

Guide de prévention à destination des fabricants et des utilisateurs

Pour la mise en œuvre des applications collaboratives robotisées

Edition 2017



Préface

La robotique industrielle se développe à travers des applications nouvelles et variées. Parmi celles-ci, certaines applications robotisées collaboratives ont pour objet et effet de faire travailler l'homme et le robot à des tâches complémentaires dans un espace de travail partagé. Elles constituent un modèle de production en devenir, porteur d'amélioration des conditions de travail, de flexibilité de l'appareil productif et de qualité des produits mais également de risques qu'il y a lieu d'évaluer de manière la plus concise et selon une méthode partagée.

Dans ces nouvelles situations de travail dont les contours sont variés, l'interaction de l'opérateur et du robot nécessite une analyse approfondie, afin de définir et mettre en place les mesures de prévention adaptées. D'un point de vue juridique, cette analyse s'inscrit dans le cadre de la directive 2006-42-CE relative aux machines, opérante pour couvrir les applications collaboratives robotisées. Cette directive permet en effet de traiter le risque mécanique sous l'angle d'une suppression du contact ou d'une réduction des risques liés à ce dernier.

Destiné aux fabricants, aux utilisateurs et à tous les acteurs de la prévention, le présent guide de prévention a pour but de les accompagner dans la réalisation et l'installation des applications collaboratives robotisées.

Après une présentation du cadre général de mise en œuvre, ce guide aborde de manière plus spécifique, la démarche de prévention applicable, en s'appuyant sur un exemple concret d'application industrielle.

Ce document a été élaboré par le ministère du travail avec l'appui de l'institut national de recherche et de sécurité, dans le cadre d'un groupe de travail mandaté par la commission spécialisée « équipements et lieux de travail » du conseil d'orientation des conditions de travail. Il est le résultat d'une fructueuse collaboration avec les experts issus de l'industrie (constructeurs de robots, intégrateurs, centres techniques, organisations professionnelles), des entreprises utilisatrices, des organismes d'inspection, de normalisation et le concours d'Eurogip et de la Direccte Grand-Est.

Dans ce domaine émergent et innovant, il représente une première étape de la réflexion et de l'action de prévention. Je vous invite à le parcourir et à le faire connaître auprès des fabricants, des utilisateurs et des organismes de prévention, afin de permettre sa diffusion rapide et ainsi de faciliter les échanges entre professionnels, au sein des entreprises, des instances de travail et de coopération nationales et européennes afin que soient mis en œuvre de manière opérationnelle les principes généraux de prévention qui constituent notre « doctrine commune ».

Le directeur général du travail

Yves Struillou

Table des matières

Lexique	6
Préambule	7
1. Introduction	8
1.1- Généralités sur les nouvelles technologies robotisées	8
1.2 - Cadre de l'étude	9
2. Démarche d'intégration	9
2.1 - Présentation de la démarche d'intégration proposée par les normes	9
2.2 - Les <i>éléments de sécurité</i> liés à la mise en œuvre d'une application collaborative robotisée	12
2.3 - Articulation des <i>éléments de sécurité</i>	16
3. Démarche de prévention pour la conception d'une application collaborative robotisée	16
3.1 - Aspects généraux et objectifs réglementaires	16
a - Champ d'application	16
b - L'Analyse des risques	17
3.2 - Choix des <i>éléments de sécurité</i> appropriés pour une application collaborative robotisée	20
a - Identification d'une application collaborative robotisée	20
b - Identification des phénomènes dangereux du système robot	20
c - Identification des situations dangereuses	21
d - Détermination des mesures de prévention adaptées aux risques	21
e - L'utilisation de l' <i>élément de sécurité</i> n°4 dans une application collaborative robotisée	22
3.3 - Points de vigilance sur la mise en œuvre des <i>éléments de sécurité</i>	23
4. Exploitation et maintenance	24
4.1 - la gestion des applications collaboratives robotisées dans l'entreprise : les obligations de l'employeur	24
4.2 - les reconfigurations prévues à la conception	25
4.3 - les modifications des systèmes robotisés	26
5 - Présentation d'une application collaborative robotisée	27
5.1 - Cadre de l'exemple	27
5.2 - Identification de l'application collaborative robotisée	27
5.3 - Identification des phénomènes dangereux du système robot	30
5.4 - Détermination des mesures de prévention adaptées aux risques	31
Annexe I - Responsabilité juridique des acteurs économiques	33
AI.1 - Obligations réglementaires du fabricant du robot	35
AI.2 - Obligations réglementaires de l'intégrateur du système robot	37
AI.3 - Obligations réglementaires de l'employeur	38
Annexe II – Informations d'utilisation à transmettre entre les différents acteurs économiques	39
Bibliographie	50

Lexique

Employeur : Au sens du présent guide de prévention, toute personne qui emploie un travailleur utilisant un système robotisé et répond du respect des obligations énoncées par la réglementation relative à l'utilisation des équipements de travail. Dans ce document, le terme « employeur » désigne l'utilisateur des systèmes robotisés.

Nota : les responsabilités légales de l'employeur sont détaillées en annexe 1.

Fabricant : personne qui conçoit, fabrique une machine ou quasi machine à l'état neuf à laquelle la directive 2006/42/CE relative aux machines s'applique et qui est responsable de sa conformité en vue de sa mise sur le marché en son nom ou sous sa marque propre, ou pour son propre usage.

Nota : les responsabilités légales du fabricant sont détaillées en annexe 1.

Intégrateur : Au sens du présent guide de prévention, toute personne qui conçoit, fabrique ou assemble des systèmes robotisés pour un utilisateur. Il assume généralement le statut juridique de fabricant au sens défini précédemment.

Nota : les responsabilités légales de l'intégrateur sont détaillées en annexe 1.

Système collaboratif robotisé : système comprenant un ou plusieurs robots industriels, un ou plusieurs terminaux, et tous les mécanismes, équipements, composants et capteurs nécessaires au robot dans l'exécution de sa tâche dans un espace de travail collaboratif (d'après le 2.15 NF ISO 8373 : septembre 2012)

Espace de travail collaboratif : au sens du présent guide de prévention, il s'agit d'un espace de travail partagé dans lequel le robot et le travailleur effectuent des tâches complémentaires, en intervenant sur une même pièce, soit de manière simultanée, en collaboration directe, soit de manière alternée, en collaboration indirecte.

Nota : la norme NF EN ISO 10218-2 : 2011 parle d'interaction directe ; dans le cadre du présent guide, il est considéré que la gestion et le traitement du risque sont identiques pour les formes de collaboration directe et indirecte. Dans la suite du guide, il sera donc employé l'expression « application collaborative robotisée », celle-ci recouvrant indifféremment les notions de collaboration directe et indirecte. Ces deux notions sont explicitées en introduction.

Application collaborative robotisée : au sens du présent guide de prévention, l'application collaborative robotisée suppose une interaction homme-robot dans un espace de travail collaboratif en collaboration directe ou indirecte.

Nota : Elle est à distinguer de situations de travail qui consistent à faire coexister l'homme et le robot apte à la collaboration, l'un et l'autre travaillant à des tâches autonomes dans un atelier, un process industriel ou une chaîne de production.

« Élément de sécurité » : modèle de sécurité obtenu par la mise en œuvre d'une fonction ou la combinaison de différentes fonctions de sécurité programmées de façon déterminée.

Le point 5.10 de la norme NF EN ISO 10218-1 : 2011 mentionne quatre « éléments de sécurité » utilisables comme mesures de prévention.

Préambule

Une application collaborative robotisée recouvre des situations de travail variées dans lesquelles l'homme et la machine réalisent des tâches complémentaires, dans un espace de travail partagé désigné par le terme d'espace de travail collaboratif.

Les évolutions industrielles nécessitent de plus en plus de complémentarité entre les tâches de l'homme et celles du robot et de flexibilité dans les processus de fabrication : la mobilité et la diversité fonctionnelle des équipements de travail sont des éléments importants dans le développement de nouveaux modes de production.

L'introduction d'une application collaborative robotisée au sein d'un atelier répond à différents besoins tels que l'accroissement de la performance industrielle, l'amélioration de la qualité et des conditions de travail. Face à ces besoins, les évolutions technologiques ont permis de développer des solutions techniques qui facilitent l'intervention du robot à proximité de l'homme, par exemple à l'aide de robots de faible charge avec de faibles amplitudes de déplacement.

Des normes internationales (NF EN ISO 10218-1 et 2 : 2011) ont été élaborées dans le but d'aider respectivement les fabricants de robots et les intégrateurs de systèmes robotisés à atteindre les objectifs de sécurité fixés par la réglementation, notamment, à respecter les exigences essentielles de santé et de sécurité énoncées dans la directive « Machines » 2006/42/CE du 17 mai 2006. En complément de ces normes, une spécification technique référencée ISO/TS 15066 : 2016 dédiée aux applications collaboratives robotisées a été rédigée. Celle-ci vise à préciser les principes de sécurité à appliquer aux modes de fonctionnement collaboratif et à accompagner l'analyse de risques qui doit être mise en œuvre pendant la phase d'étude et de réalisation du projet d'intégration.

L'objectif de ce guide de prévention est en premier lieu de présenter le cadre général de la mise en œuvre d'une application collaborative robotisée, de façon à mettre en évidence ses principales caractéristiques de fonctionnement et de sécurité. En deuxième lieu, il a pour objet, d'aborder de manière plus spécifique la démarche de prévention d'une application collaborative robotisée en s'appuyant sur un exemple concret de réalisation industrielle. Pour mener cette réflexion, un groupe de travail constitué d'experts issus de l'industrie (constructeurs de robots, intégrateurs, centres techniques, organisations professionnelles), d'entreprises utilisatrices, des organismes d'inspection, de normalisation et de l'INRS a été mis en place sous l'égide de la Direction générale du travail.

1. Introduction

1.1- Généralités sur les nouvelles technologies robotisées

La collaboration homme-robot peut varier selon les configurations de travail et le degré d'interaction entre l'opérateur et la machine. Elle peut prendre la forme d'une simple coexistence de l'homme avec le robot dans un process global, mettre en œuvre des modes opératoires dans lesquels l'homme et le robot interviennent de manière complémentaire et interdépendante en vue de la réalisation des différentes étapes de production, ou mettre en œuvre diverses formes d'assistance à l'opérateur. Ceci a pour conséquence majeure que l'Homme et le robot peuvent dans certains cas partager un même espace de travail en interagissant selon les besoins identifiés au poste de travail.

Voici illustrées différentes situations de travail mettant en œuvre différents degrés d'interactivité entre l'opérateur et la machine :

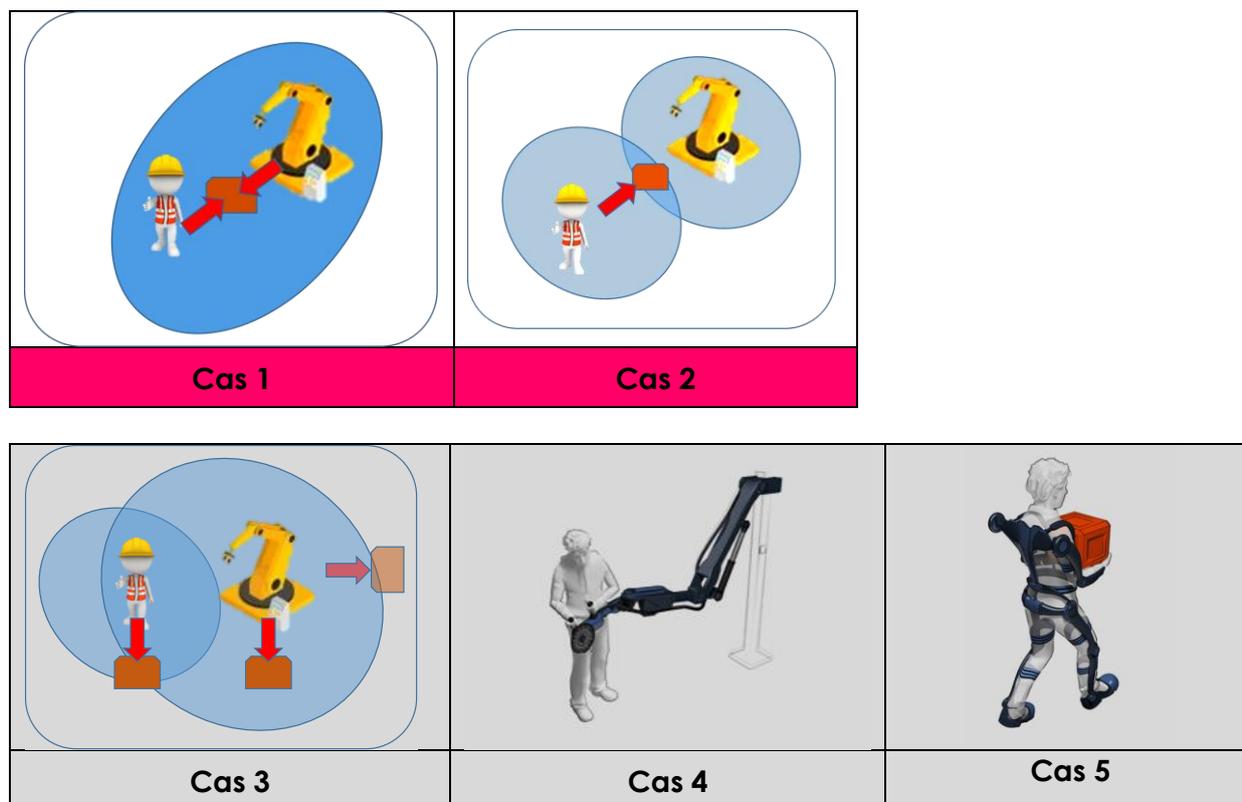
Cas 1 : Travail sur une même pièce, actions simultanées (collaboration directe)

Cas 2 : Travail sur une même pièce, actions alternées (collaboration indirecte)

Cas 3 : Travail autonome sur des pièces différentes (coexistence homme-robot)

Cas 4 : Assistance physique / au geste / à la manipulation, systèmes robotisés d'assistance physique guidés par l'opérateur

Cas 5 : Assistance physique / au geste / à la manipulation, systèmes d'assistance physique fixés à l'opérateur



Ces différentes situations de travail ne sont pas exclusives entre elles. Selon le besoin de l'utilisateur, le système robotisé peut être conçu de manière à pouvoir mettre en œuvre plusieurs de ces modes de fonctionnement.

1.2 - Cadre de l'étude

Le présent guide couvre spécifiquement les cas de la collaboration directe et indirecte qui sont représentés de manière très simplifiée par le cas 1 et le cas 2 illustrés ci-dessus.

Le guide ne traite pas les situations de travail de coexistence (illustrées de manière simplifiée par le cas 3), c'est-à-dire une situation où l'opérateur et le robot peuvent accomplir des tâches indépendantes à proximité l'un de l'autre sans interaction nécessaire durant la réalisation du cycle normal de travail. Les recommandations édictées dans ce guide peuvent être cependant utiles pour la conception et la mise en œuvre de ces situations de travail en coexistence. Selon les résultats de l'évaluation des risques, elles devront être complétées par des mesures de prévention adaptées.

Il ne traite pas non plus des systèmes non autonomes comme les systèmes robotisés d'assistance physique guidés par l'opérateur (illustrés de manière simplifiée par le cas 4), ainsi que ceux fixés à l'opérateur (illustrés de manière simplifiée par le cas 5). Des documents complémentaires pourront être édités ultérieurement sur ces cas spécifiques.

2. Démarche d'intégration

2.1 - Présentation de la démarche d'intégration proposée par les normes¹

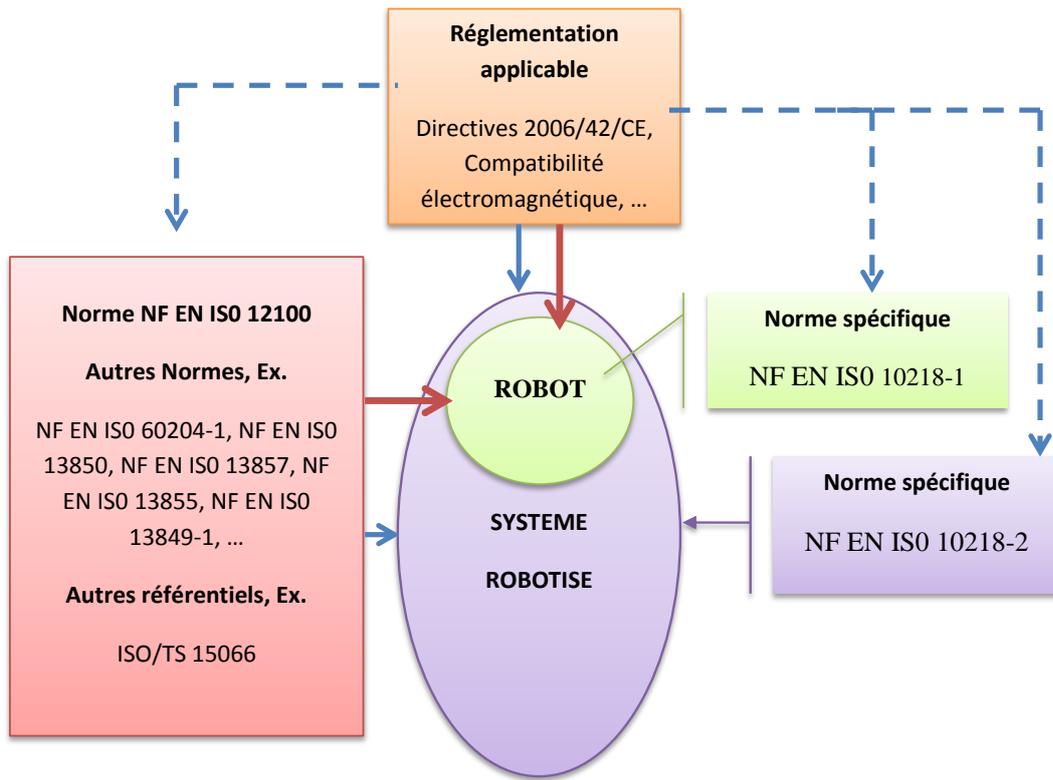
Dans le cadre de la « nouvelle approche » communautaire, les normes harmonisées NF EN ISO 10218-1 et 2 : 2011 ont été élaborées de manière à aider les fabricants dans leur démarche d'évaluation des risques et d'évaluation de la conformité de leurs produits avec les exigences essentielles de l'annexe I de la directive « Machines ». La première norme traite du robot nu (sans outil), la seconde de son intégration dans un système robotisé.

Le schéma ci-dessous cite des exemples de normes utilisables de manière complémentaire pour la réalisation d'un système robotisé. Il rappelle que la réalisation d'un système robotisé, quel qu'il soit, commence par une analyse des risques conformément aux principes généraux de prévention énoncés dans l'annexe I de la directive « Machines ». Plus globalement, la démarche de prévention repose sur l'analyse de la situation de travail, en prenant en compte, les gestes opératoires, les tâches à réaliser, l'environnement du poste de travail et les contraintes liées au travail ainsi que les objectifs attendus par l'employeur; elle requiert la participation de l'employeur dans la détermination de ses besoins de production et la définition des modes opératoires qu'il souhaite mettre en place ou faire évoluer.

¹ Pour rappel, les normes harmonisées décrivent de manière générale des solutions techniques permettant au produit d'atteindre les objectifs de sécurité fixés dans la réglementation. L'application des normes est par principe d'application volontaire conformément au décret du 16 juin 2009 relatif à la normalisation (article 17).

Voir le guide relatif au bon usage de la normalisation dans la réglementation édité par la Direction Générale des Entreprises 2^{ème} édition juin 2016 :

<http://www.entreprises.gouv.fr/files/files/guides/guide-pratique-du-bon-usage-de-la-normalisation-dans-la-reglementation.pdf>



Les références des normes citées dans ce graphique sont mentionnées en bibliographie

Application de la norme NF EN ISO 10218-1 : 2011 concernant les robots « quasi-machine »

Application de la NF EN ISO 12100 pour identifier les phénomènes dangereux et évaluer les risques (Article 4 de la NF EN ISO 10218-1)

Application de la méthode des 3 étapes pour réduire les risques identifiés (Article 5.1 de la NF EN ISO 10218-1) et intégration d'éléments de sécurité pour réduire les risques* (Articles 5.2 à 5.15 de la NF EN ISO 10218-1)

Rédaction des informations d'utilisation** (Article 7 de la NF EN ISO 10218-1)

*Certains sont paramétrables par l'intégrateur pour s'adapter à l'application

**Le fabricant de robots doit fournir un certificat d'incorporation pour les quasi-machines pour toutes les directives

Application de la NF EN ISO 10218-2 pour réaliser un système robotisé intégrant un robot conforme à la NF EN ISO 10218-1

Application de la NF EN ISO 12100 pour identifier les phénomènes dangereux et évaluer les risques (Article 4.3 et 4.4 de la NF EN ISO 10218-2)

Application de la méthode des 3 étapes (voir p.1) pour réduire les risques identifiés (Article 4.5 de la NF EN ISO 10218-2) et intégration de mesures techniques pour réduire les risques (Article 5 de la NF EN ISO 10218-2)

Rédaction des informations d'utilisation (Article 7 de la NF EN ISO 10218-2)

Les références des normes citées dans ce graphique sont mentionnées en bibliographie

2.2 - Les éléments de sécurité liés à la mise en œuvre d'une application collaborative robotisée

Pour une meilleure compréhension, il convient de préciser tout d'abord que le terme *élément de sécurité* est une mesure de prévention utilisée dans les normes NF EN ISO 10218-2 : 2011 et applicables aux applications collaboratives robotisées. Ce terme doit être compris comme une mesure de prévention au sens de la norme NF EN ISO 12100 : 2010.

La nature et les caractéristiques de sécurité du fonctionnement collaboratif du système robotisé dépendent étroitement des besoins exprimés par l'employeur. Elles sont donc déterminées par une analyse précise des objectifs industriels, de la situation de travail et de son environnement. Il est donc très important de bien formuler les besoins de l'employeur dans le cahier des charges y compris sous l'angle de la sécurité au travail.

Les caractéristiques des *éléments de sécurité* varient selon le niveau d'interactivité nécessaire entre l'homme et le robot. Ces différents *éléments de sécurité* sont mentionnés dans la norme NF EN ISO 10218-2 aux articles 5.11.5.2 à 5.11.5.5.

Dans le cas de certains robots, pour pouvoir disposer de ces « éléments de sécurité », il faut que l'intégrateur utilise des composants optionnels disponibles auprès des fabricants (par exemple, des cartes électroniques).

Certains des *éléments de sécurité* énumérés dans la norme sont réalisés par association d'une fonction standard (au sens où cette fonction n'est pas une fonction de sécurité) avec une fonction de sécurité de surveillance, ce qui nécessite de bien assimiler leur comportement possible en cas de dysfonctionnement.

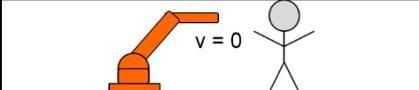
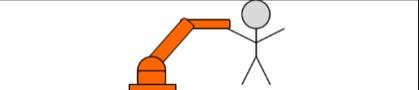
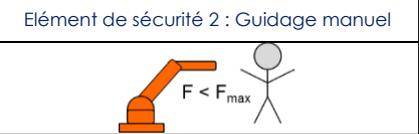
Autrement dit, la conjugaison de plusieurs fonctions de sécurité permet de générer un *élément de sécurité* déterminé tel que cela est décrit dans la norme NF EN ISO 10218-2 : 2011.

Selon les besoins de l'application et l'analyse de risques, différents *éléments de sécurité* peuvent être actifs selon le mode de fonctionnement du robot ou du cycle.

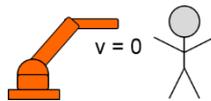
Il convient d'insister sur l'importance de la vigilance de l'intégrateur concernant la nature des informations techniques fournies par le fabricant de robots. Par exemple, une fonction de maintien à l'arrêt contrôlé nominal de sécurité d'éléments mobiles du robot est constituée d'une fonction standard (hors fonction de sécurité – fonction fonctionnelle) qui maintient l'énergie sur un moteur (par régulation « électronique »), associée à une fonction de sécurité. Cette dernière est chargée de réaliser automatiquement un arrêt sûr, de manière à maîtriser le risque causé par une défaillance matérielle ou un défaut d'énergie, affectant la fonction standard et provoquant un mouvement intempestif potentiellement dangereux.

Autre exemple, la limitation de la vitesse des mouvements est une fonction de sécurité si elle est associée à une fonction de surveillance qui supprime le risque lors de la détection du dépassement d'un seuil de vitesse estimé dangereux.

Quatre types de mesures de prévention ou *éléments de sécurité* peuvent être implémentés par l'intégrateur.

	
Elément de sécurité 1 : Arrêt contrôlé nominal de sécurité	Elément de sécurité 2 : Guidage manuel
	
Elément de sécurité 3 : Surveillance de la vitesse et de la séparation	Elément de sécurité 4 : Limitation de la puissance et de la force par conception ou par commande

N°1 Arrêt contrôlé nominal de sécurité



Définition de la norme § 5.11.5.2 :

« S'il n'y a aucune personne dans l'espace de travail coopératif, le robot fonctionne de façon autonome. Si une personne entre dans l'espace de travail coopératif, le robot doit arrêter son mouvement et maintenir un arrêt contrôlé nominal de sécurité conforme à la norme NF EN ISO 10218-1 pour permettre l'interaction directe d'un opérateur et du robot (par exemple chargement d'une pièce sur le terminal). »

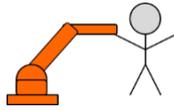
Selon ce principe de prévention énoncé dans la norme, lors de son fonctionnement normal, lorsqu'une personne pénètre de façon volontaire ou accidentelle dans l'espace de travail collaboratif, le robot doit arrêter son mouvement et maintenir un arrêt contrôlé nominal de sécurité. En vue de l'application de ce principe, Il convient que le fabricant du robot fournisse les distances d'arrêt correspondantes aux capacités maximales. L'intégrateur doit de son côté vérifier l'adéquation des distances d'arrêt mises en œuvre avec les besoins de son application.

Cette mesure de prévention repose sur les fonctions de sécurité suivantes :

- la détection de personne au sein de l'espace de travail collaboratif à l'aide de détecteurs de sécurité (scanners, barrières immatérielles, tapis sensible, caméras, ouverture d'une enceinte grillagée, etc..) reliés à l'armoire de commande.
- l'arrêt des mouvements du robot via un arrêt de catégorie 0, 1 ou 2. Dans ce dernier cas, le robot est à l'arrêt mais reste sous énergie lorsque l'opérateur travaille au sein de l'espace de travail collaboratif. Dans ce cas, le robot peut redémarrer rapidement et éventuellement sans intervention humaine lorsque l'opérateur est sorti de l'espace de travail collaboratif et se trouve dans une zone de travail sans risque de contact.
- l'arrêt de catégorie 0 (énergie coupée) en cas de défaillance de la fonction d'arrêt ou de redémarrage intempestif.

Des mesures de prévention complémentaires peuvent être également mises en œuvre dans cette configuration de travail comme par exemple la limitation du volume d'évolution du robot par butées logicielles d'espaces (volume cartésien accessible au robot) et d'axes (limitation logicielle de l'axe), la limitation sécurisée de la vitesse du robot afin de permettre à l'opérateur d'éviter le robot, de garantir des temps d'arrêt et des distances d'arrêt compatibles avec la mise en œuvre des dispositifs de protection.

N°2 Guidage manuel



Définition de la norme § 5.11.5.3 :

« Le fonctionnement guidé manuellement doit être autorisé sous réserve des exigences suivantes:

- a) quand le robot atteint la position de guidage manuel, un arrêt contrôlé nominal de sécurité conforme à la norme NF EN ISO 10218-1;
- b) l'opérateur doit avoir un dispositif de guidage qui répond aux exigences de l'ISO 10218-1 pour déplacer le robot à la position prévue;
- c) l'opérateur doit avoir la visibilité claire de tout l'espace de travail coopératif;
- d) quand l'opérateur lâche le dispositif de guidage, un arrêt contrôlé nominal de sécurité conforme à la norme NF EN ISO 10218-1. »

Selon ce principe de prévention, l'opérateur dirige les mouvements du robot, en vitesse limitée, à l'aide d'un dispositif de commande à action maintenue. Ce type de guidage manuel en phase de production est une aide à la manutention qui ne doit pas être confondue avec le guidage manuel en phase d'apprentissage du robot, afin qu'il mémorise les trajectoires utiles au mode opératoire.

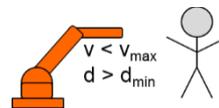
Il s'agit d'un mode de fonctionnement fréquemment utilisé pour la mise en œuvre des systèmes robotisés d'assistance physique. Ceux-ci peuvent par exemple aider l'opérateur à accomplir sa tâche en guidant ses mouvements, en démultipliant l'effort exercé, ou en compensant le poids d'un objet ou d'un outil.

Cette mesure de prévention n°2 repose sur les fonctions de sécurité suivantes :

- une vitesse limitée : celle-ci est déterminée selon l'évaluation des risques.
- un équipement de guidage qui comporte, outre la commande maintenue à proximité de l'outil du robot sur l'axe terminal, un arrêt d'urgence.

Des mesures de prévention complémentaires peuvent être également mises en œuvre dans cette configuration de travail comme par exemple la limitation de l'espace d'évolution et des trajectoires des axes du robot (orientation, trajectoires contrôlées et mouvements limités) et la surveillance des trajectoires / mouvements.

N°3 Surveillance de la vitesse et de la séparation



Définition de la norme § 5.11.5.4 :

« Les systèmes robots conçus pour maintenir une séparation de sécurité entre l'opérateur et le robot d'une façon dynamique doivent utiliser des robots conformes aux exigences de la norme NF EN ISO 10218-1. La vitesse du robot, la séparation de sécurité minimale et les autres paramètres doivent être déterminés par l'évaluation des risques. »

Selon ce principe de prévention, la combinaison d'une régulation dynamique de la vitesse et de la position du robot assure la distance de sécurité entre l'opérateur et le robot.

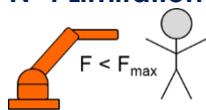
Il convient de noter que selon les niveaux de performance de cette mesure N°3 et le besoin de sécurité de l'application (hypothèse de déplacement de l'opérateur, vitesses...), elle peut être associée à d'autres mesures de sécurité adaptées et décrites dans le présent document.

Cette mesure de prévention repose sur les fonctions de sécurité suivantes :

- une vitesse de fonctionnement du robot régulée selon les déplacements et le rapprochement de l'opérateur ; elle est déterminée sur la base des résultats de l'analyse des risques.
- une détection de la présence de l'opérateur, avec un suivi des mouvements du robot.

Le robot doit maintenir une combinaison vitesse / distance prédéfinie. Au-delà des valeurs préconisées par l'analyse des risques, un arrêt de protection (catégorie 0 ou 1) est déclenché (en cas de proximité présentant un risque pour l'opérateur).

N°4 Limitation de la puissance et de la force par conception ou par commande



Définition de la norme § 5.11.5.5 :

« Les systèmes robots conçus pour contrôler des phénomènes dangereux par la limitation de puissance et de force doivent utiliser les robots conformes à la norme NF EN ISO 10218-1.

Les paramètres de puissance, de force et d'ergonomie doivent être déterminés par l'évaluation des risques ».

Ce principe de prévention repose sur la suppression ou la réduction des risques par la limitation de puissance et de force du robot. Ce quatrième *élément de sécurité* est particulièrement adapté à la mise place de procédés de travail qui nécessitent une collaboration directe ou indirecte entre l'opérateur et le robot et pour lesquels les *éléments de sécurité* présentés plus haut – seuls ou en combinaisons- ne sont pas adaptés. Dans ce cas de figure en effet l'opérateur est amené à travailler en situation normale de travail à proximité du robot, et le cas échéant, à être en contact avec celui-ci, que ce contact soit prévu par le mode opératoire ou prévisible dans le cadre d'une collaboration directe ou indirecte.

Cette mesure de prévention N°4 repose sur les fonctions de sécurité suivantes:

- Détermination et limitation de la puissance, des efforts, du couple sur la base de l'évaluation des risques. Ces limitations sont intégrées au système robotisé de manière à supprimer les risques en cas de contact de l'opérateur avec les parties mobiles du robot (risque de heurt, de choc, d'écrasement avec les différents axes du robot en mouvement). Ces contacts, s'ils se produisent, ne doivent pas être répétés, ne doivent pas être dangereux pour la santé et la sécurité, et, désagréables ou contraignants pour l'opérateur.
- La surveillance des paramètres définis et par la mise en place d'une commande d'arrêt de catégorie 0 en cas de dépassement des limites.

Des mesures de prévention complémentaires peuvent être également nécessaires dans cette configuration de travail comme par exemple :

- la limitation de la vitesse du robot pour garantir les limites (de puissance et d'efforts) attendues.
- des mesures de prévention liées au *design* de la machine comme par exemple (liste non exhaustive) :

- parties en mouvement du robot allégées ;
- suppression des parties saillantes ;
- suppression des zones de pincement et d'écrasement ;
- groupe moto réducteur de chaque axe réversible par la force humaine ;
- faisceaux air et signaux intégrés dans les bras du robot ;
- autres mesures
- ...

Dans tous les cas, l'outil périphérique doit être considéré dans l'analyse des risques.

2.3 - Articulation des éléments de sécurité

Les différents *éléments de sécurité* définis dans la norme NF EN ISO 10218-1 : 2011 ne sont pas exclusifs les uns par rapport aux autres. Les différents fabricants de robots proposent des fonctionnalités qui permettent de mettre en œuvre un ou plusieurs de ces « éléments de sécurité ».

Certains robots présentent déjà ces *éléments de sécurité* (intégrés ou disponibles en options externes) de manière à s'adapter de façon spécifique à des configurations de travail collaboratives flexibles et pour réaliser des tâches variées en interaction étroite avec l'homme avec possibilité de contact prévisible. A ce titre, ils sont conçus et fabriqués en intégrant directement certaines fonctions qui permettent notamment de mettre en œuvre *l'élément de sécurité N°4*.

Plus globalement, c'est l'analyse de risque qui permet de déterminer les éléments de sécurité qui sont mis en œuvre en tenant compte des limites de ces derniers. Il revient à l'intégrateur de choisir et de combiner ces *éléments de sécurité* entre eux mais également d'utiliser si nécessaire d'autres moyens annexes au produit robot seul pour parvenir au niveau de sécurité requis par son application.

L'intégrateur réalise également le réglage des paramètres pour la mise en œuvre des *fonctions de sécurité*, en particulier en définissant les limitations de vitesse et/ou d'effort. Il prend en compte l'ensemble des paramètres pertinents (position du robot, signal de détection extérieur, etc.) pour la détermination des valeurs et seuils de ces limitations.

3. Démarche de prévention pour la conception d'une application collaborative robotisée

3.1 - Aspects généraux et objectifs réglementaires

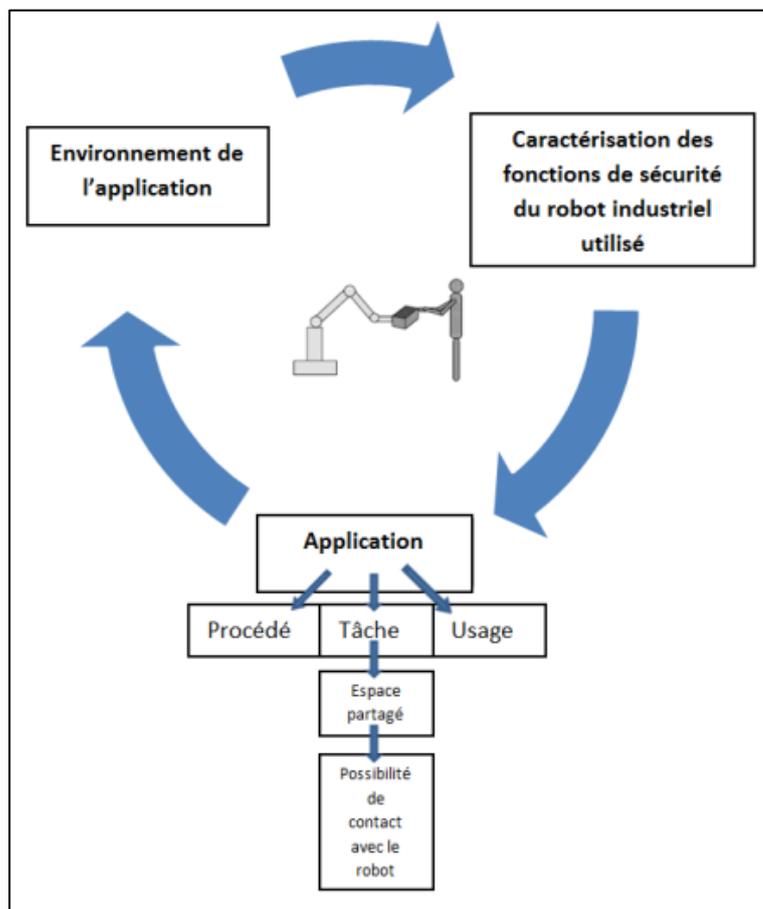
a - Champ d'application

Pour rappel, au sens du présent guide, les applications collaboratives robotisées reposent sur le travail complémentaire d'un opérateur et d'un robot dans un espace de travail commun, appelé espace de travail collaboratif. En collaboration directe, l'opérateur et le robot interviennent simultanément sur une même pièce dans l'espace de travail collaboratif pour effectuer une tâche commune et peuvent être amenés à entrer en contact en usage normal. En collaboration indirecte, l'opérateur et le robot accomplissent des tâches sur une même pièce mais par actions alternées, en intervenant par exemple l'un après l'autre dans l'espace de travail collaboratif.

Ces 2 formes de collaboration sont traitées dans une démarche de prévention similaire qui est exposée dans la présente partie.

Les applications dans lesquelles l'opérateur et le robot accomplissent des tâches séparées, à proximité l'un de l'autre, sans interaction nécessaire, ne sont pas traitées dans le présent guide de prévention.

b - L'Analyse des risques



L'analyse des risques est menée par l'intégrateur et requiert la collaboration de l'employeur.

La directive 2006/42/CE relative à la conception des machines transposée en droit français aux articles R. 4311-4 et suivants, R. 4312-1 et suivants ainsi que R. 4313-1 et suivants, prévoit une obligation d'évaluation des risques par les fabricants. Le principe est énoncé au considérant 23 de la directive, puis il est précisé dans les principes généraux de l'annexe I. Selon ces dispositions réglementaires, l'analyse des risques a pour but de déterminer les exigences essentielles de santé et de sécurité (EES) qui sont applicables au regard des phénomènes dangereux identifiés par le fabricant lors de la conception d'une machine. Selon cette logique, l'analyse des risques est indissociable de l'évaluation de la conformité qui doit être effectuée par le fabricant selon l'une des procédures prévues à l'article 12.

Cette démarche d'analyse des risques est présentée comme un processus itératif comprenant plusieurs étapes :

Directive 2006/42/CE - Annexe I, point 1 des principes généraux

- détermine les limites de la machine, comprenant son usage normal et tout mauvais usage raisonnablement prévisible,

- recense les dangers pouvant découler de la machine et les situations dangereuses associées,
- estime les risques, compte tenu de la gravité d'une éventuelle blessure ou atteinte à la santé et de leur probabilité,
- évalue les risques, en vue de déterminer si une réduction des risques est nécessaire, conformément à l'objectif de la présente directive,
- élimine les dangers ou réduit les risques associés à ces dangers en appliquant des mesures de protection, selon l'ordre de priorité établi au point 1.1.2 b).

La démarche de prévention repose également sur la mise en place d'une synergie entre l'analyse des risques de l'intégrateur et l'analyse des risques menée plus globalement par l'employeur conformément aux articles L. 4121-2 et 3 du code du travail. Selon les principes généraux de prévention énoncés dans ces articles, l'employeur, compte tenu de la nature de ses activités, évalue les risques pour la santé et la sécurité des travailleurs, y compris dans le choix des procédés de fabrication et des équipements de travail. Il doit adapter le travail à l'homme en ce qui concerne la conception des postes de travail, le choix des équipements et des méthodes de travail. De même, il doit planifier la prévention en y intégrant, dans un ensemble cohérent, la technique, l'organisation du travail et les conditions de travail.

La mise en œuvre par l'employeur de ses obligations lui permet d'instaurer un dialogue riche avec l'intégrateur : l'employeur est en mesure de lui apporter toutes les informations utiles pour l'étude de ses besoins, pour l'analyse du poste de travail envisagé et de son environnement, en vue des choix technologiques adéquats. En effet, il convient, dans une démarche de prévention pour la conception d'une application collaborative robotisée, de tenir compte des risques liés au fonctionnement de la machine mais aussi des risques liés au poste de travail et à l'environnement du poste de travail. Ainsi on distingue :

- les risques liés au fonctionnement, à titre d'exemple :
 - en marche normale, l'apparition de surchauffe, d'origine électrique ou mécanique, la modification d'une trajectoire, l'augmentation de la vitesse des éléments mobiles, ou le lâcher de charge manipulée ...
 - en cas de défaillance matérielle et/ ou logicielle, une perte de contrôle ou le fonctionnement erratique des éléments mobiles, le dysfonctionnement fugitif rendant possible l'exécution de séquences interdites...
- les risques liés au poste de travail, comme par exemple :
 - les atteintes à la sécurité des personnes comme, le contact physique avec les éléments mobiles entraînant des lésions, le risque de brûlure, d'écrasement, de projection, d'électrisation...
 - les nuisances altérant la santé comme le travail cadencé, le bruit, la production de substances toxiques, l'éblouissement...
- les risques liés à l'environnement du poste de travail, comme par exemple :
 - les conditions d'installation telles que les interférences, les obstacles liés aux locaux de travail, la coactivité avec d'autres machines, la circulation des personnes et des équipements mobiles...

L'estimation des risques consiste à déterminer les facteurs de gravité pour la santé et la sécurité des personnes. Elle permet de réaliser une évaluation des risques et

le cas échéant de déterminer le niveau de performance de sécurité requis pour le choix des dispositifs de sécurité et des mesures de prévention.

La norme harmonisée NF EN ISO 12100 : 2010 est une référence utile pour la mise en œuvre des principes de préventions énoncées ci-dessus. Elle propose une méthodologie d'analyse des risques basée sur la prise en compte des phénomènes dangereux, des interventions des opérateurs et l'éventuelle présence de personnes tierces pouvant être exposées.

Parmi l'ensemble des exigences essentielles de santé et sécurité (EESS), pertinentes pour la conception et l'intégration d'un système robotisé, l'EESS 1.3.7 relative aux risques liés aux éléments mobiles et l'EESS 1.1.6 relative aux principes ergonomiques ont un rôle central pour la maîtrise du risque lié au contact et plus généralement pour la gestion de l'interface ou de la coactivité rapprochée entre l'opérateur et le robot.

Risque lié au contact pouvant entraîner des accidents et à une mauvaise prise en compte de l'adaptation du poste de travail

D'un point de vue réglementaire le risque lié au contact homme-système robot renvoie principalement à l'EESS 1.3.7 de la directive 2006-42-CE qui mentionne que : *« les éléments mobiles de la machine doivent être conçus et construits de manière à éviter les risques de contact qui pourraient entraîner des accidents ou lorsque les risques subsistent, être munis de dispositifs de protection ».*

Dans le cas des applications collaboratives robotisées, l'analyse des risques n'est pas conduite uniquement sous l'angle de l'incursion accidentelle ou volontaire de l'opérateur dans des zones à risque mécanique, mais également, sous l'angle de l'interaction prévue et prévisible de l'opérateur avec les éléments mobiles du robot en mouvement, en fonctionnement normal. Ainsi, l'action de prévention dans le cadre d'une application collaborative robotisée ne vise pas l'interdiction du contact mais la maîtrise des risques liés au contact. Cette possibilité est commentée au paragraphe 212 du guide d'interprétation de la directive 2006-42-CE relative aux machines édité en Juin 2010 :

« Dans certains cas, les risques peuvent être évités ou réduits par la conception des éléments mobiles eux-mêmes, par exemple, en limitant la force d'entraînement de façon à ce que l'élément entraîné ne génère pas de danger mécanique ou en limitant la masse et/ou la vitesse des éléments mobiles et donc leur énergie cinétique ».

Dans ces nouvelles configurations de travail, l'analyse des risques s'attache à identifier toutes les zones de contact possibles (axe principal, bras terminal du robot, outil tenu par le robot) et de supprimer ou réduire l'ensemble des risques liés au contact pour chaque séquence de travail :

- les risques de chocs, coincement, écrasement avec le bras du robot ou dans les articulations du bras, ou avec les autres surfaces du poste de travail,
- les risques liés à l'outil ou à la pièce en mouvement : chaleur, pincement, coupure,
- les risques de contact au regard des différentes parties du corps : la tête ou autre partie sensible du corps est-elle exposée au contact en situation habituelle de travail ?

L'exigence essentielle 1.1.6 « Ergonomie » de l'annexe I de la directive stipule que « dans les conditions prévues d'utilisation, la gêne, la fatigue et les contraintes physiques et psychiques de l'opérateur doivent être réduites au minimum compte tenu de ces principes ergonomiques » :

- variabilité des opérateurs en ce qui concerne leurs données morphologiques, leur force et leur résistance,
- espace suffisant pour les mouvements des différentes parties du corps de l'opérateur,
- éviter un rythme de travail déterminé par la machine, éviter une surveillance qui nécessite une concentration prolongée,
- Adapter l'interface homme-machine aux caractéristiques prévisibles des opérateurs.

En cas de contact nécessaire pour la tâche et prévu par le mode opératoire, l'adaptation du poste de travail repose sur des moyens techniques et des procédures de vérification et d'ajustement par l'usage : se pose par exemple la question de savoir quel est le niveau de contrôle de l'opérateur sur l'action du robot, par commande et/ou par évitement, quel est le rôle et l'autonomie de l'opérateur dans la définition des trajectoires (mémorisation des trajectoires définies par l'opérateur), quel est le niveau de flexibilité des gestes opératoires.

3.2 - Choix des éléments de sécurité appropriés pour une application collaborative robotisée²

a - Identification d'une application collaborative robotisée

L'analyse des risques permet d'intégrer dans une même démarche les besoins de l'employeur et les mesures de prévention à mettre en œuvre. Elle se construit à partir de l'étude de faisabilité d'un projet industriel. Elle débute, par conséquent, par une phase d'étude des tâches attribuées au robot et du rôle tenu par l'opérateur. Cette phase préliminaire est indispensable, notamment pour déterminer si l'application et le mode opératoire décrits nécessitent une ou des interactions directes ou indirectes entre l'opérateur et le système robot dans un espace de travail collaboratif.

b - Identification des phénomènes dangereux du système robot

Cette identification peut être réalisée en appliquant les principes de la norme NF EN ISO 12100. Elle nécessite de recenser et prendre en compte tous les phénomènes dangereux. Par exemple, en ce qui concerne les phénomènes dangereux d'origine mécanique, il faut non seulement prendre en compte ceux qui proviennent des éléments mobiles du robot ou des dispositifs annexes liés à la production, mais également ceux qui proviennent des outils ainsi que des pièces travaillées ou transportées par le robot. Les autres phénomènes dangereux, par exemple d'origine thermique ou engendrés par des matériaux ou des produits doivent également être pris en compte.

² Pour rappel, au sens du présent guide de prévention, il s'agit d'une collaboration directe ou indirecte.

c - Identification des situations dangereuses

L'analyse des risques intègre également l'ensemble des informations utiles relatives à l'environnement du système robotisé. Ces informations sont collectées auprès de l'employeur dans une phase de construction d'un projet d'intégration dont les moyens et les objectifs doivent être clairement définis et partagés par les acteurs concernés. L'analyse de l'environnement s'attache à déterminer l'implantation du système robotique au sein de l'atelier, en tenant compte du processus de production dans son ensemble, des espaces fonctionnels, des zones de stockage associées, des circulations des produits et des personnes, des manutentions et des risques physiques ou chimiques liés à ce processus. Le risque lié à l'accès d'une personne tierce dans la zone d'évolution est également identifié et traité.

d - Détermination des mesures de prévention adaptées aux risques

Pour une application collaborative robotisée, l'espace de travail collaboratif est précisément identifié et délimité par un moyen de signalisation visible. Concernant la protection contre les risques d'origine mécanique dans cette zone, l'ensemble des mesures de prévention au sens des éléments de sécurité présentés dans ce document au §2.b) et définis au § 5.11.5 de la norme NF EN ISO 10218-2 : 2011 peuvent être utilisées, seules ou en combinaison. Selon les résultats de l'analyse des risques, *l'élément de sécurité* n°4 qui agit sur la limitation de la puissance et de la force par conception ou par commande pourra être combiné à d'autres mesures de prévention (cf. paragraphe ci-dessous).

Il convient en outre de disposer d'un robot adapté à un usage collaboratif tel que défini en §3.2 de la norme NF EN ISO 10218-2 : 2011. La collaboration homme-robot est un mode de fonctionnement particulier entre une personne et un robot partageant un espace de travail collaboratif. Elle est seulement :

- utilisée pour des tâches prédéterminées,
- rendue possible quand toutes les mesures de prévention exigées sont actives, et
- envisageable pour des systèmes robotisés ayant des caractéristiques spécifiquement conçues et adaptées pour [ce] fonctionnement collaboratif. (Phrase adaptée de la norme NF EN ISO 10218-2 : 2011 §5.11.1)

Cela suppose de connaître les éléments de sécurité intégrés ou rendus intégrables par le fabricant du robot, leur niveau de performance et les conditions de leur mise en œuvre.

Dans un environnement de travail donné, le choix des degrés de proximité ou d'éloignement selon les risques et les besoins seront déterminés ainsi que l'espace nécessaire à l'application collaborative robotisée et la conception de la cinématique des mouvements.

Dans l'espace de travail, lorsque des risques subsistent, il convient d'employer d'autres mesures de prévention définies au §5.10 de la norme NF EN ISO 10218-2 : 2011 tels que des protecteurs, des dispositifs de protection périphériques.

e - L'utilisation de l'élément de sécurité n°4 dans une application collaborative robotisée

L'élément de sécurité n°4 (limitation de la puissance et de la force par conception ou par commande) peut s'avérer utile lors de la mise en place de procédés de travail qui nécessitent une collaboration entre le travailleur et le robot et pour lesquels « les éléments de sécurité » N°1 à 3 seuls ou combinés ne sont pas adaptés à tout le cycle de l'application parce qu'ils créent une entrave à la collaboration (par exemple, un protecteur ou dispositif de protection éloignant trop l'opérateur du lieu de collaboration ou arrêtant le mouvement lent du robot alors qu'il est nécessaire pour la tâche). Avant toute mise en œuvre, l'analyse des besoins et l'analyse des risques doivent cependant démontrer la pertinence de son utilisation comme moyen de prévention principal. Il s'agit en effet de s'assurer de la faisabilité du projet tant du point de vue des impératifs de la production que du point de vue de la sécurité. Lors de l'opération d'intégration, la vitesse est adaptée et, au besoin, elle est limitée. Il convient également de tenir compte du fait que l'utilisation de l'élément de sécurité n°4 ne permet 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 même, il convient de considérer les situations de travail où l'opérateur doit également être protégé contre des risques autres que ceux qui ont pour origine des phénomènes dangereux mécaniques.

Ainsi, c'est la mise en œuvre d'une analyse du risque globale et itérative du poste de travail qui permet d'associer les caractéristiques de prévention de l'élément de sécurité N°4 à des mesures de prévention ou de protection complémentaires telles que : protection périmétrique partielle, dispositif sensible de détection, prévision d'un espace de dégagement de l'opérateur en cas de danger, outillage sécurisé, système de captage à la source, dispositif d'éclairage adapté, dispositif aidant au niveau des organes de service (dispositif anti crispation par exemple).

Lorsque la tâche est réalisée en collaboration homme - système robotisé, y compris en cas de nécessité de contact avec l'élément objet de la tâche, toutes les interactions sont formalisées dans le mode opératoire, de sorte que le contact involontaire d'éléments potentiellement dangereux avec l'opérateur est réduit aux situations fortuites qui pourraient se produire dans ce contexte, entraînant le même niveau de risque que le ou les contacts prescrits. Pour cette raison, il peut être couvert par le seul élément de sécurité n°4.

L'analyse des risques conduit à l'étude détaillée des modes opératoires et des trajectoires envisagées ainsi qu'à la prise en compte des risques liés à une mauvaise adaptation du poste de travail et à une contrainte psychique élevée. Il s'agit ici de s'assurer que la collaboration directe ou indirecte homme-système robotisé, avec utilisation de l'élément de sécurité n°4, ne génère pas de contrainte psychique ou de risque lié à l'inadaptation du poste de travail (ergonomie au poste de travail). Les contacts répétés, les gestes d'évitement ou de manipulation du robot sont autant d'éléments à analyser à toutes les étapes du projet, y compris en phase seconde par retour d'expérience et mise en place d'actions correctives dans le but de l'amélioration des conditions de travail.

En conclusion, il apparaît au vu des éléments exposés ci-dessus, que les modalités de mise en œuvre de l'élément de sécurité n°4 sont avant tout définies par l'analyse des risques. Cet élément répond à des situations de travail bien définies et à des applications industrielles pour lesquelles la force et la rapidité du robot doivent être

particulièrement adaptées et maîtrisées, que ce soit dans le cadre de la mise en œuvre du contact prévu par le mode opératoire ou prévisible dans la collaboration. Utilisé comme seul moyen de prévention dans le cadre de la collaboration, cet élément n'est pas adapté à la manipulation d'outil ou de pièce dangereuse non protégées.

Une attention particulière est portée sur la mise en œuvre de ce moyen de prévention, afin d'empêcher ou limiter toute situation de contact prévisible du robot avec le visage ou d'autre partie sensible du corps humain, dans l'espace de travail collaboratif.

3.3 - Points de vigilance sur la mise en œuvre des éléments de sécurité

Lors de la mise en œuvre d'un robot dans le cadre d'une application collaborative robotisée, l'intégrateur est amené à intégrer un robot « *ayant des caractéristiques spécifiquement conçues pour le fonctionnement coopératif conformément à la norme NF EN ISO 10218-1 : 2011* ». Ce robot, apte aux applications collaboratives, possède des fonctions de sécurité intégrées ou optionnelles qu'il est nécessaire d'activer et de combiner afin de respecter les exigences définies pour les *éléments de sécurité* cf. § 2.b choisis pour l'application.

Les objectifs de ces éléments sont réellement atteints lorsque la sélection des bonnes fonctions, leur paramétrage et leur mise en œuvre ont été correctement effectués.

La grande majorité de ces fonctions de sécurité sont fondées sur le principe d'une surveillance de paramètres (vitesse, force, position, etc.) ; en cas de dérive du comportement programmé entraînant le dépassement des valeurs limites définies pour ces paramètres, un arrêt est déclenché automatiquement par le système de commande de sécurité du robot, jusqu'à l'immobilisation des éléments mobiles (arrêt de cat. 0 ou 1 selon la norme NF EN 60204-1 et mise en place éventuelle d'un frein).

Lors de la sélection de ces fonctions de sécurité, il est important de s'assurer que les caractéristiques annoncées par le fabricant du robot correspondent bien au besoin mis au jour, lors de l'analyse des risques effectuée en amont.

A cette fin, il est nécessaire que le fabricant fournisse notamment les informations relatives à la sécurité (Cf. à l'annexe II informative) :

Concernant les caractéristiques fonctionnelles, les informations suivantes doivent être précisées :

- les caractéristiques des fonctions de sécurité en cas de dérive du fonctionnement du robot,
- pour une valeur limite des données (vitesse, force, position, etc.) déterminées par l'analyse des risques, le fabricant du robot fournit la valeur ou la méthode pour paramétrer la fonction dans le logiciel en tenant compte de la précision / tolérance de la mesure et du dépassement consécutif au temps de réaction des fonctions de sécurité,
- les valeurs maximales des temps de réponse et/ou des distances d'arrêts liés à la sollicitation de ces fonctions, ou alors des moyens permettant de définir ces valeurs,
- les limitations et restrictions d'utilisation des fonctions de sécurité (ex : limites d'effort ou de vitesse garanties uniquement pour le centre d'outil mais pas pour les autres parties du robot, exclusion de certains risques non couverts par la fonction, ...),
- Niveau d'intégrité (de fiabilité) de sécurité :
 - Identification claire du niveau (PL, SIL) revendiqué par le fabricant pour chacune des fonctions de sécurité proposée,

- précisions sur l'architecture ou la tolérance aux fautes de la partie du système de commande relative à la sécurité, conformément aux préconisations du § 5.4, NF EN ISO 10218-1 : 2011.

Note : le niveau d'intégrité de sécurité concerne l'intégralité de la fonction de sécurité du robot, depuis la détection de la dérive jusqu'à la commande d'arrêt et de maintien à l'arrêt.

Lors du paramétrage de ces fonctions de sécurité, dans le cas où le dépassement de la limite paramétrée n'est pas géré directement par cette fonction, l'intégrateur doit prendre en compte les éléments fournis (précision, temps de réaction, ...) afin de déterminer la valeur à paramétrer pour que le robot ne dépasse pas la limite définie par l'analyse des risques.

Les valeurs seuils sont pondérées par les valeurs d'incertitude de la mesure fournie par le fabricant du robot. L'intégrateur paramètre ces fonctions de sécurité en prenant en compte toutes les valeurs de paramètres nécessaires pour que le robot ne dépasse pas la limite définie par l'analyse des risques. Pour certains robots du marché, il peut être nécessaire de tenir compte de valeurs influentes sur la fonction telles que la précision de mesure, le temps de réaction, le seuil d'effort avant réaction suite à une défaillance dangereuse, etc.

Par exemple, en fonction des résultats de l'analyse de risque, et afin de respecter une valeur limite d'effort définie, il est possible que la valeur à paramétrer pour la fonction de sécurité corresponde à cette valeur cible, réduite le cas échéant de la valeur de l'effort liée à l'imprécision de la mesure et de l'effort supplémentaire produit durant le temps de réaction maximal de la fonction de surveillance suite à une dérive par rapport au comportement programmé.

4. Exploitation et maintenance

4.1 - la gestion des applications collaboratives robotisées dans l'entreprise : les obligations de l'employeur

La question qui se pose ici est la gestion du système robotique dans le temps. Au-delà de sa composante technique, celle-ci interroge la capacité de l'employeur à créer et maintenir un cadre prescriptif et organisationnel adapté à l'utilisation d'applications collaboratives robotisées. Dans un contexte marqué par la flexibilité de l'environnement de travail, la polyvalence du personnel et la compétitivité industrielle, il est utile de s'interroger sur la manière dont les employeurs conçoivent et mettent en place une organisation assurant la fiabilité et la sécurité du système robotique. Sans prétendre répondre à ces problématiques de manière précise, les indications ci-dessous peuvent être mentionnées :

- En premier lieu, il convient que l'employeur assure le maintien en conformité du système robotisé ; y compris dans les cas de reconfiguration. Il s'agit ici des cas prévus à la conception qui ne sont pas assimilés à des cas de modification³ du système robotique.
- Dans tous les cas de modifications, l'employeur initie soit une vérification soit une mise à jour soit une nouvelle procédure d'analyse des risques dont la méthode est comparable à celle qui doit être mise en œuvre par l'intégrateur

³ Voir le guide technique du 30 novembre 2014 relatif aux modifications des machines sur les procédures à suivre, notamment la procédure d'évaluation des risques.

dans le cadre de la conception du système robotique. Lorsque la modification vise à modifier l'application définie, il est recommandé de faire appel à l'intégrateur ou à une personne compétente.

- Il identifie également les opérateurs compétents pour occuper les postes concernés par les applications collaboratives robotisées au sein de l'entreprise ;
- Il veille à former les opérateurs et à maintenir leurs compétences dans le temps, y compris en cas d'emplois en contrat à durée déterminée et de « turnover »,
- Il met en place des procédures de sécurité, de vérification et de veille tenant compte des informations contenues dans la notice d'instructions⁴ de l'intégrateur : définir précisément pour ce faire, les périmètres d'intervention respectifs des opérateurs et des personnes chargées de la maintenance (vérifications régulières du bon fonctionnement des dispositifs de sécurité),
- Il prévient les mauvais usages prévisibles et organise un retour d'expériences basé sur l'observation des postes de travail ainsi que des entretiens réguliers avec les opérateurs,
- Il organise un apprentissage, puis met en œuvre des conditions de montée progressive en capacité de production,
- Il met en place une procédure de veille sur les dysfonctionnements et incidents pouvant avoir pour cause une défaillance des dispositifs de sécurité intégrés au système robotisé.

A la conception, plusieurs applications collaboratives robotisées peuvent être envisagées pour un équipement donné. La réutilisation attendue, voire recherchée du même matériel pour des applications collaboratives robotisées différentes, offre aux utilisateurs des perspectives accrues de leur outil industriel. Toutefois, le bénéfice de cette flexibilité doit être accompagné d'une maîtrise constante des risques.

A cette fin, il convient de différencier deux cas :

- les reconfigurations (voir § 4.2)
- les modifications (voir § 4.3).

Le premier cas est prévu à la conception, par opposition au second nécessitant une nouvelle analyse des risques dont la méthode est comparable à celle qui doit être mise en œuvre par l'intégrateur dans le cadre de la conception du système robotique, accompagnée des moyens de protection et des mesures de prévention appropriés.

4.2 - les reconfigurations prévues à la conception

Dans un espace de travail collaboratif déterminé, il découle de l'analyse des risques relative à chaque application et son environnement de mise en œuvre, une configuration matérielle (outillage, dispositif de protection collective...), des valeurs de paramétrage (vitesse, distance d'approche...), des instructions concernant l'utilisation de la machine, consignées de façon exhaustive dans une notice d'instructions.

Les reconfigurations en phase d'utilisation reposent sur l'organisation et les compétences internes de l'entreprise, notamment la présence d'équipes chargées de 'reconfigurer' chaque application conformément à la notice d'instructions de l'intégrateur.

⁴ Voir en annexe I le document relatif aux informations contenues dans la notice d'instructions

Il convient de noter que l'optimisation d'une application collaborative robotisée peut nécessiter d'ajuster des valeurs de paramètres pour améliorer par exemple les trajectoires d'éléments mobiles, les zones de protection, etc... Si ces ajustements s'effectuent dans les tolérances prévues à la conception, il suffira alors de sauvegarder les paramètres optimaux pour une réutilisation normale.

En outre, dans le cas d'un déplacement du système robotisé vers un nouvel espace de travail, l'évaluation des risques relative au poste de travail et à son environnement doit faire l'objet d'une actualisation par l'employeur.

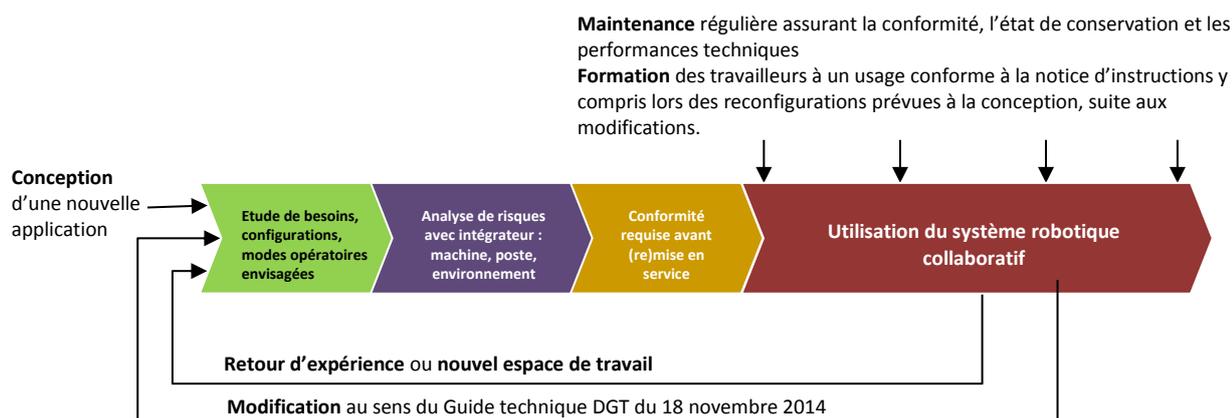
4.3 - les modifications des systèmes robotisés

Il s'agit des situations suivantes :

- modifications au sens du Guide technique DGT du 18 novembre 2014,
- retour d'expérience d'un (presque) accident du travail nécessitant des ajustements hors champ de la notice d'instructions,
- implantation dans un environnement de travail non prévu à la conception.

L'analyse de risques doit être renouvelée dans le cadre de la modification du système robotisé et des modes opératoires associés. Selon l'importance des changements envisagés par l'employeur, il lui est conseillé de faire appel à l'expertise de l'intégrateur ou d'une personne compétente.

Ainsi, l'entreprise qui souhaite opérer une modification d'un système robotisé en service, met en place une procédure marquée par des étapes d'analyse (analyse des nouveaux besoins et analyse des risques), de vérification de la conformité appuyée si nécessaire par l'expertise des spécialistes (intégrateur et personne compétente) et de confrontation avec les données d'utilisation (retour d'expérience).



5 - Présentation d'une application collaborative robotisée

5.1 - Cadre de l'exemple

La démarche présentée ci-dessous illustre les grands principes de mise en place d'une application collaborative robotisée en collaboration directe. Celle-ci vise à l'assemblage de différents composants, en vue de réaliser un boîtier électronique.

Cet exemple d'application collaborative robotisée répond au besoin particulier d'un employeur dans un environnement de production spécifique.

La démarche présentée ci-dessous ne tient pas lieu d'évaluation des risques mais propose un cadre d'analyse simplifiée. Seuls les principaux risques sont ici mentionnés dans une visée pédagogique, l'analyse de risques exhaustive pouvant faire ressortir d'autres risques non traités.

5.2 - Identification de l'application collaborative robotisée

L'identification de l'application collaborative robotisée est une démarche globale de conception du poste du travail, qui vise à la fois à répondre aux objectifs industriels fixés et à intégrer le plus en amont possible, aux objectifs de sécurité prévus par la réglementation. Cette démarche s'apparente au travail de conception d'un équipement de travail. Elle utilise les outils tels que le cahier des charges et l'analyse fonctionnelle.

Première phase : analyse des tâches

La mise en œuvre d'une application collaborative robotisée passe préalablement par une étude des besoins industriels auxquels elle doit répondre. Dans cette première étape, il est nécessaire de réaliser une analyse détaillée des tâches :

Lorsqu'elles sont effectuées manuellement, ces tâches consistent à réaliser des opérations de grande précision : la mise en place, le maintien et l'assemblage par brasage, des différents composants qui constituent le boîtier électronique. Pour effectuer ce travail, l'opérateur (trice) doit manipuler le boîtier en construction, tout en maintenant les composants à assembler et l'outillage nécessaire pour réaliser les différentes séquences d'assemblage.

Trois éléments différents sont donc à manipuler en même temps : les composants à assembler, le liant d'assemblage et l'outil d'assemblage.

En outre, les différentes phases d'assemblage doivent se succéder jusqu'à la fin du cycle. L'opérateur(trice) se tient très proche de l'ensemble constitué et opère un autocontrôle à chaque séquence.

La complexité des tâches à réaliser, les contraintes de fabrication et les objectifs de qualité ne permettent pas d'envisager une solution d'assemblage automatique (ou robotisée standard). De même, la nécessité de maintenir les différents éléments à assembler et de les orienter dans toutes les directions durant toutes les séquences de travail ne permet pas d'envisager un outillage manuel adapté.

La solution finalement adoptée est celle qui consiste à utiliser un robot comme outil de maintien et d'orientation des composants dans les positions requises, pendant que l'opérateur (trice) réalise et contrôle chaque phase de l'assemblage. Ainsi, le robot soulage l'opérateur (trice) d'une partie de ses tâches, et, en assurant une orientation optimale de l'ouvrage, facilite le travail à réaliser, permettant une amélioration de la qualité. Dans cette configuration, c'est l'opérateur (trice) qui

commande le passage d'une position à l'autre du robot au fur et à mesure des étapes de l'assemblage.



Poste de travail⁵ de l'application collaborative robotisée

Deuxième phase : analyse des contraintes et besoins

Les contraintes de fabrication relevées qui ont motivé ce choix de poste collaboratif sont les suivantes :

- Niveau élevé d'exigence quant à la qualité du produit (erreur non réparable),
- Assemblage mécanique délicat et instable lors du brasage manuel,
- Suppression de postures de travail incompatibles avec un travail de précision et pouvant entraîner des Troubles Musculo-Squelettiques (TMS),
- Adaptabilité du poste de travail aux variabilités anthropométriques,
- Production en petite série et grande diversité des types de composants à assembler,
- Robotisation/automatisation de l'ensemble des tâches de brasage non compatible avec la nature du produit et du procédé (détérioration, déformation du substrat),
- Impossibilité technique de revoir la conception du produit pour faciliter son industrialisation par une robotisation ou une automatisation.

Les objectifs à remplir par le poste de travail sont :

- Améliorer la santé et sécurité du poste (suppression des risques de Troubles Musculo-Squelettiques),
- Offrir une assistance pour une réalisation de qualité du produit indépendamment de la taille et de la diversité des lots,
- Fiabiliser le processus d'assemblage,
- Garantir la reconfiguration rapide du poste de travail de manière à l'adapter à la diversité des opérateurs(trices), notamment en tenant compte de la variabilité des opérateurs et des usages de chacun pour la réalisation des tâches.

⁵ Pour les besoins de la photo, le portique d'aspiration des fumées et l'éclairage ont été démontés.

Troisième phase : mise en place des procédés

Au vu des éléments mentionnés précédemment, l'hypothèse d'une application collaborative robotisée repose sur les procédés suivants :

- l'ensemble des composants à assembler sont mis en place par l'opérateur(trice) dans un outillage équipé d'un système de retenue de chaque élément,
- cet outillage est fixé en bout du bras de robot, afin de pouvoir présenter l'ensemble des pièces à l'opérateur(trice),
- le robot assure, par ses trajectoires, le positionnement optimum de l'outillage durant chaque phase, permettant ainsi à l'opérateur(trice) d'effectuer ses tâches d'assemblage et de contrôle.

Techniquement, ces procédés sont déclinés par les éléments suivants :

- l'opérateur(trice) intervient sur un outillage situé en bout de bras du robot,
- cet outillage contient des actionneurs de maintien des composants à assembler par serrage,
- l'interaction entre le robot et l'opérateur(trice) est limitée au travail à exécuter sur l'outillage.
- l'opérateur(trice) est en position assise, et utilise, sur son poste de travail les éléments suivants :
 - o chaque composant à assembler,
 - o l'outil permettant l'assemblage (ex : fer à braser),
 - o le liant permettant d'assurer le brasage (ex : fil de brasage), qui ont été préalablement apportés sur le poste.

Ainsi, le cycle de travail se compose des séquences suivantes :

- la mise en place des composants dans l'outillage du robot,
- l'opération d'assemblage / brasage à l'aide de l'outil et du liant par l'opérateur(trice),
- le contrôle du boîtier en cours d'assemblage,
- puis du passage aux tâches suivantes, qui demandent une réorientation de l'outillage :

l'opérateur(trice) commande au robot l'exécution du positionnement suivant de l'outillage, par l'intermédiaire d'une pédale, ses mains étant occupées à porter l'outil et le liant.

Une fois l'ensemble des composants assemblés et contrôlés, l'opérateur(trice) extrait le boîtier de l'outillage pour l'évacuer et recommence un nouveau cycle d'assemblage avec d'autres composants.

Quatrième phase : analyse des risques et validation de l'application

Afin de vérifier la faisabilité de l'application collaborative robotisée, une analyse des risques sur l'ensemble du poste est réalisée. Celle-ci procède par l'identification, d'une part, des risques directement liés à l'application collaborative robotisée et, d'autre part, des risques inhérents à l'environnement du poste de travail. Puis, par l'identification des mesures de prévention adaptées aux risques mis au jour.

5.3 - Identification⁶ des phénomènes dangereux du système robot

L'analyse des risques qui débute dès la phase de validation du projet ci-dessus mentionnée, doit être conduite de manière itérative dans une démarche d'amélioration continue et de retour d'expérience, en phase de mise au point et se poursuivant en phase d'utilisation.

- risques mécaniques relatifs aux mouvements du robot :
 - chocs entre l'ensemble des parties du corps de l'opérateur(trice) et le robot en mouvement, dans les conditions normales d'utilisation, puis ou lors d'un démarrage intempestif,
 - coincement/écrasement dans les articulations du robot des mains lors des mouvements du robot, dans les conditions normales d'utilisation ou lors d'un démarrage intempestif,
 - coincement/écrasement de toute partie du corps (genoux, mains...) entre le robot et une partie fixe du poste de travail durant les mouvements du robot, dans les conditions normales d'utilisation ou lors d'un démarrage intempestif (y compris accès arrière),

- risques mécaniques relatifs à l'outillage en bout du robot :
 - blessures aux mains lors des mouvements de l'outillage (rotation, orientation),
 - blessures liés aux composants mis en mouvement sur l'outillage par le robot (fouettement des câbles),
 - coincement/écrasement des mains dans l'outillage lors du serrage/maintien des composants,
 - chutes des composants sur l'opérateur(trice) (à l'arrêt ou lors des mouvements de l'outillage), dans les conditions normales et suite à des défaillances,
 - blessures dues aux démarrages intempestifs des mouvements de l'outillage ou à une vitesse excessive,

- risques liés aux postures de l'opérateur(trice) :
 - position assise et accès inconfortable aux composants à assembler sur l'outillage,
 - opération de brasage requérant le maintien d'une position statique des membres supérieurs,
 - variabilité anthropométriques et variabilité des différents produits à réaliser sur le même poste de travail,
 - éclairage insuffisant pour effectuer des opérations de précision,
 - réglages non pertinents de l'outillage réalisés par l'opérateur(trice),

- Risques liés à l'inhalation des fumées de brasage.

⁶ Avertissement au lecteur : bien que l'ensemble des risques doit être traité, dans cet exemple, nous identifions ci-après, uniquement les risques principaux liés à la collaboration avec le robot et son outillage

5.4 - Détermination des mesures de prévention adaptées aux risques

Face à ces différents risques les solutions techniques de sécurité suivantes ont été retenues :

- Les mouvements du robot :
Mise en place du bras du robot en quasi-extension pour limiter l'amplitude des courses afin que le risque mécanique soit réduit en cas de déploiement accidentel du bras vers l'opérateur(trice), dans les conditions normales d'utilisation (prendre en considération la variabilité des opérateurs),
Mise en place du robot, en position plutôt basse par rapport à l'opérateur(trice) afin que l'articulation du coude soit orientée vers le bas, dans les différentes trajectoires supprimant ainsi dans les conditions normales d'utilisation, les chocs à la tête,
Définir les trajectoires programmées du robot afin d'éliminer au maximum le risque de coincement dans les articulations du robot, entre les axes et l'outillage (déport de l'outillage), et entre le robot et les éléments fixes autour (découpe au niveau de la table avec prise en compte d'écartements minimaux),
Interdire l'accès par l'arrière au robot pour les conditions normales d'utilisation (accès maintenance spécifique possible),
Démarrage de chaque segment de trajectoire conditionné par un appui sur une pédale de commande et indication lumineuse sur l'outillage, suivi d'un retard de démarrage du mouvement,
- L'outillage en bout du bras de robot :
Absence d'aspérité ou de bords pouvant être blessants (outillage de forme circulaire avec ensemble des éléments mécaniques de maintien entièrement encapsulés dans l'outillage, aucune partie saillante),
Mise en place d'un système de maintien mécanique des câbles pour éviter leur retrait lors des trajectoires,
Bouton de commande des serrages de type affleurant et commandant le maintien des composants à assembler par serrage en accord avec les écartements minimaux (évitant le coincement),
Mise en place d'indicateurs lumineux sur l'outillage, signalant la position maintenue fermée de chaque système de maintien,
Impossibilité de désactiver le maintien en position quelle que soit l'étape du cycle afin d'éviter la chute éventuelle des composants lors des trajectoires,
Vitesse de rotation de l'outillage en lien avec les vitesses faibles des trajectoires, est limitée par fonction de sécurité,
Poids et forme de l'outillage favorisant la limitation de la puissance et de la force par commande (amélioration de la capacité de détection),
- L'ergonomie du poste de travail :
Mise en place d'un siège dont les différents éléments sont réglables et accoudoirs spécifiques pour les tâches à réaliser, pouvant être ajustés en hauteur et pivotants,
Mise en place des composants à assembler et de l'outillage dans la zone de confort de l'opérateur en position assise,
Mise en place d'un élément d'éclairage à hauteur réglable pour l'opérateur(trice) et restant accessible pour tout réglage,
Mise en place d'un système de captation à la source réglable de fumée de brasage sans créer de risques supplémentaires avec le robot et l'opérateur(trice),

Mise en place d'un dispositif de programmation des trajectoires permettant la mise à hauteur (et orientation) optimale de l'outillage, par intervention directe de l'opérateur(trice) depuis le poste de travail,
Mise en place d'une indication visuelle sur les trajectoires personnalisées et contrôle de l'impossibilité de mémorisation dans des positions non adaptées ou pouvant présenter des risques de coincement/écrasement,
Formation spécifique des opérateurs au poste, seuls habilités à utiliser l'équipement,

En complément des solutions précédentes, les éléments de sécurité utilisés dans la réduction du risque sur ce poste et notamment explicités dans le présent document (au paragraphe 2b) sont les suivants :

- Arrêt en position du robot par arrêt contrôlé nominal de sécurité (Élément n°1), cet élément permet de s'assurer qu'aucun redémarrage intempestif du robot ne se fera, alors que l'opérateur(trice) travaille en bout de celui-ci, sans une action de l'opérateur(trice).
- Arrêt du robot par effort direct en bout de bras (limitation de la force et de la puissance par commande – élément n°4), cet élément permet d'éliminer tout risque lié au contact entre des parties du robot et l'opérateur(trice).

A ces éléments de sécurité, les fonctions de sécurité inhérentes au robot, ont été adjointes :

- Trajectoires limitées dans l'espace par des plans de sécurité, ne permettant pas au robot de se déplacer hors de ceux-ci, et ainsi de venir en contact avec l'opérateur(trice),
- Surveillance de vitesse limitée pour tous les mouvements, permettant de garantir les possibilités d'évitement.

Annexe I - Responsabilité juridique des acteurs économiques dans la mise en œuvre de la réglementation du travail

Dispositions légales applicables à la mise sur le marché d'un système robotisé.

Article L. 4311-1 du code du travail

Les équipements de travail destinés à être exposés, mis en vente, vendus, importés, loués, mis à disposition ou cédés à quelque titre que ce soit sont conçus et construits de sorte que leur mise en place, leur utilisation, leur réglage, leur maintenance, dans des conditions conformes à leur destination, n'exposent pas les personnes à un risque d'atteinte à leur santé ou leur sécurité et assurent, le cas échéant, la protection des animaux domestiques, des biens ainsi que de l'environnement. (...)

Disposition légale applicable à l'utilisation des systèmes robotisés

Article L. 4321-1 du code du travail

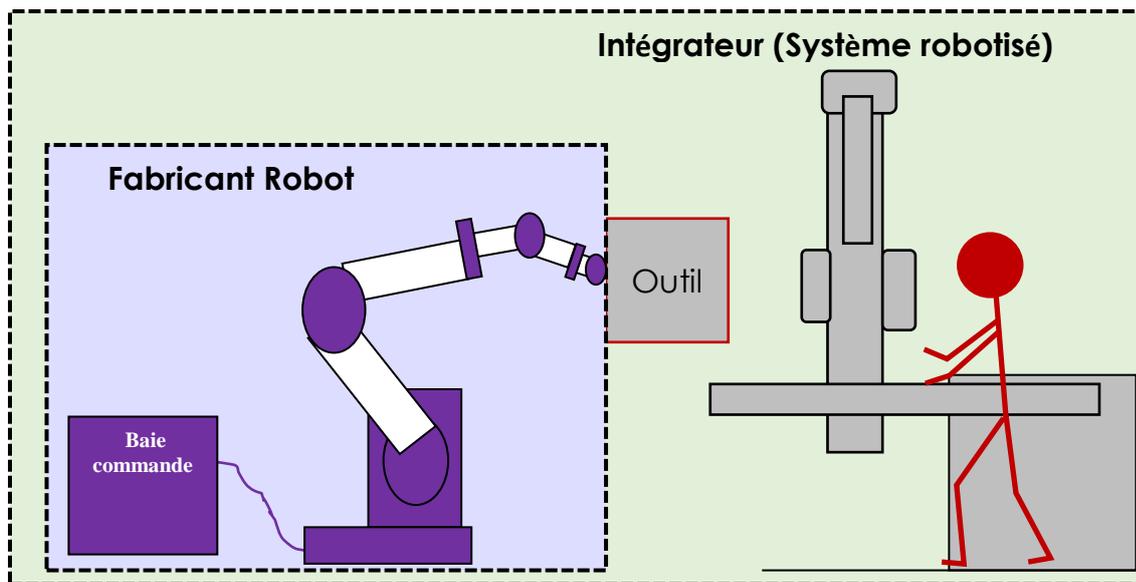
Les équipements de travail et les moyens de protection mis en service ou utilisés dans les établissements destinés à recevoir des travailleurs sont équipés, installés, utilisés, réglés et maintenus de manière à préserver la santé et la sécurité des travailleurs, y compris en cas de modification de ces équipements de travail et de ces moyens de protection.

La responsabilité juridique du fabricant ou de son mandataire est fondée sur l'article

L. 4311-3 du code du travail qui interdit de mettre sur le marché une machine qui ne répond pas aux règles de conception qui lui sont applicables ; cette obligation de conformité ne vise pas les parties éventuellement modifiées par l'utilisateur ultérieurement.

Quant à la responsabilité juridique de l'employeur, celle-ci est fondée sur l'article L. 4321-2 du code du travail qui interdit de mettre en service ou d'utiliser une machine qui ne serait pas conforme aux règles de conception ou d'utilisation qui lui sont applicables lors de sa mise sur le marché.

Fabricant de robots, intégrateur et employeur



Il convient d'identifier les principaux opérateurs économiques ainsi que leurs responsabilités juridiques dans la mise en œuvre des règles de conception et d'utilisation des machines au regard du rôle joué par chacun d'eux. Ainsi on distingue :

- le fabricant de robot ou son mandataire en charge de la conception et de la construction du robot est responsable de sa mise sur le marché ;
- l'intégrateur en tant que fabricant du système robotisé, ou la personne en charge de concevoir et de réaliser le système robotisé à partir du robot et des autres équipements qui sont mis sur le marché indépendamment, est responsable de déclarer la conformité du système robotisé en tant que maître d'œuvre de la globalité du projet et en tant que responsable de la mise sur le marché d'un « ensemble de machines » au sens du tiret quatre de l'article 2(a) de la directive « machines » 2006/42/CE ; celui-ci dispose de l'autonomie dans ses choix techniques pour assurer la maîtrise d'œuvre globale du projet de système robotisé, sur la base d'un cahier des charges fonctionnel général.

A contrario, l'intégrateur qui travaille sur plan, ou sous la direction de l'employeur ou qui n'intervient que sur une partie du projet n'a pas le statut juridique de fabricant.

- l'employeur qui utilise le système robotisé dans le cadre de son activité professionnelle sans être responsable ni de sa fabrication, ni de son intégration à l'état neuf est en charge du maintien en état de conformité du système robotisé.

Il convient de noter que l'employeur qui conçoit et fabrique un système robotisé 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).

Précisions juridiques sur la relation commerciale entre l'employeur et l'intégrateur

La fourniture d'un produit standard, « catalogue » ou « sur étagère » relève du contrat de vente. Le client choisit le produit en fonction de ses besoins et le cas échéant se renseigne auprès du fabricant sur les options proposées ou lui demande conseil.

La réalisation d'un produit adapté aux besoins d'un client ne relève pas du contrat de vente. La relation commerciale s'inscrit dans un contrat de prestation de service ou « contrat de louage d'ouvrage et d'industrie ». Le client doit alors préciser son besoin. Il peut le faire par un cahier des charges fonctionnelles incluant l'ensemble des éléments nécessaires à l'analyse du poste de travail. Le client ou prescripteur doit signaler à l'intégrateur les spécificités d'utilisation et d'environnement inhabituelles voire dangereuses telles qu'une atmosphère explosible, ou une ambiance saline.

Dès lors que le client laisse toute latitude à l'intégrateur pour conduire la conception et la maîtrise d'œuvre du projet, ce dernier sera considéré comme le fabricant eut égard au pouvoir dont il dispose pour choisir les technologies et les mesures de prévention.

A l'inverse, le client qui ne confie qu'une part du projet à l'intégrateur et se réserve la maîtrise d'œuvre globale ou qui fait exécuter le projet sur la base de plan et de consignes précises, sans latitude pour l'intégrateur, sera considéré comme le fabricant.

Les obligations réglementaires qui incombent à chaque partie prenante diffèrent selon le rôle exercé et le statut juridique du produit :

Al.1 - Obligations réglementaires du fabricant du robot

Le fabricant du robot doit veiller à ce que le produit qu'il met sur le marché respecte les exigences essentielles de santé et de sécurité pertinentes, prévue dans l'annexe I de la directive « Machines » 2006/42/CE. D'autres directives européennes transposés dans le droit national peuvent s'appliquer aux robots commercialisés sur le marché européen comme la directive Compatibilité électromagnétique (CEM) 2014/30/UE, et la directive Basse tension 2014/35/UE. D'autres directives européennes environnementales telles que ROHS ou DEEE⁷ peuvent également s'appliquer de manière complémentaire, etc....

Le statut juridique du robot varie selon qu'il est mis sur le marché pour remplir une application définie ou non : est une machine le produit équipé d'un outil spécifique lui permettant de réaliser une tâche déterminée dès sa mise sur le marché (par exemple un robot vendu pour le soudage équipé d'un bras de soudage). A contrario, un produit vendu sans application définie prend le statut de quasi-machine.

⁷ Directive relative à la limitation de l'utilisation de certaines substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques (ROHS) et la directive relative aux déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE)

- Dans le cas où le robot répond à la définition d'une quasi- machine telle qu'énoncée à l'article 2(g) de la directive « Machines » 2006/42/CE, le fabricant rédige et fournit une déclaration d'incorporation de quasi-machine⁸, qui doit contenir la liste des directives européennes applicables, ainsi que les exigences de santé et de sécurité de l'annexe I de la directive 2006/42/CE relative aux machines qui sont appliquées et satisfaites au moment de la mise sur le marché.

Remarque : Pour s'appuyer sur la déclaration d'incorporation, l'opération d'intégration ne doit pas affecter le niveau de sécurité déclaré par le fabricant du robot en tant que quasi-machine. Si l'intégrateur opère une modification du robot, il doit procéder à l'analyse des risques liée à cette modification. Par ailleurs, il doit se limiter à l'emploi du robot prévu par le fabricant en respectant les contre-indications explicites du fabricant

Le fabricant du robot rédige et fournit également une notice d'assemblage⁹ qui contient l'ensemble des conditions pour incorporer le robot en sécurité. Le marquage CE n'est pas exigible au titre de la directive « Machines » dans ce cas.

- Dans le cas où le robot répond à la définition d'une machine telle qu'énoncée à l'article 2(a) de la Directive Machines 2006/42/CE, le fabricant applique l'ensemble des règles de mise sur le marché qui prévoient la déclaration de conformité, le dossier technique, le marquage CE, la notice d'instructions.

Pour s'appuyer sur la déclaration de conformité, l'opération d'intégration ne doit pas affecter le niveau de sécurité déclaré par le fabricant du robot en tant que machine. L'intégrateur est responsable de la mise en service de la solution robotisée dans le respect de la déclaration de conformité fournie par le fabricant.

Enfin, il est possible que le fabricant de robot délivre des certificats pour d'autres fonctionnalités liées à la sécurité, attestant que les fonctions de sécurité présentes sur le robot sont capables d'atteindre certains niveaux de sécurité (ex : PL d selon la norme NF EN ISO 13849-1, SIL2 selon la norme CEI 61062 ou CEI 61508).

Lorsqu'un fabricant d'un robot (quasi machine) s'engage dans l'application de la norme NF EN ISO 10218-1 : 2011 relative aux « robots et dispositifs robotiques » dans la déclaration d'incorporation, cela ne signifie pas que l'application robotisée finalisée qui sera mise sur le marché dispose de l'ensemble des fonctions de sécurité proposées dans la norme, ou que les niveaux de sécurité proposés par ces fonctions sont en adéquation avec l'utilisation que souhaite en faire l'employeur. Le robot est livré avec une notice d'assemblage qui doit indiquer comment l'utiliser en sécurité. En particulier, la documentation doit lister les caractéristiques techniques du robot, la caractérisation des fonctions de sécurité, les risques liés à son fonctionnement et pour lesquels l'intégrateur doit mettre en place des mesures de prévention. Dans des conditions d'utilisations particulières ou si lorsque la documentation est incomplète, il

⁸ Un robot commercialisé nu, sans outil monté sur celui-ci, ne lui permettant pas de répondre directement à l'application visée, répond à la définition de quasi-machine donnée par la directive « Machines » 2006/42/CE.

⁹ La notice d'assemblage doit être établie dans une langue officielle acceptée par l'intégrateur auquel est destinée la quasi-machine.

est impératif que l'intégrateur du robot dans le système robotisé se rapproche du fabricant afin d'identifier la caractérisation des fonctions de sécurité nécessaires à la réalisation du système robotisé et afin de s'assurer que leur niveau de performance correspond bien aux niveaux de sécurité requis pour l'application définie.

Il est important de connaître la caractérisation des fonctions de sécurité du robot industriel utilisé. En vue d'une utilisation collaborative, un robot doit impérativement être équipé des « éléments de sécurité » nécessaires et adaptés à une fonction collaborative déterminée.

AI.2 - Obligations réglementaires de l'intégrateur du système robot

Le maître d'œuvre, intégrateur du système robotisé à l'état neuf doit :

- Réaliser une évaluation globale des risques, y compris des risques liés à l'environnement de travail et de l'utilisation du robot, et mettre en place les mesures techniques permettant de respecter l'ensemble des exigences de santé et de sécurité de la directive « Machines » 2006/42/CE¹⁰,
- Réaliser un système robotisé conforme à l'ensemble des directives européennes qui s'appliquent, en effectuant l'intégration du robot et d'autres composants permettant de garantir la sécurité et la fonctionnalité du système,
- Rédiger et fournir une déclaration CE de conformité, sur lequel apparaissent les autres directives auxquels le système robotisé est soumis (ex : Directive Compatibilité Electromagnétique (CEM) 2014/30/UE, Directive Equipements sous pression 97/23/CE, Directive Atmosphère explosive (ATEX) 2014/34/UE). Il peut aussi faire apparaître sur la déclaration de conformité, les normes harmonisées utilisées pour lesquelles il s'engage, et dont il devra s'assurer de la conformité.
- Constituer le dossier technique¹¹ qui permet de démontrer la conformité à la directive « Machines » 2006/42/CE et qui est constitué, entre autres, des évaluations des risques, des descriptions, plans, schémas de l'installation, des tests, normes, et rapports techniques utilisés, etc...
- Rédiger et fournir une notice d'instructions (et dans certains cas compléter par une formation adaptée), contenant notamment toutes les informations pour mettre en place, utiliser, régler, entretenir, dépanner¹²... le système robotisé,
- Appliquer une des procédures d'évaluation de la conformité prévue à l'article 12 de la directive « machines » 2006/42/CE (Article R. 4313-19 et suivants du code du travail).

Note : De manière générale, le système robotisé est soumis à la procédure d'auto certification. Cependant, Lorsque l'assemblage constituant le système robotisé possède une fonctionnalité entrant

¹⁰ Le fabricant- intégrateur d'un système robotisé a les mêmes obligations qu'un fabricant de machines, au sens de la directive « Machines » 2006/42/CE.

¹¹ L'annexe VII de la directive « Machines » 2006/42/CE décrit le contenu du dossier technique.

¹² L'exigence 1.7.4.2 Notice d'instructions - définit le contenu de la notice d'instructions.

dans la catégorie des machines listées à l'Annexe IV de la directive « Machines » 2006/42/CE, et si l'assemblage n'est pas fabriqué en respectant l'ensemble des exigences des normes harmonisées correspondantes, l'intégrateur suit la procédure dite « examen CE de type » ou la procédure d'assurance qualité complète prévues à l'article R. 4313- 77 du code du travail.

- Apposer le marquage CE sur le système robotisé

AI.3 - Obligations réglementaires de l'employeur

Dans le cadre de ses obligations l'employeur doit :

- Respecter les règles d'utilisation prévues aux articles R. 4321-1 et suivants du code du travail, notamment celle d'entre elles prévue à l'article R. 4322-1 relative au maintien en état de conformité des machines avec les règles de conception et de fabrication qui leurs sont applicables au moment de leur première mise en service, durant toute leur durée d'utilisation, y compris en cas de modifications.
- Les interventions autorisées (réglage, dépannage et maintenance) sont effectuées en respectant les indications contenues dans la notice d'instructions, et conformément aux consignes de travail et procédures mises en place. Ces opérations sont réservées au seul personnel désigné et formé à ces tâches.
- Dans le cadre des procédures de prévention internes mises en place, vérifier s'il y a lieu, que les fonctions de sécurité agissent correctement (tests périodiques) et veiller à respecter les procédures organisationnelles et le port des équipements de protection individuelle (EPI) éventuellement recommandés. Lors de modifications sur le système robotisé qui pourrait avoir des incidences sur la sécurité, il est recommandé d'en référer au préalable à l'intégrateur (sauf si ces modifications ont été préalablement intégrées dans les mesures techniques mises en place par l'intégrateur).

Dans le cas où l'employeur effectue un changement d'application du système robotisé en service dans son entreprise ou une modification de la configuration de travail, il peut être amené à assumer des fonctions d'intégration sans pour autant endosser la responsabilité juridique d'un fabricant (Cf. guide technique relatif aux opérations de modification).

S'il le décide, l'employeur peut également faire appel à un organisme compétent pour vérifier la conformité de son application collaborative robotisée modifiée aux exigences essentielles de santé et de sécurité (EES) de la directive 2006-42-CE relative aux machines,

Les prestataires de service qui peuvent être amenés à intervenir dans ce cadre, en appui technique, sont des organismes de conseil, sociétés d'ingénierie, « maintenanciers », fabricant....

Annexe II – Informations d'utilisation à transmettre entre les différents acteurs économiques

Les normes NF EN ISO 10218-1 & 2 : 2011, préconisent les informations d'utilisation à transmettre entre les différents acteurs économiques.

Le présent guide de prévention reprend en annexe II, ces informations d'utilisation :

- en les regroupant par thématique,
- en les ordonnant dans l'ordre chronologique d'exploitation,
- et en y ajoutant les recommandations (*en italique*) spécifiques à la robotique collaborative.

Informations à transmettre	du fabricant vers l'intégrateur NF EN ISO 10218-1 août 2011	de l'intégrateur vers l'utilisateur NF EN ISO 10218-2 août 2011	Commentaire
----------------------------	---	---	-------------

Généralités			
- coordonnées complètes du responsable de mise sur le marché du robot.	7.2 a)		
- la notice d'instructions doit considérer chaque étape du cycle d'exploitation du système robot, à savoir depuis son installation jusqu'à sa mise au rebut en spécifiant les interfaces fonctionnelles et techniques avec les processus connexes au robot.		7.2.1 + <i>Situations de contact prévues (par rapport aux points de contact du tableau A2 de l'ISO TS 15066) entre le robot et les opérateurs dans les différentes situations de travail et contre-indications (issues des situations anormales prévisibles analysées et données anthropométriques prises en compte), le cas échéant pour chacune des différentes configurations prévues</i>	(voir §4.2 du guide)

Manutention			
- conditions de stockage et paramètres de manutention du matériel		7.2.2 a)	
		7.2.2 b)	
		7.2.2 c)	

Installation			
Conditions d'implantation du robot			

Informations à transmettre	du fabricant vers l'intégrateur NF EN ISO 10218-1 août 2011	de l'intégrateur vers l'utilisateur NF EN ISO 10218-2 août 2011	Commentaire
----------------------------	---	---	-------------

- exigences et spécifications techniques du lieu d'installation.	7.2 b) <i>Caractéristiques mécaniques permettant de réaliser les calculs d'énergie : masses, centre de gravité, moments d'inertie etc... de chaque élément robot en mouvement, les valeurs pic d'accélération.</i>		(voir §3.3 du guide)
		7.2.3 a) 7.2.3 b) 7.2.3 c) + <i>Définition de l'espace collaboratif, le cas échéant plan des marquages au sol / balisage mis en œuvre</i>	
		7.2.3 d)	
- instructions de raccordement aux énergies indispensables au robot. Informations sur l'accès et sur la fonction de tous les systèmes de commandes du robot.	7.2 f) + <i>Mêmes informations pour les éléments périphériques qui peuvent être commandés au travers du robot et notamment le préhenseur ou outil.</i>		
		7.2.3 e)	
- au besoin, des recommandations sur des mesures spécifiques de prévention.		7.2.3 g)	

Informations relatives au système			
Tous les changements ou ajouts aux informations applicables telles que fournies par le fabricant doivent être assurés par la partie qui procède au changement ou à l'ajout affectant le système robot	7.2 § final		
Configuration matérielle		assurés par la partie qui procède au changement ou à l'ajout affectant le système de robot.	

Informations à transmettre	du fabricant vers l'intégrateur NF EN ISO 10218-1 août 2011	de l'intégrateur vers l'utilisateur NF EN ISO 10218-2 août 2011	Commentaire
- exigences et spécifications de montage, de raccordement et d'interfaçage du robot avec son environnement.		7.2.5 a) + <i>Décrire les dispositifs ajoutés pour réaliser les modes de collaboration selon ISO 10218-2 §5.11.5 et la façon dont ils sont mis en œuvre</i> 7.2.5 e) 7.2.5 l) 7.2.5 n)	
Spécifications des parties travaillantes mobiles			
- applications permises par le fabricant de robot et usages éventuellement prohibés.		7.2.5 b) + <i>Contre-indications limites d'emploi sur les préhenseurs de type main/pince autorisant une multitude d'opération (équipements interchangeables)</i>	(voir §4.2 du guide)
- capacités et limites techniques des parties travaillantes du robot		7.2.5 k) + <i>Prise en compte des informations robot pour les systèmes de freinage/retenu et dispositifs de mesure d'effort/vitesse : maintien en service dans le temps /étalonnage</i>	
- informations sur les paramètres (temps, distance, angle) d'arrêt à vide ou en charge des axes, à fort moment d'inertie.	7.2 n) + <i>Pour tous les axes</i>	7.2.10 f)	
- instructions pour former les utilisateurs chargés de configurer le mouvement synchronisé des robots,	7.2 t)	7.2.10 h) 7.2.10 j)	
- comportement des éléments mobiles en situation extrême hors puissance.		7.2.10 k)	

Informations à transmettre	du fabricant vers l'intégrateur NF EN ISO 10218-1 août 2011	de l'intégrateur vers l'utilisateur NF EN ISO 10218-2 août 2011	Commentaire
Mesures de protection et de prévention			
- définition de l'espace restreint pour le robot en mode manuel à haute vitesse et des zones tenant compte des performances dynamiques de limitation de mouvement,	7.2 h)		
- informations et performances des dispositifs de limitation des mouvements des parties travaillantes : butées mécaniques et non mécaniques,	7.2 i) + <i>S'il y a lieu les contre-indications de mise en œuvre de butées mécaniques en mode collaboratif</i>	7.2.5 m) 7.2.10 d) ISO 10218-2 regroupe 7.2 i) j) et k) de ISO 10218-1	
	7.2 j) + <i>Caractéristiques et spécifications des capteurs ou autres éléments à mettre en œuvre pour réaliser les fonctions de sécurité nécessaires pour obtenir un mode défini au §5.10 de l'ISO 10218-1 afin de garantir un temps de réponse et PL.</i>		
	7.2 k) + <i>tolérances / garantie des valeurs fournies</i>		
	7.2 l)	7.2.10 l)	
- recommandations sur les moyens pour extraire toute personne 'prisonnière' de la machine,	7.2 q)		
- hors puissance d'entraînement, instructions sur les risques mécaniques des parties travaillantes (chute par gravité ou perte accidentelle du freinage)	7.2 r) + <i>Capacité de charge hors énergie instructions relatives à la vérification du bon fonctionnement des freins / dispositifs assurant le maintien en position hors énergie.</i>		

Informations à transmettre	du fabricant vers l'intégrateur NF EN ISO 10218-1 août 2011	de l'intégrateur vers l'utilisateur NF EN ISO 10218-2 août 2011	Commentaire
- performances et spécifications du système de commande de la sécurité assurée par le matériel et par le logiciel.	7.2 o) + Voir 7.2 c)		
		7.2.5 c) + Décrire les modes de collaboration effectivement mis en œuvre selon ISO 10218-2 §5.11.5	
- description des conditions d'emploi des organes de service,		7.2.5 d) + Dispositions permettant de signaler le fonctionnement en mode collaboratif	
- informations sur les autres sources de dangers du robot et la métrologie utilisée pour les caractériser,		7.2.5 f)	
- dans une configuration aboutie de robots, évolution des mesures de prévention prévues par les constructeurs,		7.2.5 j)	
Conformité et référentiels			
- la conception des équipements électriques des robots relève de la norme CEI 60204-1.		7.2.5 g)	
		7.2.5 h)	
- déclaration de conformité + déclaration d'incorporation		7.2.5 i)	
		7.2.10 a)	
		7.2.10 b) + Voir commentaires colonne Fabricant -> intégrateur	
	7.2 v)	7.2.10 i)	
		7.2.10 m)	Voir guide Annexe §b3 - obligation de l'employeur de choisir des équipements de travail adéquats

Informations à transmettre	du fabricant vers l'intégrateur NF EN ISO 10218-1 août 2011	de l'intégrateur vers l'utilisateur NF EN ISO 10218-2 août 2011	Commentaire
Essai de mise en service ou procédure de démarrage initial			
Importance de réaliser l'essai initial après toute intervention susceptible de modifier l'intégrité du système robot.		7.2.4 § final	
Instructions avant la 1ère utilisation			
- instructions pour réaliser l'essai initial et l'examen du système robot ainsi que ses dispositifs de protection avant la première utilisation, y compris les essais fonctionnels de la commande de vitesse réduite.	7.2 c) + <i>Les mode(s) de collaboration possible(s) selon §5.10 de l'ISO 10218-1, Pour chaque mode, la combinaison de fonctions de sécurité à activer avec les caractéristiques en termes de niveau de performance et temps de réponse. Le cas échéant pour chaque fonction :</i> - les paramètres à renseigner / informations par défaut / valeurs ou combinaisons de valeurs limites / interdites ; - la méthodologie pour contrôler le bon paramétrage des fonctions de sécurité mettant en œuvre une limitation d'effort et/ou de vitesse ainsi que la tolérance des valeurs affichées ; - les conditions de limitation d'accès au paramétrage et traçabilité des modifications - étalonnage ?	7.2.3 h) + <i>Voir notice robot + état des paramétrages de toutes les fonctions de sécurité et checksum – voir pt 10 du 7.2.4 de l'ISO 10218-2</i>	(voir §3.3 du guide)
Avant mise sous puissance : liste non exhaustive des vérifications d'installation			
- stabilité mécanique du robot installé,		7.2.4 a) - 1)	

Informations à transmettre	du fabricant vers l'intégrateur NF EN ISO 10218-1 août 2011	de l'intégrateur vers l'utilisateur NF EN ISO 10218-2 août 2011	Commentaire
- fourniture énergie électrique suivant spécifications, robustesse des raccordements et conformité électrique globale.		7.2.4 a) - 2)	
		7.2.4 a) - 6)	
		7.2.4 a) - 3)	
- raccordement utilitaires (eau, air ou gaz) suivant spécifications,		7.2.4 a) - 5)	
- environnement de travail conforme aux spécifications, volume restreint connu, moyens de protection et sécurité du système de commande opérationnels,		7.2.4 a) - 9)	
		7.2.4 a) - 7)	
		7.2.4 a) - 8)	
- emploi d'applicatifs et de commande de sécurité validée;		7.2.4 a) - 4)	
Après mise sous puissance : liste non exhaustive des vérifications de bon fonctionnement			
- vérification de déconnexion et sectionnement des sources d'alimentation		7.2.4 b) - 4)	
- vérification des organes de service de mise en marche, mise à l'arrêt, arrêt d'urgence y compris dans les modes de marche prévus.		7.2.4 b) - 1)	
		7.2.4 b) - 3)	
- vérification des dispositifs de protection et de signalisation,		7.2.4 b) - 7)	
		7.2.4 b) - 8)	
- vérification des parties travaillantes: apprentissage et reproduction des mouvements restreints suivant spécifications,		7.2.4 b) - 2)	
		7.2.4 b) - 5)	

Informations à transmettre	du fabricant vers l'intégrateur NF EN ISO 10218-1 août 2011	de l'intégrateur vers l'utilisateur NF EN ISO 10218-2 août 2011	Commentaire
----------------------------	---	---	-------------

- en mode manuel et automatique, le robot en charge fonctionne correctement suivant spécifications,		7.2.4 b) - 9)	
		7.2.4 b) - 10) + <i>Préciser les valeurs de masse outil + pièces et paramètres limites force, vitesse accélération</i> <i>Un tableau de correspondance entre les valeurs relevées (ou mesurées) au niveau des points de contact pris en compte dans l'analyse de risque</i>	
- vérification de la compatibilité du robot aux influences externes : sur le milieu (ATEX, humidité, empoussièrément, température), par les interférences (IEM, IRI, DES).		7.2.4 b) - 6)	

Utilisation du système robot			
Risques qui ne peuvent être évités			
- informations sur les risques non traités par le fabricant de robots, sur les risques inhérents à certaines applications ou lors de mauvais usage afin de prendre des mesures compensatoires.	7.2 x)		
		7.2.6 a)	
		7.2.6 b) + 7.2.5 b)	
		7.2.6 c)	
Utilisation conforme			
- utilisation conforme à la notice d'instructions (accès au poste de travail, modes opératoires, port des EPI..)		7.2.6 d)	
		7.2.6 e)	
		7.2.6 f)	
		7.2.6 g)	
		7.2.6 m)	

Informations à transmettre	du fabricant vers l'intégrateur NF EN ISO 10218-1 août 2011	de l'intégrateur vers l'utilisateur NF EN ISO 10218-2 août 2011	Commentaire
- modes opératoires destinés à la maintenance pour éviter les erreurs de (re)montage, pour sécuriser la suspension manuelle des moyens de protection	7.2 u)		
Utilisation des dispositifs de sécurité		7.2.7 h)	
- informations sur les périmètres d'action des dispositifs de sécurité, sur leur utilisation y compris leur réglage,	7.2 z)	7.2.6 h) + <i>Remise en marche après un déclenchement des valeurs seuil- arrêt cat 0-1-2</i>	
- informations sur le diagnostic des défauts, réparation et remise en marche après intervention,		7.2.6 i) 7.2.6 j) 7.2.6 k)	
- informations sur les vérifications périodiques avec essais fonctionnels des sécurités,		7.2.6 l)	
Usage intempestif ou dangereux des pendants		7.2.6 s) + <i>Vérification des valeurs seuil / temps d'arrêt relevés à la mise en service</i>	
- informations sur la commande à grande vitesse des parties travaillantes au moyen du pendant,	7.2 g)		
- informations sur le délai pour détecter la perte de communication avec le pendant sans câble qui doit alors devenir inopérant,	7.2 y) 7.2 w)	7.2.10 c)	
- instructions sur l'emplacement de rangement ou la conception des pendants sans câble, pour éviter toute manœuvre sans effet d'une fonction de sécurité,	7.2 bb)	7.2.6 o)	
- formation exigée pour les fonctionnements télécommandés,	7.2 aa)	7.2.6 r) 7.2.6 q)	

Informations à transmettre	du fabricant vers l'intégrateur NF EN ISO 10218-1 août 2011	de l'intégrateur vers l'utilisateur NF EN ISO 10218-2 août 2011	Commentaire
----------------------------	---	---	-------------

Gestion changement / modification matériel et logiciel			
Responsabilité des changements ou ajouts d'informations telles fournies par le fabricant, assumée par son auteur	7.2 § final		(voir guide §4.3 modifications de l'ACR)
- instructions sur les essais de validation nécessaires après un changement/ajout de matériel ou du logiciel pouvant affecter les fonctions de sécurité	7.2 d)	7.2.6 n)	
	7.2 m)	7.2.10 e)	
- instructions pour la restauration de défaut et de secours de l'équipement du système,		7.2.6 p)	

Maintenance			
Maintien en conformité			
- vérification périodique des fonctions de sécurité,		7.2.7 a)	
- informations pour remplacer les pièces vitales (sécurité) conformes aux originaux et les consommables du processus,		7.2.7 e)	
		7.2.7 f)	
		7.2.6 t)	
- spécifications de tout fluide (lubrifiant, transmission de puissance, caloporteur) nécessaire au fonctionnement du robot,	7.2 p)		
		7.2.10 g)	
Maintenance par personnel formé et documentation technique			
- instructions relatives aux interventions (ex : consignation) de maintenance experte à réaliser que par des personnes qualifiées,	7.2 e)	7.2.7 b)	
		7.2.7 g)	

Informations à transmettre	du fabricant vers l'intégrateur NF EN ISO 10218-1 août 2011	de l'intégrateur vers l'utilisateur NF EN ISO 10218-2 août 2011	Commentaire
- instructions relatives aux opérations de maintenance de premier niveau réalisables par les utilisateurs (opérateurs, par exemple),		7.2.7 c)	
- plans et schémas techniques pour l'aide au diagnostic en cas de dépannage,		7.2.7 d)	
Arrêt définitif			
Informations / conseils relatifs sur la mise au rebut du matériel.		7.2.3 f) et 7.2.8	
Situation d'urgence			
Formation aux situations extrêmes			
- conduite à tenir en situations anormales ou d'urgence,	7.2 s)		
Moyens associés			
- équipement de lutte contre l'incendie à employer,		7.2.9 a)	
- signalisation des substances dangereuses émises de façon accidentelle et moyens pour réduire les effets de ces émissions.		7.2.9 b)	
		7.2.9 c)	

Bibliographie

NF EN 8373 Septembre 2012 Vocabulaire - Robots et composants robotiques

NF EN ISO 10218-1 Août 2011 Robots et dispositifs robotiques - Exigences de sécurité pour les robots industriels - Partie 1 : robots

NF EN ISO 10218-2 Août 2011 Robots et dispositifs robotiques - Exigences de sécurité pour les robots industriels - Partie 2 : système robots et intégration

NF EN ISO 12100 Décembre 2010 Sécurité des machines - Principes généraux de conception - Appréciation du risque et réduction du risque

NF EN ISO 13849-1 Mars 2016 Sécurité des machines - Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité - Partie 1 : principes généraux de conception

NF EN ISO 13850 Décembre 2015 Sécurité des machines - Fonction d'arrêt d'urgence - Principes de conception

NF EN ISO 13855 Août 2010 Sécurité des machines - Positionnement des moyens de protection par rapport à la vitesse d'approche des parties du corps

NF EN ISO 13857 Juin 2008 Sécurité des machines - Distances de sécurité empêchant les membres supérieurs et inférieurs d'atteindre les zones dangereuses

NF EN 60204-1 Septembre 2006 Sécurité des machines - Équipement électrique des machines - Partie 1 : règles générales

ISO/TS 15066:2016 Février 2016 Robots et dispositifs robotiques - Robots coopératifs