

■ Support de Cours : Formation Sécurité en Robotique : Conception, Modification, Maintenance



📌 Introduction à la formation

◆ Objectifs de la formation :

- Identifier les exigences réglementaires et techniques applicables aux robots.

- Rechercher les règles de l'art existantes pour garantir la sécurité, la conformité et la maîtrise des coûts.
- Être capable de construire et analyser un cahier des charges, concevoir, modifier et maintenir un équipement robotisé.
- Réaliser une analyse de risques (EN 12100) et maintenir un circuit de commande relatif à la sécurité (EN 13849-1).
- Évaluer le maintien de la conformité d'un équipement robotisé.

◆ **Public concerné :**

- Responsables d'entreprise (constructeurs ou utilisateurs).
- Responsables techniques ou travaux neufs.
- Services achats et bureaux d'études impliqués dans la conception ou modification de robots.
- Techniciens et ingénieurs en charge de la maintenance, du réglage et de l'entretien des robots.

◆ **Méthodologie :**

- Alternance de théorie et de pratique avec études de cas.
- Présentation des exigences réglementaires et normatives.
- Ateliers de mise en situation pour l'analyse de risques et la validation des équipements.

📖 Définition et typologie des robots industriels

🤖 Introduction à la robotique industrielle

La robotique industrielle est un domaine clé de l'automatisation qui permet d'optimiser la production et d'améliorer la sécurité des opérateurs. Grâce aux avancées technologiques, les robots sont aujourd'hui utilisés dans un large éventail d'industries, allant de l'automobile à l'agroalimentaire en passant par la logistique et la santé.

✓ **Définition d'un robot industriel** : Un robot industriel est un dispositif mécanique programmable capable d'exécuter des tâches de manière autonome ou semi-autonome. ✓ **Normes applicables** : ISO 8373 (Terminologie robotique) et ISO 10218-1/2 (Sécurité des robots industriels). ✓ **Objectifs de l'automatisation** : Améliorer la productivité, réduire les erreurs humaines, accroître la précision et optimiser la sécurité.

🔧 Constitution d'un robot industriel

Un robot industriel est composé de plusieurs éléments clés : ✓ **Base ou piédestal** : Support fixe ou mobile sur lequel repose le robot. ✓ **Bras articulé** : Structure mécanique qui permet le mouvement. ✓ **Actionneurs** : Moteurs électriques, hydrauliques ou pneumatiques permettant le déplacement des articulations. ✓ **Capteurs** : Dispositifs de mesure permettant au robot de détecter son environnement. ✓ **Système de contrôle** : Ordinateur ou automate programmable gérant les mouvements et les tâches du robot. ✓ **Interfaces homme-machine (IHM)** : Écrans et logiciels permettant aux opérateurs de contrôler et programmer le robot.

Typologie des robots industriels

Les robots industriels sont classés en différentes catégories en fonction de leur mode de fonctionnement et de leur domaine d'application.

◆ **Robots manipulateurs**

✓ Bras articulés fixes utilisés pour des tâches précises (assemblage, soudage, peinture). ✓ Exemples : Robots ABB, FANUC, KUKA. ✓ Grande flexibilité et capacité à exécuter des mouvements complexes.

◆ **Robots mobiles autonomes (AGV & AMR)**

✓ Véhicules autonomes guidés par des capteurs ou l'intelligence artificielle. ✓ Utilisés pour la logistique et le transport interne en usine. ✓ Exemples : Chariots autonomes en entrepôt.

◆ **Cobots (robots collaboratifs)**

✓ Conçus pour travailler en interaction avec l'humain sans barrière de sécurité. ✓ Dotés de capteurs de force et d'intelligence artificielle pour éviter les collisions. ✓ Applications : Assemblage, assistance en production, manutention légère.

◆ **Robots SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm)**

✓ Utilisés pour des tâches d'assemblage rapide et répétitive. ✓ Précision élevée avec une faible empreinte au sol. ✓ Applications : Électronique, pharmaceutique.

◆ **Robots cartésiens (XYZ)**

✓ Fonctionnement basé sur des déplacements en ligne droite selon trois axes. ✓ Très utilisés dans l'usinage et l'impression 3D. ✓ Exemples : Fraiseuses CNC automatisées.

◆ **Robots parallèles (Delta Robots)**

✓ Très rapide, utilisé pour le conditionnement et la manipulation de petites pièces. ✓
Présent dans les industries agroalimentaires et pharmaceutiques. ✓ Exemples : Robots pick-and-place.

Avantages et inconvénients des robots industriels


Type de robot	Avantages	Inconvénients
Manipulateurs	Précision élevée, capacité de charge importante	Coût élevé, encombrement
AGV & AMR	Réduction des coûts logistiques, flexibilité	Nécessite une infrastructure adaptée
Cobots	Sécurité accrue, interaction avec les opérateurs	Capacité de charge limitée
SCARA	Vitesse et précision optimales	Peu adapté aux charges lourdes
Cartésiens	Précision, stabilité	Mobilité limitée
Delta Robots	Grande vitesse, faible inertie	Plage de mouvement restreinte

Critères de choix d'un robot industriel

Le choix d'un robot dépend de plusieurs facteurs : ✓ **Nature de la tâche** : Assemblage, soudure, conditionnement, manipulation, usinage. ✓ **Précision requise** : Tolérance acceptable pour l'application. ✓ **Charge utile** : Capacité à supporter des poids variables. ✓ **Vitesse d'exécution** : Importance de la rapidité des cycles. ✓ **Environnement de travail** : Présence de poussière, humidité, risques chimiques. ✓ **Interopérabilité avec les autres machines** : Communication avec d'autres équipements automatisés.

Objectifs du chapitre

À l'issue de ce module, les participants seront capables de : ✓ Définir ce qu'est un robot industriel et comprendre sa structure. ✓ Identifier les différents types de robots et leurs applications spécifiques. ✓ Évaluer les avantages et inconvénients de chaque catégorie. ✓ Choisir le bon robot en fonction des besoins industriels. ✓ Comprendre les exigences techniques et normatives des robots.

 **Conclusion** : Comprendre la typologie et le fonctionnement des robots est essentiel avant toute démarche d'intégration ou de modification d'un système robotisé. Ce

chapitre pose les bases nécessaires à une analyse approfondie des aspects réglementaires, techniques et sécuritaires liés aux équipements robotisés.

Les réglementations Française et Européenne sur la robotique industrielle

Pourquoi un cadre réglementaire est-il essentiel ?

Les robots industriels sont soumis à un ensemble de réglementations visant à assurer leur sécurité et leur conformité aux normes en vigueur. La compréhension et l'application de ces textes sont essentielles pour garantir une intégration sécurisée et respectueuse des exigences légales.

✓ **Sécuriser les travailleurs** en limitant les risques d'accidents liés à l'automatisation.
✓ **Assurer la conformité légale** et éviter les sanctions administratives ou pénales. ✓ **Faciliter l'intégration des robots dans les processus industriels** en respectant les règles de conception. ✓ **Éviter les arrêts de production et les litiges** liés à un défaut de conformité. ✓ **Harmoniser les standards internationaux** pour une meilleure interopérabilité des robots dans les chaînes de production.

Cadre réglementaire applicable aux robots industriels

◆ Directive 2006/42/CE sur les machines

✓ Directive européenne définissant les règles de conception et de mise sur le marché des machines industrielles. ✓ Applicable aux équipements robotisés destinés à être intégrés dans des systèmes de production. ✓ Exige la réalisation d'une **évaluation des risques** avant la mise en service d'un robot. ✓ Impose l'apposition du **marquage CE** pour certifier la conformité aux normes de sécurité. ✓ Définit les obligations des constructeurs et intégrateurs en matière de documentation technique.

◆ Transposition des directives en droit français

✓ La directive 2006/42/CE a été transposée en France à travers le Code du travail et les réglementations ICPE. ✓ Obligation pour les employeurs d'assurer la **sécurité des travailleurs exposés aux équipements robotisés**. ✓ Intégration des principes de **prévention des risques professionnels** dans les sites industriels automatisés.

Obligations réglementaires des constructeurs et utilisateurs

Obligations des fabricants de robots industriels

✓ Fournir une **documentation technique complète** (plans, analyses de risques, notices d'utilisation). ✓ Assurer la **conformité aux normes EN ISO 10218-1 et 10218-2** sur la sécurité des robots industriels. ✓ Réaliser des **tests et vérifications** avant la mise sur le marché. ✓ Mettre en place un **système de traçabilité** pour assurer le suivi des robots.

Obligations des utilisateurs et intégrateurs

✓ Vérifier que les équipements sont conformes avant leur mise en service. ✓ Maintenir à jour le **document unique d'évaluation des risques** en intégrant les risques liés aux robots. ✓ Former les opérateurs et techniciens à l'utilisation des robots en respectant les protocoles de sécurité. ✓ Réaliser des **vérifications périodiques** pour garantir le bon fonctionnement et la sécurité des équipements.

Normes de sécurité applicables aux robots industriels

◆ **ISO 10218-1 & 10218-2 : Sécurité des robots industriels**

✓ Définit les exigences de sécurité applicables aux **robots et systèmes robotisés**. ✓ Spécifie les critères de conception pour réduire les risques liés à l'utilisation des robots. ✓ Implique des mesures de protection telles que les **barrières physiques, capteurs de présence, et arrêts d'urgence**.

◆ **ISO/TS 15066 : Sécurité des robots collaboratifs**

✓ Norme spécifique aux **cobots** (robots collaboratifs travaillant avec des humains). ✓ Définit les niveaux acceptables de **forces et pressions exercées sur l'opérateur**. ✓ Implique des **capteurs de proximité** et des systèmes de limitation de vitesse.

◆ **NF EN ISO 13849-1 : Fiabilité des circuits de commande de sécurité**

✓ Implique une **évaluation du niveau de performance (PLr)** des circuits de commande. ✓ Permet de garantir un **niveau de fiabilité suffisant des dispositifs de sécurité** (boutons d'arrêt d'urgence, capteurs, automates de sécurité). ✓ Utilisation d'outils tels que **SISTEMA** pour valider les circuits de sécurité.

Exemple de mise en conformité : étude de cas

Une entreprise du secteur automobile intègre de nouveaux robots de soudage dans ses lignes de production. Voici les étapes suivies pour assurer leur conformité : ✓ **Évaluation des risques selon ISO 12100** : Identification des dangers liés aux robots en mouvement. ✓ **Mise en place de barrières de sécurité** : Installation de capteurs de présence et d'arrêt d'urgence. ✓ **Test des circuits de commande de sécurité (ISO 13849-1)** : Vérification du niveau de performance des systèmes de contrôle. ✓

Validation de la conformité CE : Apposition du marquage CE après tests et vérifications. ✓ **Formation des opérateurs** : Sensibilisation aux bonnes pratiques d'utilisation et de maintenance.

Objectifs du chapitre

À l'issue de ce module, les participants seront capables de : ✓ Comprendre les principales réglementations applicables aux robots industriels. ✓ Identifier les obligations des constructeurs et utilisateurs. ✓ Appliquer les normes de sécurité pour assurer la conformité des équipements robotisés. ✓ Réaliser une évaluation des risques et mettre en place des mesures de protection adaptées. ✓ Assurer la traçabilité et le suivi des robots dans un environnement industriel.

📌 **Conclusion** : La conformité aux réglementations et normes de sécurité est une exigence essentielle pour toute entreprise utilisant des robots industriels. Respecter ces obligations permet non seulement d'assurer la sécurité des travailleurs mais aussi d'optimiser la productivité et d'éviter des sanctions légales.

Obligations et responsabilités des constructeurs et utilisateurs

Pourquoi comprendre les obligations réglementaires ?

Dans le cadre de l'intégration et de l'utilisation des robots industriels, il est essentiel de respecter des obligations légales strictes afin de garantir la sécurité, la conformité réglementaire et la responsabilité des différents acteurs impliqués.

✓ **Garantir la sécurité des travailleurs** en limitant les risques liés aux machines automatisées. ✓ **Respecter la législation en vigueur** pour éviter toute sanction administrative ou juridique. ✓ **Prévenir les accidents et incidents industriels** grâce à une mise en conformité rigoureuse. ✓ **Assurer la fiabilité des équipements** et éviter toute interruption de production causée par un manquement réglementaire. ✓ **Clarifier les responsabilités des différents acteurs** : constructeurs, intégrateurs et utilisateurs finaux.

Obligations des constructeurs de robots industriels

◆ **Conception et mise sur le marché**

✓ Appliquer la **Directive 2006/42/CE** relative à la sécurité des machines. ✓ Assurer la **conception selon les normes EN ISO 12100 et EN ISO 10218**. ✓ Réaliser une **analyse**

des risques détaillée avant la mise sur le marché. ✓ Fournir une **documentation technique complète** (manuel d'utilisation, plans, schémas électriques et mécaniques, analyse des risques, essais de sécurité). ✓ Apposer le **marquage CE** garantissant la conformité aux réglementations européennes.

◆ **Obligations en matière de documentation**

✓ Élaborer un **dossier technique de fabrication** détaillant la conception et les mesures de sécurité. ✓ Rédiger une **déclaration de conformité** attestant que l'équipement respecte les directives en vigueur. ✓ Mettre à disposition un **manuel d'instructions** clair et précis pour les utilisateurs et les techniciens de maintenance. ✓ Définir les **procédures de maintenance préventive et corrective** à suivre.

Obligations des utilisateurs et intégrateurs de robots

Les entreprises intégrant des robots industriels dans leurs chaînes de production ont des responsabilités en matière de sécurité et de conformité.

◆ **Installation et mise en service**

✓ Vérifier la **conformité du robot et des équipements associés** avant son intégration. ✓ Réaliser une **évaluation des risques sur site** en tenant compte de l'environnement de travail. ✓ Installer des **protections physiques** (barrières, capteurs de présence, dispositifs d'arrêt d'urgence). ✓ Former les opérateurs à l'utilisation sécurisée du robot. ✓ Documenter la **mise en service et les procédures de validation** de l'équipement.

◆ **Exploitation et maintenance**

✓ Assurer un **entretien régulier** et vérifier le bon fonctionnement des dispositifs de sécurité. ✓ Maintenir à jour le **Document Unique d'Évaluation des Risques (DUER)** en intégrant les robots automatisés. ✓ Réaliser des **inspections périodiques obligatoires** en accord avec la réglementation en vigueur. ✓ Déclarer et consigner tout **incident ou dysfonctionnement lié à un robot**. ✓ Mettre en place un **plan de formation continue** pour les techniciens et opérateurs.

Modifications et responsabilités juridiques

◆ **Modification d'un équipement robotisé en service**

✓ Une modification significative peut remettre en cause la **certification CE** et nécessiter une nouvelle validation. ✓ L'entreprise utilisatrice devient responsable des risques liés à la modification. ✓ Un **nouveau dossier technique** doit être constitué avec une **analyse des risques mise à jour**. ✓ Le **guide technique du 18/11/2014** encadre les modifications de machines en service.

◆ Conséquences juridiques en cas de non-conformité

✓ Une non-conformité peut entraîner une **interdiction d'exploitation du robot**. ✓ En cas d'accident, la responsabilité de l'employeur peut être engagée pénalement. ✓ Des **sanctions administratives et financières** peuvent être appliquées (amendes, retraits de certification). ✓ Un manquement aux obligations de sécurité peut entraîner une **fermeture temporaire ou définitive du site industriel**.

🔍 Étude de cas : Mise en conformité d'un robot collaboratif

Une entreprise du secteur aéronautique souhaite intégrer un **robot collaboratif** sur sa ligne d'assemblage. Les étapes suivies pour assurer la conformité sont : ✓ **Évaluation des risques selon ISO 12100** : Définition des dangers potentiels liés à l'interaction homme-machine. ✓ **Mise en place de capteurs de proximité** : Réduction des vitesses en cas d'approche d'un opérateur. ✓ **Validation des circuits de commande (ISO 13849-1)** : Test des systèmes d'arrêt d'urgence et des barrières immatérielles. ✓ **Formation du personnel** : Sensibilisation aux risques et bonnes pratiques d'exploitation. ✓ **Audit final et validation CE** : Vérification complète et certification de conformité avant mise en production.

📌 Objectifs du chapitre

À l'issue de ce module, les participants seront capables de : ✓ Identifier les obligations des constructeurs et utilisateurs en matière de conformité réglementaire. ✓ Mettre en œuvre les procédures nécessaires à la validation et à l'exploitation d'un robot industriel. ✓ Évaluer l'impact d'une modification sur la certification CE et la sécurité des équipements. ✓ Anticiper les conséquences juridiques en cas de non-respect des réglementations. ✓ Appliquer les bonnes pratiques pour garantir une exploitation sécurisée des robots en milieu industriel.

📌 **Conclusion** : Le respect des obligations réglementaires et la mise en conformité des robots industriels sont essentiels pour assurer la sécurité des travailleurs, éviter des sanctions légales et optimiser la performance des équipements automatisés.

4 Démarches de conception d'un équipement robotisé

✂ Pourquoi structurer la conception d'un robot industriel ?

La conception d'un équipement robotisé doit suivre une démarche rigoureuse intégrant les exigences fonctionnelles, de performance et de sécurité. Une mauvaise planification

peut entraîner des risques accrus, des coûts supplémentaires et des difficultés d'intégration.

✓ **Garantir la conformité réglementaire** en intégrant les exigences des normes dès la phase de conception. ✓ **Optimiser la performance et l'efficacité du robot** pour répondre aux attentes de production. ✓ **Réduire les coûts de maintenance** en anticipant les problématiques techniques. ✓ **Assurer la sécurité des opérateurs** en intégrant des dispositifs de protection adaptés. ✓ **Faciliter l'intégration du robot** dans un environnement de production existant.

Élaboration du cahier des charges technique

Un **cahier des charges précis** est essentiel pour orienter le développement du robot en fonction des besoins industriels.

✓ **Définition des exigences fonctionnelles** : Objectifs, tâches à accomplir, cadence de production. ✓ **Contraintes techniques** : Charge utile, précision, encombrement, vitesse. ✓ **Normes et réglementations applicables** : Conformité à la directive 2006/42/CE. ✓ **Conditions d'exploitation** : Température, humidité, environnement poussiéreux. ✓ **Interfaces de communication** : Intégration avec les systèmes de production existants. ✓ **Exigences de sécurité** : Détection d'obstacles, dispositifs d'arrêt d'urgence. ✓ **Besoins en maintenance** : Accessibilité des composants, cycles de maintenance prévus.

Processus de conception d'un robot industriel

Étude de faisabilité

✓ Analyse des besoins industriels et des attentes spécifiques. ✓ Comparaison avec des solutions existantes. ✓ Évaluation des contraintes techniques et économiques. ✓ Réalisation de maquettes ou prototypes virtuels.

Conception préliminaire

✓ Définition des architectures mécaniques et électriques. ✓ Choix des actionneurs, capteurs et composants électroniques. ✓ Identification des risques potentiels liés à l'utilisation du robot. ✓ Première validation par simulations numériques.

Validation technique et essais préliminaires

✓ Construction d'un prototype fonctionnel. ✓ Tests de performance, de fiabilité et d'endurance. ✓ Ajustement des paramètres mécaniques et électroniques. ✓ Vérification de l'ergonomie et de l'intégration avec l'environnement de production.

🔧 Finalisation et documentation

✓ Rédaction de la documentation technique détaillée. ✓ Élaboration des plans de montage, schémas électriques et procédures de maintenance. ✓ Réalisation des tests finaux et validation des performances. ✓ Vérification de la conformité aux réglementations et certification CE.

🚦 Validation de la mise en service

Avant la mise en service d'un robot industriel, plusieurs étapes de validation sont requises : ✓ **Vérification des sécurités intégrées** : Tests des dispositifs d'arrêt d'urgence et barrières de sécurité. ✓ **Contrôle de la programmation** : Validation des séquences de mouvement et des comportements automatisés. ✓ **Tests en conditions réelles** : Essais dans l'environnement de production avec des opérateurs formés. ✓ **Évaluation des performances** : Vérification de la conformité aux exigences du cahier des charges. ✓ **Validation finale et certification** : Apposition du marquage CE après les tests de conformité.

📄 Exemple de mise en application : Conception d'un robot de palettisation

Une entreprise agroalimentaire souhaite automatiser la palettisation de ses produits finis. Voici la démarche suivie : ✓ **Élaboration du cahier des charges** : Définition de la cadence, des charges et des conditions d'environnement. ✓ **Conception préliminaire** : Sélection du bras robotisé et de ses accessoires. ✓ **Développement et prototypage** : Tests en laboratoire et validation des algorithmes de mouvement. ✓ **Intégration et validation** : Installation sur la ligne de production, tests en charge et mise en conformité. ✓ **Formation des opérateurs** : Explication des procédures de maintenance et des consignes de sécurité. ✓ **Mise en service et suivi post-installation** : Vérification continue et ajustements si nécessaire.

📌 Objectifs du chapitre

À l'issue de ce module, les participants seront capables de : ✓ Élaborer un cahier des charges précis pour un robot industriel. ✓ Suivre une méthodologie rigoureuse de conception. ✓ Intégrer les exigences réglementaires dès la phase de développement. ✓ Mettre en place des dispositifs de sécurité efficaces. ✓ Valider la mise en service en garantissant la conformité et la performance.

📌 **Conclusion** : Une bonne conception repose sur une anticipation des contraintes techniques, une évaluation approfondie des risques et une validation rigoureuse avant mise en service. En respectant ces principes, les industriels garantissent un déploiement efficace et sécurisé de leurs robots.

5 Analyse des risques et évaluation de la conformité (NF EN ISO 12100)

Pourquoi réaliser une analyse des risques ?

L'analyse des risques est une étape cruciale dans la conception et l'exploitation des robots industriels. Elle permet d'identifier les dangers potentiels, d'évaluer leur impact et de mettre en place des mesures de prévention adaptées.

✓ Réduire les risques d'accidents et protéger les opérateurs. ✓ Garantir la conformité réglementaire en respectant les normes de sécurité. ✓ Améliorer la fiabilité des équipements et éviter les interruptions de production. ✓ Faciliter l'intégration des robots dans des environnements de travail sécurisés. ✓ Optimiser la performance des robots tout en limitant les coûts liés aux incidents.

Méthodologie d'analyse des risques (NF EN ISO 12100)

L'ISO 12100 définit une approche structurée pour identifier, évaluer et réduire les risques liés aux équipements industriels.

Identification des dangers

✓ Analyse des tâches effectuées par le robot (déplacement, manipulation, vitesse, charge utile). ✓ Recensement des risques mécaniques (écrasement, cisaillement, coincement). ✓ Prise en compte des dangers électriques (choc électrique, court-circuit). ✓ Identification des risques thermiques (brûlures, incendies). ✓ Évaluation des risques liés à la programmation et à la cybersécurité.

Évaluation des risques

✓ Détermination de la gravité potentielle d'un accident. ✓ Probabilité d'apparition d'un danger dans des conditions normales et dégradées. ✓ Classification des risques selon leur criticité. ✓ Hiérarchisation des actions de prévention en fonction de la dangerosité des scénarios identifiés.

Réduction des risques

✓ Conception intrinsèquement sécurisée : Intégration de dispositifs de protection dès la phase de conception. ✓ Mise en place de **protections physiques** : Barrières de sécurité, capteurs de présence, arrêt d'urgence. ✓ Application de **mesures organisationnelles** : Formation des opérateurs, protocoles de maintenance rigoureux.

✓ Mise en œuvre de **systèmes d'alerte** pour prévenir les erreurs de manipulation. ✓
Validation des dispositifs de sécurité avant mise en service.

Outils et techniques d'analyse des risques

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour structurer l'évaluation des risques : ✓
HAZOP (Hazard and Operability Study) : Identification des écarts possibles dans les processus robotisés. ✓ **AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité)** : Analyse des points faibles du système et classification des priorités d'action. ✓ **What If ?** : Brainstorming et scénarios d'accidents hypothétiques pour anticiper les situations dangereuses. ✓ **Arbre des causes et arbre des défaillances** : Modélisation des chemins menant à un incident pour mieux les prévenir. ✓
MADS/MOSAR : Approche globale de gestion des risques intégrant les barrières de sécurité.

Exemple d'analyse des risques : Intégration d'un cobot sur une chaîne de production

Une entreprise de fabrication souhaite intégrer un robot collaboratif (cobot) pour améliorer sa production. Voici les étapes suivies : ✓ **Identification des risques** : Possibilité de collision entre le cobot et les opérateurs. ✓ **Évaluation des conséquences** : Impact sur la santé des travailleurs en cas d'accident. ✓ **Réduction des risques** : Mise en place de capteurs de proximité, ajustement des vitesses du robot. ✓ **Tests et validation** : Simulation des scénarios dangereux et ajustements des protocoles de sécurité. ✓ **Formation des opérateurs** : Sensibilisation aux bonnes pratiques de cohabitation homme-robot. ✓ **Mise en service avec suivi** : Vérification continue pour s'assurer de l'efficacité des mesures mises en place.

Objectifs du chapitre

À l'issue de ce module, les participants seront capables de : ✓ Appliquer la méthodologie de l'ISO 12100 pour analyser les risques liés aux robots industriels. ✓ Identifier et hiérarchiser les dangers dans un environnement de production automatisé. ✓ Utiliser les outils d'analyse des risques pour structurer une évaluation efficace. ✓ Proposer des solutions adaptées pour réduire les risques et améliorer la sécurité. ✓ Intégrer l'analyse des risques dans le processus de validation des équipements robotisés.

▪ **Conclusion** : L'analyse des risques est une étape essentielle pour garantir la sécurité des opérateurs et assurer la conformité des robots industriels. Une démarche structurée permet d'anticiper les dangers, d'optimiser la performance des équipements et de renforcer la culture de sécurité en entreprise.

6 Modifications et évolutions d'un équipement robotisé

Pourquoi modifier un équipement robotisé ?

Les modifications d'un équipement robotisé sont courantes pour adapter les machines aux évolutions des besoins de production, améliorer la performance ou encore renforcer la sécurité. Cependant, toute modification peut impacter la conformité réglementaire et nécessiter des validations spécifiques.

✓ Adapter un robot aux évolutions de production et aux nouvelles exigences. ✓ Optimiser l'efficacité, la précision ou la rapidité des opérations. ✓ Améliorer la sécurité des opérateurs et réduire les risques d'accidents. ✓ Assurer la conformité avec les nouvelles réglementations et normes techniques. ✓ Réduire les coûts de maintenance et prolonger la durée de vie du robot.

Cadre réglementaire des modifications

Selon le guide technique du 18/11/2014, une modification d'un robot industriel peut être classée en plusieurs catégories : ✓ **Modification mineure** : N'affecte pas la sécurité ni la conformité CE du robot. ✓ **Modification significative** : Impacte la conformité CE et nécessite une nouvelle validation. ✓ **Modification majeure** : Nécessite une requalification complète et une réévaluation des risques.

Toute modification doit être accompagnée d'une analyse de risques mise à jour et d'une documentation technique justifiant les adaptations réalisées.

Démarche de modification d'un équipement robotisé

Identification du besoin de modification

✓ Déterminer les objectifs de la modification : amélioration des performances, adaptation à un nouveau process, correction d'un problème technique. ✓ Vérifier les impacts potentiels sur la sécurité et la conformité réglementaire. ✓ Analyser les contraintes techniques et financières.

Évaluation des risques liés à la modification

✓ Réalisation d'une **analyse des risques mise à jour** (NF EN ISO 12100). ✓ Prise en compte des nouveaux dangers introduits par la modification. ✓ Vérification de l'impact sur les dispositifs de sécurité existants. ✓ Mise en place d'actions correctives pour garantir la sécurité.

🔧 Réalisation de la modification

✓ Choix des composants et intégration des nouveaux éléments. ✓ Modification des systèmes mécaniques, électriques ou logiciels du robot. ✓ Mise à jour des schémas électriques et des plans mécaniques. ✓ Vérification de la compatibilité des nouvelles fonctionnalités avec l'environnement de production.

🔍 Validation et requalification de l'équipement

✓ Réalisation de tests fonctionnels pour valider la conformité aux exigences de sécurité. ✓ Vérification du bon fonctionnement des dispositifs de protection (arrêt d'urgence, capteurs de présence, barrières de sécurité). ✓ Mise à jour du **dossier technique** et validation des modifications. ✓ Apposition d'un **nouveau marquage CE** si la modification est significative. ✓ Documentation des résultats et mise en conformité avec les normes en vigueur.

🚦 Impacts d'une modification sur la conformité réglementaire

Une modification peut impacter : ✓ **Le niveau de performance des circuits de commande de sécurité (ISO 13849-1)**. ✓ **L'ergonomie et l'interaction homme-machine**. ✓ **Les vitesses, zones d'opération et charges supportées**. ✓ **Les plans de maintenance et d'entretien**. ✓ **Les responsabilités légales en cas d'accident suite à une modification**.

📄 Exemple de modification : Ajout d'un préhenseur sur un robot existant

Une entreprise souhaite modifier un robot de manipulation pour lui ajouter un **préhenseur adaptatif** permettant de saisir plusieurs types d'objets. Voici les étapes suivies : ✓ **Évaluation des besoins** : Définition des caractéristiques du préhenseur et des modifications mécaniques nécessaires. ✓ **Analyse des risques** : Identification des nouveaux risques liés à la préhension d'objets de formes variées. ✓ **Modification mécanique et électrique** : Intégration d'un actionneur supplémentaire et mise à jour du câblage. ✓ **Validation de la sécurité** : Vérification des interactions homme-robot et des dispositifs de limitation de force. ✓ **Tests et documentation** : Mise à jour du dossier technique et validation finale avec certification CE.

📌 Objectifs du chapitre

À l'issue de ce module, les participants seront capables de : ✓ Identifier les impacts d'une modification sur la conformité et la sécurité. ✓ Mettre en œuvre une démarche rigoureuse de modification d'un robot industriel. ✓ Réaliser une analyse des risques spécifique aux modifications. ✓ Documenter et valider la mise en conformité après

modification. ✓ Appliquer les bonnes pratiques pour assurer la sécurité après une modification.

🔴 **Conclusion :** Modifier un équipement robotisé nécessite une approche méthodique incluant une analyse des risques approfondie et une validation rigoureuse. Une modification mal maîtrisée peut compromettre la sécurité et la conformité réglementaire, tandis qu'une démarche bien encadrée permet d'optimiser l'équipement tout en garantissant son intégrité et sa fiabilité.

🔧 Maintenance et vérification des circuits de commande de sécurité (NF EN ISO 13849-1)

🔍 Pourquoi la maintenance est-elle essentielle pour les robots industriels ?

Les équipements robotisés nécessitent un entretien régulier afin de garantir leur bon fonctionnement, prolonger leur durée de vie et assurer la sécurité des opérateurs. Une maintenance insuffisante peut entraîner des défaillances critiques, des arrêts de production et des risques d'accidents industriels.

✓ **Préserver la performance et la fiabilité des robots.** ✓ **Réduire les pannes et éviter les arrêts de production coûteux.** ✓ **Maintenir les niveaux de sécurité conformes aux réglementations.** ✓ **Éviter la détérioration prématurée des composants mécaniques et électroniques.** ✓ **Se conformer aux exigences des normes de sécurité et aux audits réglementaires.**

📄 Obligations réglementaires de maintenance des robots industriels

Selon la norme **NF EN ISO 13849-1**, tout système robotisé doit disposer de circuits de commande de sécurité fiables et régulièrement entretenus.

◆ Normes applicables à la maintenance des robots

✓ **NF EN ISO 13849-1** : Évaluation de la performance des circuits de commande de sécurité. ✓ **ISO 10218-1 et ISO 10218-2** : Exigences de sécurité pour les robots industriels et leurs systèmes intégrés. ✓ **Directive Machines 2006/42/CE** : Obligation pour l'employeur de garantir la sécurité des machines en exploitation. ✓ **ISO 45001** : Système de management de la santé et de la sécurité au travail appliqué aux environnements robotisés.

◆ Maintenance préventive vs. maintenance corrective

✓ **Maintenance préventive** : Planification d'opérations régulières pour éviter les pannes et assurer un fonctionnement optimal. ✓ **Maintenance corrective** : Réparation et dépannage des équipements en cas de dysfonctionnement. ✓ **Maintenance prédictive** : Surveillance des performances via des capteurs et l'intelligence artificielle pour anticiper les défaillances.

✂ Démarche de maintenance d'un équipement robotisé

📄 Élaboration d'un plan de maintenance

✓ Identifier les composants critiques nécessitant une surveillance régulière. ✓ Déterminer la fréquence des interventions en fonction des recommandations des fabricants. ✓ Intégrer les opérations de maintenance aux plannings de production. ✓ Mettre en place un système de suivi des interventions (carnet de maintenance numérique).

🔍 Contrôles périodiques des circuits de commande de sécurité

✓ Vérifier l'état des **capteurs de sécurité** (détection de présence, barrières immatérielles). ✓ Tester les **arrêts d'urgence** et leur temps de réponse. ✓ Analyser les **niveaux de performance (PLr) des circuits de commande**. ✓ Utiliser des outils comme **SISTEMA** pour valider les calculs de fiabilité des composants de sécurité.

🔧 Intervention et réparation

✓ Diagnostiquer les pannes en analysant les journaux d'erreurs et indicateurs de performance. ✓ Remplacer les composants défectueux selon les préconisations du fabricant. ✓ Tester les fonctionnalités critiques après intervention pour garantir la sécurité. ✓ Mettre à jour les documents techniques et les historiques de maintenance.

🚦 Impact de la maintenance sur la conformité et la sécurité

✓ **Réduction des risques d'accidents** grâce au maintien des dispositifs de sécurité. ✓ **Optimisation des performances** en réduisant les temps d'arrêt et d'indisponibilité. ✓ **Respect des exigences légales et réglementaires** en matière de sécurité industrielle. ✓ **Meilleure gestion des coûts** en limitant les réparations d'urgence et les remplacements prématurés.

📄 Exemple de mise en application : Vérification d'un circuit de commande sur un robot de soudage

Une entreprise de métallurgie doit effectuer une **vérification annuelle** du circuit de commande d'un robot de soudage afin d'assurer sa conformité.

✓ **Analyse des capteurs de présence** : Tests des barrières immatérielles et ajustement des seuils de détection. ✓ **Validation des arrêts d'urgence** : Vérification du temps de réponse et recalibrage si nécessaire. ✓ **Contrôle du niveau de performance (PLr)** : Calcul avec **SISTEMA** pour s'assurer du respect des exigences de fiabilité. ✓ **Mise à jour des protocoles de maintenance** : Documentation des tests réalisés et des améliorations recommandées. ✓ **Formation des opérateurs** : Sensibilisation aux bonnes pratiques de diagnostic et d'entretien du robot.

Objectifs du chapitre

À l'issue de ce module, les participants seront capables de : ✓ Établir un plan de maintenance préventive efficace. ✓ Vérifier la fiabilité des circuits de commande des robots industriels. ✓ Diagnostiquer et corriger les pannes liées aux systèmes de sécurité. ✓ Utiliser des outils comme **SISTEMA** pour évaluer la performance des circuits de commande. ✓ Documenter et assurer la traçabilité des opérations de maintenance.

▪ **Conclusion** : Une maintenance rigoureuse est essentielle pour garantir la sécurité, la conformité et la pérennité des équipements robotisés. Un plan d'entretien structuré permet d'anticiper les pannes, d'améliorer la fiabilité des robots et d'assurer un environnement de travail sécurisé pour les opérateurs.

Validation et documentation de la mise en service d'un équipement robotisé

Pourquoi valider la mise en service d'un équipement robotisé ?

L'étape de validation et documentation de la mise en service est cruciale pour garantir la conformité réglementaire et la sécurité des équipements robotisés avant leur exploitation.

✓ **Assurer que le robot fonctionne conformément aux attentes et exigences.** ✓ **Vérifier la sécurité des opérateurs et la conformité aux normes.** ✓ **Éviter les erreurs d'installation qui pourraient entraîner des défaillances.** ✓ **Documenter l'ensemble du processus pour assurer la traçabilité et faciliter la maintenance future.** ✓ **Préparer les équipes à l'utilisation et la gestion du robot en condition réelle.**

Exigences réglementaires pour la mise en service

✓ **Directive 2006/42/CE sur les machines** : Obligation de réaliser une évaluation de conformité avant exploitation. ✓ **ISO 10218-1 et ISO 10218-2** : Normes sur la sécurité

des robots industriels. ✓ **NF EN ISO 13849-1** : Vérification de la fiabilité des circuits de commande de sécurité. ✓ **ISO 12100** : Application des principes de prévention des risques dès la mise en service. ✓ **ISO 45001** : Intégration des exigences de sécurité et de santé au travail.

Les étapes de validation avant la mise en service

1 Vérifications techniques et tests préliminaires

✓ Contrôle des assemblages mécaniques et des connexions électriques. ✓ Test des capteurs, actionneurs et éléments de commande. ✓ Vérification de la conformité des circuits de sécurité. ✓ Exécution de tests à vide pour s'assurer du bon fonctionnement des déplacements du robot.

2 Validation des dispositifs de sécurité

✓ Test des arrêts d'urgence et des dispositifs de verrouillage. ✓ Vérification de la détection de présence et des barrières immatérielles. ✓ Simulation de scénarios de panne pour vérifier la robustesse du système de sécurité. ✓ Validation de la vitesse, des limites de course et de la précision des mouvements.

3 Documentation de la mise en service

✓ Rédaction d'un rapport de validation détaillant toutes les étapes de mise en service. ✓ Archivage des résultats des tests et des certifications obtenues. ✓ Création d'un plan de maintenance pour assurer le suivi des performances. ✓ Mise à disposition du manuel utilisateur et du plan de formation. ✓ Intégration des résultats dans le **Dossier Technique de Sécurité**.

4 Formation et sensibilisation des opérateurs

✓ Présentation du fonctionnement du robot et de ses procédures de sécurité. ✓ Sensibilisation aux risques liés à l'exploitation et à la maintenance. ✓ Entraînement aux procédures d'arrêt d'urgence et de réaction en cas d'anomalie. ✓ Validation des connaissances acquises par les opérateurs via des tests pratiques.

Suivi post-installation et validation finale

✓ Surveillance du robot en conditions réelles pour identifier d'éventuels dysfonctionnements. ✓ Ajustement des paramètres en fonction des retours d'expérience des opérateurs. ✓ Vérification du respect des cadences de production et de la précision des opérations. ✓ Finalisation du **dossier de conformité CE** pour archivage. ✓ Planification d'un audit de conformité 6 mois après la mise en service.


Exemple de mise en application : Validation d'un robot de tri automatisé

Une entreprise de logistique installe un **robot de tri automatisé** pour accélérer le traitement des colis. Voici les étapes suivies pour valider sa mise en service : ✓

Contrôle des systèmes de convoyage et de préhension. ✓ Vérification des capteurs de reconnaissance et des logiciels d'IA intégrés. ✓ Tests en conditions réelles avec des colis de différentes tailles et poids. ✓ Formation des opérateurs à l'entretien et à la gestion des erreurs. ✓ Validation des performances et ajustements finaux. ✓ Rédaction du dossier technique et archivage des résultats des tests.

Objectifs du chapitre

À l'issue de ce module, les participants seront capables de : ✓ Vérifier la conformité technique et sécuritaire avant la mise en exploitation d'un robot. ✓ Documenter toutes les étapes du processus de validation. ✓ Former les opérateurs à l'utilisation sécurisée et efficace du robot. ✓ Assurer le suivi post-installation et ajuster les paramètres si nécessaire. ✓ Finaliser le dossier de conformité pour répondre aux exigences réglementaires.

 **Conclusion :** La validation et la documentation de la mise en service sont des étapes incontournables pour garantir la performance, la sécurité et la conformité des robots industriels. Une bonne préparation et un suivi rigoureux permettent d'assurer un fonctionnement optimal tout en minimisant les risques.