

# Retour d'expérience sur l'intégration de la prévention des risques professionnels au cours d'un projet d'implantation d'un robot d'assistance (RAP) dans une fonderie



(© Deledda)



(Crédits Ferry Capitain)

Atain Kouadio, J. J., Sghaier, A., & Picot, D. (2015) Les Robots d'assistance physique : fonctionnement et modes d'utilisation en industrie. 50ème Congrès de la SELF, (pp. 560-567).

Atain Kouadio, J. J., & Sghaier, A., (2017). Les robots et dispositifs d'assistance physique : états des lieux et enjeux pour la prévention, Note Scientifique et Technique, NS 354, 44 p.

Atain Kouadio, J. J., Monribot, D. & Sghaier, A., (2018), Symposium – Cobotique industrielle- Approches interdisciplinaires de conception de systèmes cobotiques industriels. 53ème Congrès de la SELF,

Notre métier,  
rendre le vôtre plus sûr

Jean-Jacques ATAIN KOUADIO, Expert d'assistance (INRS)



## Sommaire

- Classification et mode de fonctionnement d'un RAP
- Un exemple d'intégration d'un « cobot » pour l'ébarbage dans une fonderie Haut-Marnaise (besoin, conception, intégration et évaluation)
- Quels points de vigilance identifiés ?
- Comment intégrer cette technologie ?

## Contexte de l'étude

- Classification et mode de fonctionnement d'un RAP
- Un exemple d'intégration d'un « cobot » pour l'ébarbage dans une fonderie Haut-Marnaise (besoin, conception, intégration et évaluation)
- Quels points de vigilance identifiés ?
- Comment intégrer cette technologie ?

# Classification et mode de fonctionnement d'un RAP(1)

Les nouvelles technologies d'assistance physique  
le besoin d'une classification

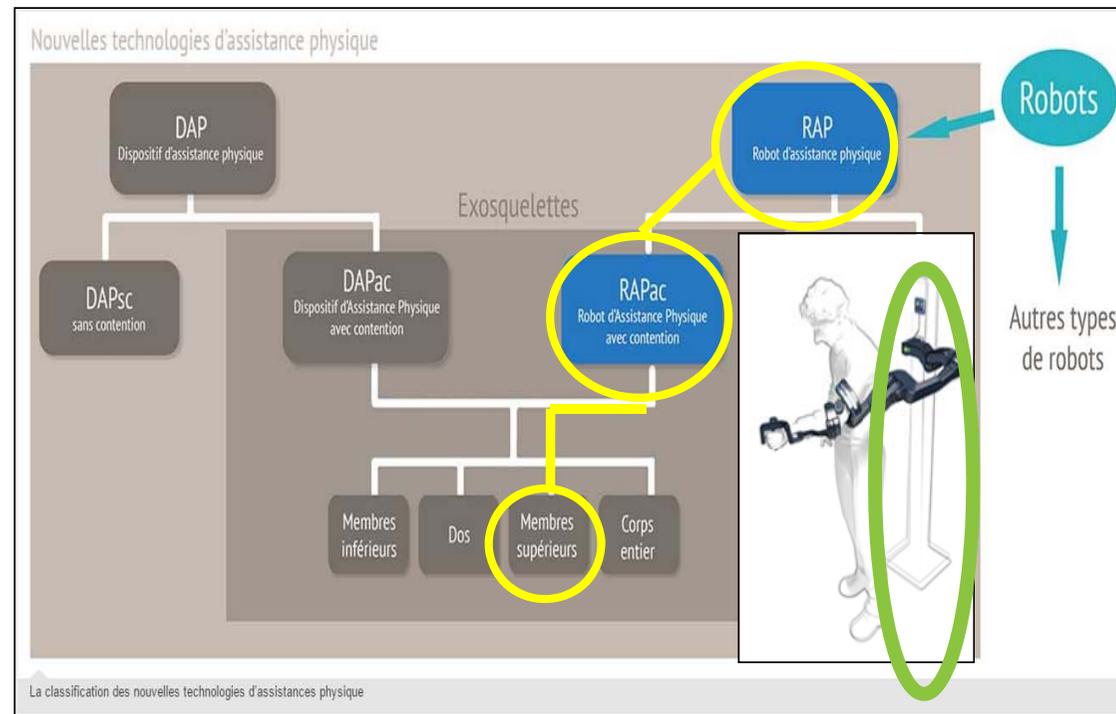
- Des robots guidés manuellement par l'Homme



Compréhension Commune  
Normalisation



Recherche



# Classification et mode de fonctionnement d'un RAP(2)

Les nouvelles technologies d'assistance physique  
le besoin d'une classification

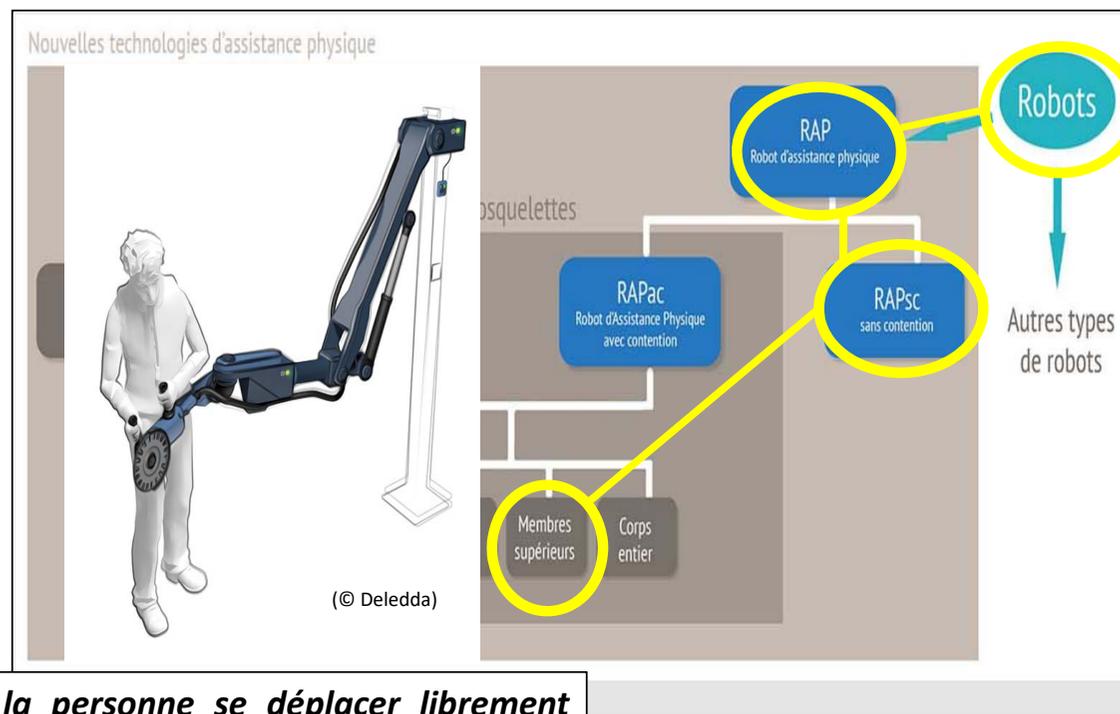
- Des robots guidés manuellement par l'Homme



Compréhension Commune  
Normalisation



Recherche



«... qui laisse la personne se déplacer librement sans contention » ISO/DIS 13482 (version 2013).

# Qu'est-ce qu'un RAPsc ?

Robot d'Assistance Physique sans contention



(© Deledda)



(Crédits Ferry Capitain)

**JJ. ATAIN KOUADIO (INRS)** - Expert d'Assistance, Ergonome  
**A. SGHAIER (INRS)** - Chercheur, Sureté de fonctionnement en robotique

# Qu'est-ce qu'un RAPsc ?

Robot d'Assistance Physique sans contention (Test en situation réelle)



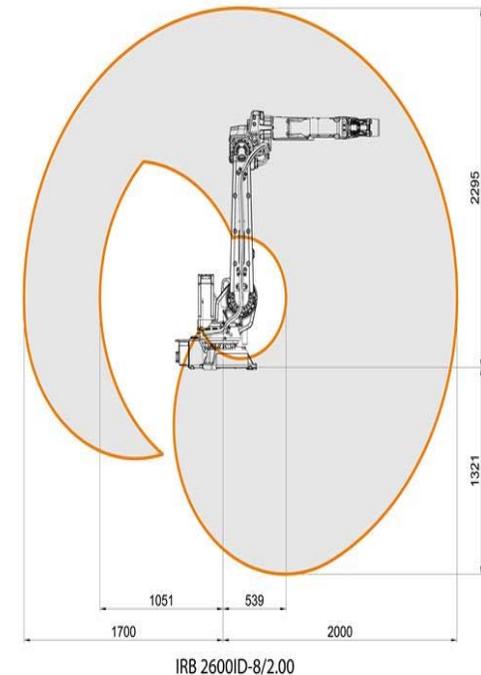
(Crédits INRS-Ferry Capitain)

## Qu'est-ce qu'un RAPsc ? (1)

- Technologie issue des télémanipulateurs
- Robot de co-manipulation destiné à aider l'opérateur lors de l'exercice d'une tâche manuelle
- Le RAPsc peut remplir plusieurs fonctions :
  - Compensation du poids de l'outil
  - Multiplication de l'effort exercé par l'opérateur
  - Guidage des mouvements de l'opérateur (guides virtuels)
- Robot sur lequel est monté généralement un outil : meuleuse, brosse, pince...
- **Robot piloté « manuellement »** par l'opérateur (à travers un système de commande)

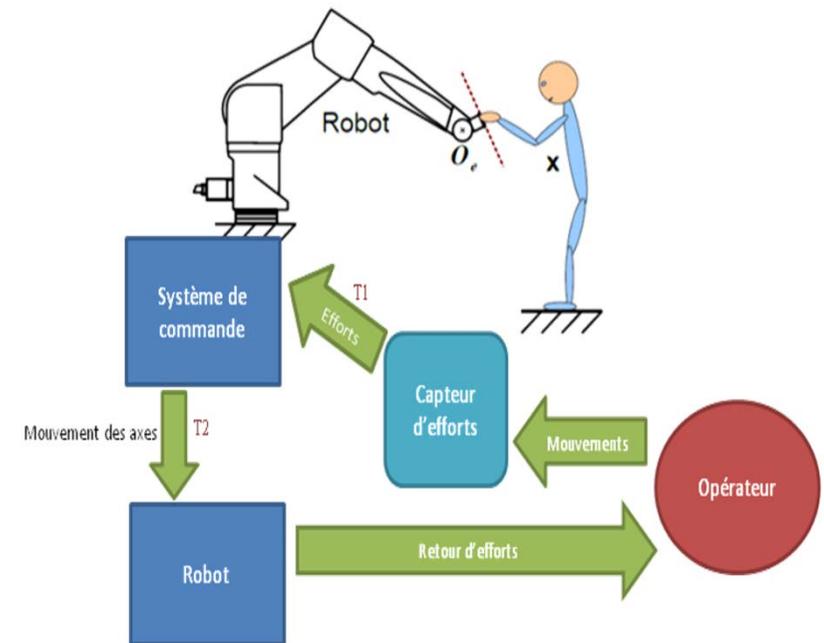
# Spécificités mécaniques

- L'opérateur n'agit que sur la partie terminale du robot (centre d'outil)
  - Les mouvements des autres parties du robot (axes), nécessaires à réaliser la trajectoire choisie par l'opérateur, sont gérés par le système de commande RAPsc
  - Les axes du RAPsc ont **une logique propre** de déplacement
- Les degrés de liberté du RAPsc sont limités comme sur tous les robots
  - Limitation de l'espace de travail de l'opérateur
    - > Influence sur les stratégies gestuelles ?
    - > Influence sur les marges de manœuvre situationnelles ?
    - > ...



# Systeme de commande

- L'opérateur exerce un effort sur le centre d'outil
- Le robot mesure cet effort (capteurs, lecture des courants moteur...)
- L'intention de mouvement de l'opérateur (direction et vitesse souhaitées) est traduite en consigne de trajectoire par le système de commande afin de mettre en mouvement les axes du robot
- "Une partie du retour d'effort" est transmise à l'opérateur par le biais de l'organe de commande manuelle (poignée par exemple)

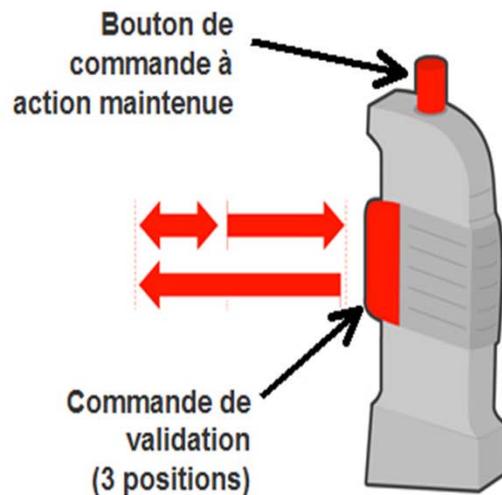


$T1$  : Temps de réponse du système de commande pour la lecture des efforts  
 $T2$  : Temps de réponse du robot pour réaliser le mouvement souhaité

Source : Jean-Jacques ATAIN KOUADIO (INRS), Adel SGHAIER (INRS) et David PICOT (Ferry Capitain), Les robots d'assistance physique : fonctionnement et modes d'utilisation en industrie, Congrès SELF, septembre 2015

## Sécurité d'un RAPsc

- Le robot doit évoluer avec une vitesse réduite
  - Cette vitesse doit être déterminée par l'appréciation du risque
  - La vitesse réduite doit être supervisée par une fonction de sécurité
- L'équipement de guidage manuel du RAPsc doit être muni d'un arrêt d'urgence et d'un dispositif de validation à trois positions



# SOMMAIRE

- Classification et mode de fonctionnement d'un RAP
- Un exemple d'intégration d'un « cobot » pour l'ébarbage dans une fonderie Haut-Marnaise (besoin, conception, intégration et évaluation)
- Quels points de vigilance identifiés ?
- Comment intégrer cette technologie et quelle démarche suivre ?

# Exemple dans une fonderie Haut-Marnaise

Ferry Captain



## Prévention des Risques Pros

- L'entreprise est inscrite dans les plans nationaux de l'assurance maladie et elle est favorable à une démarche durable / certifications
- Parmi les différents métiers, celui d'ébarbeur est contraignant, et n'est pas forcément valorisé dans l'entreprise
  - > les principaux AT et TMS ont lieu à l'ébarbage



## 2012 : un Cobot pour l'ébarbage l'étude



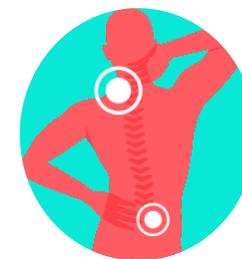
- Bras 6 axes à assistance électrique entièrement piloté par l'opérateur
- Vu à Préventica et disponible sur le marché.
  - déplacements assistés par poignée sensitive
  - vitesses de déplacement identique au process
  - proportionnalité d'effort calibrable
  - certifié par le CETIM pour la partie conformité machine / argument achat

## Les attendus de l'entreprise

- Réduction des TMS en agissant sur :
  - Les vibrations
  - Les efforts de meulage
  - La réduction du port de charges
- Maintenir l'expertise de opérateur
- Développer pour les couronnes et assiettes (80% du marché)



TMS

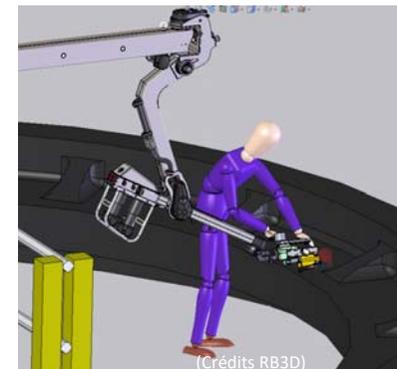
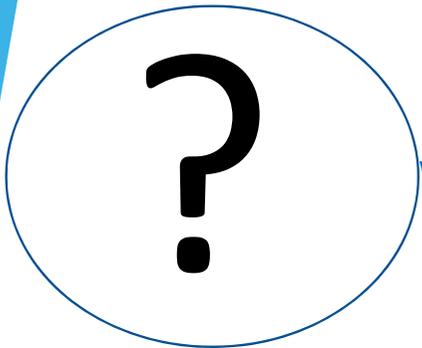


# Le projet de l'entreprise



**Maturité de l'entreprise en prévention des risques professionnels au secteur ébarbage**

**Guidage manuel**



# Comprendre les processus de conception ?

*...dans la conception, il faut prendre en compte l'Homme, ses interactions avec le robot et son rapport à la tâche...*



- Présentation de la méthode de développement et d'intégration du cobot par le concepteur (et l'entreprise)
- Observation d'un test d'intégration à partir d'un ensemble de profilés aluminium
- Réunion de restitution des observations et réponses des acteurs du projet (aux questions)
- Rédaction d'une synthèse transmise à l'entreprise et à la Carsat du Nord-Est

# Définir le cahier des charges ?

D'un point de vue évaluation des risques professionnels, le projet présente des avancées, des manques et des inconnues ...



- Echanges et interventions Carsat Nord-Est / **sécurité machine, robotique et ergonomie**
- Avis complémentaire sur **la fiabilité** du cobot avec intervention de l'INRS (observations et échanges en situation réelle)
  - Département Ingénierie des Equipements de Travail (IET)
  - Département Homme au Travail (HT)
- CR d'analyse et d'échanges formalisés par l'INRS pour préciser des éléments dans le cahier des charges et **augmenter le niveau des exigences de l'entreprise vis-à-vis du concepteur.**

# Des questions spécifiques à discuter collectivement (1)

## Questions pour les concepteurs et l'entreprise

- Est-il possible que le cobot prenne la main sur l'utilisateur et le pilote en mouvement ?
- Existe-t-il des risques de collision dans le cas d'une coactivité (présence d'une autre personne à proximité de l'utilisateur du cobot) ?
- .....



Casse d'outils



Ecrasement

## Questions pour l'entreprise et les concepteurs

- Quelle est la différence de niveau de productivité avec et sans l'utilisation du cobot ?
- Le paramétrage (Rapport d'amplification d'effort par exemple) du cobot peut-il être modifié suivant la tâche ou la matière usinée ?
- Comment est réalisée la commande de la meuleuse ?
- Comment est gérée la sécurité de la commande du cobot ?

# Des questions spécifiques à discuter collectivement (2)

## Questions pour les concepteurs, l'entreprise ... les opérateurs ?

- A quelle vitesse l'utilisateur peut-il bouger le cobot ? Comment cette vitesse a-t-elle été déterminée ?
- Qui a la maîtrise du "geste", le cobot ou l'Homme ?
- Est-ce que l'apprentissage de l'utilisation du cobot est simple ?
- Est-ce que les opérateurs ont exprimé des limites sur le contrôle et la régulation de leur propre mouvement avec le cobot ? Degré de liberté ?
- Est-ce que les opérateurs conserveront les mêmes stratégies pour contrôler la qualité de travail avec la mise en place d'un cobot ?



Perturbations  
sensorielles



Déséquilibre  
Contraintes posturales

*...dans la conception, il faut prendre en compte l'Homme, ses interactions avec le robot et son rapport à la tâche...*



Charge  
attentionnelle



Incidence sur  
l'expertise

# Evolutions Techniques

## Conception partagée avec les opérateurs

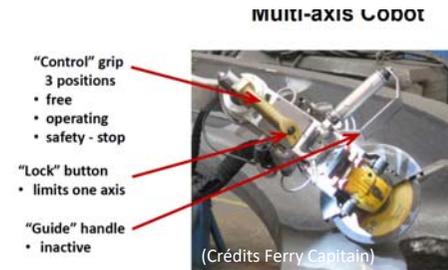
- Ajout d'un 7<sup>ème</sup> axe et modification des poignées des meules
  - 1 pour la présence homme (commande le cobot mais ne démarre pas la meule)
  - 1 sensitive commande la meule mais sans retour d'effort
  - possibilité de débrayer le cobot
  - limiter le couple et les angles d'attaque
- Ajout d'adaptation pour les autres meuleuses (droite, angle et verticale)
- Protection des câbles des projections incandescentes
- Éclairage incorporé



(Crédits Ferry Capitain)



(Crédits Ferry Capitain)



(Crédits Ferry Capitain)



(Crédits Ferry Capitain)



(Crédits Ferry Capitain)

# Evaluations

## ➤ Ressenti des opérateurs

- Les + /
  - Réduction des efforts de meulage et du port des outils par l'assistance électrique
  - - de vibrations (- 50 % mesurées par le CIMPE)
- Les - /
  - Encore des douleurs liées à certaines amplitudes articulaires
  - Mise en sécurité trop fréquente de l'équipement
  - Le cobot doit être déplacé au pont roulant

## ➤ D'après l'entreprise

- Le poste peut être alloué à du personnel féminin ou à ceux qui ont des restrictions médicales (suivant avis médecin du W)

## Limites rencontrées

- Nécessité d'arbitrage par le chargé de projet dans certaines situations
  - position de la poignée, libération de certains mouvements, de certaines vitesses d'acquisitions...
- Volonté de la Direction d'optimiser le temps d'utilisation du cobot
  - Perte marché assiettes (CA / 2)
    - Relevé temps utilisation du cobot
    - Apprentissage sur de nouvelles pièces « imposé »

## Réflexions et orientations de l'entreprise

- // aux évolutions du marché et aux nouvelles technologies
  - Modification du cobot 1 axe / pose de pavés plus gros 40kg
  - Essais d'un mini-cobot pour l'ébarbage
  
- // changements de pratiques
  - Formation maintenance 1<sup>er</sup> niv pour les opérateurs
  - Évolution du métier et du vocabulaire : opérateur parachèvement

# Sommaire

- Classification et mode de fonctionnement d'un RAP
- Un exemple d'intégration d'un « cobot » pour l'ébarbage dans une fonderie Haut-Marnaise (besoin, conception, intégration et évaluation)
- Quels points de vigilance identifiés ?
- Comment intégrer cette technologie et quelle démarche suivre ?

# Restons prudents... Des risques liés à la charge physique ?



**TMS**



**Perturbations  
sensorielles**



**Déséquilibre  
Contraintes  
posturales**

# Restons prudents... Des risques mécaniques ?



**Collision avec  
l'opérateur ou  
avec un tiers**



**Casse d'outils et  
projection**



**Ecrasement**

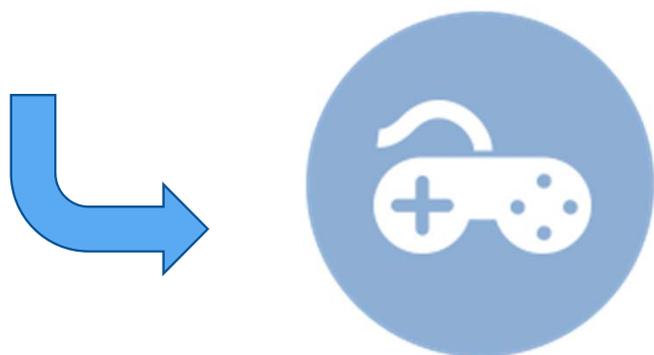


**Lésions  
articulaires**



**Frottement  
/Abrasion**

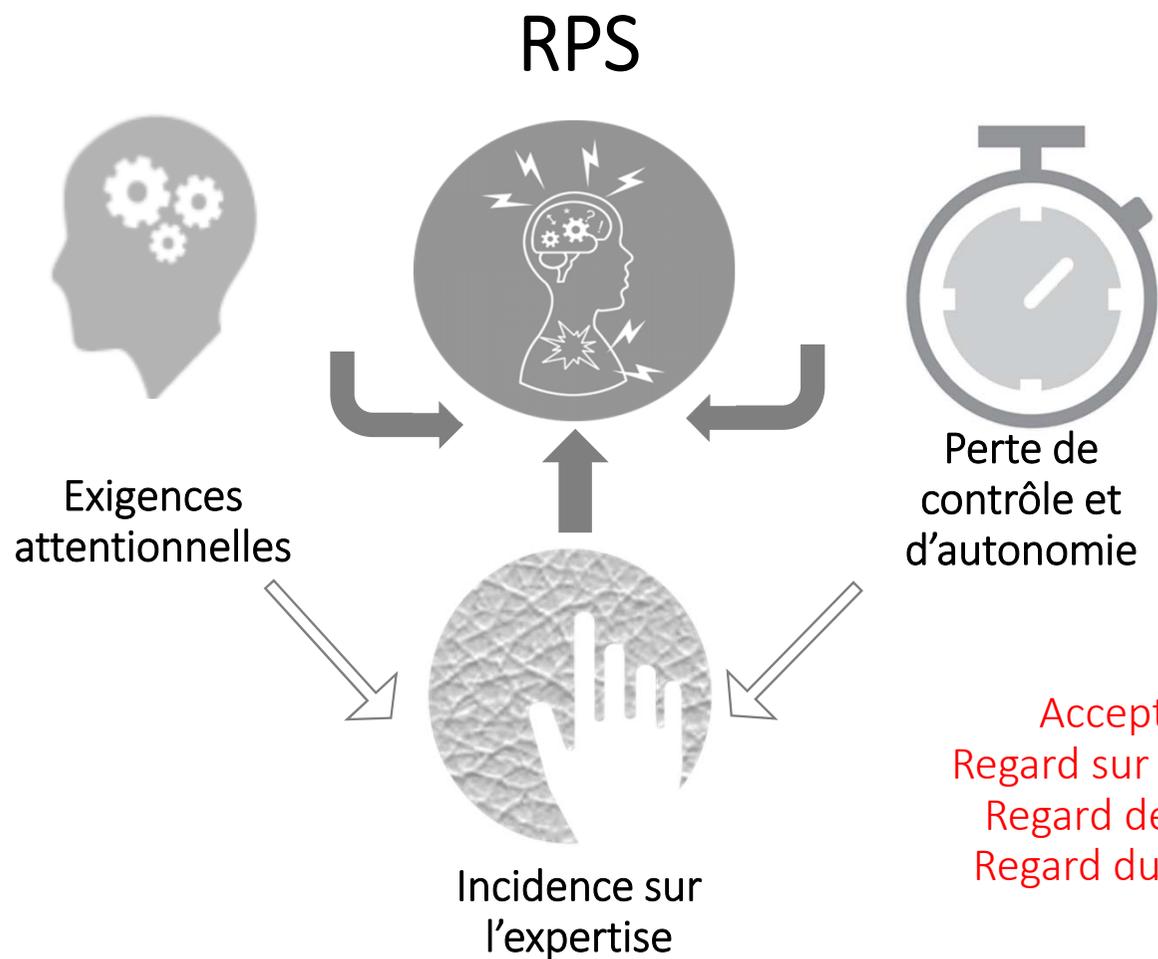
## Restons prudents... Des risques mécaniques ?



**Défaillances du système  
de commande**

L'ensemble de ces risques peuvent être occasionnés dans des conditions normales d'utilisation, **mais également par des défaillances du système de commande.**

# Restons prudents... Des risques liés à la charge cognitive ?



## Sommaire

- La classification et le mode de fonctionnement d'un RAP
- Un exemple d'intégration d'un « cobot » pour l'ébarbage dans une fonderie Haut-Marnaise (besoin, conception, intégration et évaluation)
- Quels points de vigilance identifiés ?
- Comment intégrer cette technologie et quelle démarche suivre ?

# Intégration d'une technologie d'assistance physique...

Les questions à se poser ?



- 1 - Peut on éliminer le risque à la source ?
- 2 - Dispose t-on de moyens de prévention collective ?
- 3 – Les technologies d'assistance physique peuvent-elles convenir comme moyen de prévention individuelle ?

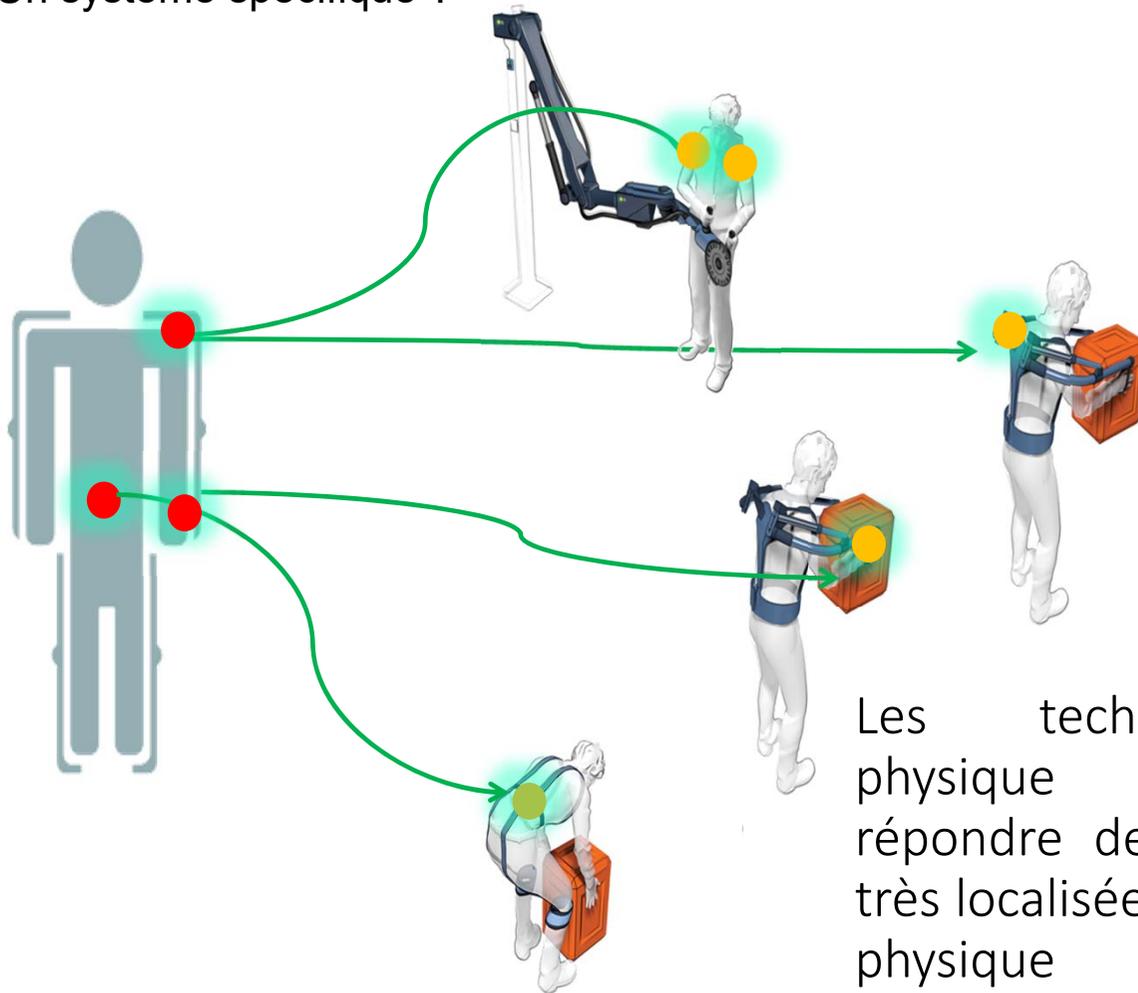
# Intégration d'une technologie d'assistance physique ...

Répondre aux besoins génériques des entreprises ?



# Intégration d'une technologie d'assistance physique ...

Un système spécifique ?



Les technologies d'assistance physique sont conçues pour répondre de manière spécifique et très localisée à un besoin d'assistance physique

# Intégration d'une technologie d'assistance physique ...

Caractériser le besoin



Etudier les spécificités de la tâche de travail  
Analyser les risques : étape /étape



Impliquer l'utilisateur final dans cette démarche

# Intégration d'une technologie d'assistance physique ...

Les bons repères



Période de familiarisation/adaptation



Développement de marges de manœuvre  
(situationnelles)



Evolution du travail et de son organisation



## Pour en savoir plus

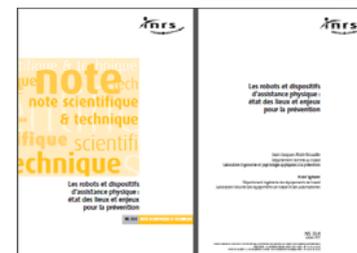
Le dossier Web INRS  
sur la robotique collaborative :

<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)

<http://www.inrs.fr/inrs/recherche/etudes-publications-communications/doc/publication.html?refINRS=NOETUDE/P2017-120/NS354>



Merci de votre attention

Notre métier, rendre le vôtre plus sûr