



# Industrie du futur: Quels enjeux pour la prévention des risques professionnels ?

J.-C. BLAISE – Resp. Lab. Sécurité des équipements de travail et des automatismes

Notre métier,  
rendre le vôtre plus sûr

[www.inrs.fr](http://www.inrs.fr)

# Sommaire

3 INRS en bref

---

5 Industrie du futur : Homme au cœur et prévention

---

8 Robotique collaborative :

- Qu'est-ce que la robotique collaborative, Quelles sont les attentes des entreprises ?
  - Les enjeux en matière de santé et sécurité
  - Les moyens de prévention
- 

32 Et demain ?

---

33 Pour vous informer

---

# L'INRS EN BREF

Institut national de recherche et de sécurité  
pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles



## Statut

Association Loi 1901 (organisme privé sans but lucratif)

Action inscrite dans les orientations de la branche AT/MP de la CNAM

Gouvernance paritaire (employeurs et salariés)



## Financement

- Fonds national de prévention des Accidents du travail et des Maladies professionnelles (AT/MP) géré par la CNAM



## Moyens

- Budget 79 M€
- Effectif **570 personnes** (dont 207 basées à Paris et 363 en Lorraine)

# L'INRS EN BREF



## Missions

Contribuer à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles en déployant des activités de recherche, assistance, formation et information pour :

- **identifier** les risques professionnels et **mettre en évidence** les dangers
- **analyser leurs conséquences** pour la santé et la sécurité de l'Homme au travail
- **développer et promouvoir** les moyens pour maîtriser ces risques au sein des entreprises

# Industrie du futur - Industrie 4.0 - Smart manufacturing



## Place de l'Humain\* dans l'Industrie du Futur

- repenser le modèle économique,
- replacer le citoyen dans un nouveau contexte sociétal
- replacer les clients au centre des préoccupations
- **repenser les organisations industrielles**

\* Citoyen / Consommateur / Acteur

# Industrie du futur - Industrie 4.0 - Smart manufacturing

## Repenser les organisations industrielles

en favorisant la collaboration, de revaloriser la place de l'Humain :

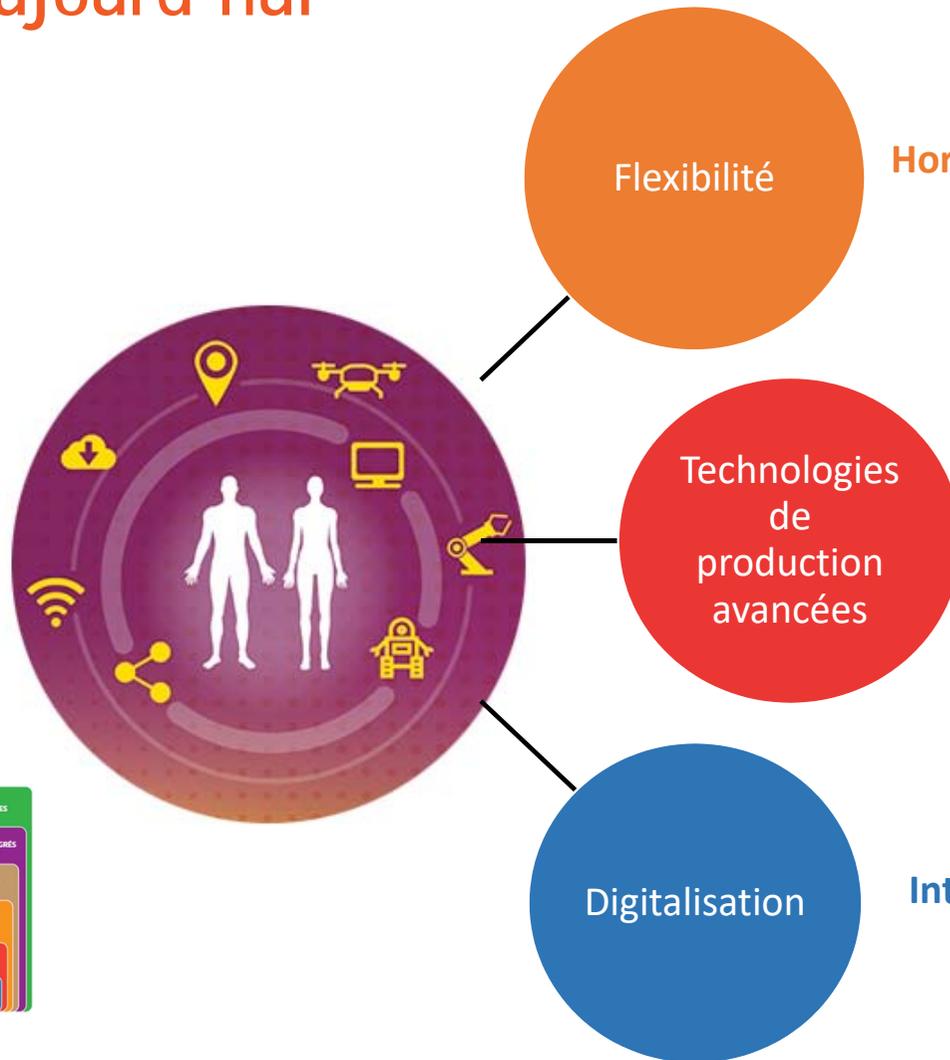
- en transformant son rôle d'Opérateur à celui de pilote/décideur,
- en augmentant ses capacités cognitives et physiques,
- en réduisant la pénibilité de son travail,

enfin de favoriser

- sa formation,
- son adaptation (aux évolutions technologiques et des procédés de fabrication)
- et son épanouissement professionnel.



# Industrie du futur : La prévention de demain se construit aujourd'hui



**Reconfiguration**  
Horaires atypiques Plateformisation  
Economie circulaire Lean Interim  
Nouvelles organisations

**Fabrication additive**  
Robotique collaborative Robotique mobile  
Drones Simulation Réalité virtuelle  
Exosquelettes

Objets connectés Big Data  
Intelligence artificielle Cybersécurité  
Réalité augmentée IHM

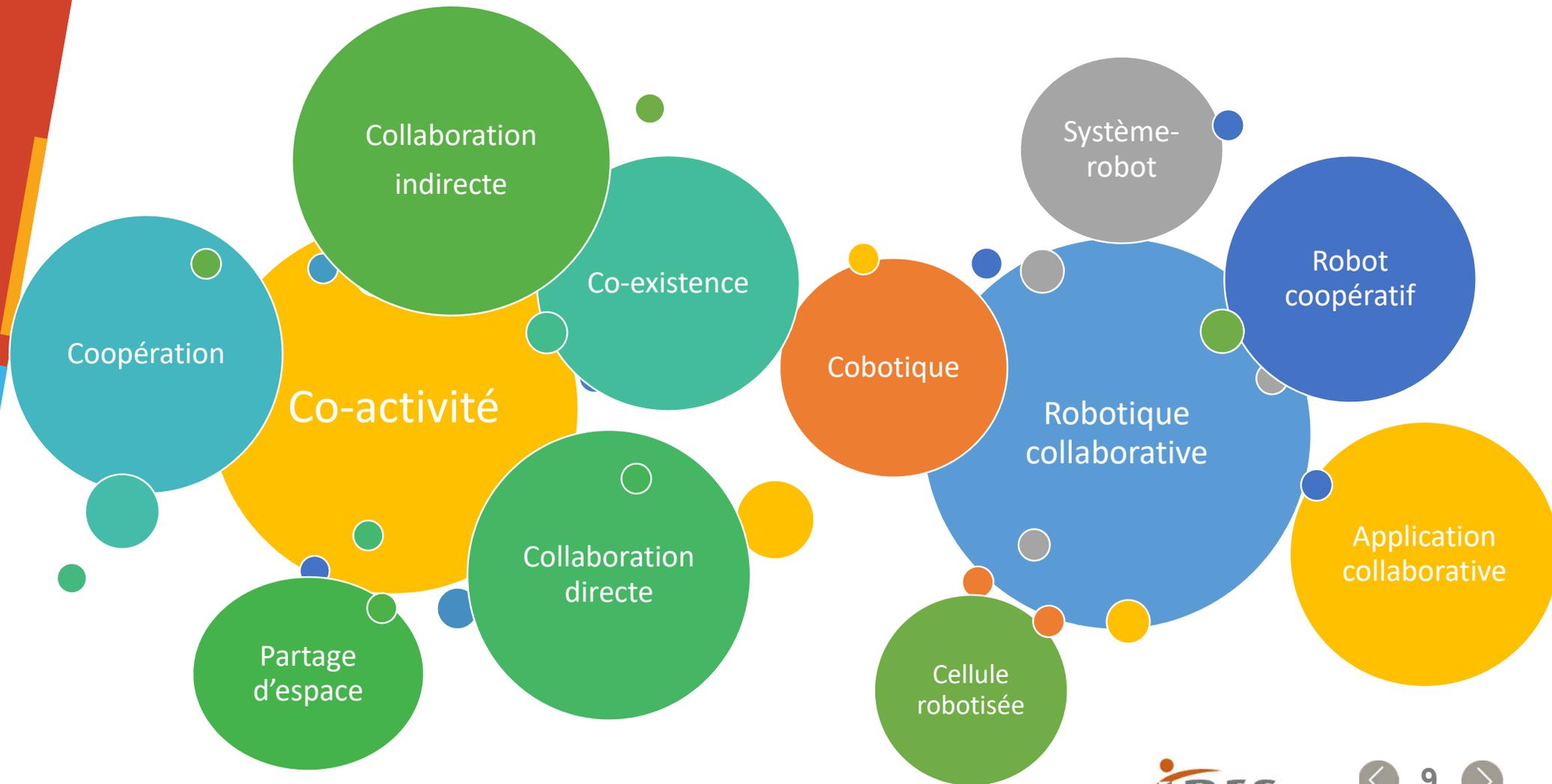




Qu'est-ce que la robotique collaborative ?

Quelles sont les attentes des entreprises ?

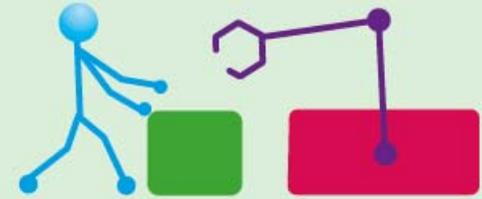
# Une terminologie variée



# Différentes collaborations Homme - Robot

## Collaboration directe

L'opérateur et le robot travaillent simultanément à la réalisation d'une même pièce.



## Collaboration indirecte

L'opérateur et le robot travaillent sur une même pièce, mais leurs actions sont alternées.



## Partage d'espace de travail

L'opérateur et le robot effectuent des tâches distinctes pour lesquelles ils peuvent être amenés à partager leur espace de travail.



## Du rêve...

- Les espoirs portés dans le cadre de l'industrie du futur :
  - Automatiser les tâches à faible valeur ajoutée, répétitives, pénibles
  - Recentrer l'opérateur sur des tâches à forte valeur ajoutée
  - Favoriser la flexibilité
  - Faciliter la reconfiguration
- Combiner les actions de l'homme et du robot



## ... à la réalité

- Les attentes exprimées par les entreprises (enquête publiée en 2017) :

Expression du besoin de coactivité	
Faciliter la réalisation des opérations de maintenance (entretien, nettoyage, surveillance)	+++
Faciliter la réalisation des opérations liées au process à proximité du robot (chargement / déchargement, prélèvement, opération manuelle...)	++
Réduire l'occupation au sol de la cellule (passage plus aisé, intégration du robot sur une ligne existante)	++
Réduire les TMS	+
Pallier des problèmes techniques (préhension...)	+
Vitrine technologique	+
Faciliter la réalisation d'opérations de réglages	+
Améliorer la mobilité et la réutilisation du robot	+

## Quel type de collaboration est plébiscité ?

- Finalement, les robots dits collaboratifs ne sont pas tant plébiscités pour des applications **collaboratives** que parce qu'ils **facilitent** l'intégration de robot dans les applications **standards** de par:
  - leur taille réduite,
  - leur faible prix,
  - l'absence de « cage » et
  - leur facilité de programmation



# Robotique collaborative: Quels enjeux en matière de santé et sécurité ?

## La gestion des risques

- Dans le cas (**simplifié!**) d'une cellule robotisée traditionnelle



L'opérateur est protégé  
par une protection  
périmétrique physique



Pour qu'un opérateur pénètre dans l'enceinte,  
il faut supprimer les risques  
(arrêt des mouvements, du procédé)

# La gestion des risques

- Dans le cas d'une cellule robotisée collaborative

Besoin de  
collaboration



implique :

- une nécessité d'interaction
- une suppression des barrières physiques

donc

une continuité du procédé /  
des mouvements

donc

une protection vis-à-vis  
des risques par d'autres moyens

## Un robot peut-il être sûr ?



Robot conçu pour prendre en compte les risques qu'il peut générer

Des fonctions sont intégrées pour lui permettre d'être apte à être utilisé pour une application collaborative



Le procédé, l'outil, la pièce, liés à l'application génèrent des risques non pris en compte à la conception du robot qui seront pris en compte à la conception de l'application

# Application sûre

## Les risques liés aux contacts

**entre les éléments mobiles  
du système robot...**

> bras, articulation, outil,  
pièce en mouvement

+

**... l'ensemble du corps  
humain...**

> tête, tronc, bras, avant-  
bras, main, doigt, cuisse,  
jambe, pied...

+

**... et l'environnement  
du poste de travail**

> mur, colonne, table de  
travail, armoire...



peuvent provoquer :  
**choc, coincement, écrasement, brûlure,  
pincement, coupure, perforation,  
risques psychosociaux, etc.**

# Risques psychosociaux

- > Appréhension des contacts
  - > Augmentation de la charge mentale de l'opérateur
  - > Concentration prolongée en plus de son activité classique
  - > Interprétations erronées des réactions du robot
  - > Suivi de la cadence de travail imposée par le robot
- 
- Acceptation de travailler avec le robot
    - > Une plus value pour l'opérateur ? (il faut un intérêt du point de vue de l'opérateur)
    - > Est-ce facile de travailler avec le robot ?
    - si pas d'acceptation mais une obligation, alors accentuation des RPS
  - Mise en place de stratégies d'évitement (mouvement) et de surveillance
    - déplacement du problème TMS ?



# Les risques liés au contact potentiel



Risques de choc



Risques psychosociaux



Comment les maîtriser ?



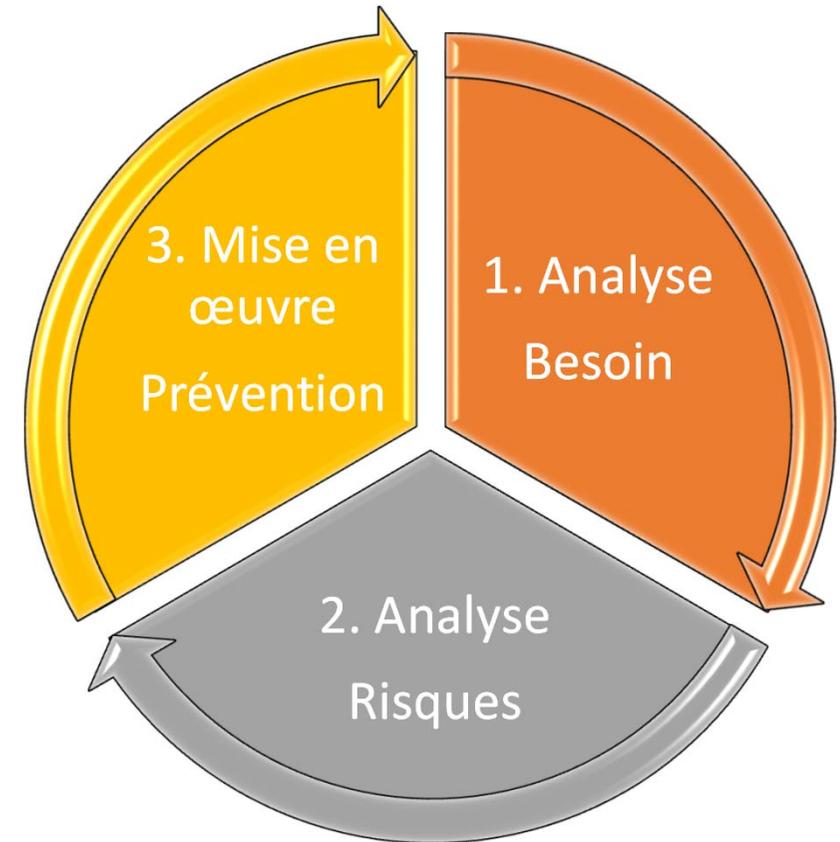
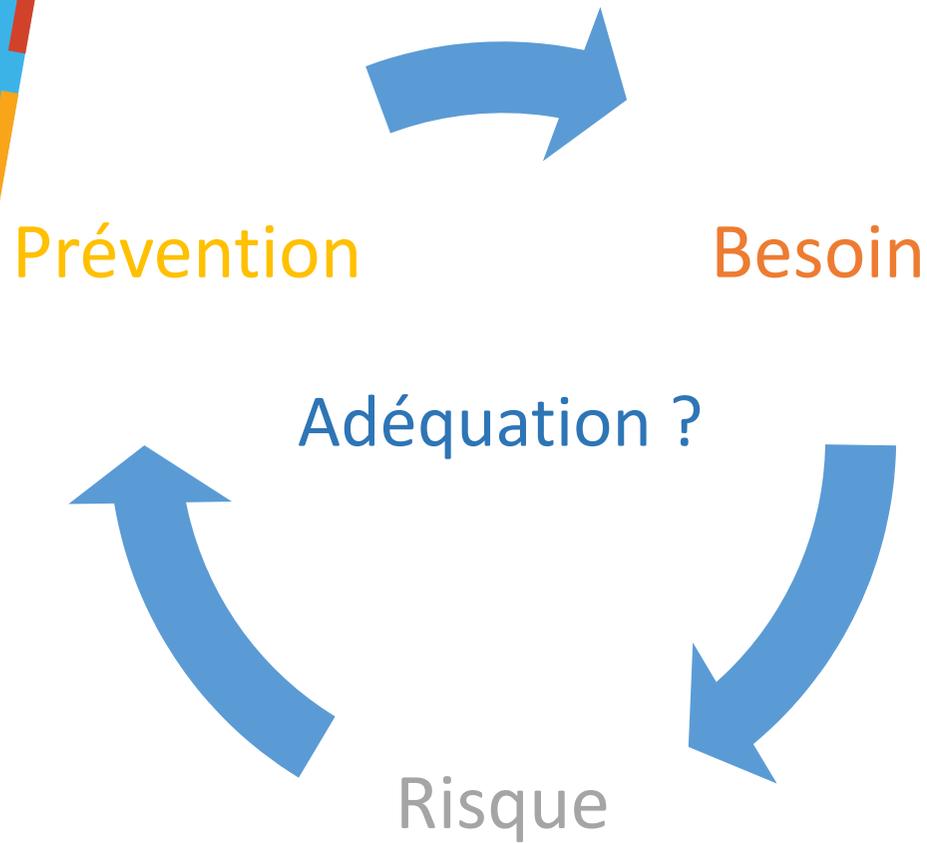
Robotique collaborative :

Quels moyens  
de prévention ?

# Le référentiel : la directive « machines » / le code du travail

- Risques liés aux éléments mobiles
  - 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 des risques subsistent, être munis de protecteurs ou de dispositifs de protection.
- Ergonomie
  - 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 des principes ergonomiques...
- Principes d'intégration de la sécurité
  - La machine doit être conçue et construite pour **être apte à assurer sa fonction** et pour qu'on puisse la faire fonctionner, la régler et l'entretenir sans **exposer quiconque à un risque**

# Démarche globale d'analyse et de réduction des risques



## Définition des besoins de l'application

- Comme pour toute machine / application :
  - Quel est le procédé ?
  - Quels sont les risques générés par ce procédé ?
- Pour les besoins spécifiques associés à la collaboration Homme-robot :
  - Quelles sont les interactions prévues entre l'opérateur et le robot/outils/pièce ?

**> En quoi la robotique collaborative permet-elle de répondre à ces besoins tout en garantissant la santé/sécurité des opérateurs ?**

# Prévention des risques liés au changement

- En « amont » du déploiement
  - Intégrer les opérateurs le plus en amont possible de la démarche
  - Intégrer dans la réflexion une période de familiarisation (apprentissage) à destination des utilisateurs
  - Prévoir une formation



- En situation d'utilisation, suivre les risques
  - liés aux transformations de l'activité « mentale ou cognitive »
  - liés aux transformations de l'activité « physique »



# Les éléments de sécurité pour la collaboration

**1 - Arrêt nominal de sécurité contrôlé**

**2 - Guidage manuel**

**3 - Vitesse et distance de séparation contrôlées**

**4 - Limitation de la puissance et de la force du robot**

EUROPEAN STANDARD **EN ISO 10218-2**  
NORME EUROPÉENNE  
EUROPÄISCHE NORM July 2011

ICS 25.040.30

English Version

Robots and robotic devices - Safety requirements for industrial robots - Part 2: Robot systems and integration (ISO 10218-2:2011)

Robots et dispositifs robotiques - Exigences de sécurité pour les robots industriels - Partie 2 : Systèmes robotiques et intégration (ISO 10218-2:2011)

Roboter und Robotergesamtheit - Sicherheitsanforderungen - Teil 2: Inbetriebnahme und Integration (ISO 10218-2:2011)

The European Standard was approved by CEN on 21 April 2011.

CEN members are bound to comply with the CEN/CENELEC Internal Regulations which stipulate the conditions for giving the European Standard the status of a national standard without any alteration. Up-to-date lists and bibliographical references concerning such national standards may be obtained on application to the CEN/CENELEC Management Centre or to any CEN member.

The European Standard exists in three official versions (English, French, German). A version in any other language made by translation under the responsibility of a CEN member into its own language and notified to the CEN/CENELEC Management Centre has the same status as the official version.

CEN members are the national standards bodies of Austria, Belgium, Bulgaria, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Romania, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland and United Kingdom.



EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION  
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION  
EUROPÄISCHER KOMITEE FÜR NORMUNG

Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels

© 2011 CEN. All rights of publication in any form and by any means reserved worldwide for CEN national members.

Ref. No. EN ISO 10218-2:2011 E

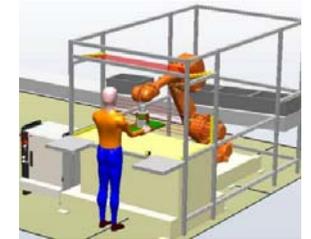
# 1 - Arrêt nominal de sécurité contrôlé

- Arrêt du robot lorsque l'opérateur se trouve dans l'espace de travail collaboratif
    - arrêt de catégorie 2 (arrêt contrôlé sous alimentation) avec surveillance d'immobilisation sûre
    - Phase de ralentissement possible avant arrêt
  - Reprise du fonctionnement du robot lorsque l'opérateur quitte l'espace de travail collaboratif
- **Un plus par rapport à la robotique traditionnelle**

Source : Cermex



Source : ABB



## 2 - Guidage manuel

- Le robot est guidé manuellement par l'opérateur
  - Contact permanent entre l'opérateur et le robot
  - Utilisation en production ou en phase d'apprentissage
- Le robot doit :
  - Être équipé d'un dispositif de validation
  - Fonctionner à vitesse réduite (vitesse contrôlée)
    - > En cas de non respect de la vitesse, arrêt de protection du robot

> **Pour une assistance physique**



Source : Kuka



Source : RB3D

### 3 - Vitesse et distance de séparation contrôlées

- Le robot évolue à une vitesse réduite et doit maintenir une distance minimale de séparation avec l'opérateur (d'une façon dynamique)
- Maintien d'une vitesse déterminée
- Maintien d'une distance de séparation entre le robot et l'opérateur
- En cas de non respect de la vitesse ou de la distance : arrêt de protection du robot



> **Solutions techniques de sécurité en cours de développement**

## 4 - Limitation de la puissance et de la force du robot par conception ou par commande

- Le robot et l'opérateur sont en collaboration directe avec des contacts potentiels entre eux.
- Ces contacts ne doivent pas être dangereux, le robot évolue à une vitesse réduite.
  - réduction de l'effet
  - surveillance sûre de la force et de la puissance développées par le robot
- En cas de dépassement des valeurs limites, un arrêt de protection doit être enclenché



Source : Kuka MRK

> **Analyse de risque décisive sur la faisabilité à mettre en œuvre ce principe de collaboration**

> **Détermination des valeurs limites conformément à ISO/TS15066**

# Robotique collaborative - Synthèse



**La mise en œuvre d'une application collaborative doit être précédée par une analyse du besoin**



**L'analyse des risques doit prendre en compte les risques spécifiques**

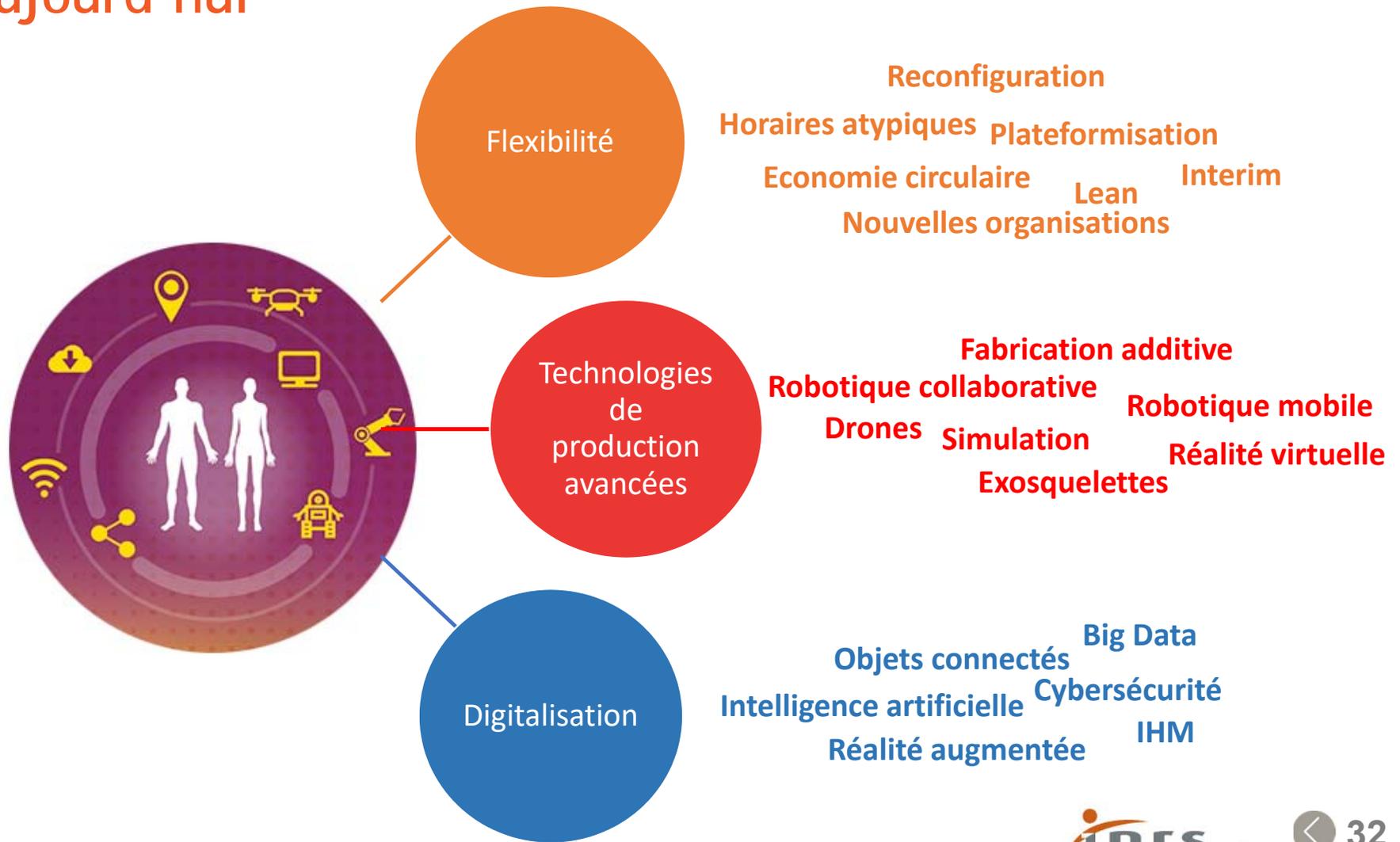


**L'analyse des risques doit prendre en compte les contraintes ergonomiques**



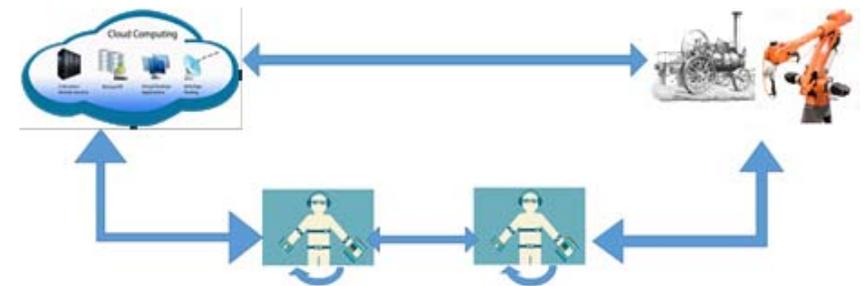
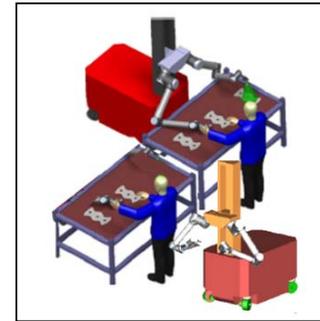
**Les éléments de sécurité et les besoins fonctionnels doivent être en adéquation**

# Industrie du futur : La prévention de demain se construit aujourd'hui

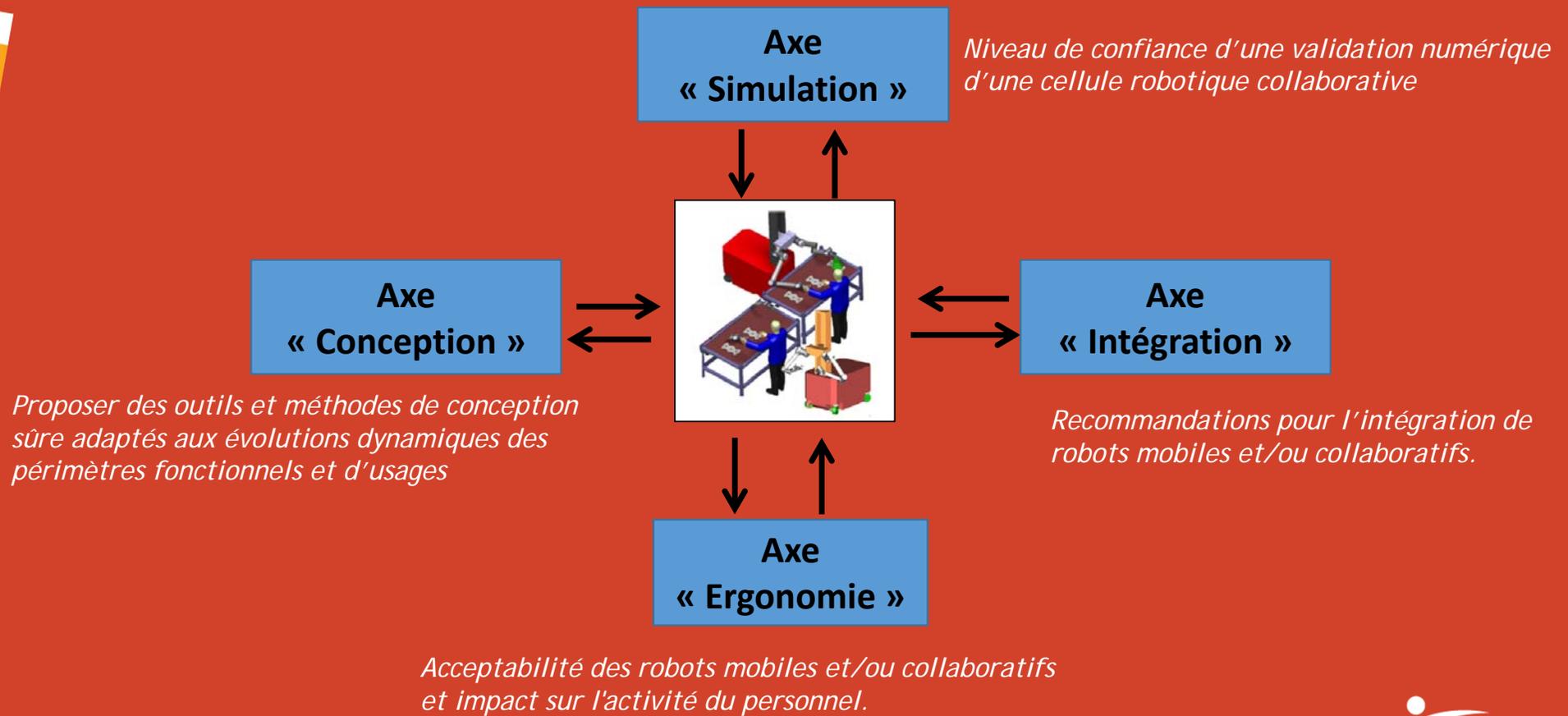


## Et demain ?

- ❑ Sécurisation d'un îlot de production flexible
- ❑ Digitalisation des données et leur mise en réseau



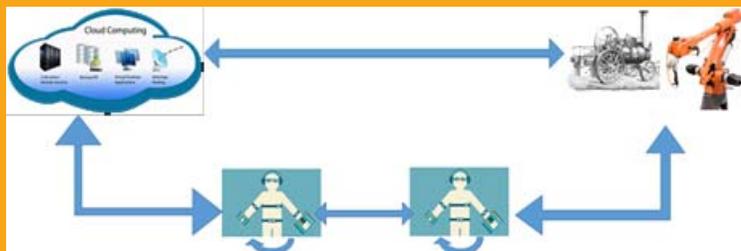
# Sécurisation d'un îlot de production flexible



# Digitalisation des données

Traitements de données  
Cloud computing

*Peut-on mettre en évidence des signaux faibles  
annonciateurs d'une situation de travail dangereuse ?  
(approche Big Data)*



**Cybersécurité**

*Eclairage du point de vue de  
la prévention des risques  
professionnels.*

Systèmes individuels  
intelligents (SII)

- *Pertinence de l'info*
- *Sûreté de transmission*
- *Ergonomie des IHM - Acceptabilité*

Pour vous informer

# Pour en savoir plus sur la robotique collaborative

Le dossier Web INRS  
sur la robotique collaborative :

<http://www.inrs.fr/risques/robots-collaboratifs/ce-qu-il-faut-retenir.html>

Le guide de prévention pour  
la mise en œuvre  
d'applications collaboratives robotisées :

[http://travail-emploi.gouv.fr/IMG/pdf/guide\\_de\\_prevention\\_25\\_aout\\_2017.pdf](http://travail-emploi.gouv.fr/IMG/pdf/guide_de_prevention_25_aout_2017.pdf)



Guide de prévention à  
destination des fabricants  
et des utilisateurs

Pour la mise en œuvre des  
applications collaboratives  
robotisées

Edition 2017



# Pour en savoir plus sur l'industrie du futur

- Brochure ED 8000 - **Les objets connectés**

<http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%208000>

- Décryptage - L'industrie du futur : de quoi parle-t-on ?

<http://www.hst.fr/decryptage.html>



## Les objets connectés

### De quoi parle-t-on ?

Objets connectés, Internet of Things (IoT), Internet des Objets (IDoO). Autant de termes qui peuvent paraître flous pour les professionnels, mais qui ont un sens. Ces termes désignent tous la même réalité : la « connexion » d'objets à un réseau plus large, qui se fait directement ou via un serveur, par l'intermédiaire de technologies de télécommunication ou de réseaux (Wi-Fi, Bluetooth, etc.) afin de permettre de communiquer entre eux. Autrement dit, il s'agit d'objets connectés qui envoient à la fois des données, les reçoivent et interagissent avec elles. Ils sont donc capables de recevoir, de transmettre, de stocker et d'échanger des données. Ils sont donc capables de communiquer entre eux et de partager des données.



### Quelques exemples d'objets connectés...

- L'IDoO connecté permet de surveiller l'état de l'équipement et d'anticiper les pannes.
- L'IDoO connecté permet de surveiller l'état de l'équipement et d'anticiper les pannes.
- L'IDoO connecté permet de surveiller l'état de l'équipement et d'anticiper les pannes.
- L'IDoO connecté permet de surveiller l'état de l'équipement et d'anticiper les pannes.

### SAVOIRS & ACTUALITES

#### Déchryptage

#### L'INDUSTRIE DU FUTUR : DE QUOI PARLE-T-ON ?

Cet article porte sur les principaux enjeux liés au concept d'« industrie du futur » vis-à-vis de la prévention des risques professionnels. Dans un premier temps, les origines et les objectifs du projet français « Industrie du futur » sont rappelés, notamment la volonté de placer l'homme au centre des réflexions. Il traite ensuite de façon plus détaillée les enjeux relatifs aux technologies de production dites « avancées », sur lesquelles repose l'« industrie du futur ». Les opportunités et les points de vigilance en matière de prévention des risques professionnels sont présentés. Ils portent autant sur l'utilisation de ces technologies, que sur leur interconnexion numérique et leur intégration organisationnelle.



Notre métier, rendre le vôtre plus sûr

Merci de votre attention



[www.inrs.fr](http://www.inrs.fr)

YouTube



in