

ROBOTS COLLABORATIFS

SOMMAIRE DU DOSSIER

- ▶ Ce qu'il faut retenir
- ▶ De quoi parle-t-on ?
- ▶ Identification des risques
- ▶ Mesures de prévention liées au fonctionnement collaboratif
- ▶ Foire aux questions
- ▶ Publications et liens utiles

Accueil > Risques > Robots collaboratifs

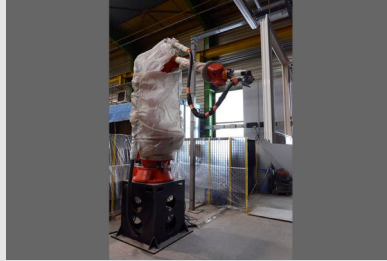
Ce qu'il faut retenir

De plus en plus plébiscités par l'industrie, les robots collaboratifs sont vus comme un moyen de gagner en performance. Leur utilisation n'est toutefois pas sans risque. Des solutions spécifiques de prévention doivent notamment être mises en œuvre du fait de la coactivité entre hommes et robots.



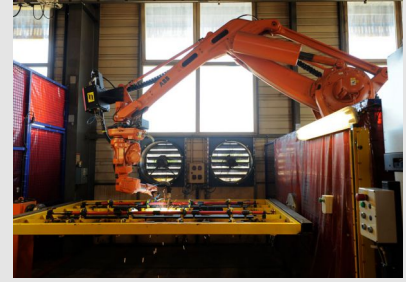
© Gael Kerbaol - INRS

Cellule robotique palettisation utilisé pour préparer les colis avant envoi dans l'industrie agroalimentaire



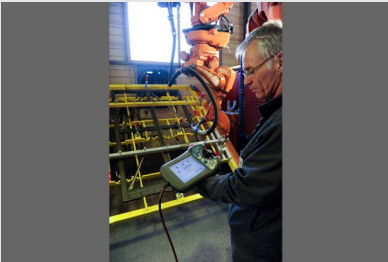
© Fabrice Dimier pour l'INRS

Un robot peint une fenêtre sur une chaîne automatisée.



© Claude Almodovar pour l'INRS

Cellule robotique de soudage avec extracteur de fumée



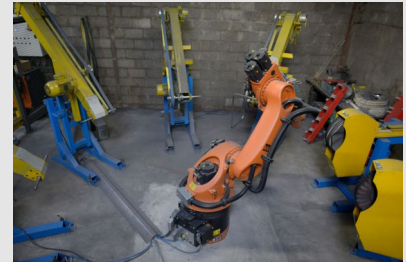
© Claude Almodovar pour l'INRS

Un régleur en train de réaliser une opération d'apprentissage avant mise en service de la cellule robotique



© Gael Kerbaol - INRS

Guidage manuel d'un robot collaboratif permettant d'apporter une assistance physique à l'opérateur.



© Guillaume J. Plisson pour l'INRS

Cellule robotique de polissage comportant plusieurs postes de travail.



© Gael Kerbaol - INRS

Cellule robotique de chargement de presse plieuse



© Patrick Delapierre pour l'INRS

Robot à limitation de puissance et de force intégré sur une ligne de production



© Fabrice Dimier pour l'INRS

Chargement manuel d'une cellule robotique



© Adel Sghaier - INRS

Cellule robotique collaborative mettant en œuvre l'arrêt nominal de sécurité contrôlé

Présentés comme une clé de compétitivité, les robots « collaboratifs » suscitent un grand intérêt de la part des entreprises de l'industrie manufacturière. Tous les secteurs d'activité sont concernés. Beaucoup y voient le moyen de combiner le savoir-faire et le pouvoir décisionnel de l'être humain avec la force, l'endurance et la précision du robot. Si le déploiement de ces technologies reste encore limité, leur essor semble inéluctable.

En filigrane de la robotique collaborative se pose la question de la coactivité homme-robot et des risques associés. Comme n'importe quelle machine, ces robots comportent des éléments en mouvement (bras, pinces, outil, pièce manipulée) susceptibles de blesser les opérateurs évoluant à proximité. A ces risques peuvent s'ajouter des contraintes physiques et psychiques.

La prévention de ces risques est aujourd'hui très encadrée par les normes NF EN **ISO 10218-1**¹ et-**2**². Celles-ci indiquent les principes techniques à mettre en œuvre : l'arrêt nominal de sécurité contrôlé, le guidage manuel, le contrôle de la vitesse et de la distance de séparation et la limitation de la puissance et de la force du robot en cas de contact. Ces solutions techniques, combinables entre elles, sont à choisir en fonction de la situation.

¹ <https://www.boutique.afnor.org/norme/nf-en-iso-10218-1/robots-et-dispositifs-robotiques-exigences-de-securite-pour-les-robots-industriels-partie-1-robots/article/727316/fa138316>

² <https://www.boutique.afnor.org/norme/nf-en-iso-10218-2/robots-et-dispositifs-robotiques-exigences-de-securite-pour-les-robots-industriels-partie-2-systeme-robots-et-integration/article/779601/fa140283>

Mis à jour le 21/03/2018

De quoi parle-t-on ?

Un robot collaboratif est conçu pour interagir avec les opérateurs. Il est intégré dans une cellule robotique complétée par des équipements et des mesures de prévention adaptés au type de collaboration envisagée.

Un robot collaboratif est un robot énergisé, autonome et intégré dans une cellule robotique pour travailler à proximité des opérateurs ou en relation directe avec eux. On parle alors de coactivité. Cette notion, traditionnellement réservée à l'activité simultanée sur un même site de plusieurs entreprises ou de plusieurs opérateurs, sous-entend ici la suppression totale ou partielle des barrières physiques entre l'homme et le robot, afin qu'ils puissent interagir. Cette interaction se décline de différentes façons :

- L'homme et le robot concourent à la réalisation de tâches distinctes dans un même environnement. Il s'agit alors d'un partage d'espace de travail.
- L'homme et le robot travaillent simultanément à la réalisation d'une tâche commune. On parle dans ce cas d'une collaboration directe.
- L'homme et le robot travaillent à tour de rôle à la réalisation d'une même tâche. La collaboration est alors indirecte.
- L'homme est assisté par le robot dans la réalisation d'une tâche. Dans ce cas, le robot procure une assistance physique au geste en soulageant l'opérateur dans l'exécution de ses mouvements.

Principales définitions associées à la robotique

Robot

D'après la norme **NF EN ISO 10218-1**³, c'est un bras manipulateur programmable destiné à des applications multiples. Il évolue sur au moins trois axes et peut être fixe ou mobile. Si un robot est utilisé dans un environnement industriel, alors on parle de robot industriel. Un robot n'est pas considéré comme une machine à part entière mais comme une **quasi-machine**⁴, dès lors qu'il est vendu sans outils et sans application dédiée.

³ <https://www.boutique.afnor.org/norme/nf-en-iso-10218-1/robots-et-dispositifs-robotiques-exigences-de-securite-pour-les-robots-industriels-partie-1-robots/article/727316/fa138316>

⁴ <http://www.inrs.fr/demarche/conception-utilisation-equipements-travail.html>

Système robot

D'après la norme **NF EN ISO 10218-1**⁵, c'est un robot complété par tous les équipements externes (outils, axes externes, machines, etc.) qui lui permettent d'accomplir sa tâche. Un système robot constitue donc une machine au sens de la directive 2006/42/CE.

⁵ <https://www.boutique.afnor.org/norme/nf-en-iso-10218-1/robots-et-dispositifs-robotiques-exigences-de-securite-pour-les-robots-industriels-partie-1-robots/article/727316/fa138316>

Cellule robotique

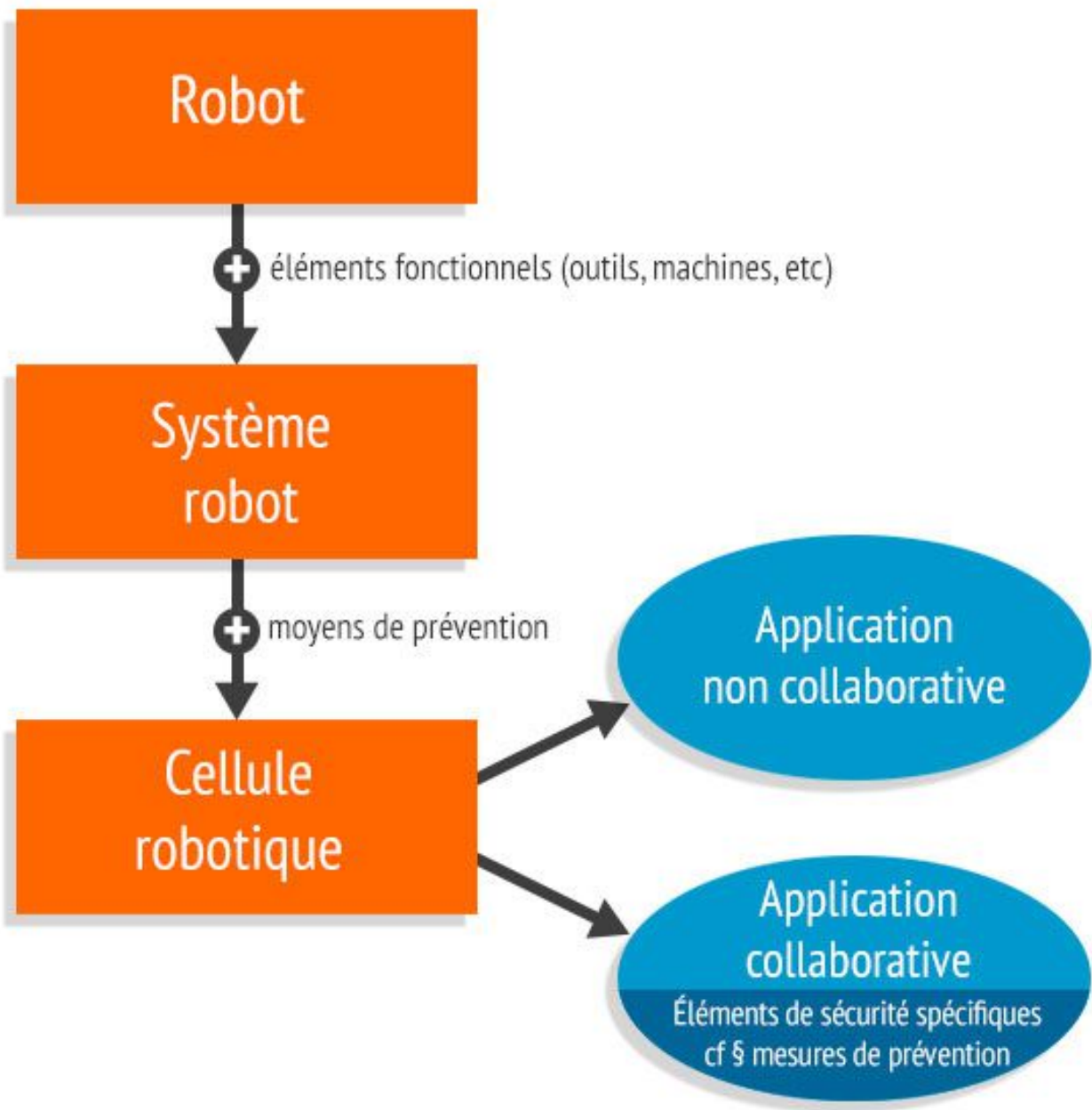
D'après la norme **NF EN ISO 10218-2**⁶, il s'agit d'un ou de plusieurs systèmes robots complétés par les mesures de prévention adéquates. La mise en œuvre de la cellule robotique nécessite la définition claire de l'espace maximal d'évolution du système robot, de l'espace partagé (appelé également espace de travail collaboratif) et de l'espace contrôlé (protection périmétrique).

⁶ <https://www.boutique.afnor.org/norme/nf-en-iso-10218-2/robots-et-dispositifs-robotiques-exigences-de-securite-pour-les-robots-industriels-partie-2-systeme-robots-et-integration/article/779601/fa140283>

Robot d'assistance physique

Robot utilisé pour apporter une assistance physique à l'opérateur. Lorsqu'il s'agit d'un bras robot industriel piloté à la main, il est alors considéré comme un **robot industriel collaboratif**⁷ et doit donc répondre aux exigences de sécurité d'une machine.

⁷ <http://www.inrs.fr/risques/robots-collaboratifs/mesures-prevention-fonctionnement-collaboratif.html>



© INRS
La robotique en milieu industriel

Mis à jour le 21/03/2018

Identification des risques

L'utilisation d'un robot collaboratif expose les salariés à des risques inhérents aux machines. Une attention particulière doit être portée aux risques supplémentaires liés à la coactivité : choc, écrasement, brûlure, stress notamment.

Comme pour toute installation industrielle comportant des machines, la mise en place d'une cellule robotique nécessite une étape d'identification des risques. Ces derniers peuvent être liés aussi bien au robot (risques mécaniques liés aux mouvements du bras par exemple) qu'au système robot (parties travaillantes telles que l'outil ou la pièce en mouvement par exemple) et à la cellule robotique (équipements associés au système robot et à l'environnement par exemple).

Pour l'étape d'identification des risques, l'intégrateur pourra s'appuyer sur la norme NF EN ISO 12100. Dans le cadre la mise en œuvre d'une cellule robotique collaborative, compte tenu de la proximité immédiate de l'opérateur avec le robot, certains risques doivent bénéficier d'une attention particulière. Le tableau ci-dessous liste les principaux.



Robots collaboratifs : quels enjeux pour la prévention ?

RISQUES	ORIGINES	CONSÉQUENCES
Mécaniques⁸ ⁸ http://www.inrs.fr/risques/mecaniques.html	<ul style="list-style-type: none"> ■ Mouvement (bras, pinces, outil, pièce manipulée) dans l'espace d'évolution de l'opérateur. ■ Chute ou éjection de pièces ou produits... 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Écrasement ■ Cisaillement ■ Coupure ou sectionnement ■ Choc ■ Perforation ou piqûre ■ Friction, abrasion...
Thermiques	<ul style="list-style-type: none"> ■ Contact avec des éléments chauds ■ Température excessive liée au processus... 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Brûlure (chaude ou froide) ■ Lésion (yeux, peau) produite par rayonnement
Vibrations⁹ ⁹ http://www.inrs.fr/risques/vibrations.html	<ul style="list-style-type: none"> ■ Contacts avec des éléments en vibration (guidage manuel par exemple)... 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Fatigue ■ Dommages neurobiologiques ■ Désordres vasculaires ■ Choc
Non-respect des principes ergonomiques	<ul style="list-style-type: none"> ■ Mouvements imprévisibles du robot dans l'espace de travail collaboratif ■ Contraintes physiques, psychiques ou mentales du fait de contacts « homme-robot » répétitifs ■ éclairage local insuffisant 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Troubles musculo-squelettiques (TMS) ■ Fatigue ■ Stress ■ Surcharge mentale...

Mis à jour le 21/03/2018

Mesures de prévention liées au fonctionnement collaboratif

Les mesures de prévention associées à la mise en œuvre d'un robot collaboratif sont encadrées par la norme NF EN ISO 10218-2. Celle-ci propose 4 principes de mise en sécurité, combinables entre eux en fonction des situations.

La **norme NF EN ISO 10218-2**¹⁰ de 2011 précise quatre fonctionnements collaboratifs et leur principe de mise en sécurité. Ces quatre principes de mise en sécurité peuvent être combinés entre eux et le choix se fait en fonction des résultats de l'analyse de risques.

¹⁰ <https://www.boutique.afnor.org/norme/nf-en-iso-10218-2/robots-et-dispositifs-robotiques-exigences-de-securite-pour-les-robots-industriels-partie-2-systeme-robots-et-integration/article/779601/fa140283>

L'arrêt nominal de sécurité contrôlé

Ce principe consiste à arrêter les mouvements du robot dès lors que l'opérateur pénètre dans l'espace de travail collaboratif. Cet arrêt est déclenché par des dispositifs de sécurité (barrières immatérielles, scrutateurs, etc.) qui détectent la présence de l'opérateur. Afin de respecter les règles d'implantation de ces **dispositifs de protection**¹¹, il est essentiel de calculer les temps de réponse afin de déterminer la distance que pourra parcourir le robot avant l'arrêt sûr du mouvement. Dans ce cas, le robot ne reprend son activité que lorsque l'opérateur quitte cet espace. L'arrêt du robot peut être réalisé sous énergie, ce qui facilite la reprise automatique du mouvement du robot. La mise en œuvre de l'arrêt nominal de sécurité contrôlé est rendu possible grâce à des fonctions de sécurité qui permettent, par surveillance de la vitesse ou de la position, de garantir un arrêt maîtrisé du robot. La plupart des fabricants de robots proposent des cartes ou des modules pour la **mise en œuvre de ces fonctions de sécurité**¹².

¹¹ <http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206281>

¹² <http://www.irsst.qc.ca/publications-et-outils/publication/i/100938/n/robotique-collaborative-securite-experience-travailleurs-integrateurs>

Le guidage manuel

Le fonctionnement permettant le guidage manuel du robot est autorisé sous réserve de disposer d'une poignée de validation et d'un arrêt d'urgence comme indiqué dans la **norme NF EN ISO 10218-1**¹³. Ce type d'interaction peut être utilisé aussi bien pour les **robots d'assistance physique sans contention**¹⁴ que pour les tâches d'apprentissage de robots industriels. Dans ce dernier cas, l'opérateur doit pouvoir déplacer le robot manuellement afin de lui montrer les trajectoires qu'il devra suivre. Ce type de collaboration impose, comme pour l'apprentissage classique, que le robot évolue à une vitesse contrôlée.

¹³ <https://www.boutique.afnor.org/norme/nf-en-iso-10218-1/robots-et-dispositifs-robotiques-exigences-de-securite-pour-les-robots-industriels-partie-1-robots/article/727316/fa138316>

¹⁴ <http://www.inrs.fr/pages-obsolètes/accueil/risques/nouvelles-technologies-assistance-physique.html>

Le contrôle de la vitesse et de la distance de séparation

Ce principe de sécurité consiste à maintenir une distance de séparation entre l'opérateur et le système robot de manière dynamique. Cette distance ainsi que la vitesse doivent être contrôlées de manière sûre. Les valeurs limites de ces deux paramètres (vitesse et distance de séparation) sont déterminées lors de l'évaluation des risques.

Aucune solution technologique mettant en œuvre ce principe n'est aujourd'hui commercialisée. Ceci s'explique en partie par la difficulté de développer des dispositifs fiables pour la détection et le suivi en temps-réel de l'opérateur dans l'espace de travail collaboratif. Néanmoins, de nombreux travaux de recherche universitaires expérimentent des applications collaboratives faisant appel à cet élément de sécurité.

La limitation de la puissance et de la force du robot par conception ou par commande

À la différence des autres éléments de sécurité, celui-ci permet, sous certaines conditions, le contact entre l'opérateur et le système robot dans l'espace de travail collaboratif. Il impose toutefois la mise en place de dispositifs limitant les effets des impacts lors d'une collision.

Du point de vue de la conception, les solutions suivantes peuvent y contribuer : réduire la masse du robot, recouvrir le robot des matériaux amortissants, augmenter les surfaces de contacts en privilégiant les surfaces arrondies. Du point de vue du système de commande, le robot doit être capable d'assurer la détection des collisions (capteur d'efforts, mesure de courant moteur, etc.) et d'arrêter son mouvement d'une manière sûre.

Cet élément de sécurité est utilisé dans des applications pour lesquelles l'analyse des besoins et l'analyse des risques ont démontré la pertinence de son utilisation comme mesure de prévention. Il ne permet toutefois pas de couvrir tous les risques mécaniques car une limitation de puissance et de force ne peut, par exemple, pas protéger des risques de coupure ou de perforation causés par un outil acéré et pointu. De plus, le recours à cet élément de sécurité ne doit pas être envisagé pour les situations de travail où le contact du système robot avec le visage ou d'autres parties sensibles du corps humain, dans l'espace de travail collaboratif, est prévisible.

Il est nécessaire de s'assurer que la mise en œuvre de cet élément de sécurité ne génère pas de contraintes physiques, psychiques ou mentales pour l'opérateur. Les contacts répétitifs, les gestes d'évitement ou de manipulation du système robot sont autant d'éléments à analyser à toutes les étapes du projet, y compris en cours d'utilisation par retour d'expérience et mise en place d'actions correctives dans le but d'une amélioration continue des conditions de travail.

Mis à jour le 21/03/2018

Foire aux questions

Questions - Réponses sur les robots collaboratifs

Des réponses aux questions les plus fréquemment posées sur les robots collaboratifs

Qu'est-ce qui différencie un robot « collaboratif » d'un robot « classique » ?

En réalité, c'est l'application qui est collaborative ou non, pas le robot. Une cellule robotisée classique est utilisée dans un espace déterminé où l'opérateur n'est pas censé pénétrer lorsqu'elle fonctionne. A l'inverse, une cellule robotique collaborative est conçue pour travailler dans le même espace que les opérateurs ou en relation directe avec eux. Du point de vue de la prévention, cette différence joue beaucoup. Dans le premier cas, l'opérateur est protégé des risques engendrés par le robot par une barrière périmétrique physique. La gestion des risques se focalise alors sur l'accès des opérateurs à ce périmètre. Dans le deuxième cas, les risques générés par les mouvements du robot doivent être pris en compte par des fonctions spécifiques. Dans les deux cas, la directive « machines » 2006/42/CE s'applique et les normes NF EN ISO 10218-1 et -2 fournissent des éléments pour la mise en sécurité.

Un robot collaboratif est-il sûr ?

Un robot, apte à la collaboration ou non, n'est qu'un des éléments du système final. Un robot destiné à une application collaborative doit être conçu pour prendre en compte les risques qu'il peut générer. Pour cela, des fonctions spécifiques peuvent être intégrées. Le procédé, l'outil et la pièce liés à l'application génèrent des risques qui, non pris en compte à la conception du robot, le seront en phase de conception de l'application. C'est seulement cette intégration de la sécurité à la conception de l'application qui rendra l'application sûre. Elle sera renforcée par l'évaluation des risques faite en situation réelle de travail, bénéficiant du retour d'expérience des utilisateurs.

Comment faire adhérer les collaborateurs à l'implantation de robots collaboratifs dans les entreprises ?

Une façon d'y parvenir consiste à impliquer le plus en amont possible les futurs utilisateurs. Ces échanges doivent permettre d'expliquer les raisons qui motivent le choix de la robotique collaborative et de lever les incertitudes par rapport à ces systèmes. Cela implique d'identifier et de décrire de façon détaillée les tâches pouvant bénéficier de la robotique collaborative (par exemple les tâches sans valeur ajoutée pour l'opérateur ou encore désagréables et sollicitantes), mais aussi d'anticiper comment celle-ci va modifier la réalisation du travail des utilisateurs et d'être clair sur la répartition des tâches entre opérateurs et robots. Il s'agit également de procéder à une première évaluation des risques a priori pour mieux les anticiper. Ensuite, il est important d'élaborer une formation à l'intention des utilisateurs comprenant une partie hors situation de travail puis en situation réelle de production. Du point de vue du suivi et de l'amélioration continue, des évaluations de la collaboration homme-robot ainsi que des retours d'expérience (tant pour les événements négatifs que positifs) peuvent être également mises en place.

Quelles sont les obligations des différents acteurs : fabricants, intégrateurs et utilisateurs de robots collaboratifs ?

Les obligations des différents acteurs dépendent du rôle qu'ils tiennent dans la chaîne de réalisation d'une application (collaborative ou pas). Le fabricant du robot met sur le marché une quasi-machine pour laquelle il doit fournir une déclaration d'incorporation. L'intégrateur (qui peut être le fabricant ou l'utilisateur) réalise quant à lui la machine finale pour laquelle il délivre une déclaration de conformité. L'utilisateur final du système robotisé, sans être responsable, ni de sa fabrication, ni de son intégration à l'état neuf, est en charge, dans le cadre de son activité professionnelle, du maintien en état de conformité du système robotisé.

Pour en savoir plus consultez le [Guide de prévention pour la mise en œuvre des applications collaboratives robotisées de la Direction générale du travail](#) ¹⁵ et le dossier INRS consacré à la [conception et l'utilisation des équipements de travail](#). ¹⁶

¹⁵ http://http/travail-emploi.gouv.fr/IMG/pdf/guide_de_prevention_25_aout_2017.pdf

¹⁶ <http://www.inrs.fr/demarche/conception-utilisation-equipements-travail.html>

Est-ce que la mesure des forces et des pressions est une obligation suivant la norme ISO TS 15066 ?

Non. Toutefois, la mise en œuvre de l'élément de sécurité « Limitation de la puissance et de la force du robot par conception ou par commande », lorsque l'analyse des risques le permet, implique de déterminer, en fonction de l'application et des parties du corps exposées, des valeurs maximales à respecter. A ce jour, seule la spécification technique ISO TS 15066, d'application non obligatoire, propose des valeurs de force et de puissance en cas de risques de contact. La mesure des forces et des pressions peut alors permettre de s'assurer que ces valeurs limites sont respectées. En revanche, cela ne suffit pas à s'assurer de la conformité d'une installation au regard de l'ensemble des risques potentiels.

Faut-il faire un certificat CE pour la mise en place et l'utilisation en interne d'un robot collaboratif ?

L'utilisateur qui conçoit et fabrique une application robotisée à l'état neuf pour son propre compte, en assurant la direction et la maîtrise d'œuvre globale du projet, prend le statut de fabricant et assume les obligations afférentes à la mise en service du produit dans son entreprise (marquage CE, déclaration de conformité, dossier technique).

Pour en savoir plus consultez le [Guide de prévention pour la mise en œuvre des applications collaboratives robotisées de la Direction générale du travail](#) ¹⁷ et le dossier INRS consacré à la [conception et l'utilisation des équipements de travail](#) ¹⁸.

¹⁷ http://travail-emploi.gouv.fr/IMG/pdf/guide_de_prevention_25_aout_2017.pdf

¹⁸ <http://www.inrs.fr/demarche/conception-utilisation-equipements-travail.html>

Mis à jour le 19/10/2018

Publications et liens utiles

Quelques ressources utiles sur la prévention des risques en lien avec la thématique des robots collaboratifs.

BROCHURE 09/2018 | ED 6122



Sécurité des équipements de travail

Ce document traite des mesures de prévention contre les risques mécaniques. Il a pour objet de faciliter leur choix. Il présente des exemples de moyens de protection connus à ce jour, dont on peut s'inspirer pour supprimer ou réduire les risques mécaniques engendrés par les machines. ¹⁹

¹⁹<http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206122>

BROCHURE 09/2017 | ED 6281



Aide au choix d'un dispositif de protection sensible

Cette brochure propose une aide au choix des dispositifs de protection sensible (SPE) afin de réduire les risques mécaniques liés à l'utilisation d'une machine fixe. ²⁰

²⁰<http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206281>

DOSSIER 11/2014



Conception et utilisation des équipements de travail

A chaque étape du cycle de vie d'une machine ou d'un équipement de travail, les concepteurs et les utilisateurs ont un rôle à jouer et des actions à entreprendre pour prévenir les risques professionnels. ²¹

²¹<http://www.inrs.fr/demarche/conception-utilisation-equipements-travail.html>

ARTICLE DE REVUE 06/2013 | VP 1



L'homme au travail et le robot : une relation à inventer

Les robots se diversifient et investissent de plus en plus de secteurs d'activité ; ils apportent avec eux de nouveaux risques pour la santé et la sécurité de l'opérateur, risques que les entreprises et les acteurs de prévention doivent prendre en compte. ²²

²²<http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=VP%201>

PUBLICATION SCIENTIFIQUE 10/2017

Les robots et dispositifs d'assistance physique : Etat des lieux et enjeux pour la prévention

Dans un contexte de mutation des entreprises, on assiste depuis 2013 à une émergence de robots, exosquelettes et autres nouvelles technologies d'assistance physique (NTAP) notamment pour tenter de répondre aux problématiques de TMS et de charge physique de travail excessive. ²³

²³<http://www.inrs.fr/inrs/recherche/etudes-publications-communications/doc/publication.html?refINRS=NOETUDE/P2017-120/NS354>

- ▶ Guide de prévention pour la mise en œuvre des applications collaboratives robotisées. DGT
- ▶ Rapport d'évaluation des fonctions de sécurité et retour d'expérience. IRSST
- ▶ Prévention dans le domaine de la robotique collaborative - Synthèse de travaux réalisés à l'international – EUROGIP
- ▶ Norme NF EN ISO 10218-1. AFNOR
- ▶ Norme NF EN ISO 10218-2. AFNOR

Mis à jour le 21/03/2018