Evaluation de la sécurité d'un camion minier automatique

Joseph-Jean Paques, Réal Bourbonniere, Jean-Luc Durka

▶ **To cite this version:**

Joseph-Jean Paques, Réal Bourbonniere, Jean-Luc Durka. Evaluation de la sécurité d'un camion minier automatique. Conférence Internationale Sécurité des Systèmes Industriels Automatisés, Oct 1999, Montréal, Canada. ineris-00972182

HAL Id: ineris-00972182
https://ineris.hal.science/ineris-00972182

Submitted on 3 Apr 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Évaluation de la sécurité d'un camion minier automatique

Auteurs
Paques, J. J. , IRSST*, Bourbonniere, R. , IRSST*, Durka, J. L. INERIS [1] , *Institut de recherche en santé et en sécurité du Québec 505 de Maisonneuve Ouest, Montréal (Québec) H3A 3C2

Abstract

A prototype of an automatic truck has been developed for ore haulage in underground gold mines in Quebec (Canada). The control system is a computerized guidance system that is designed to give standard underground mining haulage vehicles the ability to operate fully automatically without an onboard operator. It combines scanning lasers with elements of radio remote controls of mine automation. It uses also a collision avoidance system to detect specific transponders equipping all people and vehicles in the mine by using microwave signals. This paper will present with the development of the safety program and with what has been done in the real life-cycle of the project.

1. Introduction

Une compagnie minière du Québec projette d'installer un système de camions automatiques dans sa mine en Abitibi. Un tel système est une première au Canada, car les camions transportant le minerai entre le front de taille et l'usine de traitement effectueront ces trajets sans aucune intervention humaine. Dans ce contexte, il est prévu que ces camions automatiques évolueront dans certaines zones où circulent également des véhicules conduits par des opérateurs et des travailleurs à pied.

Selon le fournisseur (1), trois composantes majeures constituent ce système: un dispositif de guidage et de conduite des camions automatiques, un dispositif embarqué de détection de présence humaine et un gestionnaire de trafic.

Le dispositif de guidage et de conduite des camions automatiques se sert d'une bande réfléchissante (rail optique) fixée au dessus du trajet du camion dont la position exacte est détectée par un faisceau laser oscillant. Les commandes particulières relatives à la marche du camion, telles que accélération, ralentissement, changement de trajectoire, sont transmises à l'aide de codes-barre fixés à côté du rail optique (voir figures 1 et 2).

Le système de sécurité anti-collision est composé d'un ensemble émetteur-récepteur et de transpondeurs passifs installés sur le casque du personnel (3 transpondeurs) ou les véhicules (6 transpondeurs) qui reçoivent le signal émis par le camion et émettent un signal de fréquence double. Lorsque le système anti-collision reçoit cette fréquence double, il donne l'ordre d'arrêt au camion (voir figure 1).

---

[1] Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques

Évaluation de la sécurité d'un camion minier automatique

La gestion du trafic est réalisée à l'aide d'un ordinateur central qui dispose de moyens de commande et de communication à travers tout le site concerné. L'ordinateur communique avec le camion à travers un réseau d'antennes qui suivent le trajet du camion (« leeky feeder ») ; un réseau de communication vocal permet au gestionnaire de trafic de contacter les employés par intercom et radio mobile.

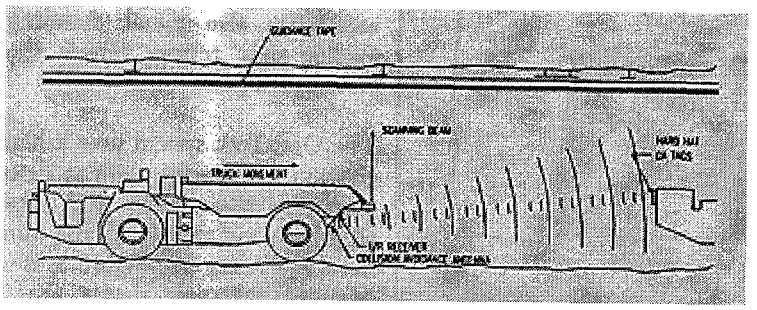

Figure 1 : Dispositifs de guidage et d'anti-collision

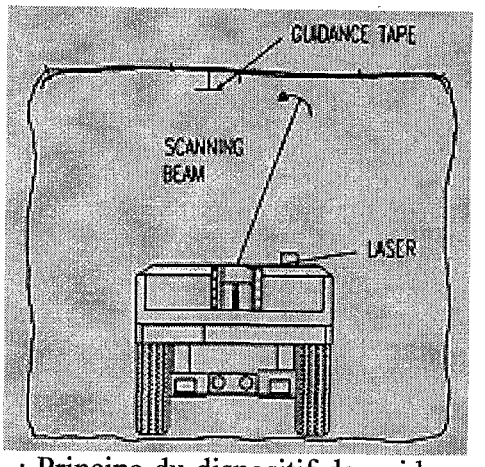

Figure 2 : Principe du dispositif de guidage

La coexistence dans les mêmes zones entre les travailleurs et des machines automatiques est une contrainte très forte pour obtenir un niveau de sécurité satisfaisant. Le règlement sur la santé et la sécurité du travail dans les mines du Québec (2) ne prévoit aucune disposition particulière pour ce genre de situation. Seule une directive très générale a été émise en Ontario (3).

2. Programme d'assurance sécurité

L'IRSST [2], en collaboration avec l'INERIS [1] a développé et appliqué un programme de sécurité afin de s'assurer que le système de véhicule autoguidé présente un niveau de sécurité satisfaisant pour les travailleurs. Ce programme a été inspiré par certaines normes européennes, notamment sur la norme EN 954 "Sécurité des machines, parties des systèmes relatives à la sécurité" (4), ainsi que sur la norme internationale CEI 61508 "Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques /électroniques /électroniques programmables relatifs à la sécurité" (5). Le programme de sécurité s'est concrétisé sous la forme d'un dossier de sécurité, construit selon les principes décrits dans cette dernière norme.

À partir, d'une part de rencontres avec le fabricant, les usagers potentiels et les représentants de la CSST [3], et d'autre part, des documents d'ingénierie disponibles et du manuel d'opération préliminaire (6), le dossier de sécurité a été constitué pour formaliser les analyses. Ces analyses ont été regroupées en quatre phases principales: analyse des risques, définition des objectifs et des prescriptions techniques de sécurité, validation des phases de conception et de réalisation et évaluation de la sécurité de fonctionnement. Cette dernière partie du dossier de sécurité comprend

2 Institut de recherche en santé et en sécurité du Québec

3 Commission de la Santé et de la Sécurité du Travail du Québec

une liste de recommandations à apporter au système pour respecter les objectifs de sécurité défini au début.

3. Analyses du système de camion automatisé

Les analyses des risques du système se sont déroulées selon les différentes étapes décrites ci-après. Elles ont été effectuées afin d'identifier les dangers pour tous les modes de fonctionnement: chargement du camion, parcourt de transfert du point de chargement au point de déchargement, déchargement du camion et maintenance.

Dans un premier temps, l'identification des dangers a été effectuée systématiquement à partir de leur décomposition en entités dangereuse, événement ou condition, situation dangereuse, condition supplémentaire et accident potentiel.

Les entités dangereuses sont les éléments de l'installation auxquels on peut associer un danger intrinsèque ou potentiel, ou une agression externe. L'entité dangereuse doit être soumise à un événement ou une condition pour entraîner une situation dangereuse. Cette situation dangereuse doit être associée à une condition supplémentaire pour se transformer en accident potentiel. La figure 3 montre un exemple de décomposition d'accidents potentiels à partir d'entités dangereuses.

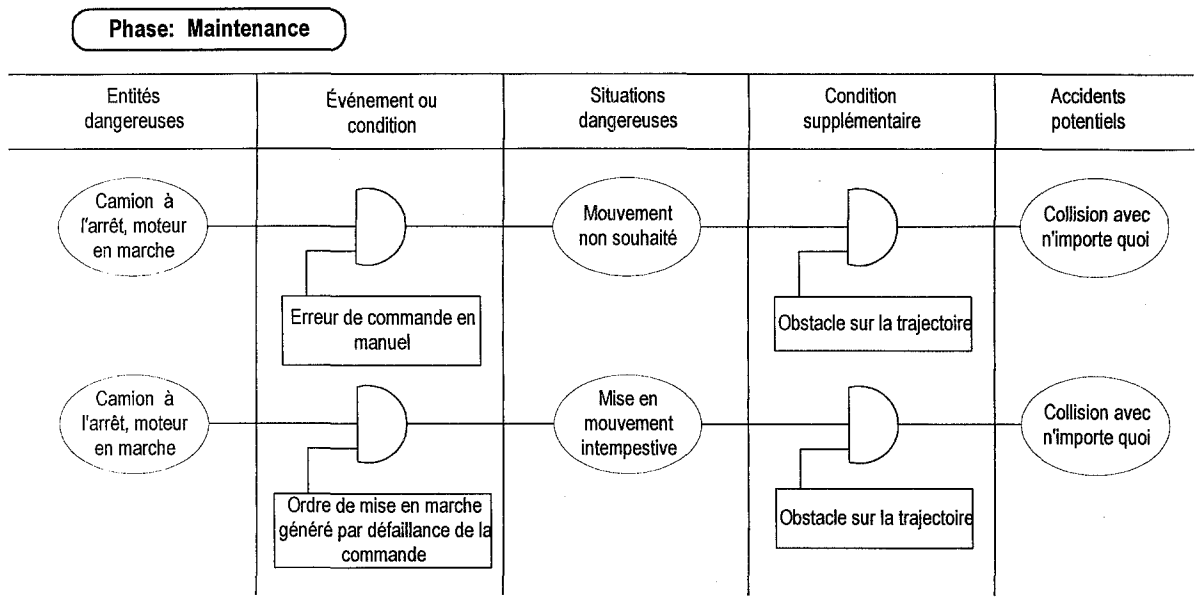

Figure 3 : Analyse d'entités dangereuses

Les situations dangereuses ont ensuite été identifiées et les risques analysés pour les cinq modes d'opération du système. Trois de ces modes sont reliés directement à la production (chargement - parcours - déchargement). Un mode est associé à l'entretien du véhicule et le dernier mode correspond à un circuit d'essai effectué à chaque début de quart de travail.

Évaluation de la sécurité d'un camion minier automatique

Les analyses de risques ont permis de préciser le niveau de sécurité avec lequel les fonctions de commande ou de protection doivent être exécutées. Elles ont été effectuées en utilisant la grille proposé dans le norme EN954-1 (4), en prenant en compte les paramètres de gravité des lésions, de fréquence ou de durée d'exposition et de la possibilité d'éviter le phénomène dangereux.
Enfin, des arbres de défaillance généraux ont été construits pour les principaux événements indésirables. Ils déterminent les diverses combinaisons possible d'événements qui entraînent la réalisation d'un événement sommet indésirable et permettent d'établir les causes communes.

A partir des résultats des analyses des dangers et des risques, les objectifs de sécurité au niveau du système ont été définis. Ils ont servis de références dans la phase de validation et de recommandation pour le système proposé.

Une analyse fonctionnelle détaillée a été réalisée à la suite de la décomposition des fonctions du système. Le tableau 1 présente un exemple de décomposition, à quatre niveaux, de la fonction de contrôle-commande de trajectoire du camion.

Niveau -1	Niveau -2	Niveau -3	Niveau -4
Contrôle-commande de trajectoire et des fonctions de pilotage du camion	Contrôler la trajectoire du camion	Mesurer la position de l'axe du camion par rapport au rail de guidage	• Rail de guidage • Laser 1 (avant) • Laser 2 (arrière) • Capteur angulaire
		Calculer l'écart entre l'axe du camion et le rail de guidage	• Calculateur

Tableau 1 : Exemple de décomposition de la fonction de contrôle-commande de trajectoire du camion

L'analyse des modes de défaillances et de leurs effets, basée sur l'analyse fonctionnelle détaillée a permis de mettre en évidence les dysfonctionnements liés aux objectifs de sécurité.

La structure du logiciel a été aussi analysée ainsi que la méthodologie employée pour le développement du logiciel (7). La référence d'analyse de logiciel est basée sur le découpage en activités qui forment le cycle de vie d'un logiciel (spécifications, conception préliminaire, conception détaillée, codage, tests unitaires, tests d'intégration, procédures d'utilisation, évolution et modification).

Enfin, des recommandations ont été faites sur les essais de validation vis-à-vis des contraintes d'environnement auxquelles le système est susceptible d'être confronté. La nature de ces essais devra être au niveau climatique (froid et à la chaleur sèche, variation de température.),

mécanique (vibrations, chocs), électrique (électrostatique, électromagnétique, variation et interruptions de la tension d'alimentation).

4. Conclusion

Les résultats de cette étude ont permis d'élaborer un dossier de sécurité qui peut servir de modèle à la conception et l'évaluation de systèmes électroniques relatifs à la sécurité. Plus spécifiquement, cette étude a permis de suggérer au fournisseur du système des améliorations nécessaires pour respecter les objectifs liés à la sécurité. Il a aussi été possible d'identifier, au sein du système de contrôle commande, certaines fonctions devant être traitées avec un haut niveau de sécurité (guidage, freinage).

Certaines parties d'équipement et fonction devront faire l'objet de procédures de tests périodiques. C'est ainsi que le système anti-collision doit être conçu de façon à ce que ses fonctions soient auto-contrôlées toutes les secondes au minimum pendant son fonctionnement. De plus, à chaque cycle, au point de déchargement, le système doit se mettre en position de test pour vérifier l'intégrité de sa fonction de détection de présence à l'avant et à l'arrière du camion.

Les dysfonctionnements affectant la sécurité (rupture de la transmission du camion, défaillance du système de freinage) doivent être détectés par des tests effectués automatiquement à chaque voyage. Il a également été recommandé qu'un opérateur soit présent sur le camion automatique à chaque premier voyage au début de chaque quart de travail afin de détecter les perturbations fixes qui seraient survenues sur la trajectoire ou des déviations de performances du camion automatique.

A titre de conclusion particulière, l'analyse montre que, dans sa conception au moment de l'analyse, le système de camion automatique ne présente pas un niveau de confiance suffisant pour qu'il soit mis en exploitation dans une mine. Toutefois, compte tenu des procédures de test qui devront être mises en place, une mise en service sur un site expérimental peut être envisagée sous réserve que des consignes de sécurité et une formation adaptée soient mises en place.

L'évaluation du système a permis, d'une part, d'apporter des renseignements sur le niveau de sécurité assuré par les principes utilisés, et d'autre part, de fournir aux utilisateurs des éléments d'information pour sa mise en oeuvre optimale. La conclusion du dossier de sécurité a permis de faire des recommandations auprès du concepteur et devrait servir de base à une expérimentation future.

5. Références

1 G.Brophey, D. W. Euler, The Opti-Track system, a system for automating today's LHDs and trucks, CIM Bulletin, Vol. 87, No 984, octobre 1994,

2 Gouvernement du Québec, Règlement sur la santé et la sécurité du travail dans les mines, S-2. 1, r. 19. 1, 1998.

3 Ministry of Labour of Ontario, Health and safety guideline : Operator-less automated haulage, June 1994

4 Comité Européen de Normalisation, Sécurité des machines - Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité - Partie 1: Principes généraux de conception, EN 954-1, Décembre 1996.

5 Commission Electrotechnique Internationale, Sécurité fonctionnelle: systèmes relatifs à la sécurité, Parties 1 à 7, IEC 61508-1/7, 1998.

6 Mintronics, Manual of operation of automated truck , 45pages, 1997

7 INERIS, Méthodologie de développement du Logiciel - Document technique INERIS/LSSE/93.09, 1993