



Évaluation de camions équipés de systèmes électroniques de contrôle de la stabilité sur des routes d'accès aux ressources

Rapport technique n° 33 - Mai 2018
Mithun Shetty, chercheur, Transport

Non réservé aux membres
et partenaires de FPIinno-
vations



FPInnovations est un organisme sans but lucratif, chef de file mondial qui se spécialise dans la création de solutions scientifiques pour soutenir la compétitivité du secteur forestier canadien à l'échelle internationale et qui répond aux besoins prioritaires de ses membres industriels et de ses partenaires gouvernementaux. Il bénéficie d'un positionnement idéal pour faire de la recherche, innover et livrer des solutions d'avant-garde qui touchent à tous les éléments de la chaîne de valeur forestière, des opérations forestières aux produits de consommation et industriels.

L'organisation a des laboratoires de recherche à Québec, Montréal et Vancouver ainsi que des bureaux de transfert de technologie à travers le Canada. Pour plus d'information sur FPInnovations, visitez le : www.fpinnovations.ca.

Suivez-nous sur :



301011985 : Véhicules avancés

Rapport technique – 33

Résumé

Tous les camions et tracteurs lourds d'Amérique du Nord devront être équipés d'un système de contrôle électronique de la stabilité (ou ESC) en 2019 et les camions et tracteurs à trois essieux fabriqués aux É.-U. et au Canada doivent déjà l'être. Malgré tout, les implications de l'utilisation de ce système sur les routes d'accès aux ressources demeurent inconnues. C'est pourquoi une étude a été réalisée sur une flotte de quatre tracteurs équipés de systèmes d'ESC et de deux tracteurs non équipés de la technologie qui transportaient des copeaux de bois en provenance de la forêt. Dans le présent rapport, nous avons étudié la réaction des conducteurs et superviseurs de la flotte, l'activation des systèmes sur la durée de vie et pendant la période d'étude ainsi que leur performance sur des routes d'accès aux ressources.

Remerciements

Le projet a obtenu un soutien financier du Programme des technologies transformatrices de Ressources naturelles Canada. L'auteur aimerait aussi remercier Rob Jokai, Michel Schinck, Benoit Vincent et Nico Petch, de FPInnovations, Kim Miller et Brad Evans, d'Excel Transportation, Robert Greer, de Bendix, ainsi que le groupe Évaluation et systèmes de données de Transports Canada.

Réviseurs

Seamus Parker, chercheur principal, Transport
Jan Michaelsen, chercheur principal, Transport
Édouard Proust, chercheur, Transport

Contact

Mithun Shetty
Chercheur
Transport
(604)222-5732
mithun.shetty@fpinnovations.ca

© 2018 FPInnovations. Tous droits réservés. Reproduction et diffusion interdites.

Divulgarion aux fins d'application commerciale: Si vous avez besoin d'assistance pour mettre en œuvre les résultats de ces recherches, veuillez contacter FPInnovations à info@fpinnovations.ca.

Table des matières

Contexte	5
Objectifs	9
Méthodologie.....	9
Perception, acceptation et familiarité des conducteurs par rapport au système.....	10
Performance du système d'ESC.....	10
Problèmes opérationnels et fiabilité de la technologie	11
Résultats et discussion.....	12
Perception, acceptation et familiarité des conducteurs par rapport au système.....	12
Performance du système d'ESC.....	12
Problèmes opérationnels et fiabilité de la technologie	16
Problèmes opérationnels	16
Fiabilité de la technologie	18
Utilisation des systèmes d'ESC dans les opérations forestières.....	21
Sommaire et conclusions	23
Prochaines étapes	24
Références.....	26
Annexe A – Données sur les collisions.....	27
Annexe B – Questions du sondage pour les conducteurs	28
Annexe C – Données d'activation du système d'ESC.....	29

Liste des figures

Figure 1. Nombre total de victimes en cas de renversement de camions (PNBV >4536 kg).....	6
Figure 2. Nombre total de victimes en cas de perte de contrôle de camions (PNBV >4536 kg).....	6
Figure 3. Stabilité latérale pour éviter le renversement (Images de Bendix – Tous droits réservés)	7
Figure 4. Stabilité directionnelle pour éviter la perte de contrôle (Images de Bendix – Tous droits réservés)	7
Figure 5. Schéma du système d'ESC (Image de Bendix – Tous droits réservés)	8
Figure 6. Illustration du contrôle directionnel avec un système d'ESC sur une route glissante.	9
Figure 7. Nombre moyen d'interventions de l'ESC par camion selon le niveau d'activation pendant la période d'étude.....	13
Figure 8. Comparaison des interventions de l'ESC sur la durée de vie et la période d'étude par camion par mois.....	13

Figure 9. Activation de l'ESC pour des interventions en roulis et en lacet par type de route.....	14
Figure 10. Distribution de l'accélération latérale pour un tracteur équipé d'un ESC (à gauche) et un tracteur sans ESC (à droite) (la fréquence représente le nombre d'accélération par dixième de seconde)	15
Figure 11. Comparaison de tracteurs avec et sans système d'ESC au passage de l'une des courbes d'une route d'accès aux ressources.	16
Figure 12. Échantillonnage des événements critiques pour la sécurité - fiabilité de la stabilité latérale. ...	18
Figure 13. Échantillonnage des événements critiques pour la sécurité - fiabilité de la stabilité directionnelle.	19
Figure 14. Stabilité directionnelle.....	21
Figure 15. Interrupteur ABS hors route.....	23

Liste des tableaux

Tableau 1. Mesures prises par le système d'ESC pour différents niveaux d'intervention.....	11
Tableau 2. Réponses initiales des conducteurs à propos des systèmes d'ESC	12
Tableau 3. Nombre d'interventions pour le camion 1 équipé d'un ESC sur des routes d'accès aux ressources dans des conditions glissantes une journée particulière	14
Tableau 4. Codes de défektivité enregistrés pendant la période d'étude de trois mois.....	17
Tableau 5. Collisions et victimes lors de renversements de camions (PNBV >4536 kg) par type de route et par gravité (Source : Transports Canada – Sécurité des véhicules automobiles, Base nationale de données sur les collisions).....	27
Table 6. Collisions et victimes lors de pertes de contrôle de camions lourds/moyens (PNBV >4536 kg) par type de route et par gravité (Source : Transports Canada – Sécurité des véhicules automobiles, Base nationale de données sur les collisions).....	27
Tableau 7. Activation de l'ESC pour différents niveaux d'intervention pendant la durée de vie et la période d'étude.....	29

Contexte

FPInnovations a recensé plusieurs technologies disponibles sur le marché qui pourraient être adaptées aux opérations forestières afin d'améliorer la sécurité et de réduire les dangers que rencontrent les camionneurs et la population lorsqu'ils se déplacent sur les routes publiques et sur les routes d'accès aux ressources au Canada (Hickman, 2015). L'une de ces technologies est le contrôle électronique de la stabilité (ou ESC, pour *Electronic Stability Control*), que Transports Canada a rendu obligatoire en 2017 pour les camions lourds à trois essieux et qui deviendra obligatoire pour tous les camions et tracteurs d'ici 2019 en Amérique du Nord (Transports Canada, 2016). Ces obligations se justifient par les avantages des ESC pour la sécurité, comme une stabilité améliorée des camions (roulis et lacet), une vitesse de collision réduite et un avertissement amélioré en cas de route glissante (NHSTA, 2009). En rendant obligatoires les systèmes d'ESC, Transports Canada a estimé que les avantages nets étaient positifs, compte tenu d'un rapport avantages/coûts de 2,30 pour les tracteurs et de la prévention potentielle de 30 collisions par année au pays pour les véhicules de l'année-modèle 2018 (l'année après l'entrée en vigueur de l'obligation). Cela représenterait au moins 17,763 millions de dollars en bénéfices sur la durée de vie utile moyenne des véhicules (Transports Canada, 2017).

Plusieurs essais sur piste et sur le terrain ont été réalisés par la NHSTA (National Highway Traffic Safety Administration). Cependant, aucun essai n'a été fait sur les routes d'accès aux ressources du Canada, où les limites de poids et les conditions routières et opérationnelles diffèrent considérablement des conditions des routes publiques américaines. En 2015, FPInnovations a exploré l'implication de ce mandat sur les opérations forestières canadiennes. On a documenté les perspectives de différents intervenants et déterminé les lacunes en matière de technologies et de connaissances qui devaient être comblées pour mettre en application ce système dans le transport en dehors des routes publiques. FPInnovations recommandait alors d'étudier de façon plus approfondie les systèmes d'ESC installés sur les diverses configurations de véhicules utilisées dans les opérations forestières canadiennes et de fournir une aide à l'industrie forestière pour adapter ces technologies aux opérations de transport forestier (Hickman, 2016).

Un sondage initial a montré que les connaissances de l'industrie quant aux avantages de l'ESC en termes de sécurité étaient très limitées. D'autres mesures devront être prises pour sensibiliser l'industrie à cette technologie afin qu'on lui fasse confiance dans les opérations de transport de bois. Les figures 1 et 2 présentent le nombre total de victimes de collisions causant la mort ou des blessures par type de route lors du renversement ou de la perte de contrôle de camions moyens/lourds (PNBV >4536 kg) respectivement. Bien que le nombre de collisions signalées sur les routes de gravier soit faible (de nombreux incidents ne sont pas signalés ou le sont par différents moyens) par rapport aux collisions sur les routes revêtues, l'objectif de Transports Canada est de réduire ces types de collisions sur toutes les routes.

Dans la plupart des cas, les camions qui roulent sur des routes de gravier se déplacent aussi sur des routes revêtues. Cependant, dans certains cas, le transport se fait entièrement sur des routes de gravier. Pour les camions lourds, le nombre de victimes résultant de pertes de contrôle est trois fois plus grand que le nombre dû aux renversements. On voit que l'importance du système d'ESC témoigne d'une plus grande prudence que la simple obligation d'installer un système de contrôle de stabilité en roulis (RSC, pour *Roll Stability Control*), car un ESC contrôle à la fois les pertes de contrôle et les renversements, alors que le RSC se limite aux renversements. L'annexe A présente en détail le nombre de victimes et de collisions. Le système d'ESC a été rigoureusement testé par les équipementiers et les fournisseurs et des avantages considérables en matière de sécurité ont été démontrés. Les figures 3 et 4 comparent la stabili-

té latérale et directionnelle d'un camion avec et sans ESC, lors de manœuvres d'évitement sur une piste d'essai. La configuration équipée de l'ESC peut faire les manœuvres d'évitement serrées en demeurant stables.

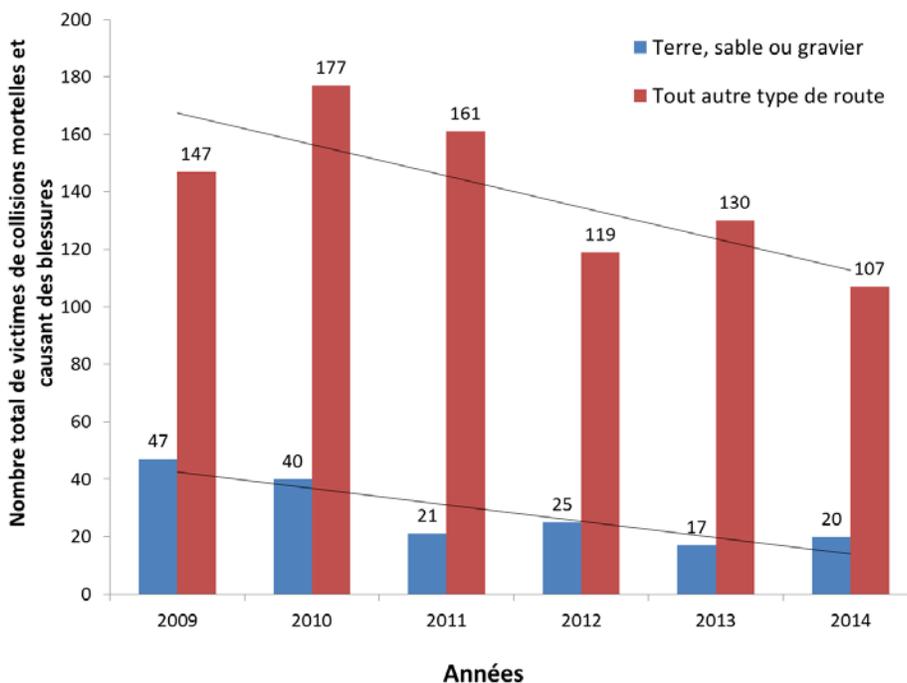


Figure 1. Nombre total de victimes en cas de renversement de camions (PNBV >4536 kg).

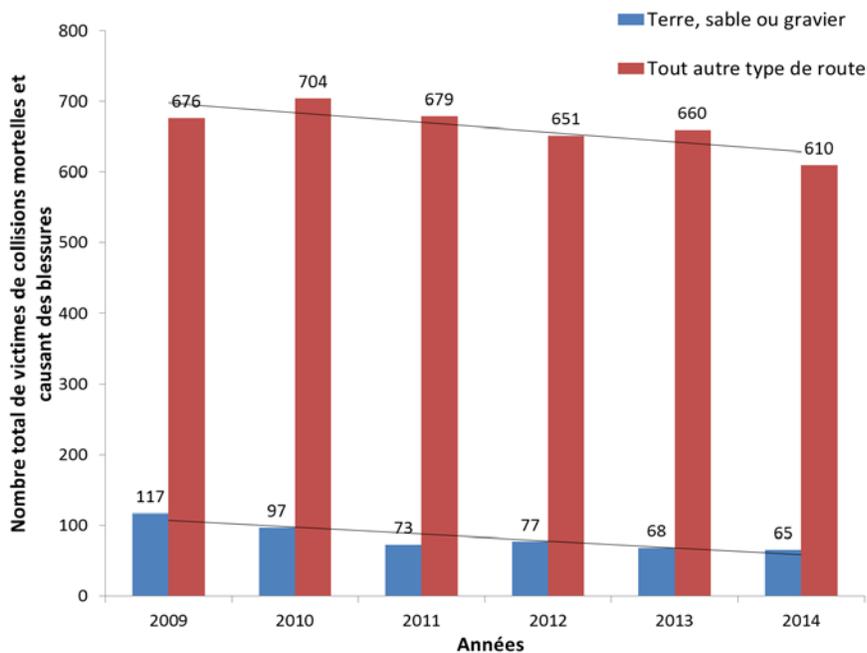


Figure 2. Nombre total de victimes en cas de perte de contrôle de camions (PNBV >4536 kg).



a) Camion non équipé d'un système d'ESC



b) Camion équipé d'un système d'ESC

Figure 3. Stabilité latérale pour éviter le renversement (Images de Bendix – Tous droits réservés).



a) Camion non équipé d'un système d'ESC



b) Camion équipé d'un système d'ESC

Figure 4. Stabilité directionnelle pour éviter la perte de contrôle (Images de Bendix – Tous droits réservés).

Le système ESC fait appel à un capteur de vitesse de roue, à un capteur de position du volant, à un capteur d'accélération latérale et à un capteur de vitesse de lacet comme données principales, ainsi qu'à des données secondaires, pour intervenir et contrôler la stabilité du véhicule en travaillant de concert avec le système de freinage antiblocage (ABS) et le système automatique d'antipatinage (ATC). La figure 5 présente le schéma d'un système d'ESC sur un tracteur.

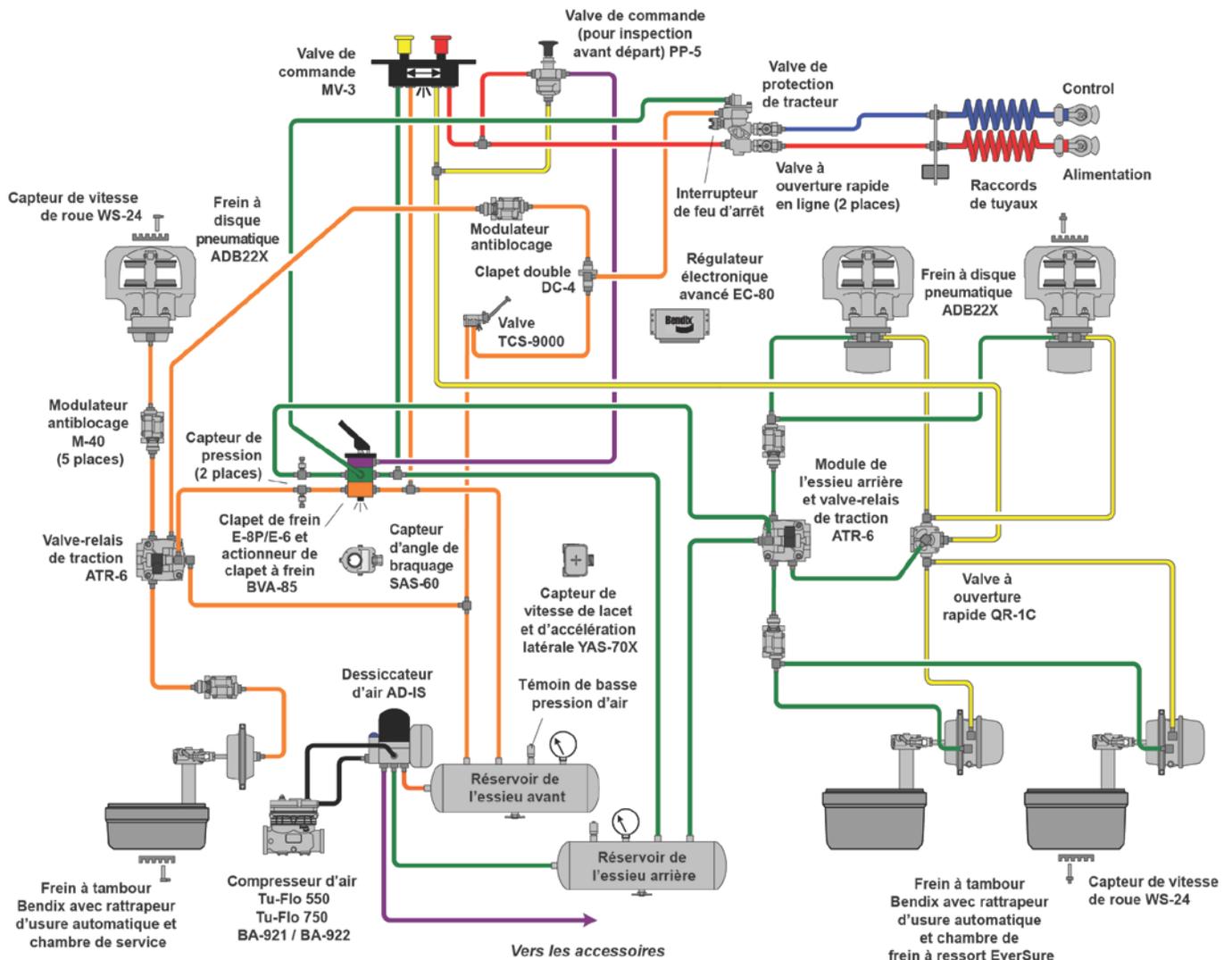


Figure 5. Schéma du système d'ESC (Image de Bendix – Tous droits réservés).

Avec les données des capteurs, le système calcule le risque de renversement en temps réel. S'il existe un risque, le système réduit automatiquement le couple moteur et/ou applique les freins de service pour réduire la vitesse du véhicule. La réduction du couple et l'application des freins dépendent de la gravité du risque de renversement.

De même, le contrôle du lacet prévient le risque de mise en portefeuille et de perte de contrôle en situation de survirage ou de sous-virage. Le système réduit les gaz et applique les freins sur les roues pertinentes pour maintenir la direction voulue. La figure 6 illustre deux situations : une perte de contrôle lors d'un changement de voie et la négociation d'une courbe à vitesse élevée sur une route glissante. Dans le cas du survirage, le système applique le frein sur la roue avant extérieure et dans le cas d'un sous-virage, il applique le frein sur la roue arrière intérieure.

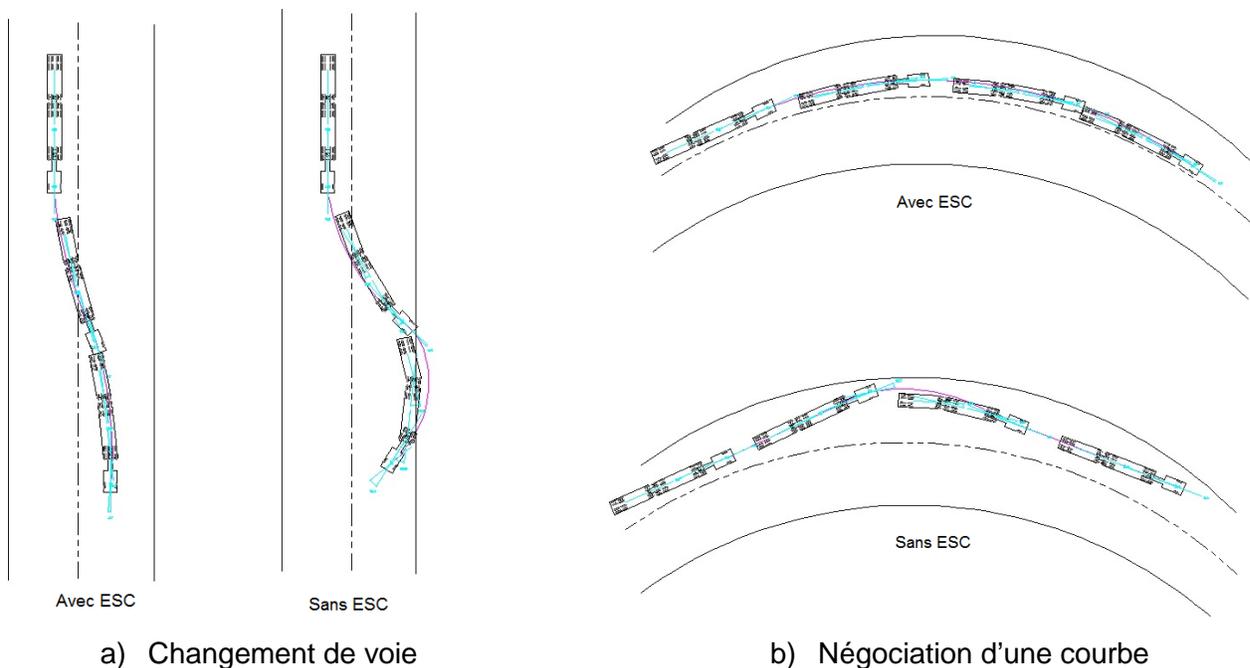


Figure 6. Illustration du contrôle directionnel avec un système d'ESC sur une route glissante.

Lorsque le système d'ESC intervient, le symbole d'activation de l'ESC clignote sur le tableau de bord. De plus, si le système d'ESC est désactivé en raison d'une panne de capteur ou d'un problème de câblage, le code de défectuosité s'affiche sur le tableau de bord.

Objectifs

Les objectifs généraux de la présente étude étaient les suivants :

- Évaluer l'acceptation des systèmes d'ESC par les conducteurs.
- Évaluer la performance des systèmes d'ESC dans les opérations forestières pour certaines configurations de camions, sur des surfaces routières ayant un niveau de friction moyen à faible selon les données opérationnelles.
- Déterminer la fiabilité et les problèmes opérationnels des systèmes d'ESC utilisés sur des routes de gravier.
- Formuler des recommandations pour l'utilisation des systèmes d'ESC dans les opérations forestières.

Méthodologie

Un essai sur le terrain avec Excel Transportation, une flotte de transport de copeaux, a été effectué pour documenter l'expérience des utilisateurs avec les systèmes d'ESC dans leurs activités de transport de copeaux en forêt. Quatre tracteurs 2013 équipés de systèmes d'ESC et deux tracteurs Peterbilt non équipés de systèmes d'ESC ont été étudiés. Ces tracteurs transportaient des résidus de bois dans des semi-remorques de 53 pieds et circulaient à la fois sur des routes publiques et hors route. Pendant l'essai,

l'activation et les défauts des systèmes d'ESC ont été enregistrés sur les tracteurs équipés du système pendant de 3 à 4 mois dans des conditions de fin d'automne et d'hiver. L'évaluation portait sur les éléments suivants :

- Perception, acceptation et familiarité des conducteurs par rapport au système.
- Performance du système d'ESC.
- Problèmes opérationnels et fiabilité de la technologie.

Perception, acceptation et familiarité des conducteurs par rapport au système

Les fournisseurs d'ESC ont fourni un soutien à la flotte pendant l'étude. FPIInnovations a évalué par l'entremise d'un sondage, la perception et l'acceptation de la technologie ainsi que la familiarité avec le système des conducteurs participant. L'annexe B présente le questionnaire utilisé. Les questions portaient sur la connaissance et l'expérience pratique des conducteurs quant à l'utilisation d'un camion équipé d'un système d'ESC, sur la perception des conducteurs des changements de comportement résultant du système, sur la perception de l'utilisation et de l'acceptation du système, sur le point de vue et l'attitude générale par rapport à la sécurité des véhicules et sur les points de vue généraux sur l'ESC.

Performance du système d'ESC

Pour l'utilisation hors route, le fournisseur avait désactivé le système antipatinage pour permettre aux conducteurs un patinage des roues jusqu'à 100 %. L'acquisition des données du bus J1939 était nécessaire pour obtenir l'information sur la position du volant, l'accélération, le freinage, le contrôle de la traction et l'activation de l'ESC. L'étude s'est penchée sur des camions non équipés du système d'ESC et des camions équipés de l'ESC qui transportaient des copeaux sur les mêmes trajets. Les données suivantes ont été consignées à l'aide d'enregistreurs de données embarqués pour tous les camions :

- coordonnées GPS.
- Lectures de l'accéléromètre à 3 axes.
- Position de l'accélérateur.
- Régime du moteur.
- Charge du moteur.
- Activation des freins.
- Activation du système ABS.

Les paramètres suivants ont aussi été enregistrés pour les camions équipés du système d'ESC :

- Activation du système d'ESC.
- Angle de braquage.
- Vitesse de lacet.
- Accélération latérale.

Les ordinateurs de bord étaient installés au même endroit dans tous les camions de l'étude. L'emplacement de référence pour l'accéléromètre externe de l'ordinateur de bord et l'accéléromètre du système d'ESC a été enregistré. Le taux d'activation du système d'ESC a été résumé en fonction du niveau d'intervention à partir des données obtenues. Le tableau 1 montre les mesures prises par le système d'ESC à différents niveaux d'intervention.

Tableau 1. Mesures prises par le système d'ESC pour différents niveaux d'intervention

Niveau d'intervention	Intervention du système – roulis (Lorsque le système détecte que le véhicule commence à montrer un risque de renversement)	Intervention du système – lacet (Lorsque le système détecte que le véhicule est instable)
Faible	Application légère du système; généralement une simple réduction de carburant; il se peut que le conducteur ne s'en aperçoive pas.	Le système intervient pour réduire le carburant.
Modéré	Le système intervient pour appliquer les freins de façon modérée.	Le système intervient pour réduire le carburant et/ou appliquer les freins de façon modérée.
Élevé	Le système intervient fortement; il applique le maximum de freinage que peut appliquer le système d'ESC pour éviter le renversement.	Importante intervention de freinage, mais ce n'est pas toute la puissance de freinage disponible à l'ESC qui est appliquée. Pour les situations plus sévères, le maximum disponible est appliqué pour tenter d'atténuer la perte de contrôle.

Nous avons examiné en détail un cycle où s'était produit un grand nombre d'évènements liés au système d'ESC. Cet examen détaillé a porté sur les accélérations latérales et la vitesse du véhicule tout au long du cycle. La performance de ce tracteur équipé d'un système d'ESC a été comparée à celle d'un tracteur non équipé du système pour le même cycle.

Problèmes opérationnels et fiabilité de la technologie

Les données de l'ordinateur de bord ont contribué à l'évaluation de l'activation du système et de la fréquence des évènements. On a analysé les évènements critiques pour la sécurité ainsi que les réactions des conducteurs. Tous les problèmes opérationnels liés aux systèmes d'ESC dans des opérations forestières pendant l'automne et l'hiver ont été enregistrés. On a consulté les superviseurs et les mécaniciens des flottes pour connaître leur opinion sur la performance et la fiabilité des systèmes pendant toute la période étudiée.

Certains des évènements critiques pour la sécurité ont été examinés en détail pour évaluer la performance du système dans des conditions hors route :

- Réduction de la vitesse dans une courbe régulière (contrôle de la stabilité latérale).
- Réduction de la vitesse sur une route tortueuse et glissante (contrôle de la stabilité du lacet).

La chronologie de l'accélération latérale, de la vitesse de lacet, de la vitesse du véhicule et de l'angle du volant a été examinée pour chaque évènement. Le rapport d'accélération latérale et les vitesses de lacet des tracteurs ont été calculés pour estimer les évènements critiques pour la sécurité quand le système d'ESC est intervenu, et ces valeurs ont été superposées à la courbe de convergence de la stabilité de la NHSTA obtenue par des essais normalisés. Le rapport d'accélération latérale est le rapport entre l'accélération latérale mesurée et l'accélération latérale critique; de même, le rapport de la vitesse de lacet est le rapport entre la vitesse de lacet mesurée et la valeur critique.

Résultats et discussion

Perception, acceptation et familiarité des conducteurs par rapport au système

Sept conducteurs conduisant des camions équipés de systèmes d'ESC ont répondu au sondage. Le tableau 2 résume leurs réponses à certaines questions. En général, les conducteurs n'aiment pas que l'ESC intervienne sans leur connaissance et considèrent que le système les distrait et nuit à leur conduite. Les interventions ayant eu lieu pendant la période d'étude seront examinées de plus près pour évaluer si les déclarations des conducteurs sont légitimes. Les résultats de l'étude, les réactions des conducteurs et les suggestions de FPIinnovations à la suite de cette étude seront transmis aux fournisseurs pour qu'ils puissent adapter le système à son utilisation sur des routes d'accès aux ressources.

Tableau 2. Réponses initiales des conducteurs à propos des systèmes d'ESC

	Se sent plus en sécurité	L'activation distrait le conducteur	L'activation nuit à la conduite	Habitudes de conduite changées	Familiarité avec le système d'ESC	Plus de formation nécessaire	D'accord avec les commentaires reçus	A aidé à prévenir un accident /un quasi-accident	Sécurité améliorée
Oui (%)	14	86	100	29	86	29	43	14	14
Non (%)	86	14	0	71	14	71	57	86	86

Performance du système d'ESC

Les interventions relatives à la stabilité latérale et à la stabilité directionnelle ont été classées selon des niveaux d'intervention faible, modéré et élevé. La figure 7 illustre l'activation du système d'ESC par niveau d'intervention et type de stabilité pendant la période d'étude. L'étude a eu lieu dans des conditions de conduite hivernale sur des chaussées glissantes. Ainsi, les interventions relatives au lacet (stabilité directionnelle) sont beaucoup plus nombreuses que celles qui sont liées au roulis (stabilité latérale).

La figure 8 compare le nombre moyen d'interventions mensuelles par camion entre toute la durée de vie et la période d'étude de trois mois. Dans ce cas, la durée de vie débute dès la mise en service, soit il y a 30 mois. Le nombre d'interventions en roulis par mois était beaucoup plus élevé pour la durée de vie que pour la période d'étude. D'un autre côté, le nombre d'interventions en lacet par mois était considérablement plus élevé pour la période d'étude que pour la durée de vie. Comme la période d'étude a eu lieu après la collecte des données pour la durée de vie, on pourrait supposer que le nombre d'interventions a diminué parce que les conducteurs ont adapté leur conduite pour limiter le nombre d'interventions. Le nombre important d'événements graves relatifs à la stabilité latérale, en moyenne 90 par camion sur la durée de vie du véhicule, laisse croire qu'il y a des avantages pour la sécurité à utiliser les systèmes d'ESC. L'annexe C présente en détail les données d'intervention sur la durée de vie et pendant l'étude pour chaque camion participant.

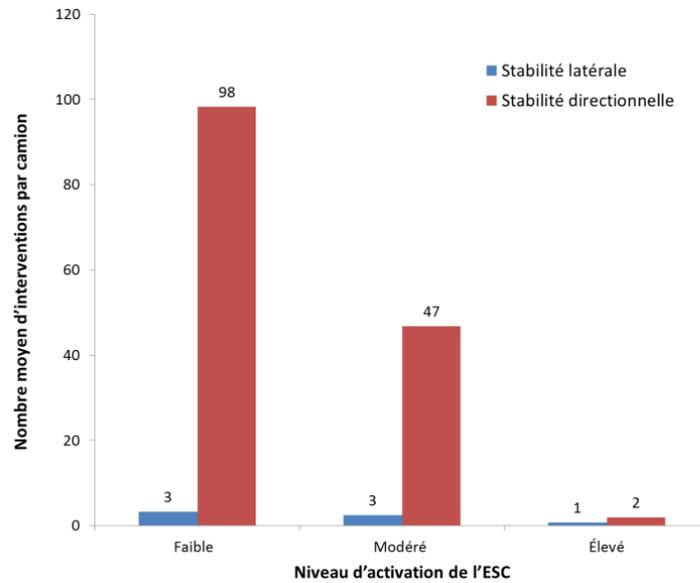
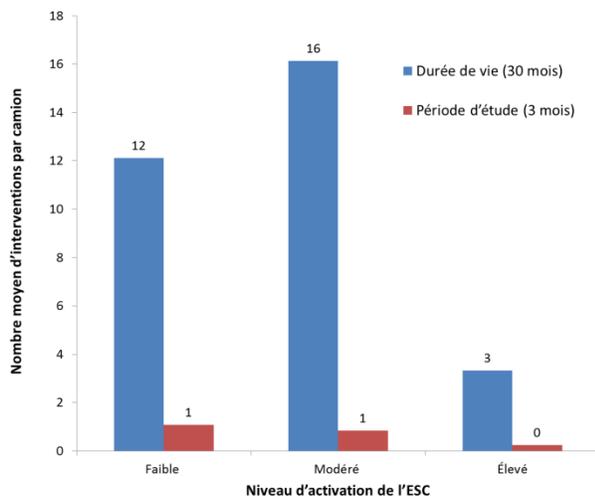
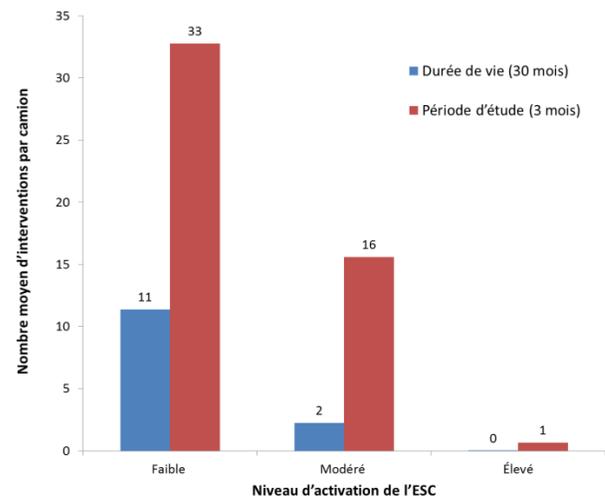


Figure 7. Nombre moyen d'interventions de l'ESC par camion selon le niveau d'activation pendant la période d'étude.



a) Intervention en stabilité latérale



b) Intervention en stabilité directionnelle

Figure 8. Comparaison des interventions de l'ESC sur la durée de vie et la période d'étude par camion par mois.

Les camions 2 et 4 ont subi plus d'interventions en roulis (renversement) que les deux autres camions, et les camions 2 et 3 ont enregistré quelques interventions majeures relatives au roulis pendant la période d'étude de trois mois. Dans le cas des interventions pour perte de contrôle, tous les camions ont subi plusieurs interventions pour lacet de niveau faible et modéré pendant les conditions de conduite hivernale. Les camions 1 et 2 ont subi de deux à trois interventions majeures pour le lacet pendant la période d'étude. Le nombre moyen d'interventions qui se sont produites pendant la période d'étude pour chaque

niveau (faible, modéré et élevé) était de 3, 3 et 1 pour la stabilité latérale et de 98, 47 et 2 pour la stabilité directionnelle, respectivement.

La proportion des activations pour le roulis et le lacet a été considérée par type de route (figure 9). La proportion d'activation liée au roulis était de 33 % sur les routes d'accès aux ressources et de 67 % sur les routes revêtues, alors que la proportion des activations liées au lacet était de 66 % sur les routes d'accès aux ressources et de 34 % sur les routes revêtues. Les interventions en lacet sur les routes d'accès étaient principalement dues aux routes de gravier glissantes. Le pourcentage plus élevé d'interventions en roulis sur les routes revêtues était probablement dû aux vitesses de déplacement plus élevées que sur les routes d'accès. Le nombre plus faible d'interventions en lacet sur les routes revêtues était probablement dû à leur coefficient de friction plus élevé et à un meilleur alignement que sur les routes de gravier.

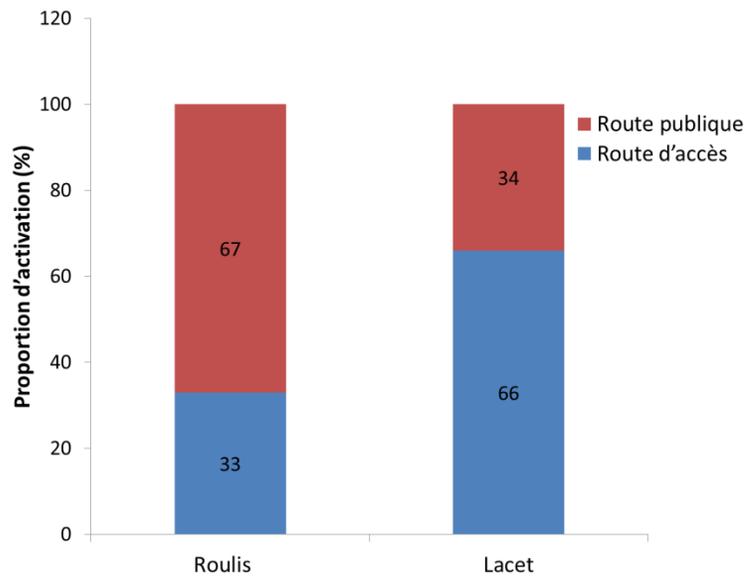


Figure 9. Activation de l'ESC pour des interventions en roulis et en lacet par type de route.

Il y a eu un cas où un très grand nombre d'activations liées au lacet se sont produites sur une route glacieuse pour le camion 1, équipé d'un système d'ESC. Le cas a été étudié plus attentivement. Le tableau 3 présente le nombre d'interventions concernant la stabilité latérale et directionnelle sur cette section de route pendant cet événement. L'activation pour la stabilité latérale s'est produite seulement deux fois pendant ce trajet sur des routes d'accès aux ressources pour ce camion, alors que l'activation pour la stabilité directionnelle s'est produite plusieurs fois en raison de la route glissante (selon le nombre d'interventions) et de la vitesse élevée de déplacement pour ces conditions; il a fallu un nombre considérable d'interventions du frein moteur et des freins de base pour maintenir la stabilité directionnelle. Toutes les interventions sont survenues sur la portion hors route du trajet.

Tableau 3. Nombre d'interventions pour le camion 1 équipé d'un ESC sur des routes d'accès aux ressources dans des conditions glissantes une journée particulière

Action	Stabilité latérale (interventions en roulis)	Stabilité directionnelle (interventions en lacet)
Activation du frein moteur	2	42
Activation des freins de base	Aucune	12

Pour analyser en détail cette situation particulière, la figure 10 montre la distribution normale de l'accélération latérale pour le camion 1 équipé d'un ESC et pour le camion 1 non équipé du système. L'accélération latérale du tracteur avec l'ESC se situait 0,17 % du temps entre 0,35 et 0,25 g, alors que le tracteur sans ESC était dans cet intervalle seulement 0,02 % du temps, car il se déplaçait à des vitesses plus faibles. De plus, la vitesse de lacet moyenne du tracteur avec l'ESC était de -0,008 rad/sec environ, ce qui est très faible. C'est pourquoi, malgré des vitesses plus élevées pendant le trajet, les accélérations latérales moyennes étaient similaires à celle du tracteur sans ESC et la vitesse de lacet moyenne était très faible. Cela montre les avantages du système d'ESC pour la stabilité et la sécurité.

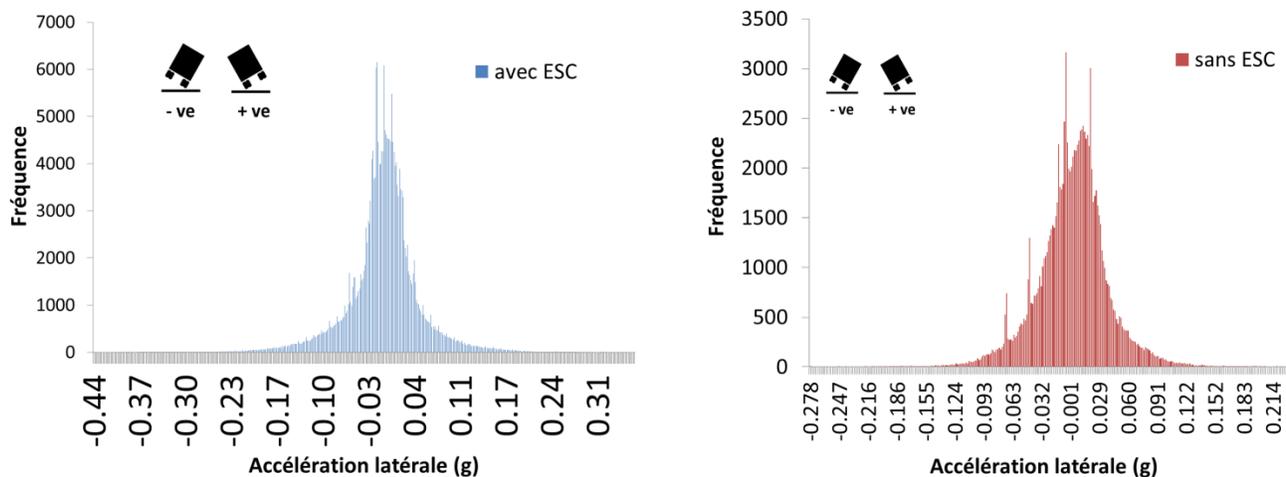


Figure 10. Distribution de l'accélération latérale pour un tracteur équipé d'un ESC (à gauche) et un tracteur sans ESC (à droite) (la fréquence représente le nombre d'accélérations par dixième de seconde).

La figure 11 montre l'activation de l'ESC au passage d'une courbe sur une route d'accès aux ressources. Le tracteur équipé de l'ESC a pu négocier la courbe à haute vitesse tout en maintenant la stabilité en lacet et la stabilité en roulis. Le tracteur non équipé de l'ESC se déplaçait beaucoup plus lentement et avait donc de plus faibles accélérations latérales. Le tracteur équipé de l'ESC se déplaçait probablement à plus haute vitesse que le tracteur sans ESC parce que le conducteur s'était habitué au système et l'utilisait pour ralentir s'il risquait de perdre le contrôle de son camion. Toutefois, l'intention du système n'était pas de permettre aux conducteurs de repousser les limites grâce à leur « marge de sécurité », mais de leur donner un niveau additionnel de sécurité. Les conducteurs pourraient donc avoir besoin de formation sur l'utilisation et les limites des systèmes d'ESC. Cela étant dit, le frein moteur a été appliqué à une accélération latérale plus élevée et la vitesse de lacet maximale a été détectée lorsque le tracteur négociait la courbe, ce qui montre les avantages des systèmes d'ESC en termes de sécurité, soit de prévenir une accélération latérale et une vitesse de lacet excessive.

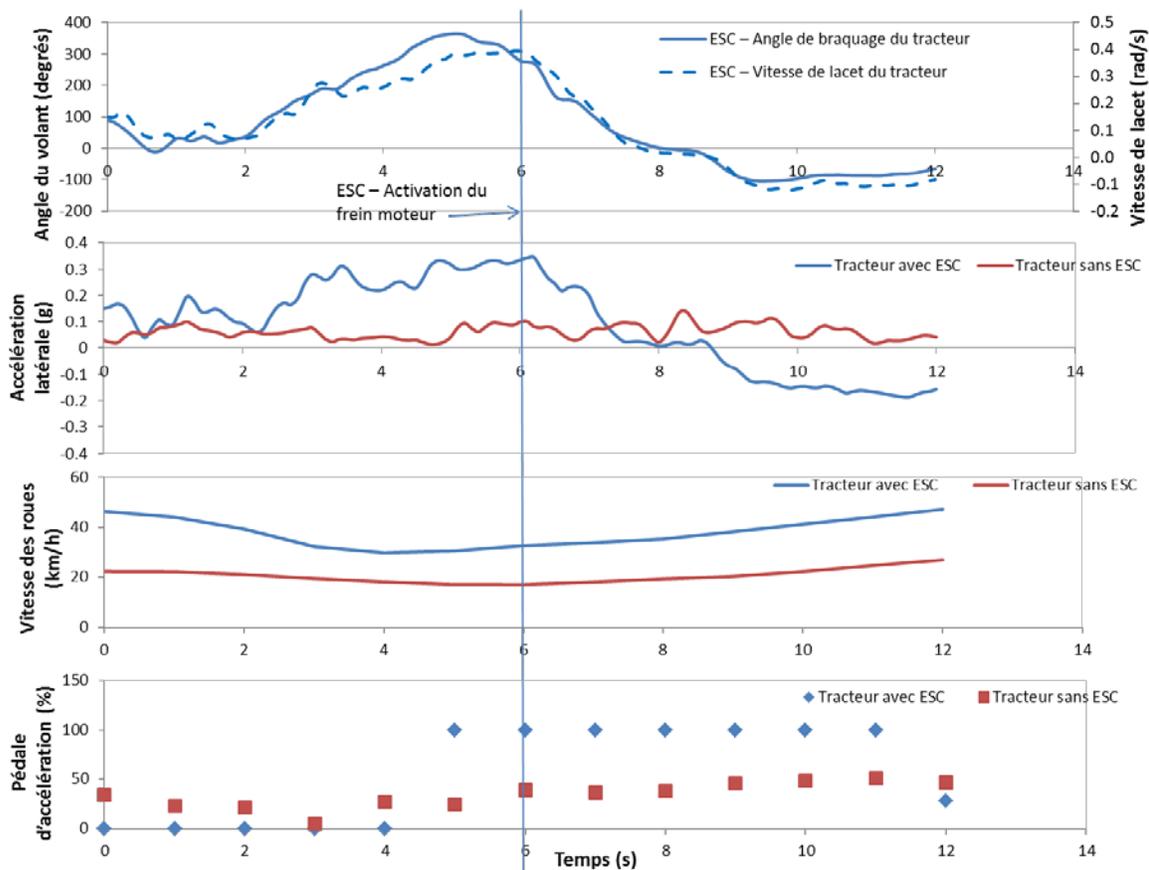


Figure 11. Comparaison de tracteurs avec et sans système d'ESC au passage de l'une des courbes d'une route d'accès aux ressources.

Problèmes opérationnels et fiabilité de la technologie

Problèmes opérationnels

Les codes de défektivité enregistrés pendant la période d'étude de trois mois étaient une mesure clé de la performance au chapitre de la fiabilité. Le tableau 4 présente les codes de défektivité enregistrés sur les quatre tracteurs équipés d'un ESC pendant la période d'étude. Le mauvais fonctionnement du capteur de vitesse a été enregistré comme défektivité commune persistante pour les camions 1, 2 et 3 et le camion 4 n'a enregistré aucun code de défektivité. Les conducteurs et le personnel d'entretien ne se sont pas plaints de la fréquence de réinitialisation des capteurs. Selon l'information sur l'état de l'ESC (code VDC «fully operational») des trois camions, les défektivités semblent avoir été réglées en quelques jours et dans certains cas, une réinitialisation se faisait automatiquement dans la minute, avec seulement une brève perte de signal.

Le capteur de vitesse fait partie du système ABS, qui sera désactivé si le capteur de vitesse est désactivé. Comme le système d'ESC dépend de l'ABS, cela entraînerait aussi la désactivation du système d'ESC. La défektivité fréquente de ce capteur de vitesse a été signalée par Parker (2016) dans des applications de transport forestier en Colombie-Britannique. Lorsque le système d'ESC détecte un code de défektivité, le système d'ESC est désactivé et le conducteur est averti par le code de défektivité sur le tableau de bord. Le diagnostic, en cas de code de défektivité du capteur de vitesse, demande de vérifier s'il y a de la corrosion ou des dommages aux fils ou aux connecteurs entre l'unité de contrôle électronique et le cap-

teur de la vitesse des roues. Parker (2016) recommande d'étudier d'autres capteurs et mécanismes de verrouillage, ainsi que des emplacements différents pour les fils, afin d'améliorer la fiabilité des capteurs de vitesse en conditions hors route. De plus, FPInnovations a rédigé un guide d'entretien pour les systèmes ABS (FPInnovations, 2017).

Tableau 4. Codes de défectuosité enregistrés pendant la période d'étude de trois mois

Camion n°	Description du code de défectuosité	Fréquence
1	Capteur de vitesse de la roue gauche de l'essieu moteur : ouvert ou court-circuité	17
	Capteur de vitesse de la roue gauche de l'essieu additionnel : ouvert ou court-circuité	1
2	Capteur de vitesse de la roue gauche de l'essieu additionnel : ouvert ou court-circuité	11
	Défaillance du capteur de vitesse de roue lors du cycle précédent de mise sous tension	1
	Capteur de vitesse de la roue droite de l'essieu additionnel : ouvert ou court-circuité	1
	Erreur de gradient du capteur d'angle de braquage	1
	Signal erratique du capteur de l'ESC (diminution de la performance de l'ESC)	1
3	Capteur de vitesse de la roue droite de l'essieu moteur : ouvert ou court-circuité	5
	Capteur de vitesse de la roue droite de l'essieu additionnel : ouvert ou court-circuité	3
	Capteur de vitesse de la roue gauche de l'essieu moteur : ouvert ou court-circuité	1
4	Aucun code de défectuosité enregistré pendant la période d'étude de trois mois	

Dans le sondage mené auprès des conducteurs, l'un des principaux irritants était l'application des freins par le système antipatinage en pente ascendante pour limiter le patinage des roues. Cette situation empêchait les conducteurs d'appliquer suffisamment de puissance aux roues pour réussir à grimper ces pentes, ce qui pourrait représenter un problème de sécurité si le camion devait s'arrêter et commencer à reculer en descendant. Selon le fournisseur du système d'ESC, l'activation automatique des freins due au patinage est causée principalement par le système antipatinage¹. Ainsi, au début de l'étude, le système antipatinage a été désactivé par le fournisseur, ce qui permettait un patinage à 100 % des roues pour un usage hors route. Le système antipatinage des camions étudiés ne pouvait pas être désactivé par les conducteurs; seuls des techniciens formés pouvaient le faire par le module de contrôle électronique. Toutefois, la plupart des modèles de camions plus récents permettent au conducteur de désactiver le système antipatinage.

Pendant la période d'étude, le superviseur de la flotte n'a pas signalé de problèmes d'entretien des systèmes d'ESC. Aucun des capteurs du système n'a été remplacé sur les camions depuis leur mise en service à l'exception des capteurs de roues, dans le cadre de l'entretien régulier. Le superviseur est favo-

¹ Robert Greer, 2016, communication personnelle

able à l'utilisation des systèmes d'ESC malgré les préoccupations des conducteurs et est prêt à leur offrir plus de formation². Lors du renouvellement du contrat de location, l'entreprise a commandé de nouveaux camions équipés des systèmes d'ESC.

Fiabilité de la technologie

Certains des évènements critiques sur le plan de la sécurité enregistrés lorsque le système d'ESC était activé ont été analysés. Ces évènements ont été superposés à la courbe de convergence de la stabilité de la NHSTA, tirée d'essais normalisés. Les interventions qui ont eu lieu lorsque le camion était stable ou probablement stable indiqueraient un « faux positif », c'est-à-dire qu'il y a eu intervention alors que ce n'était pas nécessaire. Les interventions ne devraient se produire que dans les zones instable ou probablement instable, et parfois dans la zone incertaine.

Dans le cas analysé, trois des quatre évènements critiques pour la sécurité étaient dans la zone probablement instable, alors que l'autre, un évènement lié à la stabilité latérale, était dans la zone incertaine (figure 12). Les quatre évènements critiques pour la sécurité échantillonnés pour la stabilité directionnelle étaient dans la zone instable (figure 13). Ces données indiquent que le système fonctionnait tel que prévu.

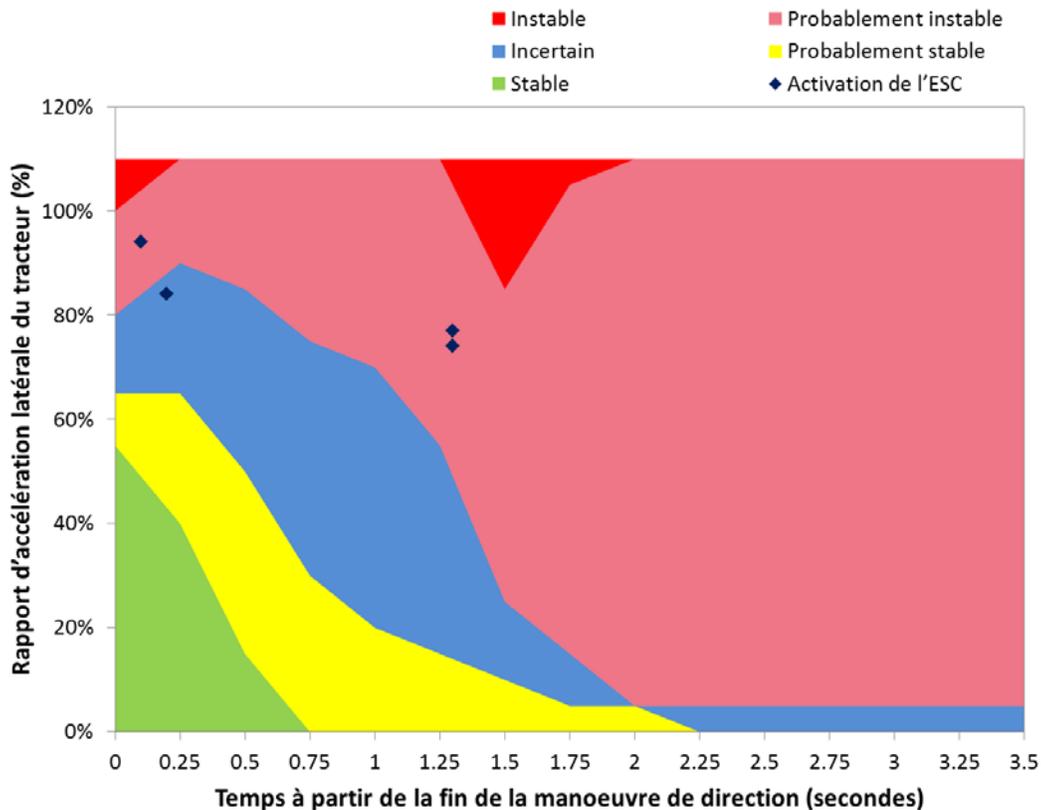


Figure 12. Échantillonnage des évènements critiques pour la sécurité - fiabilité de la stabilité latérale.

² Kim Miller, 2017, communication personnelle

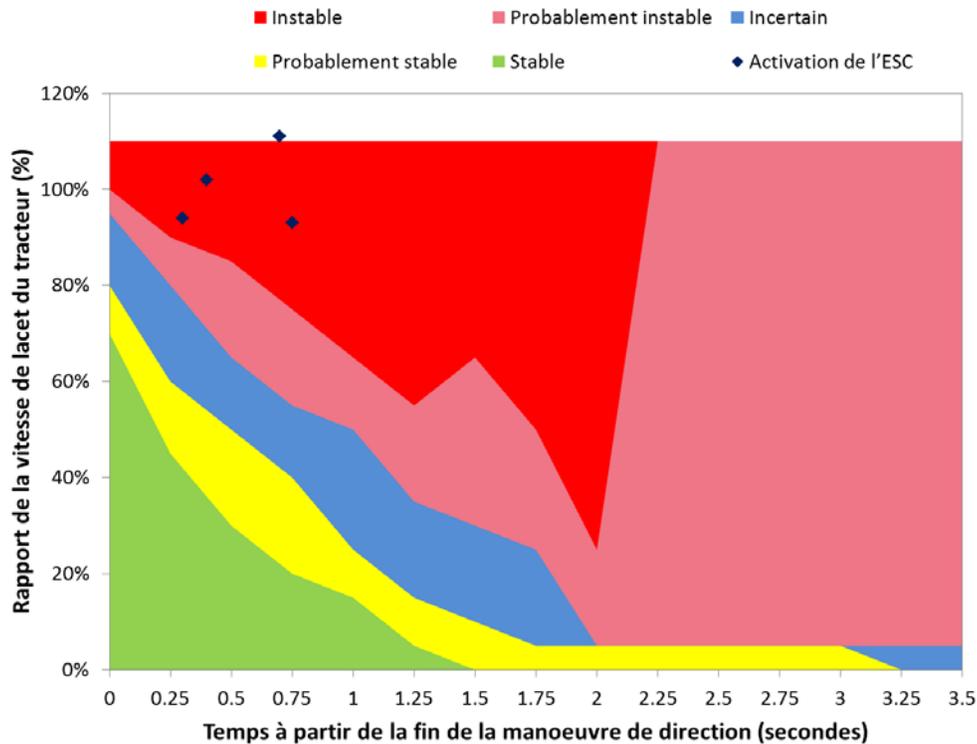


Figure 13. Échantillonnage des événements critiques pour la sécurité - fiabilité de la stabilité directionnelle.

Dans le sondage, plusieurs conducteurs ont indiqué qu'il y avait suractivation pour le contrôle de la stabilité directionnelle dans des conditions glacées et glissantes. C'est pourquoi on a examiné attentivement l'activation dans ces conditions. Certains facteurs du design du véhicule influencent la stabilité en lacet : l'empattement, la suspension, la géométrie de la direction, la distribution du poids avant-arrière et la largeur entre les roues d'un essieu. En général, les tracteurs qui présentent un empattement plus court ont moins de stabilité naturelle en lacet, alors que les véhicules à empattement plus long ont plus de stabilité naturelle en lacet (Peterbilt, 2010).

La figure 14 montre certains des événements échantillonnés étant critiques pour la sécurité liée à la stabilité directionnelle d'un des camions. Ce dernier roulant sur une route glacée qui donne accès aux ressources.

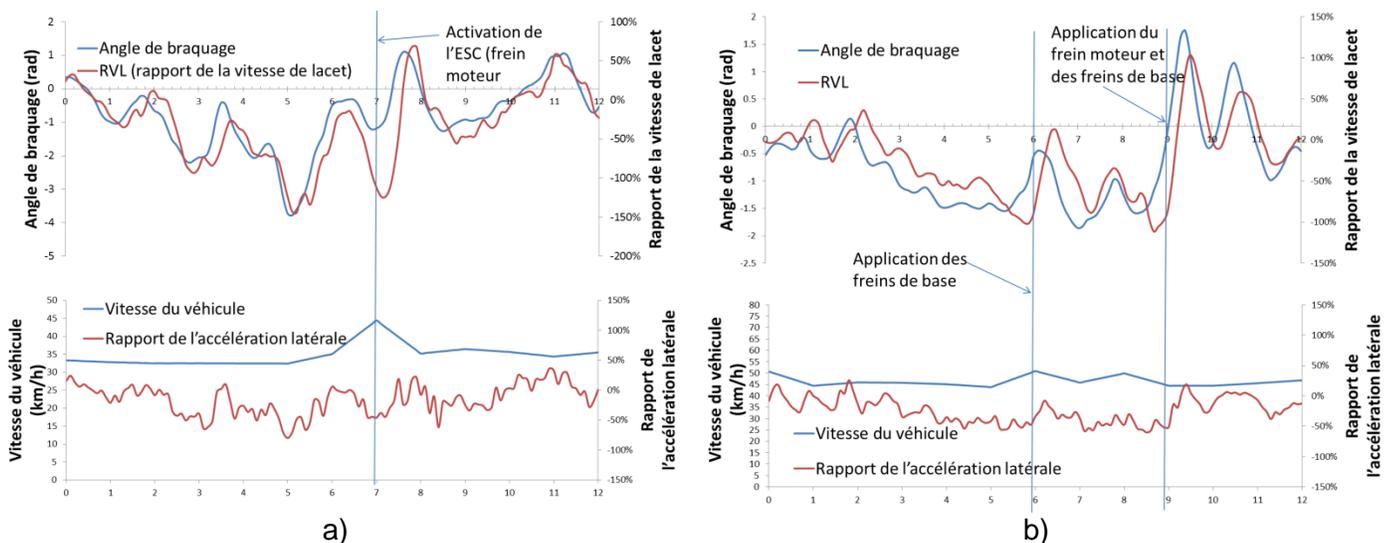
La figure 14a présente la situation lorsque le carburant est réduit par le système d'ESC au moment où le conducteur accélère en négociant une courbe. La vitesse diminue alors de 10 km/h et la vitesse de lacet passe sous sa valeur critique alors que le véhicule reprend la direction souhaitée par le conducteur. La vitesse de déplacement était de 45 km/h lorsque l'activation a eu lieu. Lorsque la vitesse a été réduite pour atteindre 35 km/h, le conducteur a pu reprendre le contrôle rapidement à un rapport de vitesse de lacet acceptable après l'activation de l'ESC.

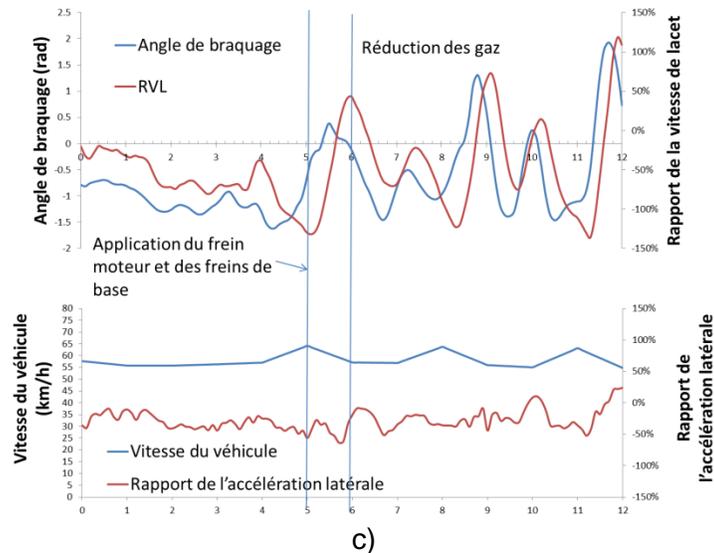
La figure 14b montre comment une faible augmentation de la vitesse au-dessus de 50 km/h sur une route glissante crée de l'instabilité directionnelle. Le système d'ESC applique les freins de base pour reprendre le contrôle. L'amplitude du rapport de vitesse de lacet est atténuée avec le temps; toutefois, une seconde intervention du système d'ESC a été nécessaire pour contrôler la stabilité directionnelle de ce camion.

La figure 14c illustre un scénario où le contrôle de stabilité est moins efficace lorsque le véhicule se déplace à haute vitesse sur une surface glacée. À une vitesse de 60 km/h dans des conditions glissantes, les freins de base et le frein moteur ont été appliqués pour réduire la vitesse. Cependant, l'oscillation croissante de l'amplitude du ratio de la vitesse de lacet témoigne d'un plus grand risque d'instabilité du véhicule à cette vitesse sur une section glissante de la route de gravier dû à l'activation du système d'ESC.

Une vitesse de déplacement de 35 km/h est préférable pour que le système d'ESC fonctionne adéquatement sur des routes de gravier glissantes. Le système pourrait contribuer à reprendre le contrôle si la perte de contrôle est détectée à des vitesses se situant entre 45 et 50 km/h. Toutefois, il y a un plus grand risque d'instabilité du véhicule si la vitesse de déplacement est supérieure à 55 km/h sur des routes de gravier glissantes. Il faudrait donc éviter de rouler à grande vitesse dans ces conditions. L'exemple illustré à la figure 14c indique que le conducteur ne peut se fier entièrement au système d'ESC dans des conditions de route glissante et que son intervention est nécessaire. Les conducteurs peuvent considérer le signal de l'activation comme une suggestion de ralentir et de s'ajuster aux conditions. Ici, le système d'ESC montre clairement un avantage sur le plan de la sécurité en deçà de certaines vitesses; il faut donc former le conducteur pour qu'il maximiser les avantages de sécurité des systèmes d'ESC et qu'il en comprenne les limites.

Globalement, les interventions du système d'ESC sont positives pour la sécurité, car elles préviennent l'instabilité latérale ou directionnelle, mais il faut que les conducteurs soient formés pour s'y adapter. L'ESC fonctionne généralement comme prévu même sur des routes de gravier et, selon l'auteur, il représente un avantage sur le plan de la sécurité dans certaines conditions de conduite.





c)
Figure 14. Stabilité directionnelle.

Utilisation des systèmes d'ESC dans les opérations forestières

Les systèmes d'ESC sont des améliorations à la plateforme ABS. Pour que tous ces systèmes fonctionnent correctement, le système de freinage de base et les pneus doivent être gardés en bonne condition de fonctionnement (NHSTA, 2012). Peterbilt (2010) indique que l'efficacité du système d'ESC peut être réduite considérablement par les facteurs suivants :

- Les capteurs ne sont pas calibrés (doit être fait par un technicien formé).
- Le chargement se déplace, car il est mal arrimé.
- Le centre de gravité est anormalement élevé ou excentrique.
- L'un des côtés du véhicule quitte la chaussée à un angle trop grand pour être compensé par une réduction de la vitesse.
- Le tracteur tire une combinaison double ou triple de remorques.
- Il y a des problèmes mécaniques liés à la mise à niveau de la suspension du tracteur ou de la remorque.
- Les manœuvres se font sur une route à virages relevés.
- Les rafales de vent sont assez fortes pour générer des forces latérales importantes sur le véhicule.
- Le châssis du véhicule est modifié.

Pour maximiser l'efficacité des systèmes d'ESC, les chargements doivent être convenablement arrimés et distribués également et il faut éviter les virages serrés et les changements abrupts de voie à haute vitesse. Pour modifier la géométrie de l'essieu moteur ou de l'essieu directeur, c'est-à-dire pour en changer la position ou ajouter/retirer des essieux, le système d'ESC doit être désactivé par un technicien autorisé. Après une réparation au mécanisme de direction, le capteur d'angle de braquage doit être recalibré (Peterbilt, 2010).

L'analyse des renversements de camions faite par McKnight et Bahouth (2009) semble indiquer que près de la moitié des renversements découlent de l'incapacité du conducteur à adapter sa vitesse aux courbes,

aux chargements, à la condition du système de freinage, aux différentes surfaces de route et aux virages à angle droit aux intersections. Un autre facteur majeur est le manque d'attention, y compris l'inattention générale, l'attention mal dirigée, l'endormissement et la distraction. Le troisième facteur majeur concerne les erreurs de contrôle, notamment le survirage, le sous-virage, la surcorrection des erreurs et les erreurs mineures de contrôle. Les autres facteurs ne sont pas des erreurs de conduite, mais comprennent les erreurs d'autres conducteurs, celles qui se produisent avant que le camion commence à se déplacer et l'état du véhicule avant le départ. Les technologies de sécurité contribueront à atténuer la plupart des erreurs de conduite. Une étude réalisée par Markkula et coll. (2013) a constaté que les systèmes d'ESC amélioraient avec fiabilité la stabilité des manœuvres répétées d'évitement sur une surface glissante.

La technologie d'ESC a démontré une efficacité à réduire la probabilité d'être impliqué dans une collision grave, ce qui l'emporte nettement sur une possible augmentation des comportements de conduite dangereux (Rudin-Brown et coll., 2009). C'est aussi une technologie habilitante pour les systèmes d'atténuation des collisions et les véhicules automatisés, comme ceux qui roulent en convoi. L'adoption de technologies de sécurité avancées pour les flottes de camions jouera un rôle critique dans la réussite de la mise en application de ces technologies. Bendix (2017) a établi une feuille de route pour l'adoption de la technologie d'ESC par tous les camions lourds, qui est applicable aux camions forestiers.

Obtenir la confiance des conducteurs sera aussi un élément clé pour profiter des avantages de l'utilisation de l'ESC. Une étude effectuée par Kidd et coll. (2017) a révélé que les conducteurs ne faisaient pas beaucoup confiance à aucune des technologies d'aide à la conduite et que cette confiance variait selon le type de système et sa mise en œuvre après utilisation dans des conditions de conduite réelles. Des conducteurs peuvent choisir de ne pas utiliser les systèmes auxquels ils ne font pas confiance, ce qui limite la possibilité, pour ces systèmes, de fournir les bénéfices escomptés. Lorsque les freins ABS ont d'abord été installés puis rendus obligatoires, la majorité des conducteurs n'aimait pas ces systèmes. Cependant, bien que certains n'apprécient pas encore leurs avantages en termes de sécurité, la plupart des conducteurs les acceptent maintenant et comprennent leurs avantages. Il est très probable que ce sera aussi le cas pour les systèmes d'ESC et pour d'autres systèmes de sécurité. L'étude citée montre que les technologies actuelles d'aide à la conduite peuvent être améliorées pour instaurer un plus grand sentiment de confiance parmi les conducteurs sur la route.

En fonction de commentaires faits par des conducteurs avant la présente étude, le fournisseur a désactivé le système antipatinage avant l'étude pour permettre un patinage à 100 % des roues en hors route. Selon le fournisseur, désactiver l'antipatinage et l'ESC à des vitesses inférieures à 23 mi/h (c.-à-d., 37 km/h) réglerait les principaux problèmes relatifs à l'ESC en conduite hors route. Une fonction ABS hors route pourrait être une solution alternative dans ces conditions. Cette caractéristique est optionnelle et un fournisseur affirme qu'elle améliore le contrôle du véhicule et aide à réduire les distances de freinage en conditions hors route ou sur des surfaces à faible traction, comme le gravier lâche, le sable et la terre (Bendix, 2015). Dans le cas des véhicules équipés d'interrupteurs hors route, le conducteur choisit manuellement le mode ABS hors route (figure 15), alors que sur certains véhicules, le mode hors route peut être entièrement automatique, comme dans le cas de l'ABS Wabco. L'ABS hors route désactive le contrôle ABS lorsque la vitesse du véhicule est de moins de 15 km/h et permet un plus grand glissement au freinage jusqu'à 40 km/h. À une vitesse supérieure à 40 km/h, le contrôle ABS n'est pas modifié. L'ESC est aussi désactivé lorsque l'ABS est désactivé. Le mode hors route peut être utilisé pour permettre plus de glissement au freinage (blocage temporaire des roues) sur des surfaces spéciales. Un voyant clignotant

sur le tableau de bord avertit le conducteur que l'interrupteur d'ABS hors route est activé. La fonction ABS hors route est réinitialisée dès que le moteur est éteint.



Figure 15. Interrupteur ABS hors route.

Pour profiter pleinement des avantages de l'ESC, les fabricants de camions, les fournisseurs de freins, les instituts de formation des conducteurs et les organismes de sécurité doivent fournir plus de matériel éducatif et de formation aux conducteurs et aux flottes sur l'utilisation de l'ESC sur les routes publiques et les routes d'accès aux ressources. Les fournisseurs sont prêts à offrir de la formation aux conducteurs sur demande.

Sommaire et conclusions

L'ESC est devenu obligatoire pour les camions et tracteurs à trois essieux en 2017 et le deviendra pour tous les autres camions et tracteurs en 2019. Cette obligation découle des avantages sur le plan de la sécurité des systèmes d'ESC, notamment une plus grande stabilité (en roulis et en lacet), une vitesse réduite lors de collisions et de meilleurs avertissements sur les routes glissantes; ils auront donc un impact majeur sur la sécurité routière. Pour comprendre le point de vue des flottes et évaluer la performance en service des systèmes d'ESC, FPInnovations a suivi quatre tracteurs équipés d'ESC et deux tracteurs non équipés d'ESC pendant une période de trois mois en automne et en hiver, sur des routes publiques et hors route.

Les interventions pour ce qui est de la stabilité latérale et de la stabilité directionnelle ont été classées en niveau d'intervention faible, modéré et élevé. Pendant la période d'étude, le nombre moyen d'interventions qui ont eu lieu dans chaque niveau (faible, modéré et élevé) a été de 3, 3 et 1 pour la stabilité latérale et de 98, 47 et 2 pour la stabilité directionnelle respectivement. La plupart des interventions en stabilité latérale se sont produites sur des routes revêtues et la plupart des interventions en stabilité directionnelle se sont produites sur des routes de gravier. En comparant les cycles d'échantillonnage, on a constaté que la durée des déplacements des camions équipés de l'ESC était en moyenne presque identique à celle des camions non équipés.

Le mauvais fonctionnement du capteur de vitesse de roue, qui fait partie du système ABS, s'est produit plusieurs fois pour trois des quatre tracteurs équipés de l'ESC pendant la période d'étude. Ce mauvais fonctionnement désactive le système d'ESC; c'est donc dire qu'il est essentiel de régler ce problème pour les applications hors route. Dans l'analyse des événements critiques pour la sécurité, le système d'ESC a fonctionné comme prévu. À haute vitesse sur des routes glacées et glissantes, l'efficacité de la stabilité en lacet

a été réduite, ce qui montre la nécessité de former les conducteurs aux systèmes d'ESC. Aucun problème d'entretien des pièces de l'ESC, comme le capteur de volant, d'accélération latérale et de vitesse de lacet, n'a été signalé.

Un sondage a aussi été réalisé auprès des conducteurs. Selon les réponses obtenues, les conducteurs n'aiment pas les interventions sans avertissement. Les préoccupations des conducteurs concernant la sécurité lors d'interventions en pente ascendante doivent faire l'objet d'études plus poussées. Un sondage antérieur a montré qu'il existe des lacunes dans les connaissances au sein du secteur du camionnage au sujet des nouvelles technologies de sécurité; il faut donc éduquer davantage les conducteurs pour les sensibiliser à ces technologies.

Le souhait de certains conducteurs d'avoir un certain contrôle sur l'ESC pourrait être réglé par l'utilisation d'un interrupteur ABS hors route. L'un des fournisseurs de frein propose actuellement en option un interrupteur ABS hors route pour des camions spécialisés. L'interrupteur désactive l'ABS entre 0 et 16 km/h (10 mi/h) et permet une plus longue modulation entre 17 km/h (11 mi/h) et 40 km/h (25 mi/h). Cette option donne aux conducteurs un certain contrôle au besoin et pourrait améliorer leur acceptation de cette technologie.

Le soutien des fournisseurs d'ESC est offert pour la formation des conducteurs, et la flotte qui a participé à l'étude continuera à acheter des camions équipés de systèmes d'ESC.

Prochaines étapes

Dans la présente étude, ce sont les systèmes d'ESC d'un fournisseur installés dans des camions d'année-modèle 2013 qui ont été examinés. Depuis, les systèmes ont été améliorés et d'autres marques ont été mises au point. Certaines des préoccupations des conducteurs ont été réglées par ces plus récents modèles. Les préoccupations concernant l'intervention de l'ESC dans les pentes ascendantes doivent faire l'objet de plus d'attention. Selon toutes les données recueillies, on pourrait s'inspirer de plusieurs exemples d'interventions de l'ESC pour le matériel de formation des conducteurs, afin de présenter des scénarios d'activation du système qui atténuent le risque de renversement et de perte de contrôle. Par conséquent, nous recommandons de rédiger un guide de formation des conducteurs sur l'utilisation des systèmes d'ESC dans les opérations forestières.

Plusieurs éléments nécessitent un examen plus poussé de l'efficacité de l'ESC, pour améliorer l'adoption de cette technologie sur les routes d'accès aux ressources :

- Camions/tracteurs à pont tridem.
- Impact de la formation du conducteur.
- Autres configurations.
- Interrupteur hors route versus interrupteur de désactivation automatique à basse vitesse.
- Nouvelle technologie d'ESC.
- Différents fournisseurs d'ESC.
- Stabilité complète incluant la stabilité de la remorque.

FPInnovations pourrait aussi aider les fabricants de camions, les organismes de réglementation ou les fournisseurs de freins à tester certaines configurations de camions forestiers pour validation et calibration, si nécessaire, afin d'accélérer le processus d'adaptation de la technologie à l'industrie forestière.

La prochaine étape consistera à obtenir la réaction des parties prenantes et à établir un ordre de priorité parmi les options à évaluer de façon plus poussée.

Références

- Bendix. (2015). *The Bendix® ESP® EC-80™ Controller: Service Data SD-13-4986*. Elyria, Ohio.
- Bendix. (2017). *Full stability and the road map to the future – Are we still on the right road?* Elyria, Ohio.
- FPIInnovations. (2017). *Guide d'entretien des systèmes de freins antiblocage (ABS): transport forestier longue distance*. Vancouver (C.-B.).
- Hickman, A. (2015). *Revue des STI-E (systèmes de transport intelligents embarqués) (Rapport technique n° 29)*. Pointe-Claire (Québec) : FPIInnovations.
- Hickman, A. (2016). *Contrôle électronique de la stabilité pour le transport forestier - survol (Info Note n° 7)*. Pointe-Claire (Québec) : FPIInnovations.
- Kidd, D. G., Cicchino, J. B., Reagan, I. J., & Kerfoot L. B. (2017). Driver trust in five driver assistance technologies following real-world use in four production vehicles. *Traffic Injury Prevention, 18* (sup1, S44-S50).
- Markkula, G., Benderius, O., Wolff, K., Wahde, M. (2013). Effects of experience and electronic stability control on low friction collision avoidance in a truck driving simulator. *Accident Analysis and Prevention* (Vol. 50, 1266–1277).
- McKnight, A. J., et Bahouth, G. T. (2009). Analysis of large truck rollover crashes. *Traffic Injury Prevention, 10:5*, 421–426.
- NHTSA. (2009). *Safety benefits of stability control systems for tractor-semitrailers* (Report No. DOT HS 811 205). Washington, D.C.
- NHSTA. (2012). *Federal motor vehicle safety standards: Electronic stability control systems for heavy vehicles* (Docket No. NHTSA-2012-0065). Washington, D.C.
- Parker S. (2016). *Further investigation of anti-lock braking system (ABS) issues experienced in log-hauling applications* (Technical Report 36). Vancouver (C.-B.) : FPIInnovations.
- Peterbilt. (2010). *Peterbilt model 587 owner's manual*. Denton, Tex.
- Rudin-Brown, C. M., Jenkins, R. W., Whitehead, T., & Burns, P. C. (2009). Could ESC (electronic stability control) change the way we drive? *Traffic Injury Prevention* (Vol. 10, Issue 4).
- Transports Canada. (2016). Norme de sécurité des véhicules automobiles du Canada – Systèmes de contrôle électronique de la stabilité pour les véhicules lourds, NSVAC 136. *Loi sur la sécurité automobile*.
- Transports Canada. (2017). Règlement modifiant le Règlement sur la sécurité des véhicules automobiles (systèmes de contrôle électronique de la stabilité pour les véhicules lourds. *Loi sur la sécurité automobile* (Vol. 151, n° 12, 14 juin 2017).

Annexe A – Données sur les collisions

Tableau 5. Collisions et victimes lors de renversements de camions (PNBV >4536 kg) par type de route et par gravité (Source : Transports Canada – Sécurité des véhicules automobiles, Base nationale de données sur les collisions)

Année	Nbre de victimes de collisions mortelles				Nbre de victimes de collisions avec blessures			
	Terre, sable ou gravier		Tous les autres types de routes		Terre, sable ou gravier		Tous les autres types de routes	
2009	3	3	7	7	23	44	103	140
2010	0	0	5	5	31	40	127	172
2011	0	0	5	5	17	21	118	156
2012	1	1	2	2	20	24	93	117
2013	1	2	2	2	13	15	98	128
2014	2	2	5	6	15	18	76	101

Table 6. Collisions et victimes lors de pertes de contrôle de camions lourds/moyens (PNBV >4536 kg) par type de route et par gravité (Source : Transports Canada – Sécurité des véhicules automobiles, Base nationale de données sur les collisions)

Année	Nbre de collisions mortelles/nbre de victimes				Nbre de collisions avec blessures/nbre de victimes			
	Terre, sable ou gravier		Tous les autres types de routes		Terre, sable ou gravier		Tous les autres types de routes	
2009	9	9	33	32	76	108	436	644
2010	1	1	26	26	72	96	473	678
2011	7	7	32	37	51	66	469	642
2012	5	5	23	25	63	72	451	626
2013	3	4	23	25	54	64	452	635
2014	5	5	26	29	50	60	385	581

Annexe B – Questions du sondage pour les conducteurs

1. Vous sentez-vous plus en sécurité depuis l'installation du système de contrôle électronique de la stabilité dans votre camion? Oui Non
2. Est-ce que l'activation de l'ESC vous distrait lorsque vous conduisez? Oui Non
3. L'activation de l'ESC a-t-elle nui à votre conduite? Oui Non
4. Vos habitudes de conduite ont-elles changé par suite de l'installation du système d'ESC sur votre camion? Oui Non
5. Dans quelles conditions avez-vous remarqué l'activation du système d'ESC?
6. Quelles limites de fonctionnement avez-vous notées depuis que vous utilisez un camion équipé d'un système d'ESC?
7. Dans quelles circonstances est-ce que le système ne fonctionne pas bien?
8. Êtes-vous familiarisé avec le fonctionnement de ce système d'ESC? Oui Non
9. Aimerez-vous avoir une formation pour mieux connaître le fonctionnement des systèmes d'ESC?
 Oui Non
10. Est-ce que les signaux d'avertissement/réactions du système vous conviennent? Oui Non
11. Avez-vous été dans une situation où le système d'ESC vous a aidé à éviter un accident ou un quasi-accident?
 Oui Non
12. De façon générale, diriez-vous que ce système améliore la sécurité routière? Oui Non
13. Ce système devrait-il être installé sur tous les véhicules de votre flotte? Oui Non
14. Avez-vous d'autres commentaires sur le système d'ESC?

Annexe C – Données d'activation du système d'ESC

Tableau 7. Activation de l'ESC pour différents niveaux d'intervention pendant la durée de vie et la période d'étude

Type de stabilité	Niveau d'intervention	Camion n° 1		Camion n° 2		Camion n° 3		Camion n° 4	
		Compteur – durée de vie ¹	Compteur – période d'étude ²	Compteur – durée de vie	Compteur – période d'étude	Compteur – durée de vie	Compteur – période d'étude	Compteur – durée de vie	Compteur – période d'étude
Stabilité latérale	Faible	222	0	466	8	318	2	449	3
	Modéré	357	1	561	5	440	1	577	3
	Élevé	60	0	130	2	122	1	88	0
Stabilité directionnelle	Faible	384	114	375	62	286	75	319	142
	Modéré	65	74	90	41	56	45	60	27
	Élevé	0	3	0	4	2	1	3	0

¹ Mesuré jusqu'au début de l'étude.

² Différence mesurée avant et après la période d'étude de 3 mois.



Siège social

Pointe-Claire

570, boul. Saint-Jean
Pointe-Claire, QC
Canada H9R 3J9
T 514-630-4100

Vancouver

2665 East Mall
Vancouver, BC.
Canada V6T 1Z4
T 604-224-3221

Québec

1055, rue du P.E.P.S.
Québec, QC
Canada G1V 4C7
T 418-659-2647



NOTRE NOM EST INNOVATION

