

CIGI QUALITA MOSIM 2023

RISQUES DE SST RELIÉS À L'USAGE DES VÉHICULES AUTOGUIDÉS DANS LE CONTEXTE DE L'INDUSTRIE 4.0

AMINE MABSOUT¹, ADEL BADRI¹, KELOUWANI SOUSSO²

¹ Université du Québec à Trois-Rivières, Département de génie industriel
3351, boulevard des Forges, Trois-Rivières (Québec), Canada

Amine.Mabsout@uqtr.ca

Adel.Badri@uqtr.ca

² Université du Québec à Trois-Rivières, Département de génie mécanique
3351, Boulevard des Forges, Trois-Rivières (Québec), Canada

Souso.Kelouwani@uqtr.ca

Résumé – Cet article s'intéresse à l'étude théorique de la prise en compte de la santé et de la sécurité au travail (SST) reliée à l'usage des véhicules autoguidés (VAG). Avec la rapide évolution des technologies de véhicules autonomes, de nouveaux risques et dangers émergents peuvent apparaître, rendant la gestion de la SST plus complexe. Différentes familles de risques reliées à l'usage des VAG ont été citées dans la littérature. L'état de l'art montre qu'il existe des liens entre plusieurs familles de risques, ce qui rend difficile leur prévention. Ce travail consiste en la réalisation d'un portrait théorique qui rassemble tous les risques potentiels en lien avec les VAG. Ce portrait sera amélioré par la suite avec différentes démarches méthodologiques comme l'analyse du comportement d'un VAG face à différentes situations dangereuses. Ce travail servira à réduire ou à éliminer les différents risques en lien avec l'usage des VAG de la conception jusqu'à leur utilisation.

Mots clés – Santé et sécurité au travail (SST), Véhicules autoguidés (VAG), Risques, Industrie 4.0, Prévention

Abstract – This article focuses on the theoretical study of occupational health and safety (OHS) related to the use of automated guided vehicles (AGVs). With the rapid evolution of autonomous vehicle technologies, new emerging risks and hazards may appear, making OHS management more complex. Different categories of risks related to the use of AGVs have been mentioned in the literature. The state of the art shows that there are links between several risk categories, making their prevention difficult. This work consists of creating a theoretical overview that brings together all potential risks related to AGVs. This overview will be improved later through various methodological approaches, such as analyzing the behavior of an AGV in different hazardous situations. This work will help to reduce or eliminate different risks related to the use of AGVs from design to implementation.

Keywords – Occupational Health and Safety (OHS), Automated Guided Vehicles (AGV), Risks, Industry 4.0, Prevention

1 INTRODUCTION

La santé et la sécurité du travail (SST) sont des enjeux majeurs dans tous les domaines professionnels, et particulièrement en ce qui concerne l'utilisation de véhicules autonomes. Les véhicules autonomes sont des équipements capables de se déplacer sans intervention humaine, ou avec une intervention humaine minimale. Les avantages des véhicules autonomes sont nombreux, notamment une réduction des accidents de déplacement, une augmentation de la productivité et une diminution des coûts d'exploitation. Cependant, l'utilisation de ces véhicules présente également des risques pour les travailleurs, ce qui rend la prise en compte de la SST essentielle dès leur conception.

La prise en compte de la SST est essentielle pour assurer la sécurité des travailleurs. En effet, les véhicules autonomes créés sur mesure sont conçus pour répondre à des besoins spécifiques, et leur utilisation peut différer grandement d'un site à l'autre. Par conséquent, une évaluation minutieuse des

risques liés à l'utilisation de ces véhicules doit être effectuée dès la phase de conception.

Dans cet article, nous examinerons la littérature sur la prise en compte systématique de la SST dans la conception, l'intégration et l'utilisation des véhicules autoguidés intelligents créés sur mesure. Nous discuterons des meilleures pratiques en matière de SST dans le contexte de l'automatisation de ces véhicules, ainsi que leurs défis et leurs opportunités.

L'intégration de la SST dans la conception des véhicules autonomes est essentielle pour minimiser les risques liés à leur utilisation. Les concepteurs doivent prendre en compte les caractéristiques physiques et mentales des travailleurs qui interagiront avec les véhicules autonomes, ainsi que les risques potentiels associés à leur utilisation. Par exemple, les travailleurs qui interagissent avec les véhicules autonomes doivent être formés à leur utilisation et à la maintenance de base, et les véhicules doivent être conçus pour minimiser les

risques de blessures liées à des collisions ou à des mouvements imprévus demeure une obligation.

2 METHODOLOGIE DE RECHERCHE

2.1 Objectif de la revue de littérature et méthodologie

La revue de littérature entreprise a pour objectif de réaliser un portrait théorique des risques liés aux VAG. La question de recherche posée est la suivante : « Quels sont les risques existants et émergents en lien avec les VAG ? ». Pour répondre à cette question, des recherches sont effectuées dans plusieurs sources, notamment Scopus, Google Scholar et les sites de la Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail (CNESST). Plusieurs mots-clés pour trouver des articles pertinents, tels que « Industrie 4.0 », « véhicules autoguidés intelligents », « risques des véhicules autoguidés intelligents » et « santé et sécurité au travail ».

Les publications ont été sélectionnées en fonction de leur pertinence pour la question de recherche, la qualité de la méthodologie utilisée et l'année de publication (2011 à 2021). Les publications ont été aussi sélectionnées selon la langue (anglais et français).

Une fois les articles sélectionnés, une analyse critique des données a été effectuée. Les publications ont été lues attentivement et résumées pour extraire les idées principales. Les résultats ont ensuite été organisés en fonction de leur pertinence pour la question de recherche et regroupés en trois thèmes qui sont la SST, l'industrie 4.0 et les VAG.

Les thèmes identifiés ont ensuite été utilisés pour établir une structure pour la revue de littérature. Les publications ont été regroupées en fonction de leur pertinence pour chaque thème identifié. Les thèmes ont été hiérarchisés en fonction de leur importance pour la question de recherche.

Une fois les publications regroupées en fonction des thèmes identifiés, une synthèse des résultats a été réalisée. Les résultats de chaque article ont été comparés et combinés pour donner une vue d'ensemble des risques et dangers existants et émergents liés aux VAG.

Enfin, les résultats de la synthèse ont été utilisés pour rédiger la revue de littérature. Les thèmes ont été organisés de manière logique pour donner une vue d'ensemble cohérente des risques existants et émergents liés aux VAG.

La Figure 1 résume la démarche méthodologique utilisée pour rédiger la revue de littérature. Les résultats de cette revue de littérature ont permis de dresser un portrait théorique des risques existants et émergents qui sont liés aux VAG.

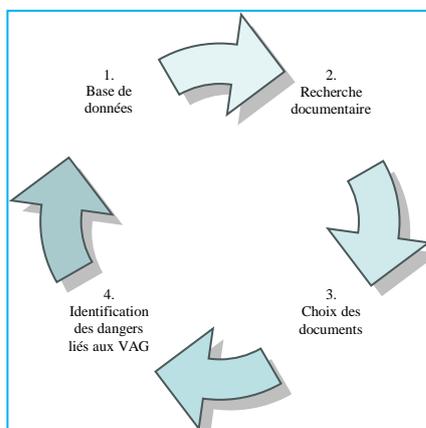


Figure 1. Démarches méthodologiques de la revue de littérature

3 RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 Santé et sécurité au travail

La santé et la sécurité au travail sont des enjeux importants dans tous les secteurs d'activités. Selon l'Organisation internationale du travail (OIT) (2017), les décès liés au travail sont plus souvent attribués aux maladies professionnelles qu'aux accidents de travail. En effet, environ 2,78 millions de travailleurs meurent chaque année d'une cause liée à leur travail, dont environ 2,4 millions sont liés à des maladies professionnelles, tandis que le reste est causé par des accidents de travail (Morgado et al., 2019). Au Québec, le coût d'invalidité liée au travail a été d'environ 4,84 milliards de dollars en 2011 (Mouras et al., 2020), tandis qu'au niveau mondial, le coût total des lésions professionnelles représente 4 % du produit intérieur brut total (OIT, 2017).

La législation en matière de SST établit des mécanismes de participation en prévention pour éliminer à la source les menaces sur la santé, la sécurité et l'intégrité physique des travailleurs (Gualtieri et al., 2021). La mise en place d'une gestion intégrée de la SST vise à contrôler les dangers qui peuvent apparaître au sein de l'entreprise (Badri et al., 2018). Les critères de suivi et d'action en matière de SST sont d'une importance cruciale dans la mise en œuvre de la robotique collaborative (Gualtieri et al., 2021). La prise en charge de la SST n'est pas exclusive à l'employeur, car les travailleurs ont également des obligations pour assurer leur propre sécurité. La Loi sur la santé et la sécurité du travail (LSST) au Québec définit les obligations des employeurs et des travailleurs en matière de santé et de sécurité au travail.

Les obligations des employeurs comprennent l'identification, le contrôle et l'élimination des dangers pour les travailleurs, la dotation des établissements d'équipements, d'outils et de méthodes de travail sécuritaires, l'information des travailleurs sur les risques liés à leur emploi, la formation des travailleurs pour travailler de manière sécuritaire, la supervision du travail des employés pour s'assurer que les normes de sécurité sont respectées et l'offre de services de premiers soins sur place (article 51, (LSST, 2023)). Les employeurs doivent également établir un programme de prévention (obligatoire pour toute entreprise ciblée par règlement) (article 58 de la LSST).

Les obligations des travailleurs comprennent la prise de mesures nécessaires pour protéger leur propre santé, leur sécurité et celle de leur entourage au travail, la participation à l'identification et à l'élimination des risques au travail, la prise de connaissance du programme de prévention, la collaboration avec le comité de santé et de sécurité et la soumission aux examens médicaux légalement exigés (articles 2, 3, 5 et 6 de la LSST). Les travailleurs ont également des droits, tels que le droit de recevoir de l'information et des conseils en santé et sécurité, la formation et la sensibilisation à la prévention des accidents et des maladies professionnelles, ainsi que le droit de refuser d'accomplir une tâche s'ils ont des raisons de croire qu'elle présente un risque grave et imminent pour leur vie ou leur santé. Il est important pour les travailleurs de connaître et de respecter leurs obligations en matière de santé et de sécurité au travail, afin de préserver leur bien-être physique et psychologique, ainsi que celui de leurs collègues et de leur environnement de travail (LSST, 2023).

De plus, il est important pour les employeurs de mettre en place un environnement de travail sain et sécuritaire, en respectant les normes de santé et de sécurité en vigueur, en fournissant l'équipement de protection individuelle nécessaire, en offrant une formation adéquate à leurs travailleurs et en mettant en place un programme de prévention efficace

(CNESST, 2021). Les employeurs ont également l'obligation de consulter et de collaborer avec le comité de santé et de sécurité au travail, de signaler les accidents et les maladies professionnelles, et de prendre les mesures nécessaires pour corriger les situations dangereuses ou déficientes (LSST, 2023).

En somme, la santé et la sécurité au travail sont des enjeux importants pour les travailleurs, les employeurs et la société en général. En respectant les obligations et les droits de chacun, et en travaillant ensemble pour créer un environnement de travail sain et sécuritaire, nous pouvons prévenir les accidents et les maladies professionnelles, et améliorer la qualité de vie des travailleurs (Tremblay et al., 2018).

3.2 Industrie 4.0

L'Industrie 4.0 est définie comme une transformation de l'industrie et des systèmes de production grâce à l'intégration de nouvelles technologies interconnectées (Huba et al., 2016). Elle est apparue en 2011 grâce à des efforts allemands et se caractérise par une fusion des mondes physique, numérique et biologique (Danjou et al., 2017). L'Industrie 4.0 se base sur l'automatisation et la numérisation croissante de l'environnement de fabrication pour créer une chaîne de valeur numérique (Galati et al., 2019).

Les principes de l'Industrie 4.0 incluent l'interopérabilité, la capacité des opérations en temps réel, la virtualisation, la décentralisation, l'orientation des services et la modularité (Santos et al., 2017).

L'Industrie 4.0, est caractérisée par l'utilisation de technologies numériques avancées, telles que les systèmes cyberphysiques, l'Internet des objets (IdO), l'infonuagique, la cybersécurité, la fabrication additive et la réalité mobile augmentée (Huba et al., 2016). Ces technologies permettent aux machines, aux environnements, aux véhicules et aux objets physiques de se connecter et d'échanger des données, créant ainsi des systèmes de production interconnectés (Lasi et al., 2014). Les avantages économiques de l'Industrie 4.0 sont nombreux, notamment la réduction des coûts de lancement de nouveaux produits, la réduction du coût de la main-d'œuvre et l'amélioration de la valeur des produits grâce à une utilisation plus efficace des actifs (Blanchet, 2016). Cependant, l'adoption de l'Industrie 4.0 pose également des défis pour les entreprises, notamment en matière de compétences requises, de sécurité des données et d'investissements nécessaires (Ministère de l'Économie et de l'Innovation, 2018). Les travailleurs doivent s'adapter aux nouvelles compétences demandées par les entreprises adoptant le virage numérique. En somme, l'Industrie 4.0 transforme la production industrielle en permettant une personnalisation de masse tout en maintenant les conditions économiques de la production de masse (Santos et al., 2017).

Bien que cette nouvelle ère industrielle permette d'éliminer certains travaux laborieux et dangereux, elle en crée d'autres en raison de l'interconnexion des machines, de l'utilisation croissante des systèmes numériques et de la gestion de mégadonnées (Marková et al., 2019). Ces défis vont obliger les entreprises à dépenser davantage pour intégrer la SST dans les processus de travail (Digmayer et al., 2018). Les normes en SST aideront à s'adapter et à surmonter les obstacles liés à l'identification des dangers et la hiérarchisation des risques. Mais les anciens outils d'évaluation des risques professionnels semblent être incapables de reconnaître ces nouveaux risques qui émergent (Häkkinen, 2015). Les systèmes de production de l'Industrie 4.0 sont de plus en plus complexes, ce qui crée plusieurs types de dangers en milieu de travail, y compris les

risques psychosociaux qui sont souvent négligés (Erol, 2019). La prévention des comportements dangereux est également nécessaire pour réduire les accidents. Les facteurs humains sont prépondérants dans la survenance des accidents et les travailleurs peuvent ressentir des effets psychologiques et mentaux qui affectent leur sécurité (Badri et al., 2018).

3.3 Véhicules autoguidés

Les véhicules autoguidés (VAG) qui sont des robots de service utilisés pour la manutention des matériaux dans les processus de production industrielle moderne (Cronin et al., 2019). Les VAG sont capables d'opérer de manière autonome grâce à un système de contrôle et peuvent être utilisés dans des environnements internes et externes tels que des zones de production, de distribution, de transbordement ou de transport (Lynch et al., 2019). Ils peuvent également travailler sans interruption et transporter des objets de poids important, améliorant ainsi considérablement l'efficacité du travail (Fazlollahtabar et al., 2015). Il existe différentes méthodes de navigation des VAG, telles que la navigation par fil de guidage ou par carte numérique. On rajoute aussi que la planification des trajets pour les VAG peut nécessiter l'utilisation d'un processeur central pour une utilisation efficace de plusieurs VAG (Uttendorf et al., 2016). La mise en place d'un VAG dans une usine peut être coûteuse et nécessite une bonne adaptation à un environnement dynamique (Mehami et al., 2018).

L'utilisation de ces véhicules est basée sur des méthodes mathématiques qui varient selon les besoins de l'entreprise (Tran et al., 2018). Pour utiliser un VAG, il doit d'abord être mis sous tension après l'initialisation du système, et une fois les instructions acceptées, il exécute l'ordre donné par le serveur (Hu et al., 2017). Le système VAGS est utilisé pour contrôler l'ensemble des VAG, qui fonctionnent simultanément. Ce système implique la répartition et la programmation des tâches et l'acheminement des VAG afin d'assurer un flux et une distribution efficaces des matériaux entre les postes de travail, au bon moment et au bon endroit (Vivaldini et al., 2015). Pour une bonne intégration des VAG, il est nécessaire de déterminer le nombre de VAG nécessaires, de mesurer les trajets aller-retour et le temps de déchargement et de réduire les activités sans valeur ajoutée telles que la distance parcourue à vide (Correia et al., 2020). Il est également important de mettre en place une politique de gestion du VAGS, qui implique la répartition, l'acheminement et l'ordonnancement pour répondre le plus rapidement possible aux demandes de transport tout en évitant des conflits. En plus, le choix de l'emplacement des points de ramassage et de livraison est important pour réduire le temps d'attente et améliorer la performance opérationnelle (Correia et al., 2020). Il existe deux types de technologies de guidage, le guidage à itinéraire fixe et le guidage à itinéraire libre (Mehami et al., 2018). La fusion de données est essentielle pour la navigation avancée et sécuritaire des VAG (Cardarelli et al., 2015). La conception d'un VAGS soulève plusieurs préoccupations telles que la conception du trajet, l'estimation du nombre de véhicules requis, la programmation des véhicules, la gestion des batteries et la résolution des blocages. Le budget disponible, les quantités à déplacer, les marchandises à manipuler, la distance à parcourir et le type de système de production de l'entreprise à desservir sont des facteurs à prendre en compte aussi lors de la conception d'un VAGS (Correia et al., 2020).

Les VAG ont été créés pour résoudre certains problèmes, mais ont des limites, telles que l'augmentation de la pollution et des

problèmes de gestion des pannes (Zaghdoud et al., 2012). Les véhicules autoguidés intelligents (VAI) sont apparus pour résoudre ces problèmes et sont différents des VAG en ce qu'ils sont équipés de technologies avancées pour naviguer sans intervention humaine (Cronin et al., 2019; Lynch et al., 2019). Les VAI sont équipés de quatre technologies fondamentales : la perception et la modélisation de l'environnement, la localisation et la construction de cartes, la planification de la trajectoire et la prise de décision, et le contrôle des mouvements. Les VAI peuvent remplacer les convoyeurs droits s'ils sont reconfigurés en système modulaire et ont la capacité de transporter des unités d'une cellule à l'autre. Une flotte de VAI doit travailler en conjonction avec le MES (Manufacturing Execution System) pour optimiser les activités de production (Lynch et al., 2019). Il existe trois types de VAI selon les coûts (Cronin et al., 2019) : à coût élevé, à coût intermédiaire et à coût faible. Les caractéristiques de ces VAI diffèrent selon les gammes des véhicules. Les VAI offrent des avantages en termes de flexibilité et de réduction des systèmes de convoyeurs fixes à usage unique.

3.4 *Les risques liés aux véhicules autoguidés*

Concernant les risques liés à l'utilisation des VAG en milieu industriel, selon la CNESST, ces risques peuvent être de différentes natures, tels que les risques physiques, technologiques, environnementaux, ergonomiques et psychosociaux et mentaux. Les risques physiques sont principalement liés aux collisions entre les travailleurs et les VAG, qui peuvent être causées par des inattentions humaines, des zones aveugles ou des problèmes de remorquage (L'institut national de recherche et de sécurité, 2018; Bouliane et al., 2011). De plus, les risques de chute d'objets ou de produits mal fixés sur les VAG sont également présents (Laberge et al., 2018). Les risques technologiques, quant à eux, concernent principalement les cyberattaques et les problèmes de connectivité qui peuvent entraîner des retards de production et des risques physiques pour les travailleurs (Chowdhury et al., 2020; De Las Morenas et al., 2020). Les auteurs soulignent également l'importance de prendre en compte l'analyse des risques lors de la conception des VAG. Enfin, ils mettent en garde contre les risques psychologiques et physiques liés à l'achat de systèmes de VAG incompatibles avec ceux déjà installés dans l'entreprise (KMC SRLS, 2021). En somme, il est important de bien identifier et gérer les risques associés à l'utilisation des VAG en milieu industriel. Concernant les risques environnementaux, la qualité de l'environnement de travail, telle que la surface du sol, joue un rôle important dans le bon fonctionnement des VAG (KMC SRLS, 2021). Des surfaces dégradées, glissantes ou lisses peuvent augmenter les risques d'accident physiques et endommager les connecteurs et les dispositifs électroniques des véhicules (Bell et al., 2016). La vision des VAG est également affectée par la qualité de l'éclairage (KMC SRLS, 2021). Les risques ergonomiques, tels que les mouvements répétitifs et les positions inhabituelles peuvent entraîner une fatigue physique, de l'inconfort et des troubles musculosquelettiques à long terme chez les travailleurs (Marková et al., 2019; L'institut national de recherche et de sécurité, 2018; Jocelyn et al., 2017). Les risques psychosociaux, comme le stress et l'anxiété, peuvent être causés par la peur de perdre son emploi ou le manque de formation pour travailler avec les VAG, ainsi que par l'isolement et la surcharge mentale des travailleurs (Laberge et al., 2018; Jocelyn et al., 2017). Ces risques peuvent entraîner des effets physiologiques tels que des maux de tête, de la fatigue et des problèmes de santé mentale.

La revue de littérature nous a permis d'identifier les familles de risques. Par la suite, l'étude sur l'Industrie 4.0 révèle les défis pour la SST en général vu l'introduction des nouvelles technologies. Et enfin, une étude sur les VAG aide à comprendre le fonctionnement de ces véhicules, ce qui nous mène vers l'étude de l'intégration de la SST dans la conception, l'intégration et l'utilisation des VAG.

Cependant, la majorité des publications discutent de quelques risques et dangers précis qui mènent vers des études telles que la distance de freinage. Ces dangers sont ceux qu'ils ont plus de probabilité d'apparition, malgré l'existence de plusieurs autres. Quelques publications discutaient sur autres familles de dangers en lien avec les VAG. Les risques ont été regroupés par la suite en fonction des dangers, des événements possibles et les conséquences (Figure 2). Selon l'état de l'art, plusieurs risques peuvent mener à d'autres, on peut déduire alors qu'il existe des liens entre toutes les familles de risques identifiées. Ces liens de dépendance ainsi que l'identification des dangers dans chaque famille de risques ont été déduits en se basant sur une analyse théorique du fonctionnement du VAG, des technologies en lien avec les VAG utilisées, de l'environnement et de l'assistance ou de la non-assistance d'un ou plusieurs travailleurs.

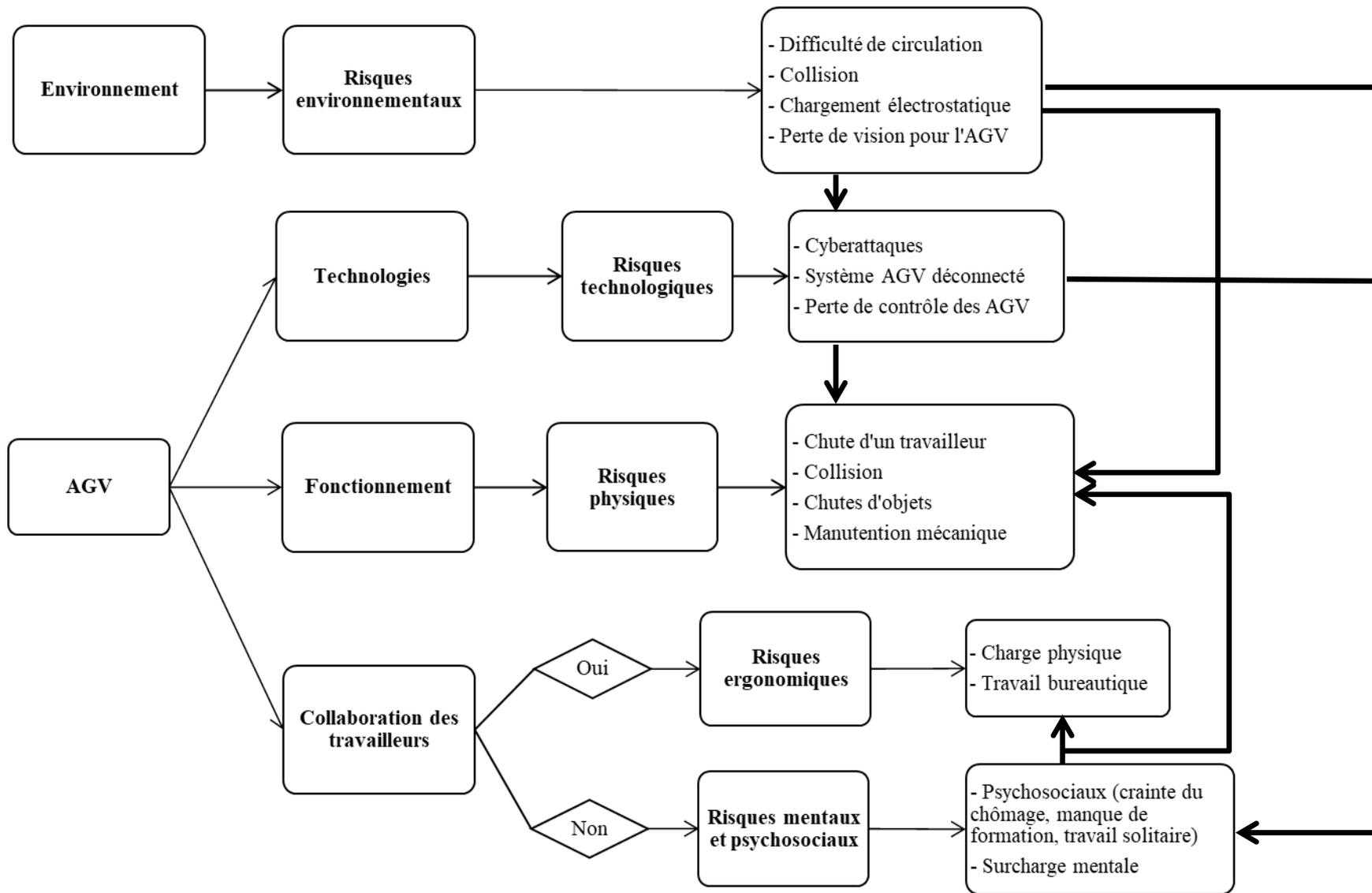


Figure 2. Récapitulatif des liens de causalité des différents risques généraux liés à l'usage des VAG

L'intégration de la SST dans l'utilisation des véhicules autonomes est cruciale. Les travailleurs doivent être formés à l'utilisation des véhicules autonomes et doivent être en mesure de surveiller leur fonctionnement (Jocelyn et al., 2017). Les travailleurs doivent également être formés aux procédures d'urgence en cas d'incident, et des protocoles d'alerte doivent être mis en place pour signaler les problèmes potentiels (Huba et al., 2016).

L'avenir des véhicules autonomes dépendra de la capacité des concepteurs et des utilisateurs à intégrer efficacement la SST dans leur conception et leur utilisation. Des recherches et des investissements supplémentaires dans ce domaine sont nécessaires pour garantir une utilisation sûre et efficace des véhicules autonomes dans les différents secteurs d'activité (KMC SRLS, 2021; Badri et al., 2018).

En somme, la prise en compte systématique de la SST dans la conception, l'intégration et l'utilisation des véhicules autonomes créés sur mesure est essentielle pour garantir la sécurité et la santé des travailleurs (Beetz et al., 2015). La majorité des études ont montré que l'intégration de la SST dès la conception des véhicules autonomes peut réduire les risques d'accidents et améliorer la productivité en minimisant les temps d'arrêt (Digmayr et al., 2019; Bell et al., 2016). En outre, la santé et la sécurité des travailleurs sont étroitement liées à la qualité du travail fourni et à la satisfaction des employés (Morgado et al., 2019).

Cependant, la prise en compte de la SST peut également présenter des défis, notamment en matière de coûts et de complexité technique (Erol, 2019). La formation et l'information des travailleurs sur l'utilisation des véhicules autonomes peuvent être coûteuses et les opérations de maintenance peuvent être compliquées. De plus, les défis liés à la conception des véhicules autonomes sûrs et efficaces nécessitent une collaboration étroite entre les fabricants de véhicules, les utilisateurs et les chercheurs (Badri et al., 2018). Malgré ces défis, l'intégration de la SST dans la conception, l'intégration et l'utilisation des véhicules autonomes est essentielle pour garantir la sécurité et la santé des travailleurs. Les meilleures pratiques doivent être mises en place pour garantir une utilisation sûre et efficace des véhicules autonomes, en prenant en compte les particularités de chaque site et les caractéristiques physiques et mentales des travailleurs qui interagissent avec ces véhicules (Digmayr et al., 2019). La collaboration entre les différents acteurs impliqués dans la conception et l'utilisation des véhicules autonomes est également essentielle pour résoudre les défis liés à la prise en compte de la SST et pour garantir une utilisation optimale de ces véhicules (KMC SRLS, 2021; Badri et al., 2018).

En plus des défis liés à la prise en compte de la SST dans la conception, l'intégration et l'utilisation des véhicules autonomes, la diversité des risques associés à ces technologies est une problématique majeure à considérer (KMC SRLS, 2021). Les véhicules autonomes peuvent être utilisés dans une grande variété d'environnements, tels que les entrepôts, les sites de construction, les usines et les zones urbaines. Ils peuvent être exposés à différents types de risques, notamment les risques physiques et ergonomiques. Par conséquent, il est crucial de comprendre ces risques et de mettre en place des mesures de prévention appropriées (Gualtieri et al., 2021).

En outre, avec la rapide évolution des technologies de véhicules autonomes, de nouveaux risques et dangers émergents peuvent apparaître, rendant la gestion de la SST plus complexe. Par exemple, la connectivité accrue entre les

différents systèmes de véhicules autonomes peut entraîner des risques de piratage informatique, tandis que l'utilisation de l'intelligence artificielle peut introduire des biais et des erreurs potentielles (De Las Morenas et al., 2020). Il est donc essentiel de rester à jour sur les dernières avancées technologiques et de développer des stratégies appropriées de prévention et d'atténuation des risques (Mouras et al., 2020; Tremblay et al., 2018).

Enfin, il est important de noter que la mise en place de mesures de SST ne doit pas être considérée comme une tâche ponctuelle, mais plutôt comme un processus continu d'amélioration et d'adaptation (Morgado et al., 2019). Les conditions de travail et les environnements dans lesquels les véhicules autonomes sont utilisés peuvent changer avec le temps, nécessitant des ajustements réguliers des mesures de prévention (KMC SRLS, 2021). La sensibilisation des travailleurs est également un des éléments clés de la gestion de la SST, car elle permet aux travailleurs de comprendre les risques associés à leur travail et de prendre des mesures pour prévenir les accidents (Konijn et al., 2017).

En somme, la diversité des risques liés aux véhicules autonomes et l'existence de dangers émergents constituent une problématique majeure pour la gestion de la prévention dans ce domaine en pleine expansion.

4 CONCLUSION

Selon les différentes situations qui peuvent se présenter à un VAG lors de sa conception, son intégration ou son utilisation, plusieurs risques devront être pris en considération. La recherche théorique nous a permis d'identifier les différents risques que peut causer un VAG. Les risques liés aux VAG sont très diversifiés et peuvent être interdépendants. Notamment les risques physiques et psychologiques qui peuvent dépendre d'un ou de plusieurs autres types de risques. Les risques peuvent apparaître à cause d'une mauvaise conception des VAG, lors de leur intégration et/ou lors de l'utilisation de ces véhicules. Les risques peuvent être alors prévenus lors de la conception, mais peuvent apparaître ou être source d'un ou de plusieurs autres dangers dans la phase d'intégration ou d'utilisation des VAG.

Dans l'objectif de confirmer les risques identifiés en théorie, une phase pratique est nécessaire pour confirmer et fructifier toutes les familles des risques reliées aux VAG. Cette phase pratique permettra de cibler les solutions à mettre en place pour une prévention à la source

5 REFERENCES

- Badri, A., Trudel, B., & Souissi, A. (2018). Occupational health and safety in the industry 4.0 era: A cause for major concern? *Safety Science*, 109. doi:10.1016/j.ssci.2018.06.012
- Beetz, M., Bartels, G., Albu-Schaffer, A., Balint-Benczedi, F., Belder, R., Bebler, D., . . . Worch, J. H. (2015). *Robotic agents capable of natural and safe physical interaction with human co-workers*. Paper presented at the IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems.
- Bell, J., MacDonald, B. A., Ahn, H. S., & Scarfe, A. J. (2016). An Analysis of Automated Guided Vehicle Standards to Inform the Development of Mobile Orchard Robots. *IFAC-PapersOnLine*, 49(16), 475-480. doi:10.1016/j.ifacol.2016.10.086

- Blanchet, M. (2016). Industrie 4.0 Nouvelle donne industrielle, nouveau modèle économique. *Outre-Terre*, 46(1), 62-85. doi:10.3917/oute1.046.0062
- Bouliane, P., Beaugrand, S., Vigneault, S., & Richard, J. (2011). À chacun sa voie. Chariots élévateurs et piétons.
- Cardarelli, E., Sabattini, L., Secchi, C., & Fantuzzi, C. (2015). *Cloud robotics paradigm for enhanced navigation of autonomous vehicles in real world industrial applications*. Paper presented at the IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems.
- Chowdhury, A., Karmakar, G., Kamruzzaman, J., Jolfaei, A., & Das, R. (2020). Attacks on self-driving cars and their countermeasures: A survey. *IEEE Access*, 8, 207308-207342. doi:10.1109/ACCESS.2020.3037705
- CNESST. (2021). Obligations et droits des employeurs et des travailleurs. Retrieved from <https://risquesdelesions.cnesst.gouv.qc.ca/Pages/obligations.aspx>
- Correia, N., Teixeira, L., & Ramos, A. L. (2020). Implementing an AGV system to transport finished goods to the warehouse. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems*, 5(2), 241-247. doi:10.25046/aj050231
- Cronin, C., Conway, A., & Walsh, J. (2019). *State-of-the-art review of autonomous intelligent vehicles (AIV) technologies for the automotive and manufacturing industry*. Paper presented at the 30th Irish Signals and Systems Conference, ISSC 2019.
- Danjou, C., Pellerin, R., & Rivest, L. (2017). *Le passage au numérique : Industrie 4.0 : des pistes pour aborder l'ère du numérique et de la connectivité*.
- De Las Morenas, J., Da Silva, C. M., Funchal, G. S., Melo, V., Vallim, M., & Leitao, P. (2020). *Security experiences in IoT based applications for building and factory automation*. Paper presented at the Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology.
- Digmayer, C., & Jakobs, E. (2018, 22-25 July 2018). *Employee Empowerment in the Context of Domain-Specific Risks in Industry 4.0*. Paper presented at the 2018 IEEE International Professional Communication Conference (ProComm).
- Digmayer, C., & Jakobs, E. M. (2019). *Developing Safety Cultures for Industry 4.0. New Challenges for Professional Communication*. Paper presented at the IEEE International Professional Communication Conference.
- Erol, M. (2019). Occupational health and work safety systems in compliance with industry 4.0: Research directions. *International Journal of eBusiness and eGovernment Studies*, 11(2), 121-133. doi:10.34111/ijebeg.20191123
- Fazlollahtabar, H., & Saidi—Mehrabad, M. (2015). Risk assessment for multiple automated guided vehicle manufacturing network. *Robotics and Autonomous Systems*, 74, 175-183. doi:10.1016/j.robot.2015.07.013
- Galati, F., & Bigliardi, B. (2019). Industry 4.0: Emerging themes and future research avenues using a text mining approach. *Computers in Industry*, 109, 100-113. doi:10.1016/j.compind.2019.04.018
- Gualtieri, L., Rauch, E., & Vidoni, R. (2021). Emerging research fields in safety and ergonomics in industrial collaborative robotics: A systematic literature review. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 67. doi:10.1016/j.rcim.2020.101998
- Häkkinen, K. (2015). Safety Management—From Basic Understanding Towards Excellence. In (pp. 7-15).
- Hu, D., Ke, H., & Fu, W. (2017). *Research and design of control system based on NRF24101 for intellectualized vehicle*. Paper presented at the Proceedings of 2017 IEEE 6th Data Driven Control and Learning Systems Conference, DDCLS 2017.
- Huba, M., & Kozák, Š. (2016). *From e-Learning to Industry 4.0*. Paper presented at the ICETA 2016 - 14th IEEE International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications, Proceedings.
- Jocelyn, S., Burlet-Vienney, D., Giraud, L., & Sghaier, A. (2017). Robotique collaborative Évaluation des fonctions de sécurité et retour d'expérience des travailleurs, utilisateurs et intégrateurs au Québec.
- KMC SRLS. (2021). What the heck is an automated guided vehicle?
- Konijn, A., Lay, A., Boot, C., & Smith, P. (2017). The effect of active and passive occupational health and safety (OHS) training on OHS awareness and empowerment to participate in injury prevention among workers in Ontario and British Columbia (Canada). *Safety Science*, 108. doi:10.1016/j.ssci.2017.12.026
- L'institut national de recherche et de sécurité. (2018). Tutoprév' pédagogie.
- Laberge, M., & Tondoux, A. (2018). IDENTIFIER LES RISQUES À LA SANTÉ ET À LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL.
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business and Information Systems Engineering*, 6(4), 239-242. doi:10.1007/s12599-014-0334-4
- LSST. (2023). Obligations et droits des employeurs et des travailleurs. Retrieved from <http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/showdoc/cs/s-2.1>
- Lynch, L., McGuinness, F., Clifford, J., Rao, M., Walsh, J., Toal, D., & Newe, T. (2019). *Integration of autonomous intelligent vehicles into manufacturing environments: Challenges*. Paper presented at the Procedia Manufacturing.
- Marková, P., Prajová, V., Homokyová, M., & Horváthová, M. (2019). *Human factor in industry 4.0 in point of view ergonomics in slovak republic*. Paper presented at the Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium.
- Mehami, J., Nawi, M., & Zhong, R. Y. (2018). *Smart automated guided vehicles for manufacturing in the context of Industry 4.0*. Paper presented at the Procedia Manufacturing.
- Ministère de l'Économie et de l'Innovation. (2018). Industrie 4.0 : les défis de la quatrième révolution industrielle. *La Tribune*. Retrieved from <https://www.latribune.ca/2018/10/18/industrie-40--les-defis-de-la-quatrieme-revolution-industrielle-71e0daa226c0b7dabe646a12b81449a9>
- Morgado, L., Silva, F. J. G., & Fonseca, L. M. (2019). *Mapping occupational health and safety management systems in Portugal: Outlook for ISO 45001:2018 adoption*. Paper presented at the Procedia Manufacturing.

- Mouras, F., & Badri, A. (2020). Survey of the risk management methods, techniques and software used most frequently in occupational health and safety. *International Journal of Safety and Security Engineering*, 10(2), 149-160. doi:10.18280/ijssse.100201
- OIT, I. L. O. (2017). ILO head calls for global coalition on safety and health at work. Retrieved from https://www.ilo.org/global/about-the-ilo/newsroom/news/WCMS_573118/lang--en/index.htm
- Santos, M. Y., Oliveira e Sá, J., Andrade, C., Vale Lima, F., Costa, E., Costa, C., . . . Galvão, J. (2017). A Big Data system supporting Bosch Braga Industry 4.0 strategy. *International Journal of Information Management*, 37(6), 750-760. doi:10.1016/j.ijinfomgt.2017.07.012
- Tran, H. A. M., Ngo, H. Q. T., Nguyen, T. P., & Nguyen, H. (2018). *Develop of AGV platform to support the arrangement of cargo in storehouse*. Paper presented at the ICAC 2018 - 2018 24th IEEE International Conference on Automation and Computing: Improving Productivity through Automation and Computing.
- Tremblay, A., & Badri, A. (2018). Assessment of occupational health and safety performance evaluation tools: State of the art and challenges for small and medium-sized enterprises. *Safety Science*, 101, 260-267. doi:10.1016/j.ssci.2017.09.016
- Uttendorf, S., Eilert, B., & Overmeyer, L. (2016). *A fuzzy logic expert system for the automated generation of roadmaps for automated guided vehicle systems*. Paper presented at the IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management.
- Vivaldini, K. C. T., Rocha, L. F., Becker, M., & Moreira, A. P. (2015) Comprehensive review of the dispatching, scheduling and routing of AGVs. In: *Vol. 321 LNEE. Lecture Notes in Electrical Engineering* (pp. 505-514).
- Zaghdoud, R., Mesghouni, K., Dutilleul, S. C., Zidi, K., & Ghedira, K. (2012). *Optimization problem of assignment containers to AIVs in a container terminal*. Paper presented at the IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline).