

Les nouvelles technologies : le cas des robots collaboratifs

Points de vigilance pour une intégration réussie

L'Institut national de recherche et de sécurité (INRS) pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles est une association loi 1901, créée en 1947 sous l'égide de la Caisse nationale d'assurance maladie, administrée par un Conseil paritaire (employeurs et salariés).

De l'acquisition de connaissances jusqu'à leur diffusion, en passant par leur transformation en solutions pratiques, l'Institut met à profit ses ressources pluridisciplinaires pour diffuser une culture de prévention dans les entreprises et proposer des outils adaptés à la diversité des risques professionnels à tous ceux qui, en entreprise, sont chargés de la prévention : chef d'entreprise, services de prévention et de santé au travail, instances représentatives du personnel, salariés...

Toutes les publications de l'INRS sont disponibles en téléchargement sur le site de l'INRS : www.inrs.fr

Les caisses d'assurance retraite et de la santé au travail (Carsat), la caisse régionale d'assurance maladie d'Île-de-France (Cramif) et les caisses générales de sécurité sociale (CGSS) de l'Assurance maladie - Risques professionnels, disposent, pour participer à la diminution des risques professionnels dans leur région, d'un service Prévention composé notamment d'ingénieurs-conseils et de contrôleurs de sécurité. Spécifiquement formés aux disciplines de la prévention des risques professionnels et s'appuyant sur l'expérience quotidienne de l'entreprise, ces professionnels sont en mesure de conseiller et, sous certaines conditions, de soutenir les acteurs de l'entreprise (direction, médecin du travail, instances représentatives du personnel, etc.) dans la mise en œuvre des démarches et outils de prévention les mieux adaptés à chaque situation.

Les caisses assurent aussi la diffusion des publications éditées par l'INRS auprès des entreprises.

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'INRS, de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, 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 (article 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 € (article L. 335-2 et suivants du code de la propriété intellectuelle).

© INRS, 2024.

Édition : Emmanuelle Chalaux (INRS)

Conception graphique : Julie&Gilles

Mise en pages : Valérie Latchague Causse



Démarche de prévention
Équipements | Lieux de travail

Les nouvelles technologies: le cas des robots collaboratifs

Points de vigilance pour une intégration réussie

ED 6540
Novembre 2024

Brochure INRS élaborée par D. Tihay, A. Sghaier,
L. Wioland et J.-J. Atain-Kouadio

Sommaire

Introduction	4
Rappel de la démarche d'intégration	6
1 Étape 1. Analyse du besoin et validation du cahier des charges	8
Définition des objectifs généraux	8
Définition des usages	9
Définition de l'interaction salarié/robot	9
Identification des étapes du cycle de vie de l'application robotique collaborative	10
2 Étape 2. Conception fonctionnelle	11
Définition des tâches	11
Définition de l'environnement	11
Définition des espaces	12

3	Étape 3. Conception détaillée	13
	Choix du robot et de l'outil	13
	Planification des trajectoires	14
	Appréciation du risque	14
	Choix des mesures de prévention	15
	Calcul des paramètres de la fonction PFL	17
	Positionnement des dispositifs de protection	18
4	Étape 4. Réalisation	19
	Paramétrage de l'outil	19
	Mise en œuvre des éléments de sécurité du robot	20
	Validation de la fonction PFL	20
	Mesures organisationnelles	21
5	Étape 5. Suivi	22
	Conclusion	23

Introduction

L'intégration de robots collaboratifs consiste à concevoir et mettre en œuvre des applications qui permettent l'interaction entre le salarié et le robot. Contrairement au sens suggéré par les dénominations « robots collaboratifs » ou « cobots », couramment utilisées, la collaboration n'est pas une caractéristique du robot mais résulte de l'usage qui en est fait. À l'inverse de l'automatisation et de la robotique industrielle classique, la robotique collaborative rend possible la proximité entre le salarié et le robot. Elle peut par conséquent être source de risques, comme des risques d'impacts physiques (écrasement, choc...) ou des risques de brûlures, d'intoxications, de vibrations, etc. pour l'ensemble des personnes amenées à évoluer à proximité du robot. La collaboration avec le robot peut également exposer ces personnes à des contraintes physiques et psychiques à l'origine notamment de troubles musculosquelettiques (douleurs aux poignets, dos...) et de risques psychosociaux (surcharge mentale, isolement, fatigue, stress...). Par ailleurs, comme pour toute machine, la mise en œuvre et l'utilisation d'un robot collaboratif sont encadrées par des obligations réglementaires et des contraintes techniques. Intégrer une application de robotique collaborative demande donc une attention particulière en matière de prévention des risques professionnels.

Ce document vient en complément de la brochure INRS ED 6531, *Nouvelles technologies d'assistance physique (exosquelettes, robots...)*, qui donne des repères méthodologiques pour l'intégration de nouvelles technologies d'assistance physique. Il présente plus spécifiquement les principaux points de vigilance en matière de prévention à considérer tout au long de la démarche d'intégration des robots collaboratifs. Ces points concernent principalement l'intégrateur, mais également l'utilisateur (*voir encadré 1 page suivante*). Pour une intégration réussie, les deux parties doivent entretenir un dialogue permanent. De plus, sachant que la mise en œuvre d'un robot collaboratif génère inévitablement des transformations de la situation de travail, il est indispensable de consolider cette démarche en y intégrant les éléments de prévention liés à la conception des lieux et situations de travail. Ce document en présente les spécificités propres à la robotique collaborative, complétant ainsi les recommandations présentées dans la brochure ED 950 de l'INRS, *Conception des lieux et des situations de travail*.

Dans la suite de ce document, la « cellule robotique collaborative » désigne l'installation incluant robots, outils, environnement de travail et éléments de sécurité. Elle ne concerne que les applications couvertes par la norme NF EN ISO 10218-2¹ décrivant les exigences de sécurité pour les robots industriels. Elle exclut donc les robots mobiles, les robots pilotés à la main et les exosquelettes.

Encadré 1

■ Qui est l'intégrateur ?

Par « intégrateur », on entend la personne ou l'équipe chargée de concevoir et de réaliser l'installation comprenant le robot ainsi que les différents équipements nécessaires à l'installation. L'intégrateur déclare la conformité de l'ensemble en tant que maître d'œuvre de la globalité du projet. Il convient de noter que l'employeur qui conçoit et fabrique une telle installation robotisée à l'état neuf pour son propre compte prend le statut d'intégrateur et assume les obligations afférentes à la mise en service du produit dans son entreprise (marquage CE, déclaration de conformité, dossier technique).

■ Qui est l'utilisateur ?

Le terme « utilisateur » désigne l'entreprise utilisatrice en général. Dans ce document, il fait référence, en particulier, à toute personne de l'entreprise qui participe au projet d'intégration ainsi qu'aux salariés amenés à utiliser l'application robotique collaborative. Il peut s'agir, également, des salariés du bureau d'études ou des préventeurs de l'entreprise utilisatrice.

1. NF EN ISO 10218-2: « Robots et dispositifs robotiques – Exigences de sécurité pour les robots industriels – Partie 2 : système robots et intégration ».



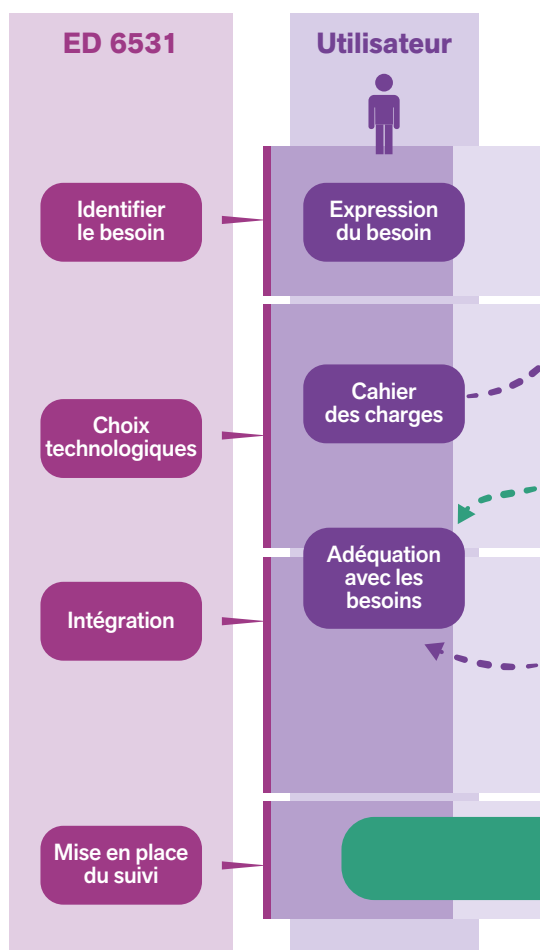
Rappel de la démarche d'intégration

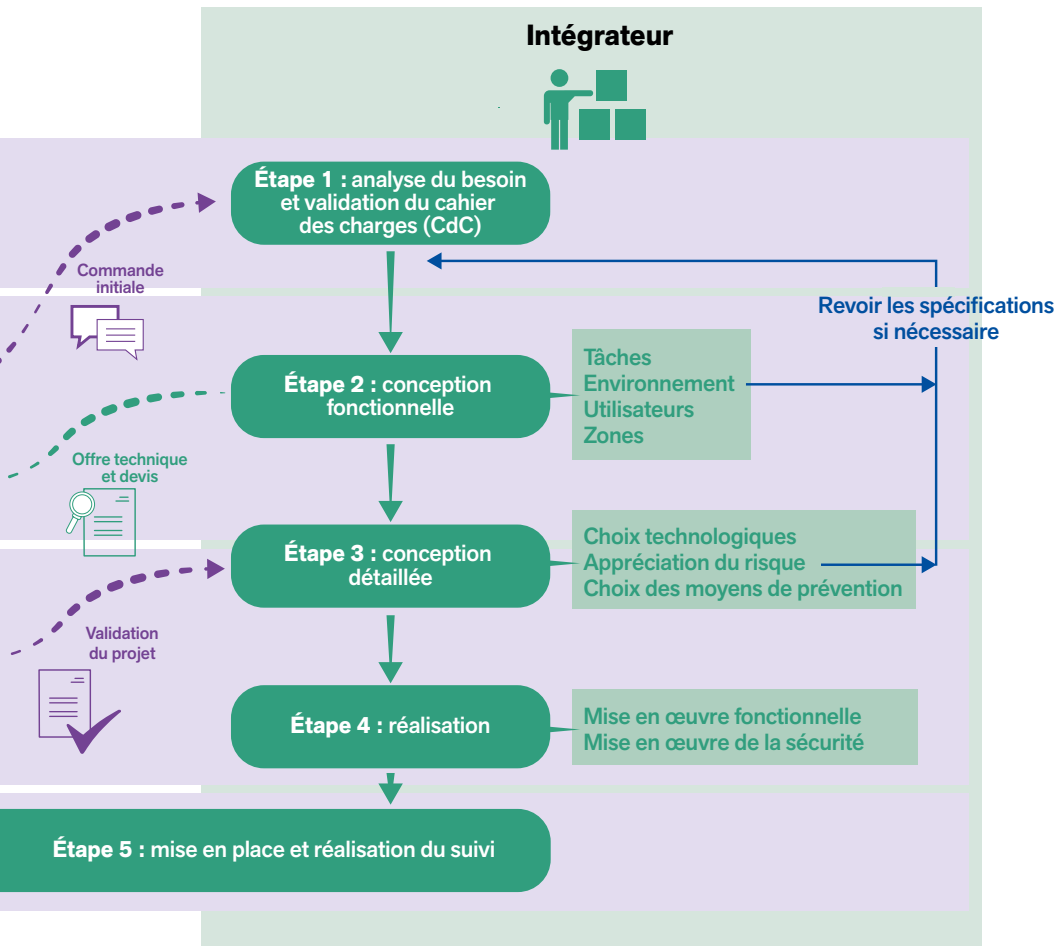
La démarche d'intégration d'un robot collaboratif est comparable à la démarche de conception d'une machine et repose sur cinq étapes :

- l'analyse du besoin et la validation du cahier des charges ;
- la conception fonctionnelle ;
- la conception détaillée ;
- la réalisation ;
- le suivi (voir figure 1).

Elle nécessite, ainsi, la constitution d'un groupe projet impliquant les acteurs internes et externes à l'entreprise utilisatrice concernés par le projet d'intégration (par exemple des instances représentatives du personnel, des décisionnaires, des acteurs de la prévention de la santé et sécurité au travail...). Comme spécifié dans la brochure INRS ED 6531, cette démarche implique des échanges réguliers entre l'intégrateur et le groupe projet.

■ Figure 1. Représentation simplifiée de la démarche d'intégration







Étape 1. Analyse du besoin et validation du cahier des charges

Au cours de cette étape, l'intégrateur analyse le besoin exprimé par le groupe projet, qui peut avoir pour objectif, par exemple, l'amélioration des conditions de travail ou la volonté d'une évolution technique.

Définition des objectifs généraux

Afin d'analyser le besoin de l'utilisateur, il est important que le cahier des charges spécifie les objectifs attendus. Il doit également définir les critères d'atteinte des objectifs visés, par exemple le nombre, la fréquence ou l'intensité des tâches manuelles à réduire, ou le nombre de pièces par heure à réaliser...

L'intégrateur devra éviter les *a priori* quant à la nécessité de recourir à un robot collaboratif. Dans certains cas, une solution autre que la robotique collaborative (robot classique, automatisation, réorganisation...) peut être suffisante. L'intégrateur devra se poser la question de la plus-value de la collaboration (amélioration des conditions de travail, amélioration du procédé...) en intégrant le point de vue des futurs salariés amenés à travailler avec le robot (opérations contraignantes, opérations à valeur ajoutée...).



Définition des usages

Dans cette étape, il est nécessaire de spécifier l'usage qui est attendu de la cellule robotique à travers la définition des opérations, leur séquençement et les modes de fonctionnement de l'application. L'intégrateur devra s'assurer de la compatibilité des caractéristiques techniques des robots collaboratifs avec les besoins de l'application (précision, répétabilité).

Définition de l'interaction salarié/robot

Afin de définir l'interaction salarié/robot, il faut *a minima* :

- décrire la nature des activités concernées par une interaction des salariés avec le robot ;
- identifier les principaux salariés qui collaboreront directement avec le robot, ainsi que leurs collègues qui pourraient intervenir de façon ponctuelle dans l'environnement de la cellule robotique collaborative ou interagir avec eux. Au-delà des salariés préalablement identifiés, il faut prendre en compte les tiers (superviseurs, techniciens de maintenance et tout autre personne présente) ;
- définir la nature et la fréquence des interactions envisagées entre le salarié et le robot, celles-ci pouvant avoir un impact sur les choix des mesures de prévention. Certaines mesures permettent des accès fréquents de tout ou partie du corps tandis que d'autres sont plus adaptées à des interactions ponctuelles (*voir brochure ED 6281*).

Sur la base de ces informations, il faut s'assurer de la faisabilité de recourir à la robotique collaborative en étudiant les points suivants :

- la compatibilité de l'application (procédé) avec la collaboration salarié/robot. Par exemple, les procédés mettant en œuvre des outils contondants ou dégageant des substances dangereuses pour le salarié (peinture, fumée de soudure...) peuvent s'avérer incompatibles dans le cadre d'une collaboration avec le robot ;
- la compatibilité entre les objectifs de productivité attendus et les vitesses de déplacement possibles du robot – qui doivent respecter les exigences de santé et de sécurité des salariés.

Cette première évaluation devra ensuite être précisée et confirmée dans la phase de conception détaillée.

Identification des étapes du cycle de vie de l'application robotique collaborative

Il est nécessaire d'identifier les différentes étapes du cycle de vie de la cellule, de son installation à son démantèlement, afin d'anticiper la prévention des risques dans chacune de ces étapes. Il convient de s'assurer de la faisabilité de recourir à la robotique collaborative en vérifiant que :

- l'introduction de l'application collaborative n'entrave pas l'activité des futurs salariés travaillant avec celle-ci et de leurs collègues, et qu'elle ne dégrade pas leurs conditions de travail (*voir brochure ED 950*) ;
- les questions relatives à l'organisation du travail sont bien intégrées dans la définition de la cellule robotique. Il s'agit notamment de s'assurer de la cohérence des tâches du salarié travaillant avec le robot et les opérations attribuées du robot.

Arbitrage : Envisagez une autre solution que la robotique collaborative si les éléments analysés (processus, vitesse, précision...) s'avèrent incompatibles avec une collaboration entre le salarié et le robot.



Étape 2. Conception fonctionnelle

À partir du cahier des charges, l'intégrateur établit un dossier de conception fonctionnelle de la cellule robotique qui sert de base d'échanges avec l'utilisateur. Ce document comporte plusieurs éléments importants.

Définition des tâches

Il est essentiel de décomposer plus finement le procédé industriel en une succession de tâches à réaliser ainsi que leur enchaînement. Il faudra distinguer les tâches manuelles, les opérations robotisées (sans intervention humaine) et les tâches qui impliquent la collaboration entre le salarié et le robot.

Définition de l'environnement

L'environnement dans lequel la cellule robotique collaborative sera installée doit soigneusement être défini. Il faut prendre en compte les contraintes liées à l'espace disponible, à la disposition des machines déjà en place et aux obstacles potentiels. Il est également important de spécifier avec précision les conditions environnementales telles que la température, l'humidité et la présence de substances potentiellement dangereuses. Il est nécessaire d'anticiper les situations pour lesquelles une utilisation flexible de la cellule robotique collaborative est envisagée afin d'identifier les spécificités fonctionnelles de chacune d'elles. Cette flexibilité permet par exemple une personnalisation de la production grâce à l'utilisation d'un robot déplaçable d'un poste de travail à un autre, permettant ainsi aux procédés industriels d'évoluer dans le temps.

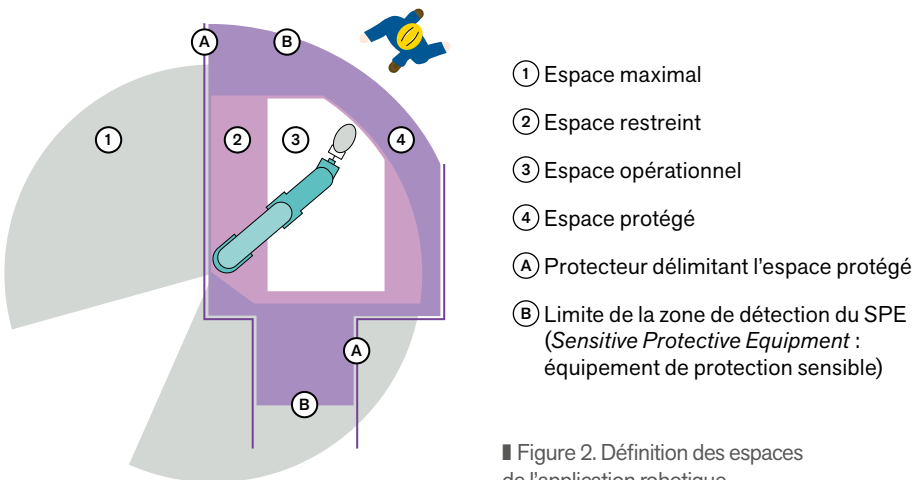
Définition des espaces

Il s'agit d'identifier les espaces dans lesquels le bras du robot peut se déplacer et réaliser ses opérations (voir figure 2). Pour cela, la norme NF EN ISO 10218-2 définit les espaces suivants :

- l'espace maximal : il représente la zone physique totale que le robot peut couvrir. Cet espace dépend du modèle du robot et il est spécifié dans la documentation technique du fabricant ;
- l'espace restreint : il s'agit d'une sous-zone de l'espace maximal où l'accès est limité par des butées mécaniques ou logicielles. Le robot ne pourra donc pas sortir de cet espace lors de l'exécution de ses tâches. Il est généralement déterminé par les contraintes de l'environnement de travail, la disposition des machines et les exigences spécifiques de l'application ;
- l'espace opérationnel : il représente la zone spécifique dans laquelle le robot évolue pour réaliser ses opérations. Il s'agit d'une partie de l'espace restreint ;
- l'espace protégé : cet espace sera défini dans l'étape de conception détaillée. Il s'agit de l'espace dans lequel sont appliqués les moyens de protection. Il inclut l'espace restreint.

Une fois les zones définies, les besoins en termes d'accès dans l'espace protégé en fonction des tâches à réaliser par les salariés et des modes de fonctionnement (production, maintenance...) doivent être spécifiés.

Arbitrage : Modifiez la conception du projet, voire renoncez à la robotique collaborative si les éléments analysés (tâches, salariés, environnement...) s'avèrent incompatibles avec une collaboration entre le salarié et le robot.



■ Figure 2. Définition des espaces de l'application robotique
D'après le document ISO FDIS 10218-2 2024



Étape 3. Conception détaillée

Sur la base du dossier de conception fonctionnelle validé par l'utilisateur, l'intégrateur établit un dossier de conception détaillée dans lequel il spécifie tous les éléments techniques nécessaires à l'intégration de la cellule robotique collaborative. Ce dossier de conception comporte plusieurs éléments.

Choix du robot et de l'outil

L'étape de conception détaillée débute par le choix du robot, qui devra répondre aux besoins exprimés dans le cahier des charges et déclinés lors de l'étape de conception fonctionnelle. Le choix du robot dépend de critères mécaniques (comme sa capacité en termes de portée, de charge utile ou de degré de liberté), de ses fonctionnalités (paramétrage et dynamique de zone par exemple) et du langage de programmation proposé. Il faudra donc :

- s'assurer que le robot envisagé possède des fonctions spécifiques permettant la collaboration en sécurité entre le salarié et le robot (par exemple : limitation de puissance et de force, surveillance de zone collaborative...);
- vérifier la compatibilité entre le robot et l'outil sélectionné (énergie d'actionnement, interface mécanique, compatibilité logiciel...), tout comme la compatibilité entre la tâche et l'outil (force de serrage suffisante, précision, maintien par mors...);
- privilégier un robot de faible masse, présentant des formes arrondies et si possible couvert d'un matériau permettant d'absorber une partie de l'énergie générée lors d'une collision éventuelle ;
- privilégier les outils conçus pour la robotique collaborative (par exemple : force de serrage limitée, maintien de la pièce en cas de défaillance...).

Planification des trajectoires

Les trajectoires du robot sont souvent définies de manière à réduire les temps de cycle et augmenter ainsi la cadence de production. Cette optimisation peut parfois contribuer à l'augmentation des risques auxquels est exposé le salarié travaillant avec le robot (risque mécanique, contraintes posturales, risques psychosociaux (RPS)...). Afin d'éviter cela, il est nécessaire de :

- programmer toujours des trajectoires qui évitent le risque de contact avec les parties hautes du corps (tête et visage) ;
- définir des trajectoires pour lesquelles la probabilité de contact est la plus faible possible aussi bien avec les salariés travaillant avec le robot qu'avec les tiers. Pour cela, il faut prendre en compte leur activité et l'environnement dans lequel sera implantée la cellule robotique collaborative ;
- privilégier des trajectoires pour lesquelles les surfaces potentielles de contact sont les plus étendues possibles en cas de collision entre le salarié et le robot, ceci permettant de limiter la pression mise en jeu lors du contact. Par exemple, privilégier les contacts avec le milieu du segment du robot plutôt qu'avec une de ses articulations ou un coin de l'outil ;
- définir l'orientation de l'outil de manière à ce que les surfaces potentielles de contact soient les plus étendues possibles. Pour cela, certains fabricants proposent des fonctions de sécurité permettant de surveiller l'orientation de l'outil.

Appréciation du risque

Comme pour toutes machines, l'intégration d'un robot collaboratif dans une situation de travail nouvelle ou existante exige une appréciation des risques (*voir brochure ED 6389*). Celle-ci vise à identifier les phénomènes dangereux puis à évaluer les risques associés afin de décider des mesures de prévention à mettre en œuvre. Au-delà du risque lié au contact avec le robot (collision, écrasement, cisaillement...), l'activité du salarié sera également modifiée. Ces modifications peuvent être sources de facteurs de risques que ce soit au niveau des tâches physiques (apparition de contraintes posturales et/ou gestuelles...) ou du point de vue psycho-social (augmentation de la charge mentale, apparition de stress, fragilisation du collectif...).



L'appréciation du risque doit être réalisée conjointement par l'utilisateur et l'intégrateur. Ils devront :

- identifier les risques liés à la projection ou au relâchement de la pièce manipulée ;
- spécifier la répartition des opérations entre le(s) robot(s) et les différents salariés. Dans ce cadre, il est essentiel que les tâches des salariés soient explicitement définies afin de réaliser l'identification des risques ;
- identifier les risques liés à l'application, en distinguant les risques mécaniques liés aux mouvements du robot (choc, écrasement, cisaillement, perforation...);
- caractériser les modifications d'activité des salariés générées par l'introduction de l'application robotique collaborative et les risques induits par ces modifications ;
- s'interroger sur les éventuels impacts de cette nouvelle application sur la charge mentale (surcharge ou sous-charge), ou encore sur l'apparition de nouvelles contraintes physiques liées aux interactions avec le robot ;
- prendre en compte l'environnement de la cellule robotique collaborative, ainsi que les interactions possibles avec les salariés d'autres postes ;
- s'assurer de prendre en compte les risques liés aux modifications de situations de travail. Il est possible de se référer aux brochures INRS ED 950 et ED 6161 pour avoir des illustrations des mesures organisationnelles qui peuvent être mises en œuvre.



Choix des mesures de prévention

La mise en œuvre en sécurité d'une cellule robotique collaborative repose sur l'utilisation de différentes mesures de prévention. Il peut s'agir de mesures de prévention classiquement utilisées sur les machines, telles que des protecteurs (fixes, mobiles ou réglables) ou des dispositifs de protection (scrutateur laser, barrière immatérielle...), mais également d'éléments de sécurité spécifiques à la robotique collaborative, comme les fonctions de limitation de puissance et de force (PFL), de surveillance et de limitation de zone, de limitation de vitesse... (*voir encadré 2 page suivante*).

Ces mesures de prévention techniques doivent être accompagnées de mesures organisationnelles afin de prendre en compte les risques liés aux modifications de situations de travail, que ce soit du point de vue de

Encadré 2

■ **La fonction PFL : un élément de sécurité pour les robots collaboratifs**

La fonction PFL, ou limitation de puissance et de force, est un des éléments de sécurité des robots collaboratifs. Elle permet, à la suite d'une collision entre le robot et un salarié, d'arrêter le mouvement du robot de manière sûre afin de limiter les effets du contact sur le salarié.

En quoi consiste la fonction PFL ?

Il existe plusieurs technologies pour réaliser la fonction PFL. La plus courante consiste à utiliser des capteurs de force positionnés sur le robot. Ces capteurs, positionnés sur les articulations ou sur la base du robot, mesurent la force appliquée par le robot lors d'une collision. Lorsque la force dépasse un seuil prédéfini, le robot s'arrête. Une autre approche consiste à mesurer le courant consommé par les moteurs du robot. Le courant augmente de manière significative lors d'une collision et commande un arrêt du robot.

Dans quels cas utiliser la fonction PFL ?

La fonction PFL est recommandée dans les applications qui nécessitent la collaboration entre le salarié et le robot et dans lesquelles le contact entre le robot et un salarié ou une tierce personne est probable.

Limites de la fonction PFL

La fonction PFL ne permet pas de couvrir tous les risques liés à la collaboration entre le salarié et le robot. Elle ne protège pas, par exemple, des risques de coupure ou de perforation causées par un outil acéré. De plus, la fonction PFL ne peut pas être utilisée dans les situations pour lesquelles le contact entre le robot et la tête ou une autre partie sensible du corps humain est probable.

l'environnement de travail ou de la réalisation de l'activité. Pour cela, il est essentiel de :

- privilégier la mise en place de mesures qui permettent d'éviter les contacts et garantissent un niveau de réduction de risque élevé lorsque cela est compatible avec la collaboration. Par exemple, lorsque l'accès à la zone de travail n'est nécessaire que par un seul côté, mettre en place des protecteurs fixes sur les autres côtés ;
- ne pas considérer la fonction PFL comme étant la seule mesure de prévention. Il est en effet possible d'utiliser d'autres mesures de prévention (protecteurs, dispositifs de protection...) ou de combiner plusieurs d'entre elles sur une installation ;

- prévoir des mesures de prévention autres que la fonction PFL :
 - lorsque des risques autres que l'écrasement et le choc (cisaillement, perforation...) sont identifiés. En effet, la fonction PFL ne permet de couvrir que ces deux risques,
 - lorsque des risques de contacts entre le robot et la partie haute du corps d'un salarié ont été identifiés ;
- envisager la mise en œuvre des différents moyens de prévention non pas de façon individuelle, mais de façon globale et itérative, les uns conditionnant la mise en œuvre des autres (par exemple, la mise en place d'une barrière immatérielle peut impliquer une réduction de la vitesse du robot).

Calcul des paramètres de la fonction PFL

La mise en œuvre de la fonction PFL nécessite de calculer la vitesse maximale admissible du robot. Elle est définie grâce au modèle théorique simplifié proposé dans la norme ISO/TS15066². Ce modèle prend en compte la partie du corps concernée, la surface de contact et les masses en mouvement (robot, outil et pièce). Pour ce calcul, il faut :

- considérer toujours la partie du corps la plus critique en fonction de la situation de travail. Il s'agit d'envisager la partie du corps dont la valeur seuil de force acceptable est la plus faible ;
- consulter la notice ou contacter le fabricant du robot pour obtenir les informations relatives à la masse effective du robot (définie dans l'ISO/TS 15066 comme étant la masse des éléments en mouvement du robot). En l'absence de celle-ci, la valeur de masse totale du robot sera utilisée.

2. Ce document sera intégré dans la norme ISO 10218-2, annexe M, dont la parution est prévue pour 2025.

Positionnement des dispositifs de protection

Il est nécessaire d'estimer la distance d'arrêt du robot pour positionner les dispositifs de protection tout en garantissant une distance de sécurité suffisante. Pour cela, il faut prendre en compte le type d'arrêt envisagé, la position dans laquelle se trouve le robot (extension du bras par rapport à sa base), la masse de la charge manipulée ainsi que la vitesse maximale du robot. Pour cette étape, il convient de :

- considérer les temps d'arrêt les plus longs pour le calcul des distances d'arrêt des robots. Ils sont communiqués par les fabricants au travers d'abaques, généralement donnés pour trois valeurs d'extension, de masse et de vitesse (33 %, 66 % et 100 %). Lorsque l'on se trouve entre deux valeurs de l'abaque, il faut considérer toujours le cas le plus défavorable (correspondant aux valeurs supérieures les plus proches de l'application robotique) ;
- prendre en compte la masse de la pièce et de l'outil pour estimer la valeur de masse de la charge manipulée ;
- s'assurer que la configuration de l'espace restreint est bien en adéquation avec le positionnement des protecteurs fixes de manière à exclure les éléments pouvant se trouver dans l'espace d'évolution maximale du robot (voir figure 2).

Arbitrage : Modifiez la conception du projet, voire renoncez à la robotique collaborative si les moyens de prévention ne permettent pas de réduire suffisamment les risques identifiés ou qu'aucune solution technologique (robot ou outil) ne permet la réalisation des tâches en sécurité.



Étape 4. Réalisation

La réalisation de la cellule robotique collaborative doit respecter les spécifications issues de la phase de conception détaillée, tout en garantissant la sécurité et la santé des salariés. Cette étape consiste, pour l'intégrateur, à réaliser une application répondant aux besoins de l'entreprise. Il doit être vigilant aux points suivants.

Paramétrage de l'outil

Il s'agit de renseigner, via l'interface de programmation du robot, les dimensions et la masse de l'outil utilisé conformément aux informations fournies par le fabricant en s'assurant de :

- prendre en compte les dimensions de l'outil lors de la configuration de la fonction de limitation de zone. Un paramétrage erroné peut conduire à ce que l'outil se retrouve à l'extérieur de cette zone et peut donc potentiellement générer des risques de contact ;
- prendre en compte la masse totale manipulée (outil, pièce...) lors de la configuration de la fonction de limitation de puissance et de force. Un paramétrage erroné peut conduire à des dépassements de valeur seuil de force ou à des arrêts intempestifs du robot. Il faut prévoir autant de configurations que de pièces manipulées différentes ;
- prévoir une configuration par outil. Si des changements d'outils sont envisagés en cours de production, différentes configurations doivent alors être créées.

Mise en œuvre des éléments de sécurité du robot

Certains fabricants proposent différents paramètres de sécurité pour limiter les effets du contact, parmi lesquels on trouve : la puissance, le moment, le travail, la vitesse, la force... L'effet de chacun de ces paramètres sur l'énergie transférée par le robot au salarié en cas de collision est variable. On note que les paramètres les plus déterminants sont la vitesse et la force. Il faudra donc opter pour les valeurs qui garantissent une transmission d'énergie la plus faible lors d'une collision et conserver ces paramètres une fois la validation de la fonction PFL réalisée.

Validation de la fonction PFL

Des mesures de force doivent être réalisées afin de s'assurer que les valeurs de force réelles restent inférieures aux seuils de force programmés (calculés à partir du modèle simplifié de l'ISO/TS 15066). Il convient de :

- réaliser les mesures de force sur l'installation finale. En cas de dépassement des valeurs seuils de force définies dans l'ISO/TS15066, des ajustements doivent être faits sur les vitesses programmées ;
- optimiser la surface de contact. Contrairement aux mesures de force réalisables aisément, les mesures de pression sont complexes à mettre en œuvre et difficilement interprétables. Il faut donc s'assurer que la surface de contact soit la plus importante possible afin de limiter la pression exercée sur le salarié. Pour cela, on peut par exemple adapter les trajectoires du robot de façon à maximiser cette surface.

Mesures organisationnelles

Afin d'assurer la sécurité des salariés amenés à évoluer dans l'environnement du robot, la mise en place de mesures organisationnelles est indispensable en complément des mesures techniques détaillées précédemment. Ces mesures comprennent de la formation, de l'information, de la familiarisation et des tests pour s'assurer que l'application est adaptée au salarié et au besoin industriel.

De son côté, l'utilisateur devra :

- informer les salariés sur les différentes zones de travail du robot, ainsi que sur les modalités d'accès à ces zones ;
- informer les salariés sur les trajectoires empruntées par le robot ;
- informer les salariés sur les risques de contact avec le robot dans le cadre de la mise en œuvre de la fonction PFL, mais également sur les risques liés au procédé (outils, produits manipulés par le robot...);
- former les salariés à leurs nouvelles tâches collaboratives ;
- informer toutes les personnes amenées à circuler dans l'environnement de la cellule robotique collaborative sur les règles de sécurité préalablement définies par l'entreprise ;
- envisager des phases de familiarisation progressive de façon à laisser le temps aux salariés d'élaborer leurs premiers repères ;
- intégrer des évaluations :
 - objectives (mesure du temps de cycle, évaluation des contraintes physiques des salariés travaillant avec le robot...),
 - subjectives par des questionnaires lors des tests (évaluation de l'acceptation, de la charge mentale ou encore du ressenti des salariés travaillant avec le robot, par exemple leurs appréhensions liées à leurs proximités avec le robot ou aux risques de contact...).

Les résultats de ces évaluations peuvent conduire à des ajustements de la cellule robotique collaborative (par exemple, des adaptations de la trajectoire, de la vitesse, de l'orientation de l'outil, ou encore des évolutions des mesures organisationnelles pour laisser davantage de temps à l'utilisateur pour effectuer son opération).



Étape 5. Suivi

Comme pour toute mise en œuvre de machine, un suivi est indispensable. Une fois la cellule robotique collaborative réalisée, il est nécessaire d'assurer son suivi tout au long de son cycle de vie afin de prendre en compte toute dérive de la situation de travail, que ce soit au niveau technique (assurer la maintenance de la cellule) ou au niveau organisationnel (s'assurer que les consignes soient encore comprises par les salariés et toujours en adéquation avec le procédé ou l'environnement de travail qui a pu évoluer, maintenir un niveau de compétence des salariés par la mise en place d'un programme de formation continu).



L'utilisateur devra :

- consulter le fabricant du robot avant toute mise à jour du *firmware* afin de s'assurer de l'intégrité logicielle de l'application (programme et configuration) avec cette nouvelle version. Pour certains robots, de fréquentes mises à jour sont en effet proposées et peuvent altérer l'exécution du programme du robot ;
- mettre en place un suivi afin de s'assurer de l'absence d'évolutions en termes de contraintes posturales et/ou mentales (dont le ressenti des salariés) tout au long du cycle de vie de la cellule robotique collaborative. Ces points doivent faire l'objet d'une attention particulière lors du suivi d'une cellule robotique collaborative et pourront amener à la mise à jour du document unique.



Conclusion

La collaboration entre le salarié et le robot soulève des questions spécifiques de santé et de sécurité au travail. La méthode décrite dans ce document permet à l'intégrateur et à l'utilisateur d'appréhender les questions posées par l'intégration d'une application robotique collaborative. Les points de vigilance proposés par ce document apportent en effet à l'intégrateur des éclairages mais ils soulèvent également des interrogations sur ses choix de conception. Celles-ci sont levées par la mise en place d'un dialogue permanent avec l'utilisateur tout au long de la démarche d'intégration. Les arbitrages issus de ce dialogue permettent d'anticiper les choix technologiques. Ces choix peuvent amener à recourir à des solutions autres que les robots collaboratifs dans le respect des principes généraux de prévention.

Toutes les publications de l'INRS sont téléchargeables sur ■
www.inrs.fr

Pour commander les publications de l'INRS au format papier ■

Les entreprises du régime général de la Sécurité sociale peuvent se procurer les publications de l'INRS à titre gratuit auprès des services prévention des Carsat/Cramif/CGSS. Retrouvez leurs coordonnées sur www.inrs.fr/reseau-am

L'INRS propose un service de commande en ligne pour les publications et affiches, payant au-delà de deux documents par commande.

Les entreprises hors régime général de la Sécurité sociale peuvent acheter directement les publications auprès de l'INRS en s'adressant au service diffusion par mail à service.diffusion@inrs.fr

Cette brochure, à destination des intégrateurs et des entreprises souhaitant se doter d'une application robotique collaborative, décrit la démarche d'intégration à mettre en œuvre à l'aide de repères méthodologiques. Pour chaque étape, elle présente plus spécifiquement les principaux points de vigilance en matière de prévention. La démarche décrite permet ainsi de réussir l'intégration d'une application robotique collaborative répondant aux besoins de l'entreprise.



Institut national de recherche et de sécurité
pour la prévention des accidents du travail
et des maladies professionnelles
65, boulevard Richard-Lenoir 75011 Paris
Tél. 01 40 44 30 00 • info@inrs.fr

Édition INRS ED 6540

1^{re} édition | novembre 2024 | 1 000 ex. | ISBN 978-2-7389-2939-6

L'INRS est financé par la Sécurité sociale
Assurance maladie / Risques professionnels

www.inrs.fr

