'un wagon ; une rupture d'écissage se produira alors avec un risque de déraillement. De plus, lors d'un freinage dynamique dans les courbes, les forces de compression extrêmes peuvent induire des charges de roue latérales suffisantes pour que le train roule sur le rail de la file haute ou que la roue chevauche le rail. En répartissant des efforts de traction plus loin dans le train le même effort de traction cumulatif peut être fourni aux forces d'accouplement maximales nettement réduites.

Un autre avantage de la traction répartie est que les signaux de freinage peuvent être transmis aux locomotives distantes via un signal radio permettant ainsi de déclencher les forces de freinage de façon plus équilibrée sur la totalité du train. Les autres technologies qui portent sur les limites des systèmes de freinage sont décrites dans la section ci-dessous.

L'utilisation de la traction répartie n'est pas nouvelle et les chemins de fer ont commencé à l'utiliser dans les années 70. Toutes les locomotives d'une rame qui utilisent la puissance de traction répartie doivent être équipées d'un dispositif de contrôle à distance spécifique qui coordonne l'utilisation du réglage de puissance et du freinage dynamique contrôlés par une seule locomotive. Tout matériel roulant supplémentaire nécessaire à chaque locomotive coûte environ 150 000 dollars américains, pose comprise.

3.4.2 Outils de conception des systèmes de voie et de train

Plusieurs applications logicielles existent, par exemple le ASSET/DP de Applied Rail Research Technologies Inc.²⁰, permettant aux chemins de fer d'identifier les endroits difficiles sur leurs parcours et d'optimiser le dévers dans les courbes, ce qui limite les forces qui s'exercent sur la voie aux endroits cruciaux. Le logiciel prend en compte les différents trains du chemin de fer, la place occupée par les locomotives dans le train et les plages de vitesses que peuvent atteindre ces différents trains. L'analyse de ces données permet d'apporter des recommandations au niveau de la distribution de la puissance de traction répartie et de la ligne du devers pour réduire les forces latérales qui s'exercent sur la voie.

²⁰ <http://www.arrt-inc.com/software.html>

3.4.3 Performance des systèmes de serrage de freins améliorés

3.4.3.1 *Historique des systèmes de serrage de freins pour les trains de marchandises*

Les origines des systèmes de freinage pneumatique dans le transport ferroviaire de marchandises remontent au milieu des années 1870 lorsque George Westinghouse met au point la *triple-valve*. Cette soupape utilise la pression d'une conduite générale pneumatique sous pression normale parcourant la longueur totale du train, ce qui permet de contrôler automatiquement le desserrement et le resserrement des freins. Elle contrôle la charge du réservoir d'air monté sur le wagon, dirige l'air du réservoir vers le cylindre de frein, lequel serre les freins, puis évacue l'air du cylindre de freinage dans l'atmosphère pour desserrer les freins.

Dans les systèmes de freinage pneumatique modernes, chaque wagon est équipé d'un réservoir d'air à deux compartiments qui fournit la pression aux cylindres de freinage contrôlée par un distributeur de freinage. L'air comprimé, fourni par une locomotive, charge ces réservoirs d'air via une conduite générale sous pression qui parcourt la longueur totale du train. Cet air conserve une pression nominale de 90 lb/po² pour les trains de marchandises en Amérique du Nord lorsque les freins ne sont pas serrés. Les freins sont activés en réduisant la pression de l'air dans la conduite générale de la locomotive produisant ainsi une onde de pression qui peut parcourir la longueur totale du train à la vitesse du son. Comme le distributeur de freinage de chaque wagon détecte cette baisse de pression, il déconnecte la conduite générale qui normalement charge le réservoir d'air, puis dirige l'air du réservoir vers le cylindre de frein, lequel serre les freins. La pression pneumatique appliquée aux cylindres de frein, et donc l'effort de freinage, est proportionnelle à l'importance de la baisse de pression dans la conduite générale.

Le processus de serrage des freins se poursuit de manière séquentielle pour chaque wagon du train alors que l'onde de pression se propage par la conduite générale ; il faut environ 2 minutes pour que les freins soient totalement serrés sur le dernier wagon pour un train d'une longueur de un mille. Ce délai, dû au temps nécessaire de la propagation de l'onde, provoque des charges de compression élevées à accumuler à l'avant du train, alors que les wagons à l'arrière du train heurtent aux wagons de freinage plus rapides situés plus proches de l'avant du train.

Les freins sont desserrés en augmentant la pression d'air fournie à la conduite générale par la locomotive ; toutefois, il n'est pas possible de desserrer partiellement les freins pneumatiques dans les systèmes de freinage classiques utilisés sur les trains de marchandises²¹. Sur les trains de marchandises, la seule option est de desserrer totalement les freins puis de tenter de les resserrer en réduisant légèrement la pression, mais il faut tenir compte du temps nécessaire pour recharger les réservoirs d'air.

Le freinage d'urgence fournit un rapport de freinage plus élevé que le freinage de service en réduisant rapidement la pression de la conduite générale de manière à ce qu'elle soit plus élevée

²¹ Une valve automatique, mise au point dans les années 20, permettait de favoriser un desserrage progressif des freins, mais elle manquait de fiabilité pour les longs trains de marchandise et elle a uniquement été adoptée pour les trains de voyageurs.

que celle utilisée dans le freinage de service normal. Les distributeurs modernes de freinage pneumatique sont capables de différencier le niveau d'une baisse de pression au cours d'une situation d'urgence. Ils dirigeront l'air des cylindres de frein vers le réservoir d'air d'urgence qui est séparé d'un réservoir à air auxiliaire utilisé lors du freinage de service. Ce système permet de garantir une capacité de freinage pour un arrêt d'urgence en cas d'épuisement des réservoirs de freinage pneumatique de service. Le freinage d'urgence sur la totalité du train est également déclenché par une perte soudaine de la pression de la conduite générale telle qu'une perte qui se produit lorsqu'un raccord de la conduite générale entre deux wagons est rompu au cours d'une séparation ou d'un déraillement.

3.4.3.2 Systèmes de serrage de frein distant

Des applicateurs distants permettent d'améliorer à la fois la vitesse du signal de serrage de frein sur le reste du train et le développement des forces dynamiques dans le déclenchement du freinage à l'avant du train. Les systèmes de traction répartie décrits ci-hauts permettent ces améliorations en positionnant des locomotives à mi-chemin dans le train. Les forces de freinage et de traction sont toutes deux distribuées par cette technologie.

Sur les longs trains où l'effort de traction ne pose pas de problème, le serrage de frein distant peut être réalisé de manière plus économique. Les appareils les plus économiques utilisent la ligne existante de communication de l'unité de queue de train pour déclencher les serrages d'urgence et de service normal à fond à la queue du train en même temps qu'à la tête du train. Des points de déclenchements supplémentaires peuvent être fournis en milieu de train moyennant un coût supplémentaire. L'énergie électrique nécessaire au fonctionnement de ces unités peut être fournie par de petits turbogénérateurs à air qui chargent des batteries lorsque le train roule et/ou que le vent souffle.

3.4.3.3 Freins pneumatiques à commande électronique

Dans les années 90, les freins pneumatiques à commande électronique (ECP) ont été mis au point par les fournisseurs de systèmes de freinage pour atténuer les problèmes associés au temps nécessaire à la propagation des signaux de serrage et de desserrage pneumatique, aux délais pour recharger la pression pneumatique après un desserrage et à leur incapacité à fournir une capacité de desserrage progressive. Dans un système de freinage pneumatique à commande électronique, la pression de la conduite de frein est maintenue à une pression constante pour recharger continuellement les réservoirs d'air pneumatiques et les contrôleurs électroniques montés sur chaque wagon. Ces derniers servent à faire fonctionner les distributeurs de freinage électropneumatiques qui régulent le transfert ou l'évacuation de l'air dans les cylindres de frein. Les contrôleurs de freins pneumatiques de chaque wagon sont branchés à une ligne de train électrique de 230 volts CC qui fournit le courant nécessaire. Cette ligne permet aussi de faire passer des messages de contrôle encodés en série provenant d'une unité de contrôle de freinage maître située dans la locomotive de tête du train ; cette unité retourne les messages d'état des

contrôleurs de locomotive vers l'unité maître. Grâce à ce système, on peut contrôler simultanément les freins de chacun des wagons, évitant ainsi une accumulation inutile de la force dynamique du train et permettant de fournir un freinage beaucoup régulier. De plus, les régulateurs électroniques permettent de détecter la pression du cylindre de frein et peut augmenter ou diminuer la pression appliquée aux cylindres de frein à partir des réservoirs d'air en fonction de la réponse du signal de contrôle électrique sans aucune restriction.

Les systèmes de freins pneumatiques à commande électronique peuvent être mis en œuvre en tant que systèmes autonomes ou superposés, en fonction du matériel roulant utilisé. Avec les systèmes autonomes de freins pneumatiques à commande électronique, tous les wagons et locomotives sont équipés du matériel de freinage pneumatique électronique et ces systèmes ne sont pas compatibles avec les systèmes pneumatiques modernes. Les systèmes superposés offrent la flexibilité d'un mode d'exploitation double dans lequel un wagon peut utiliser des freins pneumatiques à commande électronique dans une rame compatible tout en pouvant utiliser les freins pneumatiques automatiques conventionnels sur des systèmes qui utilisent des réductions de la pression dans la conduite générale comme signal de contrôle. Les systèmes de freins pneumatiques à commande électronique conservent la fonction d'application de freinage d'urgence. Le serrage d'urgence peut s'effectuer rapidement en réduisant la pression dans la conduite générale et en puisant l'air de la section freinage du réservoir d'air monté sur le wagon.

En 1995, plusieurs chemins de fer (BNSF, CR et CFCP) commencent à tester à petite échelle le système de freins pneumatiques électroniques sur certains trains-blocs qui ont beaucoup de millage. En 1998, la Compagnie minière Québec Cartier (CMQC) décide de modifier ses trains transportant du minerai de fer pour pouvoir utiliser les systèmes de freins pneumatiques électroniques²².

Les principaux avantages de ce système sont les suivants :

- Diminution des distances de freinage de 40 à 60 % ;
- Réduction de la consommation d'énergie ;
- Diminution de l'usure des roues et des semelles de freins ;
- Économies de délai et de coût dues à la diminution du nombre des inspections des freins ;
et
- Baisse du nombre de collisions et de déraillements liés à la conduite des trains.

Alors que les systèmes de freins pneumatiques électroniques disponibles sur le marché sont aujourd'hui proposés par plusieurs fournisseurs, l'industrie ferroviaire nord-américaine tarde à adopter cette technologie. Des opérateurs de système fermé tels que CMQC réalisent les avantages d'avoir investi dans cette technologie pour un parc très utilisé. Toutefois, l'industrie

²² "Electronically Controlled Pneumatic (ECP) Brakes", FRA Briefing, août 2006, http://www.fra.dot.gov/downloads/safety/ecp_overview3A.pdf

ferroviaire dans son ensemble échange ses wagons de marchandises dans toute l'Amérique du Nord avec des wagons qui présentent des taux d'utilisation très variés. Les coûts en capital sont très élevés pour convertir un parc entier et le rendement économique est très faible pour certains wagons très peu utilisés. De plus, les coûts d'investissement touchent de nombreux propriétaires de matériel roulant alors que les bénéfices profitent en grande partie aux propriétaires de chemins de fer.

Les coûts d'installation sont estimés à 40 000 dollars américains par locomotive et à 4 000 dollars américains par wagon, et il en coûterait environ 6,8 milliards de dollars américains pour équiper la totalité du parc américain²³. De nombreuses années seraient nécessaires pour convertir la totalité du parc et il faudrait partager les coûts entre les propriétaires de matériel roulant et ceux des lignes de chemin de fer. Il faudrait également mettre en place des incitations financières, développer des spécifications et appuyer la mise en place de règles.

Le FRA américain souhaite grandement mettre en place cette technologie. En mars 2007, il a concédé des dérogations à BNSF et à Norfolk Southern en leur accordant une dispense partielle de procéder à certaines inspections des freins sur les trains équipés du système de frein pneumatique électronique²⁴. Les chemins de fer pourraient commencer à équiper leur propre matériel roulant dédié à des services réservés à l'entreprise, comme les trains-blocs de charbon. Comme nous l'avons déjà signalé précédemment (chapitre 2), plusieurs répondants ont indiqué que ce type de leadership proactif de l'organe de réglementation avec la mise en place de modification de la réglementation qui permettraient d'augmenter les économies des coûts d'exploitation serait une initiative appréciée au Canada.

3.4.4 Contrôle d'état des caisses de wagon

Les chemins de fer utilisent différents types de détecteurs en voie pour détecter tout fonctionnement anormal du matériel, par exemple les détecteurs de pièces traînantes récemment utilisés. Ces détecteurs utilisent des palettes mécaniques installées sur les traverses pour détecter les boyaux qui traînent sous la caisse, les roues déraillées ou toute autre pièce qui pend excessivement sous la caisse. Il existe d'autres systèmes qui utilisent des sources lumineuses dirigées ou des faisceaux laser qui sont coupés par le matériel qui traîne sous la caisse. Ces systèmes doivent être combinés à un système de comptage d'essieux pour balayer uniquement entre les bogies. De nouveaux systèmes utilisent les technologies d'imagerie numérique à haute vitesse, comme celui de Progressive Rail Technologies, et sont capables d'analyser la hauteur des boyaux de freins et de mesurer les hauteurs des attelages²⁵. Les boyaux de freins qui traînent sous la caisse sont dangereux car ils peuvent se déconnecter. Le serrage d'urgence intempestif pourra alors se déclencher et provoquer un déraillement si le train roule à grande vitesse.

²³ "Federal Railroad Administration ECP Brake System for Freight Service Final Report", Booz Allen Hamilton, août 2006, http://www.fra.dot.gov/downloads/safety/ecp_report_20060811.pdf

²⁴ http://www.fra.dot.gov/downloads/safety/ecp_letters.pdf

²⁵ "Progressive Rail Technologies Products Services Capabilities", <http://www.prtinc.net/documents/Brochure.pdf>

3.5 Technologies liées à l'analyse et à l'atténuation des conséquences des accidents

3.5.1 Wagon-citerne de prochaine génération

Pendant que les chemins de fer utilisent diverses technologies en voie dans le but de diminuer la fréquence totale des déraillements sur les voies principales, de grands efforts sont actuellement faits pour modifier la conception des wagons-citernes dans le but de réduire les conséquences en cas de déraillement impliquant un wagon-citerne. Aux États-Unis, le projet *Next-Generation Rail Tank Car* (Projet de wagon-citerne de prochaine génération) est un projet conjoint entre l'industrie et le gouvernement aux États-Unis dont le but est de développer un prototype de wagon de prochaine génération destiné au transport des produits toxiques par inhalation (en anglais Toxic Inhalation Hazards ou TIH). Son développement sera terminé d'ici le printemps 2008 et sa première mise en service est prévue d'ici 2010²⁶. DOW Chemical, Union Pacific Railroad et Union Tank Car font partie des partenaires industriels qui participent à ce projet. Cette conception de wagon-citerne de génération 1 devrait aller au-delà des spécifications actuelles de performance du comité pour les wagons-citernes de l'AAR en fournissant des niveaux de sécurité et de sûreté 5 à 10 fois supérieurs²⁷. Les wagons-citernes de génération 2 et 3 seront développés par la suite pour assurer le transport du chlore et d'autres produits chimiques dangereux pour l'environnement. DOW Chemical espère renouveler 50 % de son parc dès 2013 et les 50 % restants d'ici 2018. Toutefois, changer l'entier parc de wagons-citernes d'Amérique du Nord prendra beaucoup plus de temps en l'absence d'incitations réglementaires.

Les wagons-citernes à pression normalisée ont des contenants à pression de 500 lb/po² faits en acier trempé TC-128, enrobés d'un isolant en fibre de verre d'une épaisseur de 4 à 8 pouces, puis mis dans des caisses faites avec une gaine protectrice extérieure en acier mince de calibre 11. Même si les wagons sont fabriqués en acier épais ils peuvent être percés en raison des impacts de l'attelage au cours d'un déraillement. Pour améliorer les performances de ces wagons-citernes de prochaine génération, il faudra adapter un certain nombre de technologies et de concepts utilisés pour la protection en cas des accidents dans d'autres moyens de transport.

Toute une gamme de technologies est actuellement à l'étude pour les wagons-citernes de prochaine génération, comme les zones de froissement pour absorber l'énergie suite à un impact grâce à une déformation sacrificielle. Il est ainsi probable que de telles zones seraient mises en œuvre par installation des boucliers protecteurs multicouches d'une épaisseur de 2 pouces attachés à chaque extrémité du contenant à pression principal. Pour le citerne, on peut remplacer la mince gaine extérieure par une paroi externe structurelle et utiliser des pièces en acier plus épais et plus résistant sans engendrer de coûts supplémentaires importants. On peut ainsi utiliser une version à basse teneur en soufre de l'acier standard TC-128 et différents alliages, tels que le HPS-70 et le HPS-10, qui offrent une résistance à la traction 3 à 10 fois supérieure. L'utilisation

²⁶ "Safer Train Tank Car Tech Rolling Down the Line", David Noland, Popular Mechanics, 6 février 2007.

²⁷ <http://www.dow.com/commitments/debates/chemsec/railtankcar.htm>

de matériaux à meilleur pouvoir isolant permet aux contenus de bénéficier d'une plus longue protection au feu dans une couche plus serrée préservant ainsi l'espace supplémentaire pour les zones de froissement. On peut aussi utiliser des broches cassantes ou des supports déformables pour attacher le contenant à pression interne à l'intérieur de la cuve extérieure, ce qui permettra de diminuer les forces de choc qui s'impriment sur celui-ci en laissant de petits mouvements.

Les soupapes utilisées pour l'approvisionnement et le désapprovisionnement du contenu d'un wagon-citerne sont généralement situées à l'extérieur des wagons-citernes de génération actuelle ; elles sont donc assez vulnérables et risquent d'être endommagées lors d'un déraillement. Dans les prochaines générations de wagons-citernes, elles seront soit encastrées dans le wagon-citerne, soit amovibles, de manière à éviter les éventuels rejets causés par des dommages sur les vannes.

On peut diminuer d'une part le risque de rupture due aux forces d'impact de l'attelage en utilisant des attelages « de refoulement » qui se rétractent lorsqu'ils sont soumis à une force importante et d'autre part le risque de perforation en supprimant les bords et coins coupants où c'est possible.

On peut installer des accéléromètres et des consigneurs de données sur les wagons-citernes de prochaine génération pour enregistrer les profils d'accélération qui feront l'objet d'analyses au cours des reconstitutions suite à un accident. Des renseignements supplémentaires pourraient être enregistrés à partir des récepteurs GPS sur chaque wagon pour fournir de l'information additionnelle concernant la localisation.

3.5.2 Consignateurs électroniques de données

Les consigneurs électroniques de données sont aujourd'hui obligatoires dans tous les modes de transport, à l'exception du transport routier. Le tableau 1 résume le statut des exigences réglementaires canadiennes pour les consigneurs électroniques de données pour chaque mode de transport. Transports Canada a récemment adopté les critères du FRA relatifs à la survivabilité équivalents au transport aérien des consigneurs de données utilisés sur les locomotives. Ceux-ci précisent les performances exigées en matière de résistance à l'impact et au feu. Le reste de la section fournit des détails sur le contenu nécessaire de stockage des données et la résistance aux chocs des consigneurs de données des locomotives. L'annexe A détaille les informations relatives au matériel d'enregistrement électronique de données utilisé dans les autres modes de transport.

Tableau 1 Consigneurs électroniques de données pour les différents modes de transport

Mode de transport	Consignateur de données	Enregistreur de conversations
Ferroviaire	Obligatoire, adoption récente par Transports Canada des critères du FRA en matière de survivabilité équivalents au transport aérien (impact+incendie de	Pas obligatoire, à l'étude

forte intensité/de courte durée)		
Maritime	Transports Canada a proposé l'adoption des exigences de l'OMI (uniquement pour les navires internationaux)	L'OMI exige l'utilisation de un ou plusieurs microphones de passerelle
Aérien	Obligatoire (spécification internationale)	Obligatoire (spécification internationale)
Routier	Aucune proposition de réglementation – les nouveaux ordinateurs du moteur enregistrent les données de base (tr/min du moteur/vitesse/freinage)	Aucune proposition de réglementation

Consignateurs d'événements des locomotives

Les consigneurs d'événements sont actuellement utilisés sur toutes les locomotives de voie principale pour enregistrer en continu la vitesse, les réglages de puissance et d'autres informations. En général, ces données sont enregistrées sur bande magnétique et sont accessibles aux compagnies de chemin de fer à des fins opérationnelles et/ou d'entretien. Ces données fournissent également aux enquêteurs de précieuses informations sur les circonstances qui ont provoqué des collisions ou des déraillements. Transports Canada a indiqué que les règlements du FRA américain qui ont récemment fait l'objet d'une révision seront mis en vigueur au Canada. Les éléments principaux enregistrés par les consigneurs d'événements des locomotives sont les suivants, conformément au FRA²⁸ américain :

- La vitesse du train
- Le sens du mouvement choisi
- L'heure
- La distance
- La position du manipulateur
- L'utilisation du frein pneumatique automatique du train
- L'utilisation du frein direct
- L'utilisation du frein dynamique, si la locomotive en est équipée
- Les aspects du signal en cabine, si la locomotive en est équipée et qu'il est en usage

En réponse aux règlements du FRA adoptés le 30 juin 2005, il a fallu récemment revoir la conception des consigneurs d'événements ferroviaires et ajouter de nouvelles technologies électroniques pour correspondre aux modules mémoire du consigneur d'événements (en anglais Event Recorder Memory Modules ou ERMM) résistants à l'impact certifié par le FRA. Ces nouveaux consigneurs utilisent une technologie avec un module mémoire à semi-conducteurs beaucoup plus solide ; ils devront équiper toutes les nouvelles locomotives commandées après le 1er octobre 2006 et en rattrapage toutes les anciennes locomotives en tête de rame d'ici le 1er octobre 2009.

²⁸ 49CFR Partie 229, Locomotive Event Recorders; regle finale, 30 juin 2005, section 229.135, <http://www.fra.dot.gov/downloads/counsel/nprm/ERFR.pdf>.

Ces nouvelles réglementations précisent également un nombre étendu de données qui doivent être enregistrées, telles que :

- Toute commande de freinage d'urgence initiée soit par un mécanicien soit par un ordinateur embarqué
- Toute perte de communication avec l'unité de queue de train (EOT)
- Les messages du système de freinage pneumatique à commande électronique (ECP)
- Les messages de l'EOT concernant un « état prêt », une commande de freinage d'urgence et le freinage d'urgence, une indication de panne de l'électrovalve, la pression dans la conduite générale de l'EOT, le signal « en mouvement », l'état du signal de queue et la faiblesse de la batterie
- la position des commandes pour les phares et pour les feux auxiliaires sur la locomotive menante
- La commande de l'avertisseur
- Le numéro de la locomotive
- La mise en service du robinet de mécanicien
- La position de la locomotive dans le groupe de traction (position menante ou menée)
- L'effort de traction
- L'activation du régulateur de vitesse
- Toute donnée de contrôle du train essentielle à la sécurité dirigée vers l'afficheur du mécanicien et à laquelle celui-ci doit se conformer

Les nouveaux ERMM sont conçus pour conserver tous les éléments de données nécessaires sur une période correspondant aux précédentes 48 heures au cours desquelles les systèmes électriques de la locomotive fonctionnaient. Toutefois, les consignateurs d'événements des locomotives plus anciens (installés avant le 3 novembre 2003) ne stockent les données que sur les précédentes 8 heures au cours desquelles la locomotive roulait.

Le FRA exige qu'un ERMM certifié soit monté pour « sa protection maximale » et recommande, mais n'impose en aucun cas, qu'il soit installé derrière les montants anticollision au-dessus du niveau de la plateforme et en dessous du haut des montants anticollision. Pour obtenir la certification de résistance à l'impact, les fournisseurs doivent prouver que leurs ERMM respectent ou dépassent toutes les exigences de l'un des deux critères de performance de survivabilité détaillés dans les tableaux 2 et 3.

Le BST a exprimé ses réserves sur l'utilisation des normes existantes de survivabilité du mode aérien appliquées à l'environnement ferroviaire. Les accidents d'avion généralement mettent en cause une chaleur intense sur de courtes périodes alors que, pendant les accidents ferroviaires, les intensités de chaleur sont moins importantes mais de beaucoup plus longue durée.

Tableau 2 Critères de survivabilité du module mémoire du consignateur d'événements de la FRA - Option A

Paramètre	Valeur	Durée	Remarques
Incendie, haute température	750 ° C (1832 ° F)	60 minutes	Source de chaleur : four
Incendie, basse température	260 ° C (1832 ° F)	10 heures	

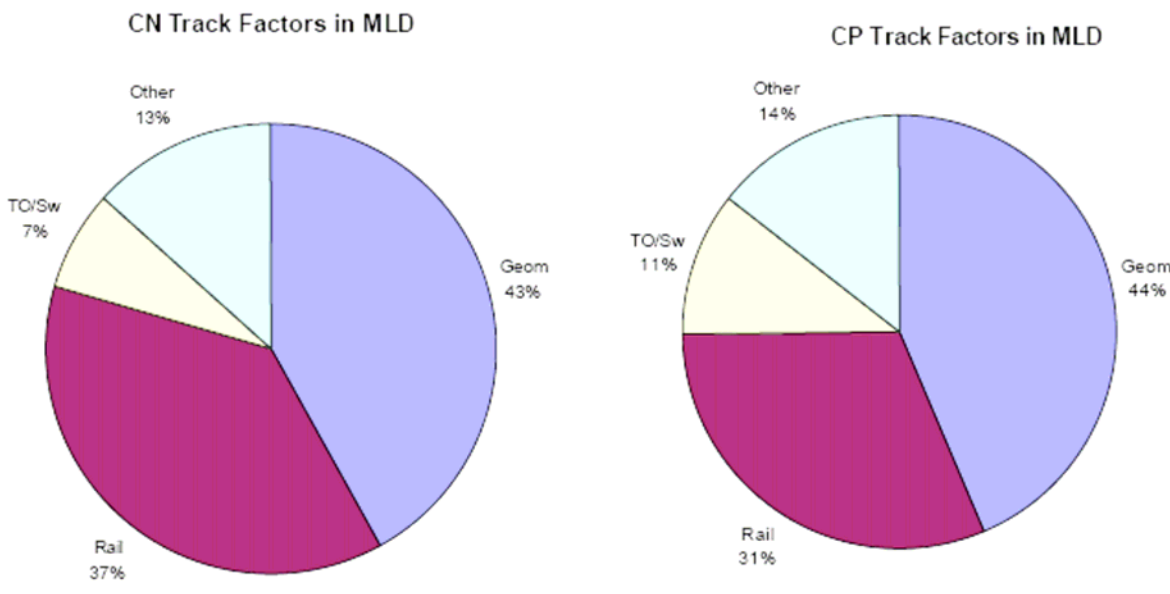
Choc lors d'un impact	55 g	100 ms	Pulsion d'impact sinusoïdale de 1/2
Écrasement statique	110 kN (25 000 lbf)	5 minutes	Immersion suivie d'un passage de 48 heures dans un endroit sec sans aucun dérangement
Immersion	Diesel #1 Diesel #2 Eau Eau salée Huile de graissage	N'importe quel fluide, 48 heures	
	Fluide extincteur	10 minutes, après l'immersion	
Pression hydrostatique	Profondeur équivalent à 15 m	48 heures à une température nominale de 25 °C	

Tableau 3 Critères de survivabilité du module mémoire du consignateur d'événements de la FRA - Option B

Paramètre	Valeur	Durée	Remarques
Incendie, haute température	1000 ° C (1832 ° F)	60 minutes	Source de chaleur : four
Incendie, basse température	260 ° C (500 ° F)	10 heures	Source de chaleur : flamme nue
Choc lors d'un impact – Option 1	23 g	250 ms	
Choc lors d'un impact – Option 2	55 g	100 ms	Pulsion d'impact sinusoïdale de 1/2
Écrasement statique	111,2 kN (25 000 lbf) 45,5 kN (10 000 lbf)	5 minutes (compression unique)	Appliquée à 25 % de la surface du côté le plus grand
Immersion	Diesel #1 Diesel #2 Eau Eau salée Huile de graissage Fluide extincteur	48 heures chaque	Immersion suivie d'un passage de 48 heures dans un endroit sec sans aucun dérangement
Pression hydrostatique	46.62 lb/po ²	48 heures à une température nominale de 25 °C (77 ° F)	

4 TECHNOLOGIES LIÉES À LA VOIE

Les facteurs de déraillements en voie principale liés à la voie peuvent être regroupés en plusieurs catégories fondées sur le principal aspect identifié après enquête comme étant la cause fondamentale du déraillement. La figure 7 montre la répartition des causes de déraillements en voie principale liées à la voie qui se sont produits respectivement sur les réseaux de CN et du CFCP, dégagées des données sur les accidents qui ont eu lieu entre 1999 et 2006. Pris dans leur globalité, ces facteurs liés à la voie sont responsables de 29 % des déraillements en voie principale avec des causes attribuées qui ont eu lieu pendant cette période. Une analyse de ces données montre que les défauts de géométrie sont la cause la plus fréquente de déraillements liés à la voie, suivi de près par les problèmes liés aux rails.



Facteurs liés à la voie sur les réseaux de CN lors de déraillements en voie principale

Autre 13 %
 État géométrique de la voie 43 %
 Rail 37 %
 Branchement/aiguillage 7 %

Facteurs liés à la voie sur les réseaux du CFCP lors de déraillements en voie principale

Autre 14 %
 État géométrique de la voie 44 %
 Rail 31 %
 Branchement/aiguillage 11 %

Figure 7 Facteurs de causalité des déraillements en voie principale liés aux sous-composants de la voie (1999-2006)

4.1 Technologies liées à l'état géométrique de la voie

4.1.1 Mesure de l'état géométrique de la voie

Des appareils automatisés de mesure de l'état géométrique de la voie sont couramment utilisés par les chemins de fer pour mesurer de manière extrêmement précise les caractéristiques de l'état géométrique de la voie, telles que la surface de roulement, le nivellement transversal, l'alignement, la courbure, le dévers et l'écartement de la voie. Ces mesures sont généralement prises à des intervalles de un pied. De nombreux systèmes peuvent aussi mesurer le profil de chaque rail, quantifier l'usure du champignon du rail et déterminer l'inclinaison des rails. Ils peuvent généralement analyser toutes les mesures nécessaires à l'évaluation de l'état géométrique de la voie conformément aux seuils définis dans les normes applicables à la voie, et générer automatiquement une liste de toutes les exceptions ou défaillances de la voie mesurées conformément à ces normes.

Les deux principaux chemins de fer au Canada font rouler sur leurs réseaux de façon constante, et une grande partie de l'année, des véhicules de contrôle de l'état géométrique de la voie avec équipage. Ces véhicules sont constitués de voitures voyageurs de dimension régulière et de véhicules auxiliaires tirés par une locomotive à la vitesse en voie maximale. L'instrument de mesure est monté sur le dessous de ces voitures et est relié à des ordinateurs à bord qui mesurent et reportent les éventuels défauts et défaillances détectés en temps réel. Ces défauts sont classés en trois niveaux : urgent, pressant et prioritaire. Les défauts urgents représentent des mesures qui dépassent celles spécifiées en vertu du *Règlement sur la Sécurité de la voie* du Canada, alors que les défauts pressants et prioritaires sont associés aux mesures qui se rapprochent de ces seuils, mais qui sont encore inférieurs. Les superviseurs de l'entretien de la voie de la subdivision de la voie qui est testée voyagent à bord de la voiture de contrôle de l'état géométrique de la voie et passent en revue tous les défauts détectés en temps réel, ce qui leur permet d'affecter immédiatement des équipes pour qu'elles se chargent de toute défaillance urgente qui a été décelée.

Les voitures (ferroviaires) de contrôle de l'état géométrique de la voie exploitées par les chemins de fer canadiens ont connu de grandes évolutions et leurs systèmes de mesures ont été remplacés ces dernières années par une technologie plus moderne. Ils utilisent désormais des systèmes basés sur l'inertie et des appareils de mesure à lecture par laser qui quantifient le mouvement du véhicule et permettent ainsi de décomposer l'état géométrique de la voie. Auparavant, comme on déduisait l'état géométrique de la voie en mesurant l'orientation des bogies, il fallait que la distance entre les bogies de la voiture de contrôle soit assez importante. Ces améliorations ont été apportées par ImageMap, même s'il existe sur le marché plusieurs autres fabricants qui proposent un matériel similaire comme ENSCO, Inc. qui a récemment fourni des systèmes au FRA américain.

Les systèmes de mesure de l'état géométrique de la voie basés sur l'inertie sont très compacts et conviennent parfaitement pour être installés à la fois sur des véhicules ferroviaires automoteurs et sur des véhicules rails-routes plus petits. ENSCO et Plasser American Corp. sont tous deux des fournisseurs de véhicules de mesure de l'état géométrique de la voie automoteurs clé en mains. La Holland Company LP fabrique et exploite un parc de véhicules rails-routes lourds destiné à tester l'état géométrique de la voie. Les systèmes automoteurs et rails-routes apportent une diminution du coût en capital et sont moins coûteux que les systèmes de pleine grandeur en voiture ferroviaire. Ces véhicules de mesure plus compacts sont désavantagés car ils ne sont pas capables de mesurer l'état géométrique de la voie dans des conditions de charges lourdes comme le facilitent les rames de voitures de contrôle géométrique des voies de pleine grandeur tirées par des locomotives. De plus, la vitesse maximale des systèmes rails-routes est de l'ordre de 30 mi/h²⁹, ce qui est nettement inférieur aux limites de vitesse maximale sur la majorité des voies des lignes principales. Néanmoins, ces systèmes offrent un avantage certain en termes de précision et de minutie, comparés à une inspection visuelle seule.

La simplification, la miniaturisation et la fiabilité des systèmes modernes de mesure de l'état géométrique de la voie basés sur l'inertie sont aujourd'hui telles qu'il est devenu pratique pour les chemins de fer de penser à installer des systèmes autonomes de mesure de l'état géométriques de la voie. Des systèmes comme le Unattended Geometry Measurement System (UGMS) (Système de mesure de l'état géométrique de la voie non surveillé) d'ImageMap et le Autonomous Geometry Evaluation and Notification for Track (AGENT)³⁰ (Système autonome d'évaluation et de notification de l'état géométrique de la voie) d'ENSCO sont disponibles sur le marché nord-américain. Avec ce système, les mesures des principaux paramètres de l'état géométrique de la voie sont aussi fiables que celles des systèmes fonctionnant avec du personnel technique, bien qu'ils ne mesurent pas les profils des roues. Ils peuvent être montés sur les locomotives ou sur d'autres véhicules ferroviaires (en ayant prévu les dispositions nécessaires pour alimenter le système) sans qu'ils interfèrent avec le fonctionnement normal du véhicule. Des récepteurs du système mondial de localisation (GPS) ainsi que d'autres techniques de localisation inertielle sont intégrés afin de donner une latitude et une longitude absolues de l'état géométrique de la voie qui a été mesurée. Ces mesures sont stockées localement puis transmises périodiquement à un bureau central grâce aux techniques de communication sans fil pour un traitement ultérieur. L'installation de systèmes autonomes de mesure de l'état géométrique de la voie sur du matériel de service payant permet aux chemins de fer d'évaluer l'état géométrique de leurs voies sans les inconvénients de retards et de dépenses liés aux véhicules dédiés à l'état géométrique de la voie. Les systèmes ImageMap UGMS sont actuellement utilisés en service payant par Network Rail au Royaume-Uni³¹. Les chemins de fer nord-américains étudient cette technologie.

²⁹ <http://www.hollandco.com/track-testing/railroad-testing/equipment-specifications>

³⁰ <http://www.ensco.com/trans/products/autonomoussystem/remotetrackgeometrysystem>

³¹ <http://www.railway-technology.com/contractors/track/imagemap/press1.html>

La commodité et le coût réduit de ces technologies en font les parfaits candidats pour aider les équipes locales dans leurs inspections visuelles et/ou un moyen d'augmenter la fréquence de test automatisé. La Région du Pacifique de Transports Canada a acheté le système de mesure de l'état géométrique de la voie *Solid Track* de Andian Technologies. Ce système compact (voir la figure 8) peut être monté sur un véhicule rail-route. La Région du Pacifique emploie un système pour permettre à ses inspecteurs de mieux évaluer la conformité de l'état géométrique de la voie à la réglementation en vigueur.



Figure 8 Système de mesure de l'état géométrique de la voie *Solid Track* de Andian Technologies

4.1.2 Système de mesure de l'écartement des voies soumises à des charges

Les systèmes de mesure de l'écartement des voies soumises à des charges (en anglais Gauge Restraint Measurement ou GRMS) sont utilisés pour quantifier la résistance latérale de la voie et la fixation de la traverse. Ces systèmes parcourent la voie et utilisent un essieu divisé à actionnement hydraulique pour appliquer des efforts latéraux connus (de l'ordre de 10 000 à 15 000 livres) sur les têtes de rail, tout en mesurant l'écartement sous la charge. La rigidité latérale des rails peut alors être évaluée en utilisant la charge appliquée connue et la différence entre l'écartement de la voie mesurée à la fois avec et sans l'application de la charge latérale.

Une fois que la résistance aux efforts latéraux est déterminée, on peut en déduire l'étendue de l'écartement des rails en réponse aux charges d'exploitation. Lors de l'exploitation des trains, les efforts latéraux considérables peuvent se développer sur les rails en alignement droit et sont augmentés dans les courbes. Ils sont provoqués par des réactions dynamiques du véhicule individuel, par des forces longitudinales compressives dues à l'expansion thermique des rails

et/ou par des forces de traction durant le freinage du train. Un déraillement dû à un surécartement peut se produire si les rails sont trop écartés lorsque l'un des rails est soumis à d'importants efforts latéraux.

On peut intégrer un GRMS à un système de mesure de l'état géométrique de la voie; toutefois, la vitesse maximale pour tester l'état géométrique de la voie serait limitée (entre 30 et 50 mi/h en fonction du matériel) lorsque l'essieu du GRMS applique des charges latérales. CFPC utilise actuellement deux rames ferroviaires de test de l'état géométrique de la voie, dont l'une est équipée d'un GRMS rétractable. Les sociétés ENSCO et Plasser American Corp. produisent des systèmes GRMS. De même, le réseau de Holland Company des unités rails-routes lourdes incorpore un GMRS.

4.1.3 Évaluation de la performance de la voie en temps réel

Les systèmes modernes d'évaluation de l'état géométrique de la voie servent principalement à mesurer les différents paramètres géométriques individuels de celle-ci. Ces résultats sont ensuite comparés aux valeurs de seuil préétablies. Toute mesure qui dépasse le seuil préétabli est signalée, et la voie est ensuite réparée en conséquence. Les conditions de défauts et les valeurs limites aujourd'hui en vigueur sont le fruit du travail amassé au fil des ans des chemins de fer et des organes de réglementation à mesure que les problèmes associés à l'utilisation de certaines pièces de matériel naissaient. En général, chaque défaut de géométrie de la voie est considéré comme une entité distincte et la réglementation ne tient pas compte du rôle important que peuvent jouer certaines longueurs d'onde ou combinaisons de perturbations géométriques en favorisant les réactions indésirables des wagons.

Une grande partie des recherches menées ces dix dernières années portent sur l'identification et l'analyse des défauts à haut risque de géométrie de la voie qui ne peuvent pas être détectés lors d'une inspection manuelle. Cette approche prend en compte la réponse dynamique d'une catégorie de véhicules qui revêt un intérêt particulier lorsqu'ils franchissent les tronçons où la géométrie de la voie est connue. Elle identifie les tronçons de la voie sur lesquels le comportement prévu du wagon est signe de risques élevés de déraillement. La technologie informatique est actuellement suffisamment avancée pour permettre l'évaluation de l'état géométrique en temps réel abord des véhicules automatisés de mesure de l'état géométrique de la voie.

Transports Canada, CFPC et CN ont contribué au développement et ont participé à l'évaluation d'un de ces systèmes, LVSafe,^{32, 33} développé par TranSys Research Ltd. D'autres approches incluent les programmes PBTG³⁴ de TTCI et TrackSafe³⁵ de ZetaTech.

³² TranSys Research Ltd., Performance Measures from Track Geometry Cars: A Dynamic Response L/V Predictor, Publication Transports Canada TP 14309E, mai 2004.

³³ TranSys Research Ltd., Performance Measures from Track Geometry Cars: A Vehicle Dynamic Response Predictor, Publication Transports Canada TP 13921E, novembre 2002.

³⁴ "Relating track geometry to vehicle performance using neural network approach", D. Li et. al., Proc. IMechE Vol. 220 Partie F : J. Rail and Rapid Transit, p. 273-281

³⁵ <http://www.zetatech.com/software/TrackSafe/TrackSafe.html>

Le système LVSafe a été installé avec succès comme prototype à bord des véhicules de mesure de l'état géométrique du CN et du CFCP. Ce modèle prédit des efforts exercés par les roues de plusieurs wagons à différentes vitesses telles qu'anticipés en conséquence de l'état géométrique de la voie. Les rapports excessifs des efforts latéraux aux efforts verticaux peuvent provoquer des déraillements par chevauchement du rail. Ainsi, prévoir ce type de problèmes avec n'importe quelle combinaison de voiture et de vitesse permet de signaler les endroits à haut risque. CFCP a intégré le système logiciel LVSafe à son système existant d'impression de défauts, mais n'a pas encore pu justifier sa rentabilité pour passer à l'étape suivante qui consiste à donner à ses équipes d'entretien les nouveaux défauts qui ont été définis.

4.1.4 Systèmes de mesure des contraintes exercées sur le rail sur site

Le gauchissement de la voie et les ruptures d'écilissage sont les défauts de l'état de géométrie de la voie moins fréquents, mais avec de graves conséquences éventuelles en cas de déraillements. Ces problèmes se produisent généralement dans des conditions de température extrême. Le gauchissement de la voie se produit lorsque les contraintes de compression dans l'acier du rail, qui résulte de l'expansion thermique lors de températures ambiantes élevées, génèrent des forces considérables qui excèdent la capacité de résistance de la structure de la voie. Une portion de la voie se déplace donc brutalement de manière latérale pour décharger cette contrainte. À l'inverse, une rupture d'écilissage se produit lorsque la contrainte de tension interne des rails d'une voie résulte de la contraction thermique lors de températures ambiantes extrêmement basses, excède la force de l'acier du rail, ou d'une soudure, provoquant ainsi la rupture du rail.

Les ingénieurs de la voie utilisent la température de contrainte nulle (ou RNT, de l'anglais Rail Neutral Temperature) qui correspond à la température à laquelle le rail installé ne subit pas de contrainte interne due à la température. Elle sert de base de référence à partir de laquelle on évalue la valeur de la contrainte longitudinale supportée par les rails. On suppose que cette valeur correspond aux conditions de température au cours desquelles on a initialement installé le rail. Toutefois, l'usure normale du rail et les activités d'entretien pour réparer les défauts du rail par temps froid peuvent avoir pour effet de réduire de manière importante la température de contrainte nulle avec le temps. On réussit généralement à gérer la contrainte longitudinale du rail en maintenant la température de contrainte nulle dans des limites fixées.

On peut également réussir à contrôler la contrainte longitudinale interne en utilisant des jauges extensométriques auxquelles on applique un niveau de contrainte défini. Cette méthode ne peut évidemment pas être appliquée sur une grande échelle. Les méthodes qui sont actuellement acceptées pour déterminer la température de contrainte nulle exigent que le rail soit coupé ou détaché sur une longueur de 100 pieds minimum. Il existe des appareils, tels que le Rail Stress Monitor de Salient System, qui, lorsqu'ils sont fixés aux rails de manière permanente et correctement calibrés au moment de l'installation, fournissent des indications fiables sur la force longitudinale de contrainte interne du rail.

Un nouveau système de test de la température de contrainte nulle portable et non-destructif utilise la technique de vibration des rails D'stresen et est actuellement testé par les enquêteurs du TTCI³⁶. Ce système conçu et breveté par Brent Jury de Nouvelle Zélande fait l'objet de développement et de tests depuis les sept dernières années. Les rails n'ont à être modifiés d'aucune façon pour mener les tests nécessaires.

Le système D'stresen évalue la température de contrainte nulle en excitant le champignon du rail avec une vibration rotationnelle connue. On observe ensuite comment les vibrations verticales de faible amplitude relevées par une « barre d'écoute », temporairement attachée à proximité au champignon du rail, varient avec les changements de température du rail. La théorie derrière cette technique suppose que l'amplitude des vibrations de la « barre d'écoute » augmente de façon linéaire avec les changements de température du rail dès qu'on s'approche de la température neutre. Lorsque celle-ci est atteinte, l'amplitude des vibrations atteint alors sa magnitude de pointe appelée « valeur de fond ». Comme le montre la figure 9, les taux linéaires des changements d'amplitude des vibrations qui ont été mesurés sont différents si le rail est en compression ou en tension. Ces taux peuvent être calibrés pour un rail en faisant plusieurs relevés au même endroit avec une grande échelle de températures.

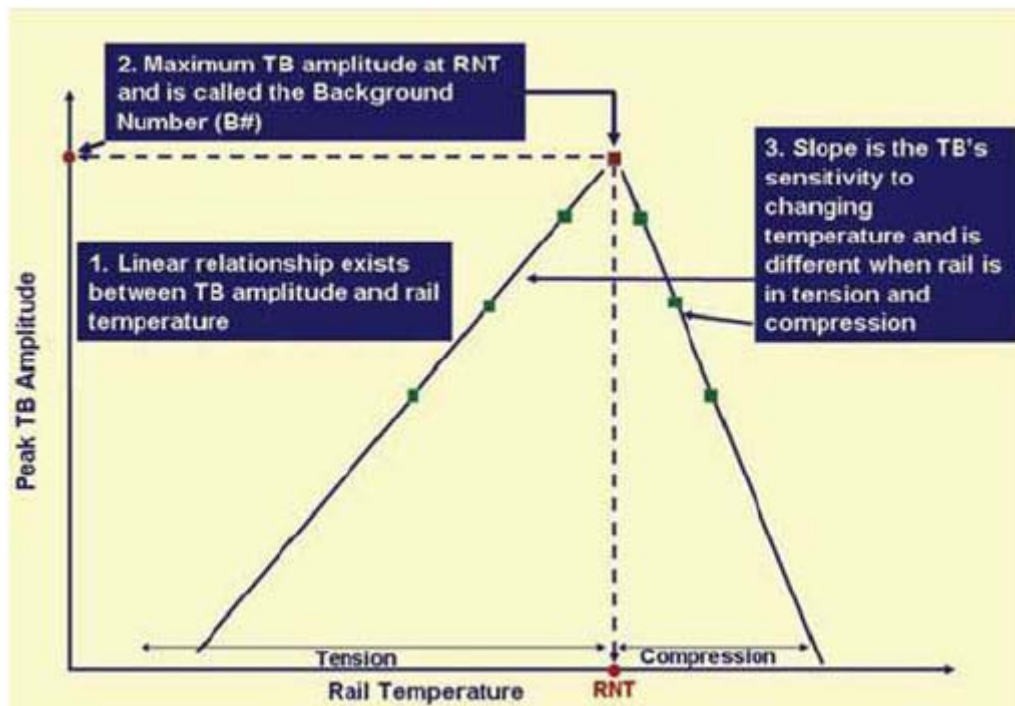


Figure 9 Variation de l'amplitude de vibration de la barre d'écoute avec les températures du rail³⁷

³⁶ Investigation of prototype rail neutral temperature measurement system", David Read & Bill Shust, Railway Track and Structures, juin 2007, p.19-21.

³⁷ Source : David Read & Bill Shust, IBID

Si on utilise ce système pour procéder à d'uniques évaluations de la température de contrainte nulle indépendantes, l'utilisateur devra alors connaître l'amplitude des vibrations maximales applicable (c'est à dire « la valeur de fond » à la température de contrainte nulle) et aussi déterminer par d'autres moyens si le rail est en tension ou en compression. Si on se base sur les conclusions initiales des enquêtes du TTCI menées à Pueblo dans le Colorado et sur plusieurs sites avec des jauges extensométriques sur la ligne principale BNSF au nord du Nouveau Mexique, le système D'stresen peut déterminer la température de contrainte nulle dans des limites de 10 °F.

4.1.5 Dispositifs de fixation élastiques

Les fixations élastiques, ou les attaches de traverse, ont été développées pour attacher les rails aux traverses de béton. Elles servent à résister aux mouvements de rotation et latéraux du rail provoqués par les forces latérales et verticales imprimées par les roues du train. Elles servent aussi à résister aux mouvements longitudinaux du rail lorsqu'il est soumis à une contrainte thermique irrégulière ou causée par une forte traction ou des forces de freinage dynamique sous les roues des locomotives associées à des pentes importantes. Les attaches élastiques sont conçues pour être installées avec une compression de travail telle que le contact positif avec le rail soit maintenu et que les forces de contact varient de manière linéaire par rapport à une valeur nominale de calcul en réponse à la charge dynamique au cours du contact roue/rail. Cela permet ainsi d'éviter que d'importantes charges, qui pourraient être supérieures à ce que les rails peuvent supporter, provoquent un éventuel déraillement.

Ces dix dernières années, les chemins de fer ont adopté cette technique pour des traverses en bois dans les courbes serrées, les attaches élastiques permettant de mieux contrôler la transmission de force du rail à la traverse. Lorsque le rail est attaché à la traverse en bois avec des crampons, des forces latérales cycliques considérables s'exercent et des mouvements de rotations se transmettent aux crampons, ce qui provoque au fil du temps une rupture des fibres de bois qui jouxtent les crampons et un desserrement de l'attache du rail. Ce desserrement au niveau de l'attache cause une faible restriction latérale du rail et par conséquent, à un écartement des voies sous charge et peut également entraîner un cisaillement des crampons. Par ailleurs la friction entre la base du rail et la surface de la traverse en bois offre très peu de restriction longitudinale. Les attaches élastiques s'adaptent aux traverses en bois en cramponnant ou en vissant une selle en acier à la traverse et en utilisant alors l'attache élastique pour attacher la selle en acier au patin de rail.

fatigue due au contact de passage

4.2 Technologies liées aux rails

La fracture du rail est très dangereuse et est l'une des causes principales de déraillements liés au rail. La fracture est provoquée par une propagation suffisante de fissures à partir : des zones de défauts de fabrication (par exemple des inclusions), des dommages provoqués sur la surface du champignon, des empreintes de roues ou des petites fissures sur la surface du champignon qui se développent suite à la fatigue générée par le contact de passage avec les roues. La figure 10 montre une fracture de rail provoquée par une fissure qui s'est développée autour d'une zone avec un défaut interne. Cette fissure se propage alors au fil du temps à cause des contraintes de contact exercées sur le congé de roulement intérieur. La fatigue générée par le contact de passage avec les roues est un mécanisme attribuable au cisaillement à l'intérieur des couches de surface du champignon du rail soumises à de nombreuses cycles de contraintes normales et tangentielles ensemble qui se produisent au point d'interface roues/rails.

Des enfoncements et des fissures au niveau des criques du champignon et du congé de roulement intérieur sont des exemples de défauts provoqués par la fatigue générée par le contact de passage avec les roues. La plupart des fissures causées par la fatigue générée par le contact de passage se propagent de 1 à 2 mm maximum en diagonale (soit un angle de 15° à 30° à l'horizontal) dans le champignon de rail, puis partent vers l'horizontale et finissent par écailler les surfaces des champignons. Toutefois, certaines de ces fissures partent vers le bas et se propagent verticalement dans le champignon du rail, finissant par provoquer la fracture du rail lorsque l'intégrité de la structure du rail est suffisamment affaiblie. La figure 11 montre les fissurations du champignon sur la surface du champignon du rail et la figure 12 l'évolution de la propagation de ces fissures dans le champignon de rail.



Figure 10 Propagation d'un défaut du rail interne dû à des contraintes de contact du congé de roulement intérieur³⁸

Les chemins de fer consacrent des ressources importantes à l'inspection des rails en vue de déceler d'éventuels défauts internes de surface, principalement grâce à la technique de détection par auscultation des rails aux ultrasons. En vertu de *Règlement sur la sécurité de la voie* du Canada, les éléments suivants doivent être testés au moins une fois par an et sur toute leur longueur afin de détecter la présence éventuelle de défauts internes : tous les rails éclissés et les longs rails soudés (LRS) utilisés sur les voies de catégorie 4 à 6, toutes les voies sur lesquelles sont acheminées plus de 25 millions de tonnes brutes de marchandises par an et les voies de catégorie 3 empruntées par des trains voyageurs. Toutefois, pour les rails récemment installés, ces inspections peuvent être reportées de 3 ans à condition que ces rails aient été inspectés afin de déceler d'éventuels défauts internes grâce aux techniques par induction ou ultrasons dans les 6 mois précédant leur installation.

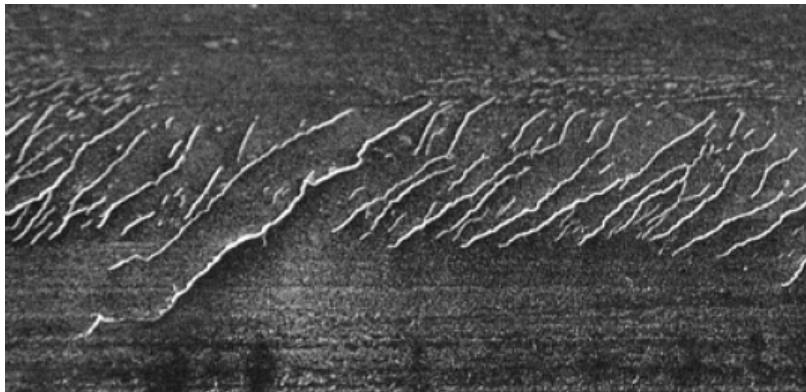


Figure 11 Fissures du champignon à la surface du rail³⁹



³⁸ Source: "Major Advances in Rail Technologies Achieved in the Past 10-20 Years", Stephen Marich, Conférence IHHA 2005.

³⁹ Source: "A new Eddy Current Instrument in a Grinding Train", p. 1, <http://www.ndt.net/article/ecndt2006/doc/P178.pdf>

Figure 12 Coupe transversale d'un champignon de rail montrant la propagation des fissures du champignon³⁹

4.2.1 Techniques de détection aux ultrasons

4.2.1.1 Systèmes de contact traditionnels

Avec la technique de détection aux ultrasons, des ultrasons – des ondes sonores qui ont des fréquences supérieures aux longueurs d'ondes audibles – sont envoyées dans le champignon du rail. Ils se propagent ensuite de manière linéaire dans l'acier des rails jusqu'à ce qu'ils soient entièrement réfléchis ou alors déviés lorsqu'ils décelent un défaut ou une fissure interne. Les ondes ultrasonores sont d'ordinaire générées par un transducteur qui est placé à proximité de la surface du champignon du rail et transférées dans l'acier des rails grâce à un agent de couplage acoustique comme de l'eau ou autre liquide adapté. Un autre transducteur ultrasonique, lui aussi à accouplage acoustique à la surface du rail, est employé pour détecter les échos. Les techniques aux ultrasons sont capables de déceler la présence de fissures et de défauts internes qui ne peuvent pas être détectés au cours d'une inspection visuelle.

La majorité des tests d'auscultation des rails aux ultrasons menés sur les lignes de chemins de fer nord-américaines est sous-traitée par les chemins de fer à des sociétés spécialisées dans les services de détection. Les sociétés Sperry Rail Service, DAPCO Technologies, LLC (qui appartient maintenant à NORDCO Inc.) et Herzog Services Inc. fournissent et exploitent des véhicules automoteurs et/ou rail-route équipés du matériel automatisé d'inspection des rails aux ultrasons et menés par des techniciens qualifiés. Les tests s'effectuent normalement à des vitesses comprises entre 15 et 20 mi/h et le véhicule s'arrête lorsque des défauts sont détectés. Le rail fait alors l'objet d'un examen plus détaillé et des mesures appropriées sont prises. Certains chemins de fer utilisent des procédures de test continu où un ou plusieurs véhicules qui suivent s'arrêtent pour rechercher plus précisément les endroits où des défauts ont été détectés.

Bien que les techniques traditionnelles de tests d'auscultation des rails aux ultrasons soient très efficaces, elles s'avèrent difficiles à utiliser lorsque la surface du champignon du rail est extrêmement endommagée ou que son profil est particulièrement usé par rapport à son profil de base; il est alors difficile de maintenir un contact acoustique adéquat avec les sondes du champignon du rail. Des recherches ont été menées sur l'emploi éventuel de la technologie des sondes à transducteurs électromagnéto-acoustiques (EMAT pour Electromagnetic Acoustic Transducer)⁴⁰ qui utilise des champs magnétiques pour produire des formes d'onde ultra-sonores à l'intérieur du champignon du rail et recevoir aussi des formes d'ondes ultrasonores du champignon du rail à travers une mince couche d'air. Ces recherches ont abouti à un système

⁴⁰ "Development of a Mobile Inspection System for Mobile Rail Integrity Assessment", Ahmad Chahbaz, Tektrend International, juin 2000, Publication Transports Canada TP 13611E.

prototype, Railpro, installé sur un véhicule rail-route et utilisé comme preuve de démonstration du concept. Toutefois, ce prototype n'a jamais été commercialisé.

4.2.1.2 *Systèmes sans contact*

La recherche et développement visant à utiliser des transducteurs laser/air sans contact pour l'auscultation des rails aux ultrasons est actuellement en cours. Tecnogamma^{41, 42} un développeur italien de systèmes de vision et de systèmes laser, a mis au point un prototype de système de non-contact. Depuis novembre 2004, cette société (en partenariat avec d'autres sociétés européennes et en coopération avec TTCI) développe un système d'auscultation des rails aux ultrasons basé sur un laser sans contact appelé U-Rail. Leur méthode a fait l'objet d'une démonstration en Amérique du Nord au cours d'un atelier sur le sondage ultrasonique des rails qui s'est tenu au Transportation Technology Centre (Centre de technologie des transports) de Pueblo (Colorado) en mars 2004. Cette technique, qui utilise une lumière laser focalisée pour produire des formes d'ondes ultrasonores de surface et de volume dans le rail, comporte des avantages par rapport aux méthodes ultrasoniques de contact de surface traditionnelles en évitant les difficultés liées à l'état indésirable de la surface du champignon de rail et à l'état géométrique. D'autre part, cette méthode devrait permettre d'inspecter l'âme et le patin de rail, en plus du champignon. Un prototype résultant de ce projet et sa preuve devaient être terminés à la fin 2006, mais on dispose de très peu d'information sur son lancement commercial. Herzog, l'un des importants fournisseurs de systèmes et de services d'auscultation des rails aux ultrasons en Amérique du Nord, a récemment été invité par TTCI à participer à ces recherches⁴³. Selon les enquêteurs de TTCI, cette technologie semble très prometteuse pour surmonter les limitations de vitesse des tests associés à l'utilisation d'unités de recherche à rouleaux (en l'anglais Roller Search Units ou RSU) à circulation liquide.

Des chercheurs de l'Université de Californie à San Diego étudient actuellement une autre technique d'auscultation des rails aux ultrasons basée sur laser⁴⁴. Leur système prototype utilise une impulsion laser pour produire des formes d'ondes ultrasonores à l'intérieur du rail de telle sorte que les ondes parcourent la longueur du rail. Ces impulsions sont produites à des intervalles de un pied et les microphones ultrasonores montés à 12 pouces du point d'excitation du laser et à 2 pouces au-dessus du champignon du rail sont utilisés pour surveiller toute diminution de la force de signaux ultrasons transmise, qui indiquerait la présence d'importantes fissures ou de défauts internes. Selon les chercheurs, puisque les formes d'ondes ultrasonores sont produites à l'intérieur du champignon du rail (c'est à dire sous la surface) la présence de fissures de surfaces superficielles n'interfère pas avec la propagation des ondes ultrasonores comme c'est le cas avec les techniques traditionnelles qui doivent transmettre le signal ultrasonore à travers la surface du champignon du rail.

⁴¹ <http://www.u-rail.com/>

⁴² <http://www.laserinstitute.org/conferences/ilsc/advance?selection=1>

⁴³ "A closer look at rail flaws", Mischa Wanek, Railway Track & Structures, novembre 2007.

⁴⁴ http://www.jacobsschool.ucsd.edu/news/news_releases/release.sfe?id=558

4.2.2 Technique d'essais par courants de Foucault

La technique d'essais par courants de Foucault est une technologie sans contact par sa nature dont utilisation est très répandue dans certains secteurs industriels comme l'aérospatial et les pipelines. Ce n'est que récemment que cette technologie a commencé à s'appliquer aux tests de rails commercialement viables. Avec cette technique, le matériel qui doit être testé est soumis à un champ magnétique et on en déduit la présence de fissures en observant les perturbations induites dans le champ magnétique telles que mesurées par des sondes sensibles. DYNATRAK II, un prototype de système mobile d'essais par courants de Foucault des rails, a été développé et testé au Canada⁴⁵. Dans ce système, les sondes de courant de Foucault étaient attachées à un petit chariot tiré derrière un véhicule rail-route contenant les sous-systèmes électroniques et d'alimentation électrique.

Le BAM, l'Institut fédéral allemand pour la recherche sur les matériaux et les essais, en coopération avec les chemins de fer allemands, a activement mené des recherches sur l'application des essais par courants de Foucault aux rails sur place et plusieurs systèmes sont maintenant utilisés en Europe. Speno International a récemment intégré le HC Grinding Scanner, un système de test de rails par courants de Foucault, sur un engin de meulage des rails⁴⁶. La figure 13 montre le système actuel de mesure par courants de Foucault installé sous un engin de meulage Speno. Ce système très efficace permet de détecter et de quantifier la profondeur des fissures du champignon grâce à un ensemble composé de quatre sondes de courants de Foucault installées sur chacun des champignons du rail. Eurailscout, un fournisseur de services de test de rail en Europe, est propriétaire du UST 02⁴⁷, un véhicule automoteur de test de rail, qui combine les techniques de test par courants de Foucault et aux ultrasons pour vérifier les criques, les enfoncements et les soudures du champignon. Le système fonctionne à des vitesses pouvant aller jusqu'à 70 km/h.

⁴⁵ "Dynatrac II – Rail surface defect detection system", NDT Technologies Inc., 1998, Publication Transports Canada TP 13255E.

⁴⁶ "A new Eddy Current Instrument in a Grinding Train", <http://www.ndt.net/article/ecndt2006/doc/P178.pdf>

⁴⁷ <http://www.railway-technology.com/contractors/infrastructure/eurailscout/>



Figure 13 Système de mesure par courants de Foucault installé sur un train meuleur⁴⁸

4.2.3 Inspection des éclisses

Les éclisses font généralement l'objet d'une inspection visuelle afin de détecter d'éventuelles fissures, des boulons manquants ou desserrés ou autres indications de mouvement. Les inspections menées à pied peuvent être très complètes, mais elles prennent beaucoup de temps. C'est pourquoi cette tâche est souvent confiée à un inspecteur de voie qui parcourt les voies à bord d'un véhicule rail-route. Toutefois, le point d'observation à l'intérieur du véhicule rail-route n'est pas idéal et les inspections ne sont donc pas aussi efficaces. La technologie émergente est prometteuse en matière d'automatisation du processus d'inspection visuelle des éclisses. Un système prototype monté sur un véhicule rail-route a été développé conjointement par FRA et ENSCO, Inc. et testé sur le terrain en 2005^{49, 50}. Le système enregistrait alors un taux de fausses alarmes de 60 % et ne détectait pas 15 % des fissures existantes, toutefois toutes les fissures centrales étaient décelées. La figure 14 montre les principaux composants et la configuration de ce système.

⁴⁸ Source: "A new Eddy Current Instrument in a Grinding Train", p. 3, <http://www.ndt.net/article/ecndt2006/doc/P178.pdf>

⁴⁹ "Automated Joint Bar Inspection Using High Speed Cameras", Boris Nejikovsky et. al., Travaux de la Conférence AREMA 2005, 29 septembre 2005.

⁵⁰ "Video System for Joint Bar Inspection", Résultats des recherches du FRA RR06-03, mars 2006.
<http://www.fra.dot.gov/downloads/Research/rr0603.pdf>



Figure 14 Prototype de système d’inspection des éclisses monté sur un véhicule rail-route⁵¹

Le système prototype a subi quelques modifications en vue d’améliorer son efficacité en matière de détection (diminuer le nombre de fissures qui n’ont pas été détectées) et pour étendre ses capacités pour pouvoir détecter les écrous et les boulons manquants. Actuellement, le système d’inspection des éclisses d’ENSCO (de l’anglais Joint Bar Inspection System ou JBIS) est installé sur des plates-formes de wagons d’inspection de l’état géométrique de la voie et des véhicules rail-route et peut fonctionner à des vitesses supérieures à 50 mi/h⁵². Le système détecte automatiquement les éclisses et capte une image à haute résolution qui fait l’objet d’un traitement numérique et qui est stockée pour un examen ultérieur. Grâce à cette technologie, le personnel d’entretien de la voie peut inspecter les longs rails soudés d’une subdivision de 200 milles de long en deux heures environ à partir d’une station de travail installée dans leur bureau au lieu de marcher sur la voie. CN a acheté en 2007 une nouvelle voiture automotrice de contrôle de l’état géométrique de la voie autopropulsé qui intègre un système automatisé d’inspection des éclisses basé sur la vidéo⁵³.

⁵¹ Source: “Automated Joint Bar Inspection Using High Speed Cameras”, Boris Nejikovsky et. al., Travaux de la Conférence AREMA 2005, 29 septembre 2005.

⁵² 52 “A closer look at rail flaws”, Mischa Wanek, Railway Track & Structures, novembre 2007.

⁵³ « Plan de sécurité intégrée du CN – Technologie », mémoire de CN au Comité d’examen de la Loi sur la sécurité ferroviaire, 4 mai 2007, p. A-2.

4.2.4 Inspection automatisée des traverses

Les traverses de voie ferrée sont habituellement inspectées par des employés qui marchent sur les voies et inspectent visuellement les traverses pour déceler tout problème éventuel, tel que d'importantes fissures, des pièces manquantes et l'état des attaches. Les technologies numériques d'imagerie sont parfaitement adaptées à l'automatisation du processus d'inspection des traverses des voies ferrées. Comme le montre la figure 15, les algorithmes logiciels et matériels mis en place dans les systèmes numériques d'imagerie utilisés pour les inspections de traverses peuvent segmenter l'image, identifier les éléments principaux et souligner les défaillances potentielles. Si on se reporte à cette figure, les extrémités de chaque traverse sont matérialisées en blanc, les selles de rail en rouge et les crampons en vert. Toutes les principales fissures sont indiquées en gris et le système a également pu identifier une pièce manquante de la traverse qui apparaît en haut de la figure dans le coin droit et est entourée en jaune.

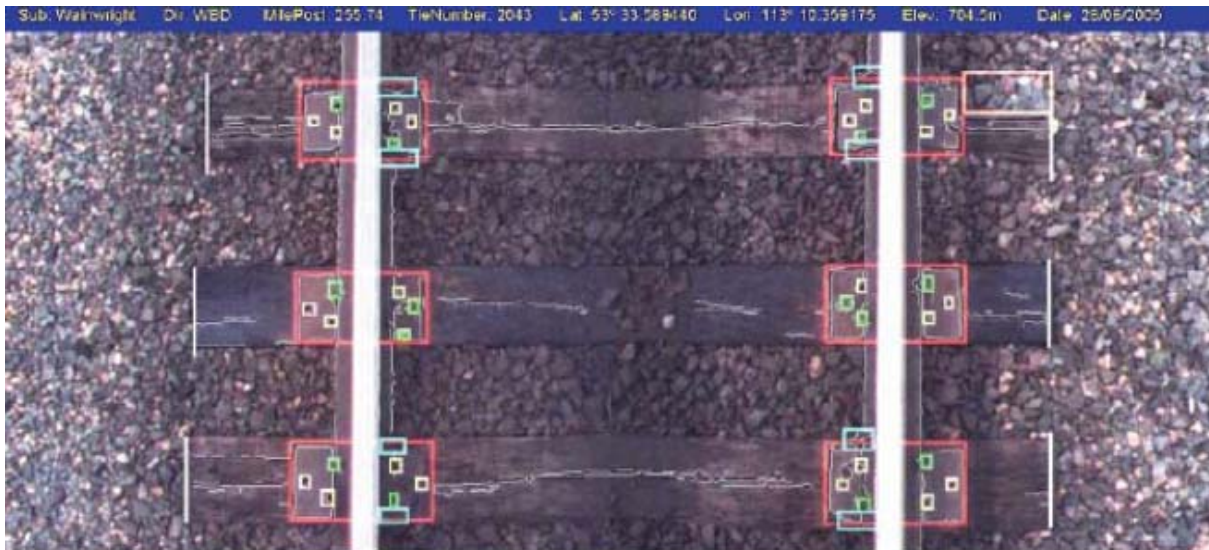


Figure 15 Image numérique de l'état des traverses et des crampons⁵⁴

La compagnie Georgetown Rail Equipment Company (GREX) propose des services d'inspection de traverses et utilise à cet effet son système rail-route Aurora⁵⁵ capable de fonctionner à 30 mi/h et d'inspecter des traverses aussi bien en béton qu'en bois sur des centaines de milles de voies en une seule journée.

4.2.5 Meulage des rails

Le meulage des rails est un processus d'entretien utilisé par les chemins de fer depuis plusieurs années visant à remettre en état les surfaces de roulement du rail sur les voies principales, les

⁵⁴ Source : "A Railroaders View of Track Safety Rules", Roney, M.D., Travaux du colloque sur le Règlement sur la sécurité de la voie, Transports Canada, septembre 2006.

voies de manœuvre et les liaisons entre voies pour prolonger la durée de vie de la voie. L'usure de l'interface de la roue/rail qui se développe avec le contact entre les roues et la variété des profils de roue du matériel roulant contribuent à modifier progressivement la forme du champignon du rail au fil du temps. Ces changements progressifs provoquent un déplacement à l'endroit où la surface de la roue est en contact avec le champignon de rail, accentuant ainsi les contraintes de contact et la fatigue générée par le contact de passage avec les roues. Des fissures de surface se développent alors, puis elles se propagent et se transforment en défauts de surface tels que des écailles et, dans les cas les plus rares, elles s'enfoncent dans la surface du champignon, diminuant ainsi la solidité du rail. Le meulage des rails vise à remodeler la surface du champignon du rail pour qu'il concorde avec le profil souhaité et à retirer la couche de surface du matériel détérioré.

4.3 Technologies liées à la gestion des risques géologiques

Les voies ferrées canadiennes ont été construites sur de vastes territoires de terrains souvent très accidentés. Par exemple, les voies serpentent le long des flancs abrupts des montagnes et traversent des rivières qui subissent des variations saisonnières importantes dans le débit des cours d'eau. Les voies ferrées ont été construites à proximité de ces caractéristiques géographiques potentiellement instables et elles sont donc exposées aux dangers naturels tels que des chutes de rochers provoquées par des glissements en amont ou en aval et des affaissements qui se produisent lorsque l'eau cause la rupture du ballast et de l'infrastructure de la voie. Même si ces incidents sont relativement peu fréquents, leurs conséquences sur les chemins de fer peuvent être extrêmement graves.

4.3.1 Barrières anti-chutes et systèmes de détection des glissements de terrain

Dans les endroits où les dangers sont connus, les chemins de fer ont installé et constamment contrôlé des détecteurs de chute ou des détecteurs d'instabilité de la plate-forme. Un détecteur de chute ressemble à une barrière construite à côté des voies en amont (voir la figure 16) tandis que le détecteur d'instabilité de la plate-forme se trouve en aval.

La présence d'un danger est détectée lorsque les conduites électriques qui se trouvent dans la barrière sont brisées ou détachées par le mouvement de matériaux; les trains qui s'approchent sont automatiquement prévenus par un dispositif de signalisation. L'installation et l'entretien de ces dispositifs sont coûteuses et longues à cause de l'ampleur des travaux de construction que cela implique. On ne peut donc pas utiliser ce type de détecteurs que pour protéger de modestes tronçons de voie dans des zones les plus dangereuses.

Les chemins de fer continuent d'étudier de nouvelles technologies et méthodes qui pourraient être utilisées pour prévoir et/ou détecter ce type de dangers géologiques et en atténuer les conséquences. En 2002, s'est tenu un atelier sur les risques de glissement de terrain et de

⁵⁵ <http://www.georgetownrail.com/aurora.php>

ravinement, à Kananaskis (Alberta), organisé en partie par Transports Canada et d'autres organismes gouvernementaux. Cet atelier présentait un forum destiné à l'industrie, au gouvernement et aux chercheurs et portait sur l'examen des pratiques actuelles de gestion des risques des dangers géologiques et l'identification des besoins futurs et des opportunités viables en matière de recherche et développement ultérieurs. Peu de temps après, un Programme de recherche sur les risques géologiques en transport ferroviaire voyait le jour.



Figure 16 Une barrière anti-chutes sur la voie de CN⁵⁶

Des recherches importantes menées dans le cadre de ce programme de recherche visent à étudier les techniques de construction des modèles altimétriques numériques qui peuvent être utilisés avec les modèles informatiques pour analyser les caractéristiques topographiques et évaluer les tronçons où les risques de glissements de terrain ou de chutes de rochers sont importants. Les projets individuels portaient sur la photogrammétrie avec l'utilisation de caméras numériques⁵⁷ et sur les utilisations suivantes : la détection et télémétrie par ondes lumineuses (LiDAR)⁵⁸ terrestres, un LIDAR⁵⁹ aéroporté à faible altitude et le mode interférométrique du radar à synthèse d'ouverture (RSO) à partir de l'orbite-terrestre⁶⁰. Ces données et analyses peuvent être

⁵⁶ Source : « Plan de sécurité intégrée du CN – Technologie », mémoire de CN au Comité d'examen de la Loi sur la sécurité ferroviaire, 4 mai 2007, p. 20.

⁵⁷ "Digital Elevation Models Based on Terrestrial Photogrammetry", Projet PRRGTF 5.1 – GIS Based Models for Predicting Ground Hazard Events

⁵⁸ "Light Detection and Ranging (LIDAR) Survey of CN Rail Track near Yale, British Columbia", Projet PRRGTF 5.3 – GIS Based Models for Predicting Ground Hazard Events.

⁵⁹ "Mobile terrestrial and low altitude airborne Lidar data assessment for Algoma Central Railway", Projet PRRGTF 6.3 - Develop GH mapping processes for rail corridors.

⁶⁰ "INSAR", Projet PRRGTF 9.1 - Hazard monitoring – event detection technology.

exploitées par les chemins de fer pour choisir le développement de leurs futurs sites de détection de dangers.

Bien que les barrières anti-chutes sont des outils de détection des glissements de terrain et des chutes de rochers aujourd'hui éprouvés, d'autres techniques sont toujours à l'étude telles que l'utilisation d'un radar guidé terrestre permettant de détecter les glissements de terrain et la mise en œuvre de techniques permettant de détecter les glissements de terrain et les chutes de pierres. Avec la technique de perturbation de champ électromagnétique (ou EMFD, de l'anglais Electromagnetic Field Disturbance)⁶¹, des investigateurs ont détecté des perturbations induites dans un signal de radiofréquence porté par un câble coaxial lors de la chute de matériaux à proximité du câble de détection. Un rapport a évalué 26 techniques de détection sur le plan de leur maturité, capacité et capabilité en matière de détection de dangers géologiques dans le transport ferroviaire. L'interférométrie radar terrestre et l'interférométrie fibres optiques se sont révélées être les deux nouvelles technologies les plus cotées⁶².

4.3.2 Capteurs à fibres optiques

Le concept de technologie de détection à fibres optiques a pour origine le Secure Pipe™, un produit commercialisé et proposé par la société Future Fibre Technologies Pty. Ltd. Cette technologie, destinée à l'origine aux industries pétrolières, utilise des câbles en fibre optique enterrés à une profondeur de 1 à 2 mètres pour détecter l'activité en surface de la zone contrôlée avec une précision de 150 mètres le long de la longueur du câble enterré. Des systèmes similaires sont actuellement utilisés pour protéger de grands périmètres, tels que les bases militaires ou pour défendre les frontières. Dans le domaine ferroviaire, le câble serait enterré plus probablement 15 à 30 centimètres en dessous de la surface du ballast et sur de longues distances (l'exemple cité avait 40 kilomètres de longueur). Toutefois, il est nécessaire de procéder à des tests plus poussés pour confirmer la sensibilité et la capacité du système à différencier les débris sur les voies de l'exploitation normale des trains. Mais il s'avère que l'intérêt pour cette technique de détection des glissements de terrain décroît en faveur de différentes approches.

4.3.3 Géophones

La recherche au Canada se tourne désormais vers la mise en place de réseaux de géophones (capteurs microsismiques) à bas coûts pour détecter des glissements de terrain. Les phases initiales de travail se concentrent sur les tâches de collecte des données et le développement d'un logiciel de reconnaissance des formes capable de distinguer d'importants événements de mouvement de terrain.

⁶¹ "Railway Rockfall Electromagnetic Field Disturbance Sensing System Development and Field Testing", P. Brackett, Publication Transports Canada TP 13928E, octobre 2002.

⁶² "Natural Rail Hazards – Detection Technology Evaluation", S. Maloney and N. Miller, décembre 2004, Publication Transports Canada TP 14537E.

4.3.4 Système d'auscultation des ponts

CN détient et exploite un système d'auscultation des ponts (ou BTS, de l'anglais Bridge Testing System) qui ressemble à un laboratoire mobile sur roues.⁵³ L'instrumentation mise à disposition permet d'évaluer la force et la capacité de réserve des éléments du pont. De récentes améliorations ont été apportées, comme l'ajout d'un système de test sans fil. Une amélioration ultérieure du système est également possible pour pouvoir effectuer le suivi à long terme des éléments du pont sensibles aux efforts de la fatigue. Le CN affirme qu'il ausculte environ 10 à 12 structures de pont par an.

4.3.5 Radar à pénétration du sol

La méthode traditionnelle utilisée par les chemins de fer pour analyser de ballast et de sous-couches de voie ferrée comprend le forage des trous et l'inspection des échantillons à des intervalles réguliers. Il est facile avec cette méthode laisser échapper des défauts dans la structure de la voie. Un radar pénétrant peut être utilisé pour examiner l'épaisseur et la qualité du ballast, du sous-ballast et de sous-couches de la voie avec une couverture presque complète (les zones situées sous les traverses peuvent être moins bien sondées). Alors que cette technique est encore au stade de l'expérimentation en Amérique du Nord⁶³, elle est massivement utilisée en Europe (par exemple, en Allemagne, Autriche, Suisse, Hongrie et Norvège)⁶⁴ dans le cadre d'inspections géotechniques des plates-formes. Les premiers systèmes utilisaient des antennes papillons placées juste au-dessus du ballast et ne fonctionnaient qu'à des vitesses inférieures à 30 mi/h. De plus, les antennes s'endommagent rapidement à cause des travaux en voie (lames d'aiguille, etc.). Des vitesses plus rapides d'inspection sont maintenant possibles avec l'utilisation d'antennes-cornets installées à environ un demi-mètre au-dessus du ballast où elles ne risquent pas d'être endommagées par des travaux en voie. Zetica Rail au Royaume-Uni a mis au point un système d'acquisition de radar avancé (ZARR pour Zetica advanced rail radar en anglais)⁶⁵ destiné tout particulièrement aux voies ferrées. Ce système est conçu pour être connecté au matériel d'inspection avec des antennes installées en dessous du véhicule. Une provision est offerte pour un train d'impulsion du tachymètre et un système GPS et des techniques vidéo pour localiser précisément les éventuelles défaillances. On considère que le système Zetica est capable de capturer des échantillons à 5 centimètres d'intervalles à des vitesses de 100 km/h.

CN voit en ce système une future technologie qu'il pourrait utiliser. CFCP a testé cette technologie et bien qu'il reconnaisse que le système donne de l'information sur l'état des conditions souterraines, il est déçu par le manque d'utilité de l'information en matière de planification de l'entretien.

⁶³ "Ground Penetrating Radar Investigation of Ballast on the CN and CP Rail Lines Near Ashcroft, British Columbia", D. Butler & J Dawson, juin 2006, Publication Transports Canada TP 14607E.

⁶⁴ "Fast Inspection of Railway Ballast By Means of Impulse GPR Equipped with Horn Antennas", <http://www.ndt.net/article/v10n09/kathage/kathage.htm>

⁶⁵ "Benefits of high speed GPR to manage trackbed assets and renewal strategies", Asger Eriksen et. al., PWI Conference, 19 juin 2006, Brisbane, Australie, http://www.zetica.com/downloads/Zetica_PWI_GPR_Paper_June06.pdf

5 AUTRES TECHNOLOGIES (SIGNAUX, PASSAGES À NIVEAUX)

5.1 Système de commande intégrale des trains

Le système de commande intégrale des trains (en anglais Positive Train Control ou PTC) est un ensemble de processus et de technologies automatisés qui fonctionnent collectivement dans le but d'assurer une séparation appropriée des trains, de mettre en application les limites de vitesse sur les voies et les limitations temporaires de vitesse, et de fournir une protection aux équipes et au matériel lorsqu'ils circulent sur les voies. Le système de contrôle de mouvements des trains (en anglais Positive Train Separation ou PTS) fournit un sous-ensemble des fonctionnalités du système de commande intégrale des trains, et tout particulièrement en matière de maintien des distances de sécurité entre les trains en tout temps.

Le système de commande intégrale des trains peut être implanté soit comme système partiel superposé, soit comme système de sécurité fondamentale complètement automatisé. Dans le système superposé, les systèmes informatiques installés à bord des locomotives servent à déterminer avec précision la position actuelle du train et à appuyer la communication de données entre le matériel ferroviaire et un centre de commande. Mais l'équipe de train continue à être en grande partie responsable de la conduite du train et doit se conformer aux instructions et au système traditionnel de signalisation des voies. Toutefois, les systèmes superposés peuvent définitivement contraindre le train à s'arrêter lorsque le système détermine que le train va outrepasser son autorisation de circuler en traversant une limite de canton de signalisation sans permission.

Un système de sécurité fondamentale est un système plus automatisé qui détermine la position d'un train avec une telle précision qu'on peut distinguer les voies adjacentes. Il facilite la circulation des trains avec des cantons mobiles, ce qui minimise la séparation du train de la distance réelle nécessaire pour que les trains particuliers soient arrêtés avant qu'une collision ne se produise.

Des formes de système de commande intégrale des trains ont été complètement mises en place dans certaines activités de transport en commun et de service de passagers dans le monde entier. On peut citer par exemple les systèmes avancés de commande des trains (ATCS, pour Advanced Train Control Systems), le système civil avancé d'application des limites de vitesse (ACSES, pour Advanced Civil Speed Enforcement System) et les systèmes de commande incrémentale des trains (ITCS, pour Incremental Train Control System) de AMTRAK. Des systèmes, tels que l'ATCS dans les années 80 et d'autres dans les années 90, ont été proposés pour être utilisés dans les activités de marchandises en Amérique du Nord, mais leur progression s'est limitée à des projets de démonstration, comme celui sur le réseau de BNSF en 1997⁶⁶.

⁶⁶ http://findarticles.com/p/articles/mi_m1215/is_n1_v198/ai_19077859

Le NTSB américain a mis depuis 1990 en tête de sa liste des améliorations les plus souhaitées en matière de sécurité ferroviaire le système de commande intégrale des trains⁶⁷, et la FRA a commencé à s'y intéresser en 1997 en formant un groupe de travail sous les auspices de son *Railroad Safety Advisory Committee* (comité consultatif de la sécurité ferroviaire) pour étudier la mise en œuvre des systèmes de commande intégrale des trains. La FRA a depuis publié la règle *Standards for Development and Use of Processor-Based Signal and Train Control Systems* (norme pour le développement et l'utilisation de systèmes de contrôle des signaux et des trains basés sur un processeur) qui est entrée en vigueur le 6 juin 2006.

Les chemins de fer américains commencent aujourd'hui à introduire des systèmes de commande intégrale des trains sur une base restreinte, par exemple sur la Union Pacific Railroad Company (UP), le Burlington Northern Santa Fe Railway (BNSF), la Norfolk Southern Railway Company (NS) et la Alaska Railroad Corporation. On préfère mettre en place des systèmes dans des zones exemptes de signalisation en raison des importants gains de productivité qui peuvent être réalisés; toutefois, les chemins de fer prévoient également des implantations sur des territoires contrôlés.

Il paraît raisonnable de s'attendre à ce que la mise en place des systèmes de commande intégrale des trains se poursuive sur les chemins de fer individuels de l'ensemble de l'Amérique du Nord alors que l'expérience collective de l'industrie dans ce domaine s'accroît et des avantages suffisants se présentent. Toutefois, il a été signalé en 2005 que le rapport coûts-avantages de la mise en place des systèmes de commande intégrale des trains est bien inférieur à 1, ce qui rend leur implantation difficile à justifier⁶⁸. Il existe aussi des problèmes autour de l'interopérabilité de l'équipement de commande intégrale des trains qui doivent être examinés en profondeur pour que les chemins de fer nord-américains puissent continuer leurs interconnexions lorsque ce type d'accord existe⁶⁹. L'industrie ferroviaire examine ces questions par le biais de comités de travail et de nombreuses normes nécessaires ont déjà été développées.

5.2 Indicateurs de position d'aiguille en zones exemptes de signalisation

Les déraillements dans des zones exemptes de signalisation peuvent se produire lorsque les aiguilles sont laissées à tort dans la mauvaise position. À l'approche d'un train, son équipe à bord est incapable d'immobiliser le train en toute sécurité car elle ne peut confirmer l'alignement de l'aiguillage qu'une fois arrivée trop près de celui-ci. Malgré la mise en place de procédures opérationnelles de mesures de protection pour éviter les mauvaises positions d'aiguille, comme par exemple obliger le personnel à contacter le contrôleur de la circulation ferroviaire lors d'une opération sur un aiguillage manuel, des accidents continuent à se produire.

⁶⁷ http://www.nts.gov/Recs/mostwanted/positive_train.htm

⁶⁸ "Railroad Industry Perspective", R. VanderClute, colloque NTSB PTC, 2 mars 2005, http://www.nts.gov/events/symp_ptc/presentations/03_VanderClute.pdf

⁶⁹ "Trust-Based Secure Positive Train Control (PTC) Interoperation", http://ise.gmu.edu/techrep/2006/06_10.pdf

La technologie utilisée dans les gares de triages, tel que l'indicateur de position d'aiguille de Rail Comm⁷⁰, permet de fournir la bonne indication de l'orientation des aiguilles en utilisant des signaux lumineux qui sont contrôlés par l'orientation des aiguilles et visibles par le train en mouvement suffisamment loin qu'il puisse s'arrêter sans danger. L'ajout de nouvelles technologies d'annonce, par lesquelles un train qui s'approche peut envoyer par radio le dispositif de l'indicateur de position des aiguilles et recevoir en retour un message lui indiquant l'orientation de l'aiguillage, représente un moyen efficace pour étendre l'application aux vitesses normales d'exploitation en voie principale. Le système Fail Safe Audible Signal Power Activated Switch (FAS-PASTM) de Global Rail System donne des indications et visuelle et sonore de la position de l'aiguille⁷¹. Ce système affiche une lumière verte dans la direction des trains qui arrivent lorsque l'aiguillage est correctement orienté, et une lumière rouge lorsqu'il est en position renversée. Le mécanicien d'un train qui s'approche peut aussi interroger le dispositif d'indication des aiguilles pour connaître la position d'aiguillage en utilisant la radio standard de la locomotive à bord. Les systèmes FAS-PASTM sont utilisés sur des tronçons de voies de la NB Southern Railway depuis mai 2005 et Transports Canada a récemment parrainé une étude pour évaluer la fiabilité de ce système en conditions hivernales⁷².

5.3 Systèmes de passages à niveau

Transports Canada et les chemins de fer ont étudié un nombre de problèmes et de nouvelles technologies sous les auspices de l'initiative « Direction 2006 », initiative qui a démarré en 1996 avec pour objectif la réduction de 50 % des accidents aux passages à niveau. La plupart des problèmes de sécurité liés aux passages à niveau mettent l'accent sur les facteurs humains, thème traité dans une autre étude. Nous avons simplement dressé une liste de quelques technologies qui ont fait l'objet d'évaluation dans le cadre du programme de recherche de l'initiative « Direction 2006 ». Beaucoup de technologies portent sur l'amélioration soit de la perceptibilité visuelle, soit de la capacité d'alerte sonore des trains qui s'approchent. Les technologies visuelles incluent :

- Des signaux lumineux avec des lampes à diodes électroluminescentes (DEL) – pour améliorer la visibilité des passages à niveau munis de dispositifs de signalisation automatique, lorsqu'on s'approche de manière décentrée de l'alignement des lumières d'avertissement.
- L'application de matériaux rétro réfléchissants sur les wagons pour améliorer la visibilité de nuit des trains qui occupent un passage à niveau sans dispositifs d'avertissement automatiques.

Les lumières à l'avant de la locomotive permettent aussi d'améliorer la visibilité d'un train qui s'approche. On nous a demandés de rapporter toute étude qui traite de l'efficacité des feux

⁷⁰ http://www.railcomm.com/products/switch_position_indicator.htm

⁷¹ <http://www.globalrailsystems.com/>

⁷² <http://www.tc.gc.ca/cdt/projets/ferroviaire/b/5697.htm>

stroboscopiques. L'étude qui suit résume les conclusions d'une évaluation de la FRA et est extraite d'une étude menée pour Transports Canada dans le cadre de l'initiative « Direction 2006 » : *Évaluation de klaxons de locomotives : Efficacité et vitesses d'exploitation*, [TranSys Research Ltd. 2003].

La FRA des États-Unis a mené des études pour évaluer l'efficacité des feux à éclats et d'autres types de feux à accroître la visibilité d'une locomotive [Carroll et coll., 1995], avant de promulguer une règle à ce sujet. Les essais sur le terrain comparaient le rendement d'un phare avant seul et celui d'un phare avant combiné à chacun des trois types de feux suivants :

- 1. feux de croisement clignotants alignés directement avec la voie;*
- 2. phares de fossé continus à faisceau orienté à 15 degrés vers l'extérieur;*
- 3. deux feux à éclats montés sur la locomotive.*

Voici les principaux résultats de ces essais :

- Les trois combinaisons phare-feux auxiliaires ont surclassé le phare seul : dans les trois cas, le train pouvait être détecté de beaucoup plus loin et l'observateur était mieux en mesure d'évaluer le temps qu'allait prendre le train pour arriver au passage à niveau. Pour ce qui est de la distance de détection, les feux de croisement ont affiché les meilleures performances, suivis des phares de fossé et des feux à éclats.*
- Les feux à éclats produisent des effets intéressants, notamment lorsqu'ils sont installés en paire, mais la présence généralisée de feux à éclats et de feux oscillants sur les véhicules d'urgence fait qu'ils sont moins efficaces en tant que dispositif distinctif d'annonce de l'approche d'un train. De plus, les feux à éclats se confondent avec l'arrière-fond le jour et lorsqu'il fait nuit, la multiplicité des sources lumineuses peut affaiblir leur capacité à attirer l'attention. La recherche révèle en outre que les feux de croisement et les phares de fossé – les feux auxiliaires les plus largement utilisés aux États-Unis – semblent eux aussi afficher un bon rendement, tant dans des conditions expérimentales qu'en service réel.*
- Pour ce qui est de l'estimation du délai avant l'arrivée du train, ce sont les feux de croisement qui ont mené aux erreurs les plus faibles, soit de 7 à 22 secondes. Mais les phares de fossé ont eux aussi facilité l'estimation. À noter qu'au cours des essais sur le terrain, les observateurs portaient un casque d'écoute pour masquer le bruit de la locomotive qui s'approchait.*
- Les systèmes d'avertissement améliorés de l'approche d'un deuxième train (pour Improved Second Train Warning Systems), chargés d'évaluer un nombre de systèmes visuels pour mieux faire comprendre aux piétons la présence et les dangers d'un deuxième train qui s'approche aux passages à niveau.*

Des systèmes d'alerte sonores ont également fait l'objet d'évaluations dans le cadre de l'initiative « Direction 2006 », tels que :

- Des klaxons à deux niveaux sonores, recommandés pour équilibrer les préoccupations liées au bruit exprimées par les populations riveraines, avec les avantages d'un niveau de son élevé pour les cas d'urgence.
- Des avertisseurs fixes – des dispositifs d'avertissement sonores qui sont installés sur le passage à niveau pour fournir un avertissement audible sur le long de la route plutôt que le long des voies, permettant ainsi de réduire les préoccupations liées au bruit exprimées par les collectivités.

D'autres thèmes de recherche incluent :

- La photo surveillance – évaluation de l'impact en matière de sécurité d'un système de photo surveillance automatisé à un passage à niveau munis de dispositifs de signalisation automatique à feux clignotants mais sans barrière;
- Des alternatives à moindre coût – une évaluation des technologies pouvant améliorer graduellement la sécurité par rapport à des dispositifs passifs à faible coût, mais à un coût moins beaucoup important que les systèmes totalement automatisés d'avertissement aux passages à niveaux disponibles actuellement.

6 OBSERVATIONS ET RECOMMANDATIONS

la *Loi sur sécurité ferroviaire* ne fait pas obstacle à l'adoption de technologies de sécurité, même si elle ne facilite pas en soi le développement de technologies. La *LSF* permet d'actualiser le règlement en matière de sécurité au fur et à mesure que les progrès des technologies et des connaissances le justifient. Toutefois, la procédure d'élaboration des règlements n'a guère favorisé le passage à des normes axées sur le rendement. L'industrie et l'organe de réglementation n'ont pas encore convenu de ce qu'est une norme de rendement ou des caractéristiques qu'elle doit présenter. Près d'une vingtaine d'années après l'adoption de la *LSF*, Transports Canada est toujours perçu comme fonctionnant en régime de conformité tout comme celui de l'ancienne Commission canadienne des transports. Pour faciliter le développement technologique, il faut des ressources financières et humaines qui n'ont pas encore été attribuées. Si Transports Canada souhaite exercer une influence sur les questions de sécurité propres au milieu d'exploitation ou au milieu physique canadien, le Ministère doit investir à la fois dans la recherche et les ressources humaines. Nous recommandons à Transports Canada d'affecter les ressources nécessaires pour respecter pleinement l'esprit de la *LSF*.

Les exigences d'harmonisation et la structure de l'industrie font plus obstacle au développement technologique de matériel ferroviaire que la *Loi sur la sécurité ferroviaire*. Il est plus facile d'adopter un train de mesures indépendant dans le domaine des voies. Nous recommandons que l'initiative en cours visant à actualiser le *Règlement sur la sécurité de la voie* permette d'interpréter l'esprit de la *LSF* et d'actualiser le processus qui entre en jeu dans l'établissement des règles. De l'avis de tous, une excellente première mesure a été prise. Les ressources et les priorités nécessaires à la poursuite de ce processus jusqu'à son aboutissement doivent être attribuées. L'objectif doit être de concilier de manière optimale la surveillance de la sécurité par le gouvernement à l'appui de la confiance du public et la liberté laissée à l'industrie de gérer/faire progresser la sécurité avec efficacité. D'après nos entrevues, nous avons constaté des points de vue diamétralement opposés sur certaines questions fondamentales. Nous invitons l'industrie ainsi que le gouvernement à aborder cette tâche dans un esprit d'ouverture et à reconnaître l'importance de rectifier le tir cette fois.

Nous partageons l'avis de la majorité des personnes interrogées qui ont déclaré que les activités de recherche et développement devaient faire partie intégrante de la démarche adoptée par la Direction générale de la sécurité ferroviaire pour remplir son mandat qui consiste à surveiller la sécurité et à la faire progresser. Nous sommes d'avis que le programme de recherche conçu dans le cadre de Direction 2006 illustre une initiative conjointe industrie-gouvernement qui a réussi à faire progresser la sécurité et a permis à Transports Canada de participer et de contribuer à ces progrès à l'échelle internationale. Certaines recherches se sont concentrées sur des thèmes qui n'avaient pas été abordés dans d'autres pays et d'autres ont traité des perspectives canadiennes spécifiques. On pouvait penser également que certains sujets ne feraient que répéter les efforts de

recherche menés dans d'autres pays; pourtant ces initiatives ont apporté des conclusions différentes et ont conduit à mettre en place au Canada des actions différentes de celles mises en place dans d'autres pays. Un modèle similaire à l'initiative Direction 2006 pourrait s'appliquer à l'ensemble de la sécurité ferroviaire. Nous recommandons que Transports Canada adopte un programme conjoint industrie-gouvernement analogue pour faire progresser la sécurité ferroviaire et affecte des ressources financières et humaines suffisantes pour que, d'ici à 2010, la structure organisationnelle et les cibles de progrès de la sécurité pour 2020 soient fixées, et qu'un programme de recherche préliminaire échelonné sur cinq ans soit établi.

Dans le passé, les résultats en matière de recherche et technologie ont été utilisés pour améliorer la sécurité du réseau ferroviaire canadien et il y aura d'autres opportunités pour poursuivre ces améliorations. Au lieu de se concentrer sur des technologies précises, nous recommandons de suivre les lignes directrices générales suivantes pour cibler les activités de recherche futures :

- le gouvernement doit assumer un rôle dirigeant plus important dans la conception de technologies qui ne sont pas axées sur la réalisation des économies d'exploitation appréciables et où il existe des limites interfonctionnelles;
- le choix de sujets précis dans ces catégories doit tenir compte des limites possibles de l'harmonisation;
- il existe plus de possibilités d'influer sur les progrès de la sécurité dans le domaine des voies et de l'exploitation que dans les sujets relatifs au matériel roulant;
- en matière de matériel roulant, l'accent doit être mis sur la notion de leadership pour tenir compte des problèmes liés à la sécurité qui sont aggravés dans le milieu d'exploitation et naturel du Canada.

ANNEXE A

Consignateurs électroniques de données

Enregistreurs électroniques de données du transport aérien

La FAA exige que tous les gros avions commerciaux et quelques aéronefs commerciaux, d'entreprise et privés plus petits soient équipés d'un enregistreur de données de vol (FDR) et d'un enregistreur de la parole dans le poste de pilotage (CVR). Ces appareils enregistrent des informations que les enquêteurs peuvent utiliser pour déterminer les événements qui ont mené à un accident d'aéronef. L'enregistreur de données de vol garde un historique des informations qui décrit le fonctionnement de l'aéronef tel que son altitude, sa vitesse et son cap. L'enregistreur de la parole dans le poste de pilotage, comme son nom l'indique, enregistre la voix du pilote, le bruit du moteur, les alarmes, le bruit du train d'atterrissage et tout autre bruit émis dans le poste de pilotage grâce à un microphone généralement situé au-dessus du tableau de bord. Toutes les transmissions radio sont également enregistrées. Les anciennes unités d'enregistrement analogiques utilisent des bandes magnétiques d'un quart de pouce alors que les unités numériques plus récentes utilisent des puces mémoires durcies. Ces deux types d'enregistreurs doivent être installés dans des endroits à l'épreuve des impacts qui est généralement la queue de l'aéronef.

Le tableau A-1 présente les principales spécifications du FDR et le tableau A-2 celles du CVR.

Tableau A-1 Spécifications de l'enregistreur de données de vol de l'aéronef

Enregistreur de données de vol

<i>Temps enregistré :</i>	<i>25 heures continues</i>
<i>Nombre de paramètres :</i>	<i>18 - 1000+</i>
<i>Tolérance d'impact :</i>	<i>3400Gs / 6,5 ms</i>
<i>Résistance au feu :</i>	<i>1100 °C / 30 min</i>
<i>Résistance de la pression de l'eau submergée :</i>	<i>20000 pi</i>
<i>Radiobalise sous-marine :</i>	<i>37,5 KHz ; la batterie a une durée de vie de 6 ans minimum, avec une capacité de fonctionnement de 30 jours après activation</i>

Tableau A-2 Spécifications de l'enregistreur de la parole de l'aéronef

Enregistreur de la parole dans le poste de pilotage

<i>Temps enregistré :</i>	<i>30 min continues, 2 heures pour les unités numériques à circuits intégrés</i>
<i>Nombre de canaux :</i>	<i>4</i>
<i>Tolérance d'impact :</i>	<i>3400Gs / 6,5 ms</i>
<i>Résistance au feu :</i>	<i>1100 °C / 30 min</i>
<i>Résistance de la pression de l'eau submergée :</i>	<i>20 000 pi</i>
<i>Radiobalise sous-marine :</i>	<i>37.5 KHz; la batterie a une durée de vie de 6 ans minimum, avec une capacité de fonctionnement de 30 jours après activation</i>

Enregistreurs électroniques de données du transport maritime

Beaucoup de navires lors de leurs voyages internationaux doivent être équipés d'un enregistreur des données du voyage (VDR) pour fournir des informations dans le cadre d'enquêtes sur un accident.

Le tableau A-3 résume les éléments enregistrés par un VDR du transport maritime conformément à la norme de performance de l'OMI (Réf A.861(20)) et le format d'information de la CEI (CEI 61996).

Tableau A-3 Données enregistrées par un enregistreur de données du transport maritime

<i>Réf A.861(20)</i>	<i>TYPE DE DONNÉES</i>	<i>SOURCE</i>
5.4.1	Date et heure	De préférence à l'extérieur du navire (par exemple, GNSS)
5.4.2	Position du navire	Système électronique de positionnement
5.4.3	Vitesse (dans l'eau ou sur terre)	(SDME du navire)
5.4.4	Position	Compas du navire
5.4.5	Audiofréquences de la passerelle	1 ou plusieurs microphones de la passerelle
5.4.6	Audiofréquences de transmission	VHF
5.4.7	Données du radar - Sélection de l'affichage	Affichage du radar principal
5.4.8	Profondeur des eaux	Échosondeur
5.4.9	Alarmes principales	Toutes les alarmes obligatoires de la passerelle
5.4.10	Ordre et réponse du gouvernail	Appareil à gouverner et pilote automatique
5.4.11	Ordre et réponse du moteur	Télégraphes, commandes et propulseurs
5.4.12	État d'ouverture de la coque	Toutes les informations d'état obligatoires affichées sur la passerelle
5.4.13	Étanchéité et état de la porte coupe-feu	Toutes les informations d'état obligatoires affichées sur la passerelle
5.4.14	Accélération et contraintes exercées sur la coque des navires	Contrainte exercée sur la coque des navires et équipement de contrôle des réponses, si le navire est équipé
5.4.15	Vitesse et direction du vent	Anémomètre, si le navire est équipé

Enregistreurs électroniques de données du transport terrestre

Aucune disposition juridique n'oblige actuellement l'utilisation d'enregistreurs électroniques de données sur les bus qui circulent au Canada. En 1999, le NTSB a recommandé que tous les autobus scolaires et autocars nouvellement fabriqués (ceux fabriqués après le 1^{er} janvier 2003) soient équipés d'appareils enregistreurs électroniques de données.⁷³ En 2004, le NTSB a aussi recommandé que tous les véhicules qui transportent des passagers soient équipés d'appareils enregistreurs électroniques de données. De nombreux fabricants de véhicules ont intégré certains éléments leur permettant d'enregistrer des données à l'intérieur des nouveaux véhicules, ce qui apportent des informations très utiles en cas de reconstitution d'accidents. Les systèmes de localisation GPS installés sur les parcs de camions et d'autobus fournissent également des informations très utiles.

⁷³ NTSB Safety Recommendations H-99-53 and H-99-54 to NHTSA, novembre 1999