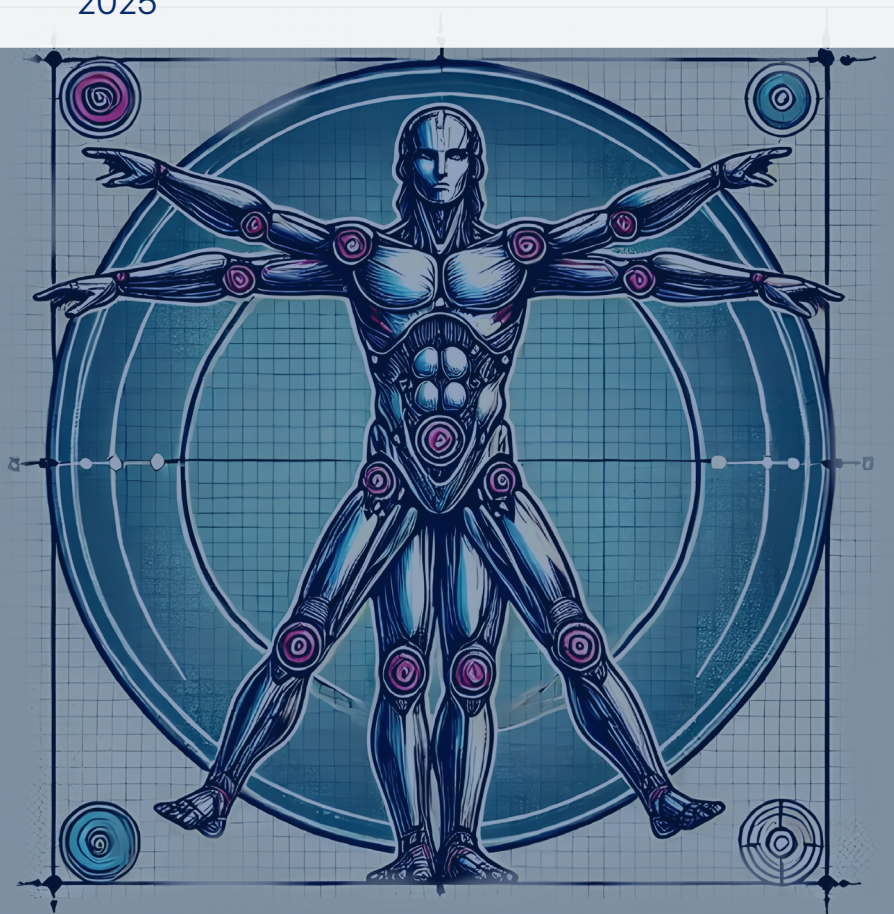


GUIDE PRATIQUE

| sur la notion d'IA

telle qu'utilisée dans le Règlement Machines 2023/1230

2025



Introduction

Le présent document a été mis au point par un groupe rassemblant des experts des commissions de normalisation UNM 45 « Sécurité des machines » et AFNOR UF 44 « Sécurité des machines - Aspects électrotechniques ».

Les sociétés suivantes ont contribué à sa rédaction :

- AMADA
- Axa
- Cetim
- EAS change systems
- Emitech
- Eurogip
- FIM
- Ineris
- INRS

- JDF
- LNE
- Michelin
- Ministère du Travail
- Poclain
- Progilon
- Schneider Electric
- Wilo

Le lecteur est seul responsable de l'adéquation du contenu du document avec ses besoins spécifiques.

L'UNM et les organismes ayant contribué à l'élaboration de ce guide ne sauraient être tenus responsables des éventuels dommages directs ou indirects résultant de l'utilisation, de l'interprétation ou de la mise en œuvre des informations présentes dans ce document.

Compte tenu de l'évolution rapide de ces technologies, le présent guide contient l'état des connaissances des membres du groupe au moment de sa parution et est susceptible d'être révisé.

1

Objectif

Le nouveau Règlement machines (UE) 2023/1230 paru en juin 2023 intègre de nouvelles exigences sur les systèmes à comportement autoévolutif utilisant des approches d'apprentissage automatique. Le présent guide aide à mieux comprendre ces systèmes et leurs limites dans le respect des principes de sécurité.

Note : le règlement machines se réfère aux deux formulations suivantes :

- « Systèmes au comportement totalement ou partiellement auto-évolutif et qui utilisent des approches d'apprentissage automatique ». (Voir points 5 et 6 de l'annexe I et 19 de l'annexe II)
- « Systèmes au comportement ou à la logique totalement ou partiellement auto-évolutifs qui sont conçus pour fonctionner avec différents niveaux d'autonomie. » (Voir dans principes généraux paragraphe 1 alinéa 3 de l'Annexe III)

Dans le présent document, ces deux appellations sont reprises sous la dénomination IA.

Note : en l'état actuel, la partie IA liée au Règlement IA 2024/1689 n'est pas abordée dans ce document.

Définition de l'IA et application aux machines

Le terme « intelligence artificielle » désigne à la fois un domaine d'étude de l'informatique et un type de programme d'ordinateur. Les programmes appelés « IA » ont pour point commun qu'ils n'ont pas été écrits par un humain mais « auto-générés » par un algorithme.

Ce type de programme est appelé « système d'IA » dans la norme ISO/IEC 22989:2022 « Technologies de l'information - Intelligence artificielle - Concepts et terminologie relatifs à l'intelligence artificielle ».

On parle d'IA pour deux usages de ce type de programme :

- entraînement du modèle (phase d'auto-génération du programme) et ;
- utilisation du programme (phase appelée aussi « inférence »).

Ces deux usages ne peuvent être exécutés simultanément. En d'autres termes, quand l'IA s'entraîne, elle ne travaille pas. Quand elle travaille, elle ne s'entraîne pas (phase d'apprentissage).

Le présent document traite de « machine learning » (ML) (en français : Apprentissage Automatique), c'est-à-dire un type d'intelligence artificielle qui permet aux machines d'apprendre **à partir de données**, sans que cet apprentissage soit explicitement programmé [ISO : **ISO - L'apprentissage machine : tout ce qu'il faut savoir**]. Par exemple, dans le cadre d'une analyse d'image, cette technique s'appelle « deep learning » (apprentissage profond) car le traitement d'image nécessite l'emploi de réseaux de neurones profonds.

Dans les machines, ainsi que dans le Règlement (UE) 2023/1230, l'IA désigne le moteur d'inférence d'un modèle d'IA (préalablement entraîné) utilisé dans le système de commande d'une machine. Ce type de système de commande d'une machine peut être désigné Automatisation Apprise (Learned Automation – LA).

Implications sur l'appréciation des risques

L'ISO/TR 22100-5

Le rapport technique ISO/TR 22100-5:2021 « Sécurité des machines - Relation avec l'ISO 12100 - Partie 5: Implications de l'intelligence artificielle pour l'apprentissage automatique » propose une lecture de la norme ISO 12100:2010 « Sécurité des machines - Principes généraux de conception - Appréciation du risque et réduction du risque » sous l'angle de l'implantation de ML dans une machine. Il ne traite pas des SRP/CS (*safety-related part of a control system*) intégrant de l'IA.

Ce rapport présente deux cas distincts :

IA dans la machine :

N'a pas d'impact sur la sécurité

S'assurer, lors du processus d'appréciation et de réduction du risque (ISO 12100) qu'il n'y a aucun impact.
Exemple : dépassement des limites spécifiées de la machine à cause des résultats (incertains) de l'IA

A un impact sur la sécurité

Les résultats de l'IA pouvant amener à une augmentation du risque sont bien couverts par un moyen indépendant de l'IA.

Ce rapport conclut que l'usage d'IA dans une machine est possible et que les outils méthodologiques d'appréciation et de réduction des risques restent applicables.

Le ou les risques introduits par l'IA dans les applications de machines peuvent être complètement pris en considération par la méthodologie d'appréciation du risque et de réduction du risque prescrite dans l'ISO 12100, dans laquelle les risques de l'IA sont pris en considération en fonction de l'usage prévu et des limites d'utilisation (frontières prédéterminées) spécifiées par le fabricant de la machine.

Les questions à se poser

L'intégration de l'IA nécessite de s'interroger sur certains points particuliers lors de l'évaluation des risques :

- Est-ce que les conditions de fonctionnement de la machines changent ? Est-ce que de nouvelles situations dangereuses sont créées en changeant potentiellement les scénarios d'accidents ? Si oui, il faut revoir l'analyse de risque.
- L'IA est-elle nécessaire pour que la machine puisse opérer et remplir sa fonction ?
- La défaillance de la fonction gérée par l'IA peut-elle conduire à une situation dangereuse ?

Les exigences du règlement (UE) 2023/1230

Les principales références et exigences du règlement machines relatives à l'IA sont rappelés ci-dessous. Il est à noter que la Commission Européenne prépare des guides d'interprétation pour expliciter ces exigences (Guide d'application du Règlement Machines, Guide d'interprétation de l'AI Act, etc).

(12) [...] D'autres perfectionnements des machines, déjà en place ou attendus, comprennent le traitement de l'information en temps réel, la résolution de problèmes, la mobilité, les systèmes de capteurs, l'apprentissage, l'adaptabilité et la capacité de fonctionner dans des environnements non structurés (par exemple, des chantiers de construction).

(55) Les dispositions relatives à l'évaluation de la conformité par un tiers d'un logiciel assurant des fonctions de sécurité définies dans le présent règlement ne devraient s'appliquer qu'aux systèmes à comportement entièrement ou partiellement auto-évolutif utilisant des approches d'apprentissage automatique assurant des fonctions de sécurité. À l'inverse, ces dispositions ne devraient pas s'appliquer aux logiciels incapables d'apprendre ou d'évoluer, et qui ne sont programmés que pour exécuter un certain nombre de fonctions automatisées des machines ou produits connexes.

Annexe I (Catégories de machines ou de produits connexes auxquelles s'applique l'une des procédures visées à l'article 25, paragraphes 2 et 3) – Partie A :

5. Composants de sécurité au comportement totalement ou partiellement auto-évolutif et qui utilisent des approches d'apprentissage automatique assurant des fonctions de sécurité.

6. Machines dont les systèmes intégrés ont un comportement totalement ou partiellement auto-évolutif et utilisent des approches d'apprentissage automatique assurant des fonctions de sécurité qui n'ont pas été mises sur le marché de manière indépendante, uniquement en ce qui concerne ces systèmes.

Annexe II (Liste indicative des composants de sécurité)

19. Composants de sécurité au comportement totalement ou partiellement auto-évolutif et qui utilisent des approches d'apprentissage automatique assurant des fonctions de sécurité.

Annexe III – Partie B – 1.2.1 Sécurité et fiabilité des systèmes de commande

Les systèmes de commande sont conçus et construits de manière [...] d) : à ce que les limites des fonctions de sécurité soient établies en tant que partie de l'évaluation des risques effectuée par le fabricant et qu'aucune modification des réglages ou des règles générée par la machine, le produit connexe ou les opérateurs ne soit permise, y compris durant la phase d'apprentissage de la machine ou du produit connexe, lorsque de telles modifications pourraient entraîner des situations dangereuses ;

Une attention particulière est accordée aux points suivants [...] c) les modifications des réglages ou des règles, générées par la machine, le produit connexe ou les opérateurs, y compris durant la phase d'apprentissage de la machine ou du produit connexe, sont empêchées lorsque ces modifications peuvent entraîner des situations dangereuses.

Annexe III – Partie B – 1.2.2 Organes de service

Les organes de service sont [...] d) disposés hors des zones dangereuses sauf, si nécessaire, pour certains organes de service, tels qu'un arrêt d'urgence et une console d'apprentissage pour les robots.

5

Réalisation d'une fonction de sécurité

En soutien à la réglementation (Directive 2006/42/CE ou Règlement (UE) 2023/1230), une fonction de sécurité dans une machine doit respecter des principes généraux de conception décrits dans la norme ISO 12100:2010.

Cette norme montre comment apprécier les risques et comment mener une démarche de réduction des risques adéquate. Cette réduction peut amener à concevoir les fonctions de sécurité. Celles-ci doivent respecter des règles de conception dont les principes généraux sont décrits dans la norme ISO 13849-1:2023 « Sécurité des machines - Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité - Partie 1 : principes généraux de conception ».

Pour la partie logicielle, cette dernière préconise l'emploi de méthodes de conception impliquant une maîtrise de la programmation de bout en bout : des spécifications aux vérifications. Cette maîtrise n'est pas encore applicable pour les algorithmes de MACHINE LEARNING (voir l'annexe I pour de plus amples explications).

Cependant, l'ISO 13849-1 ouvre la porte aux essais fonctionnels de boîte noire pour les programmes dont on ne maîtrise pas complètement la conception. Or, dans ce cas encore, les protocoles de tests et de validation (notamment décrits dans l'ISO 13849-2) ne sont pas applicables car ils imposent une maîtrise complète des conditions environnementales et des spécifications des essais.

6

Autres normes

ISO/IEC 5469:2024 « Intelligence artificielle - Sécurité fonctionnelle et systèmes d'intelligence artificielle »

Ce rapport introduit deux systèmes de classification : le niveau d'utilisation et la classe de technologie d'IA. Le Tableau 1 de la norme résume ces deux classifications dans un tableau à double entrée :

- pour le niveau D (pas d'impact sur la sécurité), application de méthodes classiques de réduction des risques
- pour les autres niveaux (C à A1) (impact même indirectement sur la sécurité), trois classes sont définies :
 - classe I : les méthodes de RR sont applicables – les appliquer
 - classe II : les méthodes de RR sont applicables avec certaines adaptations – les adapter
 - classe III : les méthodes ne sont pas applicables – ne pas l'intégrer dans la machine

Ce rapport introduit un principe pour la réalisation d'un système d'IA à trois étapes :

acquisition de données



extraction de connaissances



traitement et production de résultats

Il propose une revue de littérature sur le sujet.

ISO/IEC 22989:2022 « Technologies de l'information - Intelligence artificielle - Concepts et terminologie relatifs à l'intelligence artificielle »

Cette norme traite des concepts et de la terminologie relatifs à l'IA.

Pour illustrer ce guide, cette partie présente trois cas d'usage représentatifs des notions évoquées précédemment. Ces trois cas d'usage ont été sélectionnés selon leur impact sur la sécurité de la machine. Cet impact se traduit par la localisation de l'IA dans le système de commande.

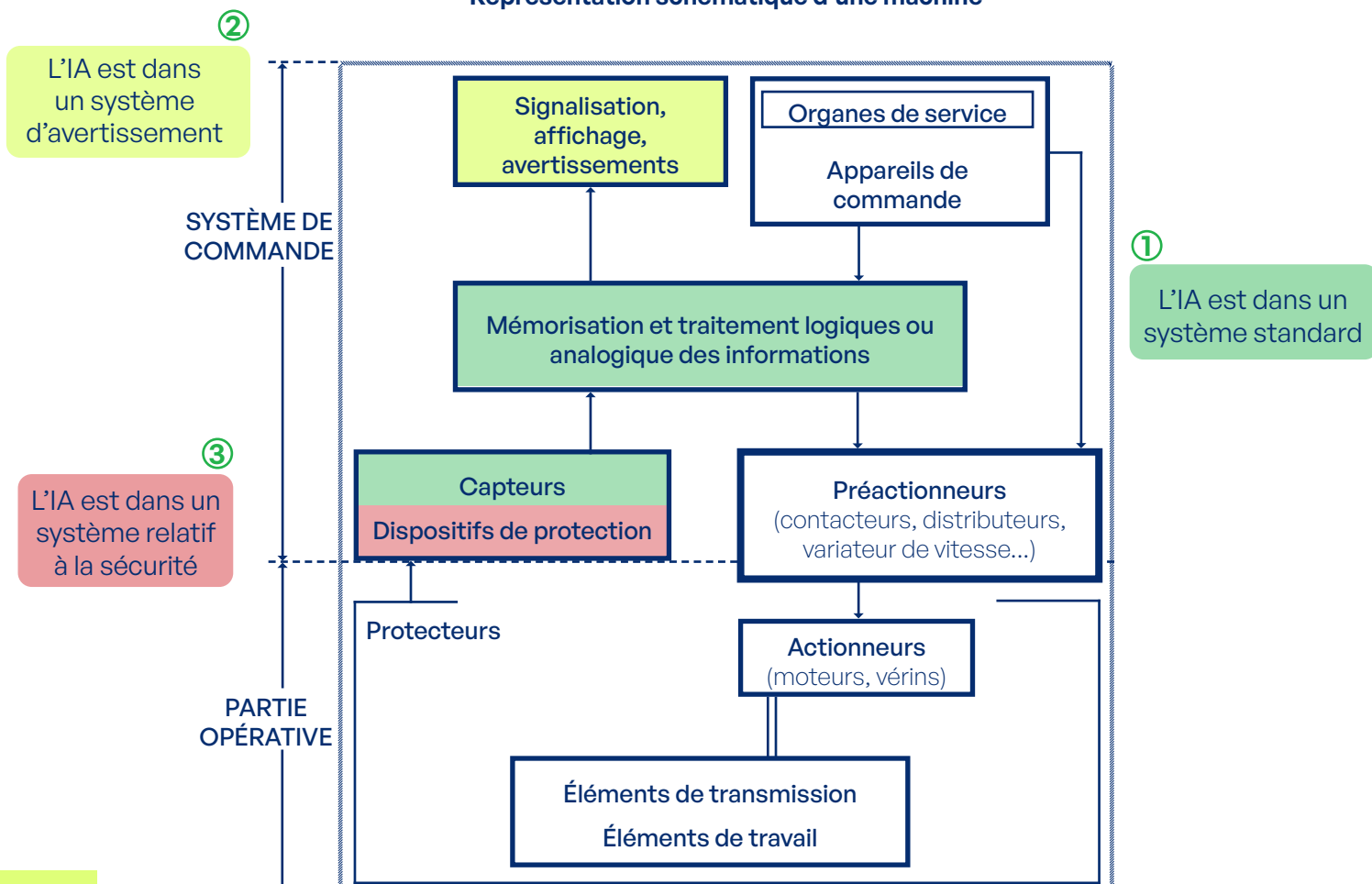
7.1 Localisation de l'IA dans le système de commande.

L'impact de l'IA sur la machine dépend de la localisation du système d'IA dans le contrôle/commande de la machine. Trois localisations particulières sont mises en évidence pour montrer ces différents impacts.

L'illustration suivante (issue de la norme ISO 12100) représente une machine. Des systèmes d'IA peuvent être implantés (par exemple) :

- ① dans la partie « Mémorisation et traitement logique ou analogique des informations »,
- ② dans la partie « Signalisation, affichage, avertissements » ou
- ③ dans la partie « Capteurs, dispositifs de protection ».

Représentation schématique d'une machine



7.2 Fonction réalisée par l'IA

L'IA est une technologie de l'information, le système d'IA réalise une fonction. Une fonction peut être symbolisée par comme suit :



À titre d'exemple et pour bien comprendre les cas d'usage décrit ci-après, les fonctions assurées par un système d'IA peuvent être :

Tri myrtilles

Une machine de tri de myrtilles en fonction de leur qualité (maturité, tâche, défaut, etc.) peut faire appel à une fonction d'IA dans un capteur optique (caméra). Ce système aura comme **entrée** l'image d'une myrtille sur la bande de transport de la machine, un réseau de neurones artificiels analysera l'image (**la logique**) et en **sortie**, le système indiquera à la machine la destination de la myrtille (rebut ou packaging).

Entrée, image d'une caméra ; **Logique**, un RNA ; **Sortie**, destination des myrtilles.

Pour la machine, il s'agira bien d'une entrée (un capteur / détecteur).

Dévracage

Un bras articulé destiné à alimenter une ligne de fabrication avec des pièces en vrac dans un bac devra être capable de les saisir une à une. Une fonction d'IA peut être utilisée pour déterminer la position de prise du préhenseur. Utilisé dans ce contexte, un système d'IA aura comme **entrée** une l'image 3D du bac provenant d'une caméra de profondeur, un réseau de neurones artificiels (RNA) déterminera les coordonnées de prise, c'est respectivement la **logique** et la **sortie** du système.

Entrée, image d'une caméra ; **Logique**, un RNA ; **Sortie**, coordonnées de prise du système.

Pour le robot, l'ensemble du système est une entrée (un capteur de position de la pièce à manipuler).

Robot Mobile Autonome (AMR)

Un AMR est un robot mobile apte à se déplacer dans un environnement complexe en présence de personnes et d'autres équipements mobiles. Les déplacements d'un tel robot peuvent faire penser à un comportement intelligent cependant, les fonctions de cartographie et de navigation dynamique de ces robots ne font pas appels à un système d'IA (comme défini dans ce document). Des fonctions d'évitement d'obstacle peuvent néanmoins utiliser un système d'IA. Basées, cette fois encore, sur de l'analyse d'image, ces fonctions permettent au robot mobile d'anticiper ces changements de trajectoire.

Entrée, l'image d'une caméra ; **Logique**, un RNA ; **Sortie**, coordonnées et encombrement des obstacles sur la trajectoire.

Pour le robot, il s'agit d'une entrée (capteur).



Pulvérisateur agricole

Un pulvérisateur agricole dispose d'une rampe munie de buses de pulvérisation de produits phytosanitaires sur les cultures. Pour cibler les endroits où le produit est nécessaire, un capteur de plante peut activer ou désactiver la pulvérisation dynamiquement. Ce capteur est réalisé par un système d'IA. Ici encore : **Entrée**, l'image d'une caméra ; **Logique**, un RNA ; **Sortie**, ouverture ou fermeture de la buse de pulvérisation. Pour le pulvérisateur, il s'agit d'entrées (capteurs).

Avertisseur de la présence d'une personne derrière un véhicule.

Sur les engins de chantier, un dispositif de détection des personnes dans les angles morts du champ de vision du conducteur peut aider celui-ci lors des manœuvres. La distinction d'une personne avec un obstacle est très complexe ; elle peut faire appel à un système d'IA. **Entrée**, l'image d'une caméra ; **Logique**, un RNA ; **Sortie**, présence et position d'une personne (le cas échéant). Pour l'engin, ce capteur (entrée) peut déclencher une alarme.

Lame de scie escamotable

Sur une scie à format, un dispositif permet d'escamoter la lame à l'approche de la main de l'opérateur lors du guidage de la planche à scier. Ce dispositif utilise un système optique de détection de mains ; c'est un système d'IA. **Entrée**, l'image d'une caméra ; **Logique**, un RNA ; **Sortie**, présence d'une main à proximité immédiate de la lame. Pour la scie à format, le système d'IA est un capteur qui permettra à la lame de s'escamoter.

Pour conclure sur la fonction réalisée par l'IA dans les machines décrites dans ces cas d'usage, seules les détections sont concernées. Il s'agit d'entrée pour le système de commande de la machine.

Selon la localisation (dans le système de commande) de la fonction de détection réalisée par le système d'IA, trois de ces cas d'usage seront décrits dans la partie suivante.



7.3 Cas d'usage

Système d'IA utilisé pour réaliser une fonction standard¹ de la machine.

Robot de dévracage de pièces dans l'industrie manufacturière

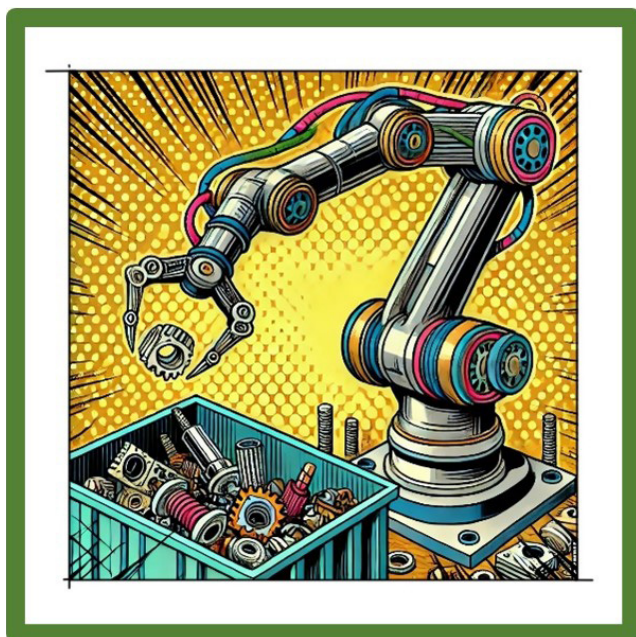


Figure 1 - Illustration d'une application de dévracage

Une application de dévracage de pièces.

Système d'IA permet l'optimisation/programmation des trajectoires d'un robot lors de la saisie de pièces en vrac. Le système d'IA n'est actif que lors des modes de marche automatique ou réglage.

L'amplitude de mouvement du robot n'est pas affectée par les résultats du système d'IA. Les vitesses et accélérations du robot ne sont pas accessibles au système d'IA non plus.

La sécurité des opérateurs de cette machine doit être traitée de la même manière que pour une application de robotique similaire qui n'utiliserait pas de système d'IA.

¹ Une fonction standard est une fonction qui permet à la machine de réaliser une tâche pour laquelle elle est conçue ; à l'inverse d'une fonction de sécurité, sa défaillance n'implique pas d'augmentation du risque.

Avertir le conducteur lorsque la trajectoire de son engin va croiser une personne.

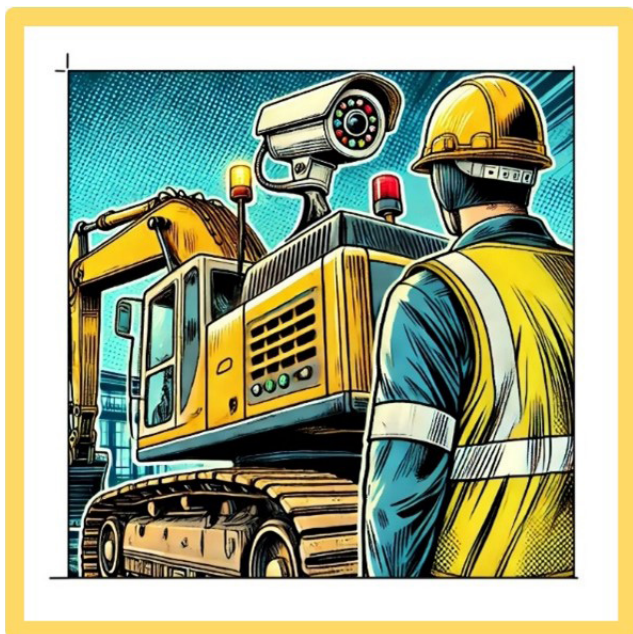


Figure 2 – Illustration d'un système d'avertissement de présence de personne sur la trajectoire d'un engin.

Un dispositif embarqué sur un engin de chantier permet de capter la présence d'une personne dans la trajectoire de l'engin. Un avertisseur lumineux et sonore prévient le conducteur de la présence de personnes ; le système ne se déclenche pas en présence d'obstacle inerte. Le conducteur est chargé de prendre les mesures nécessaires (changement de trajectoire, arrêt, etc.).

La fonction de distinction entre personne/objet est assurée par un système d'IA. Le système n'a aucun lien avec les organes de sécurité de l'engin. La fonction réalisée par le système d'IA n'est pas une fonction de sécurité.

Le système d'IA intervient dans la réduction du risque au titre des mesures de réduction décrites dans l'ISO 12100, paragraphe 6.4.3

(Réduction du risque - Informations pour l'utilisation - Signaux et dispositifs d'avertissement).

Pour autant, il convient de s'interroger de l'impact sur le comportement du conducteur de ce type de dispositif. L'analyse de risque doit donc être réitérée afin de prendre en compte ce nouvel élément qui pourrait être à l'origine d'un nouveau mauvais usage raisonnablement prévisible tel que défini dans le règlement (cf. Annexe III partie A point i). La fiabilité des systèmes de commande (article 1.2.1 du règlement) peut être interrogée car le conducteur pourrait se reposer sur ce système de détection et baisser sa vigilance.



Attention !

À l'heure où nous écrivons ce document et à notre connaissance, aucune application de système d'IA ne permet d'assurer une fonction de sécurité validée selon les méthodes avérées.

Le cas d'usage ci-dessous n'est donné qu'à titre d'exemple pour éclairer la compréhension.

Escamoter la lame d'une scie à format à l'approche des mains de l'opérateur.

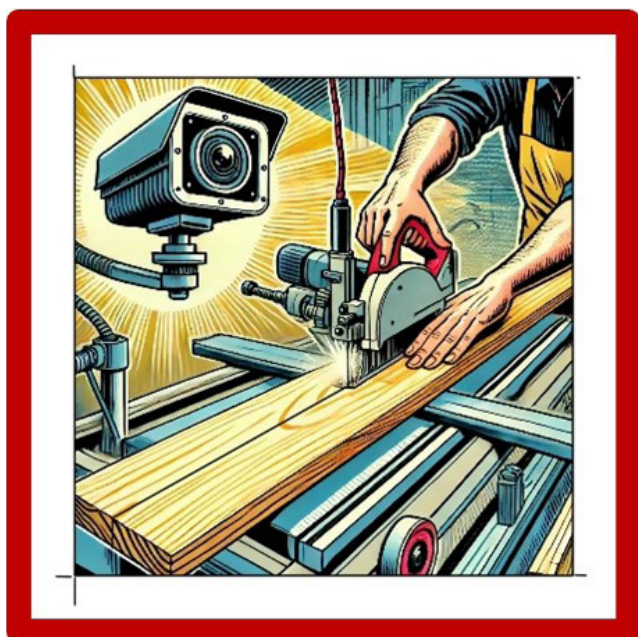


Figure 3 - Illustration d'un système d'IA sur une scie stationnaire

Grace à une caméra, le système d'IA capte la zone proche de la lame. Si une main est détectée, le système provoque l'escamotage de la lame dans la table de la scie.

Même si les autres moyens de protection sont présents sur cette scie, le système d'IA intervient dans la sécurité de l'opérateur, l'IA engendre un risque direct en cas de mal-fonction (défaillance dangereuse) ; il s'agit d'une fonction de sécurité.

Pour en savoir plus sur ce cas d'usage, consulter les travaux de :

Thomas Seifen (Institute for Occupational Safety and Health of the German Social Accident Insurance) (IFA)

À l'adresse : <https://publikationen.dguv.de/forschung/ifa/aus-der-arbeit-des-ifa/5001/ai-based-assistance-system-for-dimension-saws-focus-on-ifa-s-work-nr.-0450e>

ANNEXE I

Lecture de l'ISO 13849-1:2023 « Sécurité des machines - Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité - Partie 1: Principes généraux de conception » sous l'angle de l'IA

1

Méthode de conception d'une fonction de sécurité

Le 4.5 de la NF EN ISO 13849-1:2023 impose la détermination du niveau de performance (PL) pour qu'une fonction ait la capacité de réaliser une fonction de sécurité d'un CS. Il adosse la détermination du PL aux critères suivants :

- MTTFd = Temps Moyen avant Défaillance Dangereuse
- DC = Couverture de Diagnostic
- CCF = Défaillances de Cause Commune
- La structure
- Le comportement de la machine sous défaut(s)
- **Le logiciel relatif à la sécurité (4.6.2 de la NF EN ISO 13849-1)**
- La défaillance systématique
- L'aptitude à exécuter la fonction de sécurité dans des conditions environnementales prévues

2

NF EN ISO 13849-1 - 4.6.2 Logiciel intégré relatif à la sécurité

Cet article exige :

- le contrôle complet (spécification + cycle en V) de la conception (du cycle de vie du logiciel)
- des essais fonctionnels (y compris boîte noire)

3

Exemple de l'Annexe J de l'ISO 13849-1:2023

Comparaison de l'exemple de l'Annexe J de la norme NF EN ISO 13849-1 pour un logiciel conventionnel ou pour du ML (réseau de neurones) :

Les éléments suivants sont réalisables par le ML :

J1 - Description

J2 - Activités de développement + vérification + Documentation

- aspect machine, aspect architecture, aspect spécification logicielle, aspect spécification architecture logicielle

J3 - Vérification de la spécification du logiciel

- limiter les cas d'interprétation erronée de la spécification système, éviter les « trous de spec », essai de cohérence, différents paramétrages, réactions suite à défaillance.

Les éléments suivants ne sont pas applicables :

J2 – Activités de développement + vérification + Documentation

- aspect codage (il n'y a pas à proprement parler de codage dans le ML), aspect validation (la vérification est conditionnée par la couverture des essais, comment garantir la couverture suffisante des essais ?)

J3 – Vérification de la spécification du logiciel

- définition précise des conditions d'activation et de désactivation des fonctions : par construction, des conditions d'activation et de désactivation ne sont pas définies. Elles ne sont pas lisibles ni explicables.
- garantie précise que l'ensemble des cas possibles est traité : il est fort probable qu'il y ait une infinité de cas à traiter (milieu ouvert capté par des millions de pixels)

J4 – Règles de programmation

- structure du programme (pas de programme à proprement parler), règles quant à l'usage de variables (pas de variables), blocs fonction (pas de bloc)

Une partie des critères auxquels il est nécessaire de répondre pour réaliser la détermination de PL d'une fonction de sécurité selon la norme NF EN ISO 13849-1 ne peut pas être satisfaite par le ML.

4 Essais fonctionnels

La norme ISO 13849-2 traite de la validation des SRP/CS. La démarche de validation qui est représentée sur la Figure 1 de la norme prévoit de réaliser des essais si la première étape (validation par analyse de la conception) ne peut pas être menée totalement : l'analyse n'est donc pas suffisante.

L'article 6 de cette même norme décrit les protocoles d'essai. Comme pour la partie spécification du logiciel, comment garantir le respect des « conditions d'environnement » et les spécifications des essais.

Exemple : arrêter une lame de machine à bois quand la main d'une personne apparaît trop proche sur l'image captée de la scène :

- *conditions d'environnement : éclairage, reflet, ombre, état de propreté du tablier de la machine (corrosion, copeaux), etc.*
- *spécifications d'essai : opérateur à main nu ou gantée / main avec 5 doigts complets / couleur de la peau des mains / ongles des doigts peints ou non, longs ou courts / etc.*

Les essais sont difficiles à réaliser dans le domaine du vivant, notamment des essais exhaustifs pour détecter toute la diversité des environnements ouverts et des objets naturels ou individus.



UNM - 45 rue Louis Blanc - 92400 Courbevoie
Contact : info@unm.fr
Tel : +33 (0)1 47 17 67 67
unm.fr