



Prévention dans le domaine de la robotique collaborative

Synthèse de travaux réalisés à l'international

PRÉVENTION DANS LE DOMAINE DE LA ROBOTIQUE COLLABORATIVE -
SYNTHÈSE DE TRAVAUX RÉALISÉS À L'INTERNATIONAL

EUROGIP - Paris
Réf. Eurogip-129/F
novembre 2017
21 x 29,7 cm
20 pages
ISBN : 979-10-91290-89-0

Directeur de la publication : Raphaël HAEFLINGER
Auteurs de l'étude :
Pierre BELINGARD (belingard@eurogip.fr)
Jean-Simon SALVAGE (salvage@eurogip.fr)

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement d'EUROGIP est illicite. Il en est de même pour la traduction, l'adaptation ou la transformation, l'arrangement ou la reproduction, par un art ou un procédé quelconque (art. L. 122-4 du code de la propriété intellectuelle).

© EUROGIP 2017

Glossaire des sigles utilisés à plusieurs reprises (signalés par un* dans le texte)

BGIA/IFA	Institute for Occupational Safety and Health of the German Social Accident Insurance devenu l'IFA en 2010 (Allemagne)
CETIM	Centre Technique des Industries Mécaniques (France)
DGT	Direction Générale du Travail (France)
DGUV	Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung - Assurance légale accidents (Allemagne)
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt - Centre pour l'aéronautique et l'astronautique (Allemagne)
EESS	Exigences essentielles de santé et de sécurité
HSE	Health and Safety Executive (Grande-Bretagne)
HSL	Health and Safety Laboratory (Grande-Bretagne)
IFR	International Federation of Robotics
INRS	Institut National de Recherche et de Sécurité (France)
IRSST	Institut de Recherche Robert Sauvé en Santé et Sécurité du Travail (Québec)
JNIOOSH	National Institute of Occupational Safety and Health (Japon)
KAN	Kommission Arbeitsschutz und Normung (Allemagne)
TMS	Trouble(s) musculosquelettique(s)
TNO	Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (Pays-Bas)
TUV	Technischer Überwachungs - Verein (Allemagne)
UE	Union européenne

Table des matières

Avant-propos	4
Introduction	6
1. État des lieux : attentes, objectifs et opportunités affichés	7
2. Risques professionnels pressentis	9
2.1. Les risques de contact et d'écrasement	9
2.2. Les risques de TMS	9
2.3. Les risques liés à l'outil ou à la pièce usinée.....	10
2.4. Les risques psychosociaux	10
2.5. Les risques liés aux commandes à distance, à la cybersécurité et à la maintenance.....	10
2.6. Les risques règlementaires	11
3. Les méthodes de prévention proposées par les différents acteurs	11
3.1. Les outils et méthodes proposés.....	11
3.2. Organisation du travail.....	12
3.3. Études scientifiques et programmes de recherche.....	13
4. État actuel du marché de la robotique collaborative	14
4.1. Couverture du parc industriel.....	14
4.2. Accidentologie recensée	15
Bibliographie	16
Annexe : Exemples de travaux de recherche en lien avec la prévention des risques professionnels dans le domaine de la robotique collaborative	19

Avant-propos

La robotique collaborative est une branche de la robotique industrielle qui vise à développer des robots aptes à une interaction avec l'humain dans le cadre de *process* industriels. L'humain et le robot partagent ainsi le même espace de travail dans la réalisation de tout ou partie de leurs tâches, là où un robot industriel "classique" se caractérise par son éloignement physique et l'absence de collaboration avec un humain.

Les implications de la robotique collaborative sur la modification de l'organisation du travail et de l'espace de travail, sur la santé et la sécurité des opérateurs mais aussi la difficulté de sa mise en œuvre ont amené différents acteurs, dont les préventeurs, à accompagner cette évolution technologique. Cet accompagnement s'est concrétisé différemment selon les pays, en prenant la forme d'informations, d'études, ou de guides.

Ainsi en **France**, le ministère en charge du Travail a édité en 2017 un guide de prévention pour l'intégration d'applications collaboratives robotisées¹. Élaboré par un groupe de travail réunissant des représentants de l'industrie, des utilisateurs, des organismes d'inspection et des experts en normalisation, ce guide vise à rappeler les obligations réglementaires des différents acteurs économiques et à proposer une méthodologie dans la mise en œuvre de l'analyse de risques pour les applications robotiques collaboratives. Il s'achève par une étude de cas concret permettant d'illustrer les concepts précédemment cités.

En **Allemagne**, la *Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung* (DGUV) a édité de nombreux documents relatifs à la robotique collaborative, particulièrement en lien avec la question des contacts robots/humains. Parmi ceux-ci, on peut citer un document de recommandations² de l'*Institute for Occupational Safety and Health of the German Social Accident Insurance* (BGIA), édité en 2009 et révisé en 2011, qui a pour objectif de fournir une liste d'exigences pour la mise en œuvre sécurisée du poste de travail dans un environnement collaboratif. Le document reste cependant centré sur la question des contacts robots/humains qui fait l'objet de plusieurs études³ et a notamment conduit à l'introduction de seuils de contacts dans le document ISO TS 15066 : 2016, *spécification technique fournissant un guide pour l'application de la norme EN ISO 10218-2 : 2011*.

Plus récemment, en 2015, un document d'information de la DGUV⁴ a été publié. Plus généraliste dans son approche, il procède à un rappel de la législation et des obligations réglementaires, de l'accidentologie dans le secteur industriel, du fonctionnement des instances de normalisation et traite spécifiquement le cas de la robotique collaborative dans sa section 5 où sont introduits des concepts de prévention de base.

Au **Royaume-Uni**, le *Health and Safety Executive* (HSE) a publié en 2012 une étude⁵ visant à évaluer les protocoles et la méthodologie utilisés afin d'introduire des seuils de contact dans la

¹ "Guide de prévention à destination des fabricants et des utilisateurs pour la mise en œuvre des applications collaboratives robotisées" (2017), Ministère du Travail

² "BG/BGIA risk assessment recommendations according to machinery directive - design of workplaces with collaborative robots" (2011), BGIA

³ "Kollaborierende Roboter - Ermittlung der Schmerzempfindlichkeit an der Mensch-Maschine-Schnittstelle" (2014), DGUV

"Entwicklung eines Kraft-Druck-Messgerätes zur Messung und Bewertung von Mensch-Roboter-Kollisionen" (2014), DGUV

⁴ "DGUV Information 209-74e - Industrial robots" (2015), DGUV

⁵ "Collision and injury criteria when working with collaborative robots" (2012), Health and Safety Laboratory (HSL)

version *draft* de l'ISO TS 15066. De plus, dans le cadre de sa plateforme HSE *Centre for Shared Research*⁶, le HSE a lancé un projet de recherche visant à répondre à un certain nombre de questions clés afin d'améliorer la sécurité dans l'implémentation des applications robotiques collaboratives.

Aux **Pays-Bas**, le *Netherlands Organisation for Applied Scientific Research* (TNO) a publié en 2016 un document d'information⁷ qui reprend de nombreuses réflexions autour des enjeux techniques et sociaux de la robotique. Le document a un objectif de prévention et décrit les risques à prendre en compte avant l'intégration d'une application robotique collaborative. Il expose la démarche à observer afin d'assurer la sécurité des salariés. En ce sens, il est assez proche du guide publié par la *Direction Générale du Travail* (DGT) en France, bien qu'il ne propose pas précisément une méthodologie à suivre.

Au **Canada**, l'*Institut de recherche Robert-Sauvé en Santé et en Sécurité du Travail* (IRSST) en partenariat avec l'*Institut National de Recherche et de Sécurité* (INRS) en France a publié un rapport scientifique⁸ qui vise à émettre des recommandations en matière de sécurité au travail dans l'élaboration d'applications collaboratives. Le rapport traite en particulier de la mise en œuvre des fonctions de sécurité au niveau du robot et de leur implémentation dans des études de cas pratiques. Ainsi plusieurs entreprises ont été démarchées afin de fournir un retour d'expérience sur la prise en compte de la sécurité lors de l'intégration d'applications collaboratives au Québec.

Au **Japon**, le *Japan National Institute of Occupational Safety and Health* (JNIOOSH) a publié une note⁹ en 2015 afin de présenter les différentes mesures de prévention applicables à la robotique collaborative. L'objectif pour le JNIOOSH est, à terme, la publication d'un guide japonais relatif à la prévention dans l'usage de la robotique collaborative. Le JNIOOSH a aussi assuré la publication de différents travaux de recherche pour la conception de méthodes et outils afin de minimiser les dangers liés à l'utilisation des robots collaboratifs¹⁰.

A l'échelle de l'**Union européenne**, la Commission a publié une plaquette de présentation des normes NF EN ISO 10218-1 : 2011 et 10218-2 : 2011, spécifiant les exigences de sécurité pour l'intégration des robots industriels et des systèmes robots industriels, et visant à décrire l'ensemble des informations importantes contenues dans lesdites normes sans pour autant en offrir une analyse critique.

⁶ Plus d'informations : <https://www.hsl.gov.uk/blog/2017/09/13/the-cobots-are-coming-but-will-they-be-safe/>

⁷ "Emergent risk to workplace safety as a result of the use of robots in the work place", rapport TNO (2016)

⁸ "Robotique collaborative – Evaluation des fonctions de sécurité et retour d'expérience des travailleurs, utilisateurs et intégrateurs au Québec" rapport scientifique IRSST (2017)

⁹ "Global harmonization of safety regulations for the use of industrial robots-permission of collaborative operation and a related study by JNIOOSH" (2015), JNIOOSH, Tsuyoshi Saito & Toshiro Hoshi & Hiroyasu Ikeda & Kohei Okabe

¹⁰ "Proposal of Inherently Safe Design Method and Safe Design Indexes for Human-Collaborative Robots" (2005), Hiroyasu Ikeda & Tsuyoshi Saito

"Development of a normally closed type of clutch using magnetorheological suspension for safe torque control of human-collaborative robot" (2008), Tsuyoshi Saito & Hiroyasu Ikeda

Introduction

La présente note se propose de synthétiser les principales réflexions mises en avant dans les différents travaux menés dans le domaine de la robotique collaborative et des moyens de prévention pouvant être mis en œuvre. Bien que dans ces études les objectifs et les attentes affichés par les différents acteurs du marché puissent diverger, il s'avère que les risques identifiés sont sensiblement les mêmes. Pour autant, les questions sociétales impliquant la robotique collaborative, et l'augmentation de l'interaction avec l'humain, ne semblent pas négligées.

D'une manière générale, chaque pays s'étant approprié la question de la robotique collaborative cherche à mettre en place et rendre accessible aux différents acteurs du marché des méthodologies de prévention des risques. Néanmoins, il apparaît que ces recherches n'en sont qu'à leurs débuts et rares sont ceux qui proposent des outils parfaitement adaptés. Enfin, certaines de ces études font mention de l'état actuel du marché concernant la couverture de la robotique collaborative dans le parc industriel et de son accidentologie.

1. État des lieux : attentes, objectifs et opportunités affichés

Pour les industriels et les acteurs du marché qui se sont exprimés au travers des différents rapports et études, la robotique collaborative présente un ensemble d'intérêts et d'opportunités.

Sur le plan économique d'abord, elle confère un gain de flexibilité à l'outil productif, améliorant la compétitivité de l'entreprise. En particulier, le robot apte à la collaboration peut se charger des tâches à faible valeur ajoutée tandis que l'humain se concentre sur celles qui nécessitent une plus grande expertise, trouvant ainsi un compromis entre production de masse et production qualitative et individualisée. Enfin, un point socio-économique saillant est que le développement et l'installation de ces robots permettraient de pallier une pénurie de main d'œuvre due à la démographie, marquée par un fort vieillissement de la population active. D'ailleurs, pour certains préventeurs¹¹, le robot apte à la collaboration est vu comme une opportunité dans le cadre de l'assistance à des salariés diminués ou vieillissants.

Mais l'intérêt porté à la robotique collaborative ne se limite pas à ce seul point. Pour les industriels, celle-ci offre surtout un gain de place sur le lieu de travail, permettant de se libérer de certaines contraintes spatiales (agrandissement des locaux, réorganisation des lignes de production, etc.).

De plus, la robotique collaborative est perçue comme pouvant améliorer d'une manière globale l'ergonomie du lieu de travail et servir ainsi à réduire la part des tâches pénibles dans l'emploi d'un salarié et, en particulier, à limiter les risques de troubles musculosquelettiques (TMS), par exemple grâce à une assistance au port de charges lourdes.

Dans une moindre mesure, la robotique collaborative est présentée comme un atout pour la visibilité et la communication des entreprises.

Dans l'étude canadienne de l'IRSST par exemple, un des industriels interrogés a mis en avant que l'utilisation d'une application collaborative était une vitrine pour l'entreprise. On peut rapprocher ce constat avec la mise en place d'exosquelettes motorisés dans le domaine des travaux publics. En effet l'utilisation d'exosquelettes contribue à réduire la pénibilité de certaines tâches mais aussi à véhiculer une image plus attrayante de l'activité permettant ainsi de recruter plus facilement une main d'œuvre devenue rare. On citera l'exosquelette COLAS pour assister le tireur de râteau de goudron.

Enfin, un enjeu qui peut être qualifié de politique vaut d'être signalé. La robotique collaborative est un marché en expansion qui peut donc devenir un atout stratégique ainsi qu'une source de création d'emplois qualifiés. En effet, les ventes de robots ont augmenté ces dernières années et la part de celles des robots aptes à la collaboration ne va cesser de croître¹².

Le besoin d'avoir une interaction entre humain et robot est une des bases du concept de "robot collaboratif" selon les normes (cf. §3.2 de la norme NF EN ISO 10218-2 *Robots et dispositifs robotiques - Exigences de sécurité pour les robots industriels - Partie 2 : système robots et intégration*). Or on constate à la lecture des publications qu'il n'est que rarement mis en avant par les acteurs du marché.

¹¹ "L'homme au travail et le robot : une relation à inventer" Hygiène et sécurité du travail - N°231 – Juin 2013

¹² Source © Statista : <https://fr.statista.com/statistiques/565144/robots-industriels-ventes-mondiales/> ;
Source "World Robotic Report 2016", International Federation of Robotics (IFR) : <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/world-robotics-report-2016>

Au-delà d'un simple changement d'espace, la robotique collaborative questionne l'organisation du travail en réseau. En Allemagne, la DGUV* a ainsi relevé un ensemble de problématiques sur les nouvelles organisations de travail¹³ liées aux évolutions techniques attendues au cours du passage à l'Industrie 4.0. Sur la base d'un changement important, en l'espèce le passage d'espaces de travail séparés à un espace collaboratif robots/humains, les anciennes organisations du travail sont-elles toujours applicables ? Comment trouver un équilibre entre les nouvelles formes de travail plus flexibles et une protection sociale adéquate, que ce soit au niveau de la prévention des risques professionnels ou de l'indemnisation des victimes d'accidents ?¹⁴ Dans son *position paper*¹⁵ datant de février 2017, la DGUV* met en avant l'importance de la prise en compte des changements actuels dans la réflexion autour des réglementations du travail.

Dans ce mouvement de réflexion global, les questions autour de la robotique collaborative, ou encore de l'intelligence artificielle, sont de plus en plus nombreuses. Outre la problématique de responsabilité des différents acteurs économiques (constructeur, intégrateur, utilisateur et robot lui-même) en cas d'accident, TNO*¹⁶ soulève d'autres points intéressants.

Il s'agit notamment du respect de la vie privée, sachant que les robots sont en mesure d'emmagasiner les informations issues de leur environnement et ainsi de stocker des données qui pourraient relever de l'intime. Le rapport TNO donne comme exemple l'utilisation de caméras, jugées nécessaires pour l'évolution du robot dans une chambre d'hôpital mais qui, par contraste, deviennent intrusives dans le quotidien du patient.

Les problématiques liées à l'acceptation par la société des robots aptes à la collaboration doivent également être prises en compte dans la mesure où ceux-ci peuvent être perçus comme des concurrents sur le marché du travail mettant en péril des emplois humains. Ils peuvent également susciter un rejet dans le cas d'accidents les impliquant ou encore engendrer une déshumanisation sur le lieu de travail. Dans le même mouvement, la KAN* alerte sur le risque de trop humaniser les robots, ce qui, là encore, pourrait engendrer un phénomène de rejet selon certains psychologues¹⁷.

Par ailleurs, toujours selon TNO*, l'évolution de la robotique poserait différentes questions relatives à la morale et à l'éthique. En fonction de leur programmation, les robots pourront être amenés à effectuer des choix dans certaines situations, quitte à mettre l'individu en danger pour éviter de reporter un risque sur un plus grand nombre. Dans ces conditions, sur quelles bases ces décisions devraient-elles être prises ?

Enfin, la dernière question morale en jeu serait celle des droits des robots qui, du fait de leur autonomie et de leur intelligence toujours plus importantes, pourraient se voir accorder des droits comparables à ceux des humains. Dès lors, il n'est pas étonnant que les acteurs investis dans le développement de la robotique collaborative cherchent à trouver des réponses, particulièrement du côté de la réglementation.

¹³ DGUV Kompakt, Septembre 2017

¹⁴ D'ailleurs, ces questions génériques renvoient également à la notion de travailleur isolé, que ce soit à son domicile, ou dans un espace de co-working.

¹⁵ "Industrie 4.0: Herausforderungen für die Prävention - Positionspapier der gesetzlichen Unfallversicherung" (2017), DGUV

¹⁶ "Emergent risk to workplace safety as a result of the use of robots in the work place", rapport TNO

¹⁷ "Digitalisierung und industrie 4.0", Kommission Arbeitsschutz und Normung (KAN) Kanbrief, 2017

2. Risques professionnels pressentis

Le développement de la robotique collaborative suscite donc un ensemble d'attentes plus ou moins définies et précises de la part des industriels, des préventeurs et des autorités nationales dans les domaines industriels, agricoles et médicaux. Parallèlement, ces acteurs ont cherché à mettre en évidence les risques identifiés et pressentis.

2.1. Les risques de contact et d'écrasement

En abolissant la frontière entre les zones robotisées et les zones de travail des salariés, les applications robotiques collaboratives entraînent de nouveaux risques liés aux contacts robots/humains, qu'il s'agisse de chocs ou d'écrasement.

Ces risques sont d'autant plus élevés que les robots aptes à la collaboration ne sont pas intrinsèquement sûrs. L'étude de l'IRSST* met en évidence que parmi les systèmes robots collaboratifs observés plusieurs utilisent des robots industriels classiques qui ont été adaptés pour la collaboration. Or, contrairement à ces robots industriels adaptés, les robots conçus à l'origine pour la collaboration ont des limitations intrinsèques (vitesse angulaire inférieure aux vitesses des robots classiques, charges utiles moindres, etc.) qui permettent de prévenir certains risques. Pour autant, ces robots conçus à l'origine pour la collaboration ne sont pas nécessairement intrinsèquement sûrs.

D'après plusieurs études¹⁸, le risque d'écrasement direct ou bien contre un autre objet rigide est la principale cause d'accidents impliquant des robots¹⁹, ce qui rend cette question particulièrement importante.

2.2. Les risques de TMS*

Bien qu'il soit attendu de la robotique collaborative qu'elle diminue les risques de TMS*, l'IRSST* et l'INRS* ont identifiés que le changement de rythme ou d'intensité du travail (par exemple la manipulation de charges plus lourdes) peut en créer de nouveaux.

Cet ensemble de risques liés au rapprochement robots/humains est d'autant plus important que le rapport TNO* souligne la nécessité d'une proximité humaine afin d'assister le robot apte à la collaboration. L'humain doit encore piloter le robot (bien que cette tâche doive disparaître du fait de l'amélioration de son autonomie) et sa présence reste nécessaire pour préserver la sécurité en surveillant le robot. Enfin, seul un humain peut s'assurer de la qualité générale d'un produit ou analyser les diagnostics d'erreurs en provenance du robot.

¹⁸ Chinniah Y (2016) Robot Safety: Overview of Risk Assessment and Reduction. Adv Robot Autom 5:139. .
Charpentier P. & Sghaier A. (2012). Industrial Robot : Accident analysis and Human-Robot Coactivity. Proceedings of the 7th International Conference on the Safety of Industrial Automated Systems, SIAS 2012, 11-12 October 2012, Montreal, Canada

¹⁹ Lorsque l'accidentologie est évoquée, le terme robot se réfère indistinctement au collaboratif ou au non collaboratif mais dans la grande majorité des cas ce sont des robots industriels "classiques" qui sont considérés.

2.3. Les risques liés à l'outil ou à la pièce usinée

Il est également fait mention dans les publications, notamment l'étude du BGIA* de 2011, des risques associés à l'outil ou à la pièce usinée ou transportée par les robots dans des applications collaboratives.

Le guide du ministère du Travail français précise pour sa part qu'un outil dangereux doit être sécurisé par un protecteur ou un autre moyen équivalent pour pouvoir être utilisé dans le cadre d'une application collaborative.

2.4. Les risques psychosociaux

En plus des risques physiques, des risques psychosociaux ont été identifiés par l'IRSST* et l'INRS*. Le stress lié à la crainte d'un contact dangereux ou répété avec les robots pousse le salarié à rester attentif aux déplacements du robot, entraînant un effort de concentration supplémentaire et, à terme, des risques psychologiques. La crainte du contact n'est qu'un seul des foyers de stress potentiels impliqués par la robotique collaborative.

Le sentiment de déshumanisation du travail, l'aversion à une concurrence robots/humains ou encore le malaise face au travail partagé entre homme et machine sont à nouveau évoqués comme facteur de risques. En outre, s'agissant de l'apparence du robot un excès d'humanisation et un aspect anthropomorphique trop poussé peuvent entraîner un rejet par les salariés selon certains psychologues²⁰.

2.5. Les risques liés aux commandes à distance, à la cybersécurité et à la maintenance

L'amélioration de l'autonomie des robots aptes à la collaboration crée aussi certains risques liés aux commandes, au pilotage et à la reprogrammation à distance. La problématique de la reprogrammation malveillante ou par des personnels non autorisés est probablement la plus importante.

Il est à noter que le sujet de la cybersécurité fait l'objet du projet de norme ISO 22100-4 *Guidance to machinery manufacturers for consideration of related IT security (cyber security) aspects* qui vient s'ajouter à d'autres normes, particulièrement les ISO 27001 *Techniques de sécurité - Systèmes de management de la sécurité de l'information* et ISO 27032 *Techniques de sécurité - Lignes directrices pour la cybersécurité*, qui traitent des technologies de l'information.

Le contrôle de la programmation des robots est donc un enjeu important souligné par l'IRSST*, TNO* et la DGUV*²¹ qui détaillent des mesures de prévention relatives à ce risque et évoquent les précautions à prendre dans le cadre des dispositifs de diagnostics à distance fournis avec les robots.

D'une manière générale, il faut s'assurer qu'une reprogrammation, une modification ou un réagencement des fonctionnalités d'un système robotisé n'engendre pas de risques. Pour cela

²⁰ Kanbrief, 2017, Kommission Arbeitsschutz und Normung (KAN)

<https://www.kan.de/fileadmin/Redaktion/Dokumente/KAN-Brief/de-en-fr/17-2.pdf>

²¹ DGUV Information 209-74e - Industrial robots (2015). DGUV

il faut réaliser une évaluation de l'impact de ces modifications. De plus, la maintenance elle-même est source de nombreux risques d'accidents qui doivent être pris en compte. En effet, elle nécessite le plus souvent que le système robotisé soit dans un mode de fonctionnement où les dispositifs de sécurité sont partiellement inopérants, mettant ainsi en danger les opérateurs en charge de ces tâches.

2.6. Les risques règlementaires

Le rapport TNO* estime constitutif d'un risque le fait que la législation et la réglementation ne parviennent pas à s'adapter aux évolutions de la robotique et de la digitalisation. L'illustration proposée concerne les véhicules autonomes, innovation sans cadre règlementaire ou normatif clair. Le risque règlementaire peut être considéré comme un frein à l'innovation, le fabricant proposant un nouveau type de solution non conforme à la réglementation car non traité.

On pourrait pondérer ce point de vue par le rapport faisant suite à la récente étude d'impact sur la Directive Machines²² qui montre justement qu'elle n'est pas considérée comme un frein à l'innovation. Les exigences essentielles de santé et de sécurité (EESS) restent applicables et utilisables. En revanche, il est vrai que les interconnexions entre les différentes réglementations européennes peuvent créer une zone grise nécessitant des précisions, comme pour l'exemple donné par TNO* des tracteurs automatisés qui ne relèvent ni de la Directive Machines ni de la Directive Tracteurs 2003/37/CE. Il est alors de la responsabilité des industriels de veiller à ne pas créer de situations dangereuses en apportant une attention toute particulière aux différents risques créés par ces nouvelles technologies. Il est possible de s'inspirer des EESS pertinentes d'autres réglementations, même si elles ne leur sont pas nécessairement directement applicables.

3. Les méthodes de prévention proposées par les différents acteurs

Une partie des publications consultées présentent certaines méthodes de prévention en vue d'assurer la sécurité dans la mise en œuvre des applications robotiques collaboratives. Celles-ci peuvent prendre la forme d'outils, de propositions dans le cadre de l'organisation du travail, ou encore d'études scientifiques visant à alimenter les travaux normatifs.

3.1. Les outils et méthodes proposés

Le référentiel majeur sur lequel repose la prévention et qui est souvent mentionné est la normalisation. Sont ainsi citées les normes ISO 10218-1&2 *Robots et dispositifs robotiques - Exigences de sécurité pour les robots industriels*, mais aussi l'ISO 12100 *Sécurité des machines - Principes généraux de conception - Appréciation du risque et réduction du risque*, l'ISO 13849-1 relative aux niveaux de performance des fonctions de sécurité, l'ISO 13855 *Positionnement des moyens de protection par rapport à la vitesse d'approche des parties du corps* et l'EN 349 *Écartements minimaux pour prévenir les risques d'écrasement de parties du corps humain*.

²² Document de l'agence Technopolis disponible sur le site Internet de la Commission européenne : <http://ec.europa.eu/docsroom/documents/25661>

On voit d'ailleurs dans les réponses à l'enquête du TUV*²³, réalisée auprès de 15 fabricants, 14 intégrateurs et 5 entreprises utilisatrices en Allemagne et en Autriche, que les industriels accordent une grande importance aux questions de certification dans le développement de la robotique collaborative. En particulier, ils mettent l'accent sur l'importance de la certification au moment de la production, de l'intégration mais aussi de la reprogrammation éventuelle des robots aptes à la collaboration.

Ensuite, l'approche préconisée par l'ensemble des publications est l'analyse de risque. Dans la majorité des documents, elle s'accompagne de check-list des risques ainsi que des faiblesses majeures à prendre en compte. L'étude de l'IRSST*, les guides de TNO* et de la DGUV*²⁴ proposent des listes détaillées afin d'assister les concepteurs et les intégrateurs de cellules robotisées. En France, on peut citer le Centre technique des industries mécaniques (CETIM) qui a mis en place l'outil IDAR, une "méthode d'analyse des risques qui repose sur une description fonctionnelle de l'équipement et surtout sur une analyse de l'activité de l'opérateur au travers du cycle de vie de cet équipement"²⁵.

Pour autant, peu de documentation illustre cette démarche de prévention avec des cas d'intégration. Outre le ministère du Travail qui propose dans son guide un cas industriel concret, de la réflexion préliminaire à l'identification du besoin jusqu'à sa réalisation, on peut citer l'institut BGIA*²⁶ qui donne un exemple d'application des recommandations d'analyse de risques pour une situation industrielle théorique.

Enfin, il existe des outils d'aide à la validation des systèmes robots collaboratifs. L'IRSST* cite, entre autres, le développement de solutions "de mesure de force et de pression maximales lors de collisions avec un robot permettant d'assister l'appréciation des risques liés à ces machines avant la conception du poste de travail"²⁷.

On peut également faire référence aux essais réalisés par le fabricant de capteurs SICK, toujours dans le domaine de la mesure des efforts de contacts, ou encore le projet d'étude européen COVR qui a pour ambition de développer un protocole de validation pour la robotique collaborative²⁸.

3.2. Organisation du travail

Certaines publications soulignent l'importance de l'organisation du travail dans la mise en œuvre de la prévention des risques.

La formation des opérateurs est mise en avant aussi bien par l'IRSST* que par TNO*. De même, des développements spécifiques concernent la gestion des paramètres de sécurité et des paramètres du programme du robot afin d'éviter tout changement accidentel ou inadapté. Il est préconisé que l'accès à toute modification du programme soit protégé via un mot de passe, ou un moyen équivalent, accessible uniquement aux personnels autorisés. Les guides insistent également sur l'importance d'une gestion du cycle de vie du logiciel du robot,

²³ "Sicherheit in der Mensch-Roboter-Kollaboration" (2016), TUV & Fraunhofer Austria

²⁴ "DGUV Information 209-74e – Industrial robots" (2015), DGUV

²⁵ "Enjeux relatifs aux applications robotiques collaboratives", CETIM, (2017)

²⁶ "BG/BGIA risk assessment recommendations according to machinery directive – design of workplaces with collaborative robots" (2011), Institute for Occupational Safety and Health of the German Social Accident Insurance (BGIA)

²⁷ Huelke M. et Ottersbach, J. (2012) How to approve Collaborating Robots – The IFA force pressure measurement system, Communication présentée au Safety of Industrial Automated Systems (SIAS), Montréal, Québec, Canada, p. 204-209

²⁸ Ces études ont fait l'objet d'une présentation lors de la réunion de l'ISO TC 299 WG3 d'octobre 2017.

ainsi que du plan de gestion de ce dernier afin de prendre en compte le risque associé aux modifications effectuées sur le système robot.

Un autre point de vigilance, qui peut être assimilable aussi bien à l'ergonomie de la tâche de travail qu'à l'élaboration du poste de travail, est le fait de rendre la trajectoire du robot la plus prédictible possible pour l'opérateur en vue de favoriser la possibilité d'évitement. Une publication de la KAN*²⁹, mettant en avant une étude américaine³⁰, a montré que les mouvements du robot permettant une interaction efficace et un travail agréable pour l'humain étaient ceux qui étaient le plus prédictibles aux yeux de l'opérateur.

Si plusieurs trajectoires permettent d'assurer la même fonction, il est nécessaire de programmer des trajectoires que l'opérateur peut anticiper afin d'optimiser la collaboration et augmenter la productivité. La trajectoire la plus directe n'est pas, dans le cas présenté, la plus adaptée, mais une trajectoire exagérant le mouvement vers une direction afin de faciliter l'anticipation. Plutôt que la trajectoire a priori la plus optimale en termes de production, l'objectif est de programmer des mouvements optimisés pour la perception humaine. "Plus [le robot apte à la collaboration] est capable de faire savoir aux personnes de son environnement ce qu'il va faire, plus celles-ci pourront lui accorder leur confiance".

3.3. Études scientifiques et programmes de recherche

Différentes études universitaires et scientifiques ont permis d'alimenter les réflexions autour de la sécurité des systèmes de robotique collaborative. Ainsi le guide ISO TS 15066, qui vient en complément des normes ISO 10218-1 : 2011 et ISO 10218-2 : 2011, base son élaboration de seuils de contacts sur une étude allemande de 2014 (*Experimental assessment of pain thresholds in major parts of the human body due to mechanical exposure in human / machine interface*). Une étude assez similaire a d'ailleurs été conduite au Japon en 2005³¹, sous l'égide du JNIOOSH*, sur la base d'un échantillon de 9 hommes adultes en bonne santé. L'objectif est encore une fois d'identifier les conséquences d'un contact robots/humains en fonction de la vitesse et de la force développée par le robot ou encore de l'angle du contact. Les résultats de l'étude japonaise sont moins avancés que ceux de l'étude allemande du fait d'une ambition moindre. C'est donc bien l'étude allemande qui sert de référence aujourd'hui.

Toutefois, cette étude a soulevé certaines critiques, notamment du HSE*³² qui a mis en évidence des problèmes de méthodologie et de résultats observés. Le HSE estime notamment que l'étude :

- ne peut pas prendre en compte la variabilité individuelle, potentiellement infinie, dans la réaction au contact ;
- ne prend pas suffisamment en compte les facteurs psychologiques (stress) et organisationnels (cadence de travail, port de charges etc.) qui peuvent faire varier les risques de contact et leur ressenti ;
- se concentre sur les seuils pour un contact unique mais ne considère pas la fréquence des contacts.

Enfin le HSE déplore que les tests aient été réalisés sur des personnes statiques et non en mouvement, ce qui peut modifier les résultats observés.

²⁹ "Digitalisierung und industrie 4.0" Kommission Arbeitsschutz und Normung (KAN) KANBRIEF, 2017

³⁰ Plus d'informations : <https://pdfs.semanticscholar.org/cc34/6f721bcf6c30340ce0a670297552116ca19b.pdf>

³¹ "Measurement of human pain tolerance to mechanical stimulus of human-collaborative robots" (2005), Tsuyoshi Saito & Hiroyasu Ikeda

³² "Collision and injury criteria when working with collaborative robots" (2012), Health and Safety Laboratory (HSE)

Une nouvelle étude allemande relative aux contacts avec les robots est actuellement menée par la *Berufsgenossenschaft Holz und Metall* (BGHM, Association professionnelle d'assurance du secteur du bois et du métal) en collaboration avec l'Institut Fraunhofer et doit se terminer en mars 2018³³. Elle se concentre sur les contacts quasi-statiques afin de déterminer des seuils de douleur. Les premiers résultats montreraient que les seuils ainsi obtenus sont plus bas que ceux proposés dans l'ISO TS 15066.

Le HSE* a prévu de mettre en place en 2017 et 2018 des groupes de travail³⁴ avec les industriels afin de réfléchir à des projets de recherche communs sur les "cobots", favorisant ainsi une transition vers le collaboratif. Le projet doit répondre aux questions liées aux bonnes pratiques en matière de sécurité, aux moyens d'améliorer les normes relatives à la robotique collaborative, ou encore à la conduite de l'évaluation du risque.

Enfin, parmi les nombreuses études sur la robotique collaborative (cf. Annexe), peuvent être cités le projet d'airbag de bras de robot mené par le DLR* allemand qui vise à amortir l'effet des contacts avec un humain, ou encore l'étude américaine citée précédemment relative aux mouvements du robot (cf. §3.2). Enfin l'INRS* a publié en octobre 2017 un état des lieux sur la prévention des risques liés à l'usage de robots et dispositifs d'assistance physique³⁵.

4. État actuel du marché de la robotique collaborative

Parmi les publications étudiées, certaines se proposent de fournir des éléments d'appréciation de l'état actuel du marché, que ce soit sur la couverture des applications collaboratives dans le parc industriel, ou l'accidentologie recensée.

4.1. Couverture du parc industriel

Il y a un manque d'informations sur le nombre et l'usage des applications robotiques collaboratives en entreprise. L'étude de l'IRSST*, qui développait une partie enquête terrain, a montré que la collaboration dans les entreprises visitées se résumait au partage de l'espace de travail durant la production. De plus, seules quatre entreprises parmi la vingtaine contactée au Québec disposaient d'applications collaboratives fonctionnelles.

Au Japon, le JNIOOSH* a mené des enquêtes par questionnaires³⁶ auprès de différents acteurs, en particulier 36 constructeurs et 14 utilisateurs. Il a mis en évidence la crainte des industriels de ne pas parvenir à intégrer les robots aptes à la collaboration. Plus particulièrement, les personnes interrogées avouent ne pas bien connaître les normes et procédures de sécurité applicables au domaine de la robotique collaborative. Malgré cela, 15 producteurs et 5 utilisateurs disent prévoir d'utiliser le collaboratif soit pour transmettre des pièces et des outils, soit pour contrôler les opérations de production.

³³ Cette étude a fait l'objet d'une présentation lors de la réunion de l'ISO TC 299 WG3 d'octobre 2017.

³⁴ Ces groupes de travail sont mis en place dans le cadre du HSE's Centre for Shared Research. Plus d'informations : <https://www.hsl.gov.uk/blog/2017/09/13/the-cobots-are-coming-but-will-they-be-safe/>

³⁵ Atain J.J. & Sghaier A. (2017). "Les robots et dispositifs d'assistance physique : états des lieux et enjeux pour la prévention". INRS

³⁶ "Global harmonization of safety regulations for the use of industrial robots-permission of collaborative operation and a related study by JNIOOSH" (2015), National Institute of Occupational Safety and Health (JNIOOSH), Tsuyoshi Saito & Toshiro Hoshi & Hiroyasu Ikeda & Kohei Okabe

Malgré le peu d'informations rendues disponibles par ces études, il y a une véritable dynamique dans la volonté d'intégration d'applications robotiques collaboratives, comme le montre également le "World Robotic Report 2016".³⁷

4.2. Accidentologie recensée

Les données d'accidentologie restent rares et difficiles à interpréter. En effet, les chiffres ne se rapportent pas nécessairement au même type d'accidents et surtout ils ne concernent pas spécifiquement les applications robotiques collaboratives mais les applications robotiques en général.

Dans un article de 2012 de Charpentier & Al.³⁸, il est fait mention d'une étude qui a analysé la banque de données EPICEA³⁹ et a recensé en France 31 accidents liés aux robots entre 1997 et 2010. Ainsi on y apprend que :

- 65% des accidents concernaient les opérateurs et 35% les agents de maintenance ;
- 26% des accidents étaient mortels et 68% avaient conduit à des blessures graves ;
- dans 19% des cas d'accident, l'accès au robot était protégé par des protections fixes ;
- dans 26% des cas l'accès était limité par des protections amovibles ;
- dans 16% des cas, les protections étaient insuffisantes.

La plupart des accidents seraient donc dus à des défaillances au niveau de la sécurité d'accès (contournement, mauvaise utilisation ou installation,...).

Le guide du TUV* propose également quelques données d'accidentologie en se basant sur les chiffres de l'organisme autrichien d'assurance accident (*Allgemeine Unfallversicherungsanstalt*, AUVA) et de la DGUV*.

Accidentologie en Autriche et en Allemagne - 2011-2014					
	2011	2012	2013	2014	Mortels (sur la période)
Autriche	10	17	12	15	0
Allemagne	107	72	119	151	2

Source : AUVA/DGUV

Parmi les deux accidents mortels en Allemagne, le dernier a eu lieu en 2015 quand un opérateur a été écrasé contre un objet rigide au cours d'une phase de maintenance. Ce type d'accident grave a aussi eu lieu deux fois au Québec lors de la modification des programmes de machines automatisées (CNESST, 2004 ; CNESST, 2002).

D'après le guide TNO*, depuis 1997 les États-Unis dénombrent 25 accidents graves impliquant des robots, dont 20 accidents mortels - un chiffre à mettre en parallèle avec les 4 679 accidents mortels survenus dans ce pays pour la seule année 2014.

³⁷ Source "World Robotic Report 2016", International Federation of Robotics (IFR) : <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/world-robotics-report-2016>

³⁸ Charpentier P. & Sghaier A. (2012). Industrial Robotic: Accident analysis and Human-Robot Coactivity. Proceedings of the 7th International Conference on the Safety of Industrial Automated Systems, SIAS 2012, 11-12 October 2012, Montreal, Canada

³⁹ EPICEA : Études de prévention par l'informatisation des comptes rendus d'accidents : <http://www.inrs.fr/publications/bdd/epicea/recherche.html>

Bibliographie

Amérique du Nord

- "Robotique collaborative : évaluation des fonctions de sécurité et retour d'expérience des travailleurs, utilisateurs et intégrateurs au Québec" (2017), Institut de Recherche Robert-Sauvé en Santé et en Sécurité du Travail (IRSST)
<http://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/R-974.pdf?v=2017-07-10>
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA) Technical Manual, Section 4, Chapter 4,
https://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm_iv/otm_iv_4.html
- "Effects of Robot Motion on Human-Robot Collaboration" (2015) Anca D. Dragan, Shira Bauman, Jodi Forlizzi, and Siddhartha S. Srinivasa, Carnegie Mellon University
https://www.ri.cmu.edu/pub_files/2015/3/collaboration_study.pdf

Japon

- "Global harmonization of safety regulations for the use of industrial robot-permission of collaborative operation and a related study by JNIOOSH" (2015), National Institute of Occupational Safety and Health, Tsuyoshi Saito & Toshiro Hoshi & Hiroyasu Ikeda & Kohei Okabe <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4667039/>
- "Measurement of human pain tolerance to mechanical stimulus of human-collaborative robots" (2005), Tsuyoshi Saito & Hiroyasu Ikeda
<https://www.jniosh.go.jp/publication/doc/srr/SRR-No33-3.pdf>
- "Proposal of Inherently Safe Design Method and Safe Design Indexes for Human-Collaborative Robots" (2005), Hiroyasu Ikeda & Tsuyoshi Saito
<https://www.jniosh.go.jp/publication/doc/srr/SRR-No33-2.pdf>
- "Development of a normally closed type of clutch using magnetorheological suspension for safe torque control of human-collaborative robot" (2008), Tsuyoshi Saito & Hiroyasu Ikeda
<https://www.jniosh.go.jp/publication/doc/srr/SRR-No36-02.pdf>

Union européenne

- "Eu product safety framework for advanced robots and autonomous systems", 2017, Commission européenne
http://ec.europa.eu/.../the_existing_eu_safety_framework_with_regard_to_autonomous_systems_and_advanced_robots_iot-systems

Allemagne

- Kanbrief (2017), Kommission Arbeitsschutz und Normung (KAN)
<https://www.kan.de/fileadmin/Redaktion/Dokumente/KAN-Brief/de-en-fr/17-2.pdf>
- "BG/BGIA risk assessment recommendations according to machinery directive – design of workplaces with collaborative robots" (2011), Institute for Occupational Safety and Health of the German Social Accident Insurance (BGIA)
http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/bg_bgia_empf_u_001e.pdf

- "Kollaborierende Roboter - Ermittlung der Schmerzempfindlichkeit an der Mensch-Maschine-Schnittstelle" (2014), Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV)
http://www.dguv.de/projekt Datenbank/0317/wissenschaftlicher_schlussbericht_final_18.12.2014.pdf
- "Industrie 4.0: Herausforderungen für die Prävention – Positionspapier der gesetzlichen Unfallversicherung" (2017), DGUV
<http://www.dguv.de/medien/inhalt/praevention/arbeitsvierpunkt null/pospap-2-2017.pdf>
- "DGUV Information 209-74e – Industrial robots" (2015), DGUV.
<http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/209-074englisch.pdf>

Autriche

- "Sicherheit in der Mensch-Roboter-Kollaboration" (2016), TUV & Fraunhofer Austria
https://www.fraunhofer.at/content/dam/austria/documents/WhitePaperTUEV/White%20Paper_Sicherheit_MRK_Ausgabe%201.pdf

Italie

- "Modeling Operator Behavior in the Safety Analysis of Collaborative Robotic Applications", ITIA, (2017)
<https://re.public.polimi.it/retrieve/handle/11311/1032168/227109/safecomp17.pdf>

France

- "L'homme au travail et le robot : une relation à inventer" Hygiène et sécurité du travail, INRS, N°231 - Juin 2013
<http://www.inrs.fr/dms/inrs/CataloguePapier/HST/TI-VP-1/vp1.pdf>
- "Enjeux relatifs aux applications robotiques collaboratives", CETIM, (2017)
<http://www.cetim.fr/Mecatheque/Resultats-d-actions-collectives/Enjeux-relatifs-aux-applications-robotiques-collaboratives>
- "Guide de prévention à destination des fabricants et des utilisateurs Pour la mise en œuvre des applications collaboratives robotisées", (2017)
<http://travail-emploi.gouv.fr/sante-au-travail/outils-et-guides/article/robotique>

Pays-Bas

- "Emergent risk to workplace safety as a result of the use of robots in the work place" (2016), TNO <http://publications.tno.nl/publication/34622583/PkFT9e/TNO-2016-R11488.pdf>
- "Safe application of robots in the work place - safety chart" (2016), TNO-Innovation for life.
<http://publications.tno.nl/publication/34622584/mujnDd/TNO-2016-InfchartRobotics.pdf>

Royaume-Uni

- "Collision and injury criteria when working with collaborative robots" (2012), Health and Safety Laboratory (HSE)
<http://www.hse.gov.uk/research/rrpdf/rr906.pdf>

Autres

- "Industrial safety requirements for collaborative robots and applications. ERF 2014-workshop: workspace safety in robotics: trends, integration and standards" (2014), AAB
http://roboproject.h2214467.stratoserver.net/cms/upload/euRobotics_Forum/ERF2014_presentations/day_2/Industrial_HRC_-_ERF2014.pdf
- Chinniah Y (2016) Robot Safety: Overview of Risk Assessment and Reduction. Adv Robot Autom 5:139
<https://www.omicsonline.org/open-access/robot-safety-overview-of-risk-assessment-and-reduction-2168-9695-1000139.php?aid=68463>
- Charpentier P, Sghaier A(2012) Industrial robotic: Accident analysis and human-robot coactivity. SIAS Conference
<https://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/SIAS-2012.pdf>
- "Evaluation of Directive 2006/42/EC on Machinery", Technopolis (2017)
<http://ec.europa.eu/docsroom/documents/25661>

Annexe : Exemples de travaux de recherche en lien avec la prévention des risques professionnels dans le domaine de la robotique collaborative

Catégorie	Description	Pays	Référence
Prévention	Etat des lieux	France	Atain J.J. & Sghaier A. (2017). "Les robots et dispositifs d'assistance physique : états des lieux et enjeux pour la prévention". INRS
Sécurité/Contact	Airbag pour amortir les contacts	Allemagne	http://www.dlr.de/rmc/rm/en/desktopdefault.aspx/tabid-11890/20893_read-48688/
Sécurité/Contact	Système de contrôle de la vitesse	Japon	T. Saito & H. Ikeda, "Development of a normally closed type of clutch using magnetorheological suspension for safe torque of human-collaborative robot" (2008). JNIOH.
Sécurité/Contact	Senseurs tactiles pour prévenir les contacts	Allemagne	Fritzsche, M., Elkmann, N. et Schulenburg E. (2011) Tactile sensing: A key technology for safe physical human robot interaction, Communication présentée au 6th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI), Lausanne, Suisse, p. 139-140
Cybersécurité	Défense des systèmes numériques	France	Pietre-Cambacedes, L. et al. (2015) Cybersécurité des installations industrielles – Défendre ses systèmes numériques, France : Cépaduès
Analyse de risques	Recommandation	États-Unis	Murashov, V., Hearl, F. et Howard, J. (2016) "Working safely with robot workers: Recommendations for the new workplace", Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 13 (3), D61-D71
Analyse de risques	Présentation	Allemagne	Schubert, J. (2015) Challenges and new ways for the risk assessment of Cyber physical systems, Communication présentée au Safety of Industrial Automated Systems (SIAS), Königswinter, Allemagne, p. 24-26
Analyse de risques	Description des usages	France	Daille-Lefèvre, B., Dequaire, E., Roignot, R. et Fadier, E. (2015) "Acheter une machine : comment décrire les usages attendus?", Hygiène et sécurité du travail, (239), 70-73
Analyse de risques	Passage d'application conventionnelle à application collaborative	Canada	Fryman, J., Arbor, A. et Matthias, B. (2012) Robotic Industries Association, Safety of Industrial Robots: From Conventional to Collaborative Applications, Communication présentée au Safety of Industrial Automated Systems (SIAS), Montréal, Québec, Canada, p.198-203
Analyse de risques	Identification des risques	Canada	Fujikawa, T. et Kubota, M. (2012) Evaluation of Injury Level and Probability for Risk Assessment of Mobile Robots, Communication présentée au Safety of Industrial Automated Systems (SIAS), Montréal, Québec, Canada, p. 180-185
Réduction des risques	Risques lors des opérations de maintenance	Canada	Jocelyn, S. (2012) Identification et réduction du risque pour les interventions de maintenance et de production sur des presses à injection de plastique en entreprises, Mémoire de maîtrise, Polytechnique Montréal, Montréal, Québec, Canada
Accidentologie	Communication sur l'accidentologie en France liée à la robotique	France	Charpentier, P. et Sghaier, A. (2012) Industrial Robotics: Accident analysis and Human-Robot Coactivity, Communication présentée au SIAS (Safety of Industrial Automated Systems), Montréal, Québec, Canada, p. 170-175
Risque psychique	Stress dû à la proximité humain-robot	Corée	De Graaf M.M.A. et Ben Allouch, S. (2013) The relation between people's attitude and anxiety towards robots in human-robot interaction, Communication présentée à IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN), Gyeongju, Corée, p. 632-637
Risque lié à la programmation	Risques humains dans la programmation	Grande-Bretagne	Glagowski, T., Pedram, H. et Shamash, Y. (1992) "Human factors in robot teach programming", Dans M. Rahimi et W.Karwowski (Édit.), Human robot interaction, p. 16-47. Londres, Angleterre: Taylor & Francis

EUROGIP, groupement d'intérêt public créé par l'Assurance Maladie-Risques professionnels en 1991, est un observatoire et un centre de ressources sur la prévention et l'assurance des accidents du travail et des maladies professionnelles à l'international.

www.eurogip.fr

Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle faite sans le consentement d'EUROGIP est illicite. Il en est de même pour la traduction, l'adaptation ou la transformation, l'arrangement ou la reproduction, par un art ou un procédé quelconque (art. L 122-4 du code de la propriété intellectuelle). La violation des droits d'auteur constitue une contrefaçon punie d'un emprisonnement de trois ans et d'une amende de 300 000 euros (art. L 335-2 et suivants du code de la propriété intellectuelle)



51, avenue des Gobelins - F-75013 Paris

+33 (0) 1 40 56 30 40

eurogip@eurogip.fr