

Les robots d'assistance physique : enjeux et perspectives

Préventica Strasbourg Europe 2017

Le 07 novembre 2017

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

Dominique MONRIBOT, Contrôleur de sécurité (Carsat du Nord-Est)

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 ?

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 ?

Classification et mode de fonctionnement d'un RAP

AGENDA & SERVICES

Congrès

QUELLE PLACE POUR LES ROBOTS D'ASSISTANCE PHYSIQUE EN 2030?

Paris, France, 3 décembre 2013
Synthèse du séminaire INRS « Utilisation des robots d'assistance physique à l'horizon 2030 en France »

Le premier exercice de prospective piloté par l'INRS était consacré à l'utilisation des robots d'assistance physique (RAP) à l'horizon 2030. Différents scénarios, de la « rapophilie » à la « rapophobie », ont été construits, en fonction de contextes politique, économique et social différents. Avec un objectif: imaginer des futurs possibles pour l'utilisation de ces robots dans le monde du travail.

TO WHAT EXTENT WILL PHYSICAL ASSISTANCE ROBOTS BE IN USE BY 2030? - The first forward-looking exercise devoted to the use of physical assistance robots by 2030 has been conducted by INRS. Various scenarios, ranging from "robophilic" to "robophobic" were constructed, depending on different political, economical, and social contexts. With one objective: to imagine the possible futures for such robots in the world of work.

The image shows the cover of a report titled "2030 RAP: Utilisation des robots d'assistance physique à l'horizon 2030 en France". At the top right is the INRS logo. The title "2030 RAP" is prominently displayed in a stylized font. Below the title, the subtitle "Utilisation des robots d'assistance physique à l'horizon 2030 en France" is written. The cover features several small images: a person walking with a backpack, a person using a wheelchair, a person using a robotic exoskeleton, and a person in a surgical setting. At the bottom, there are logos for "futuribles", "Cetim", "UNIVERSITÉ DE NANTES", "CENR", and "Assurance Maladie".

Classification et mode de fonctionnement d'un RAP

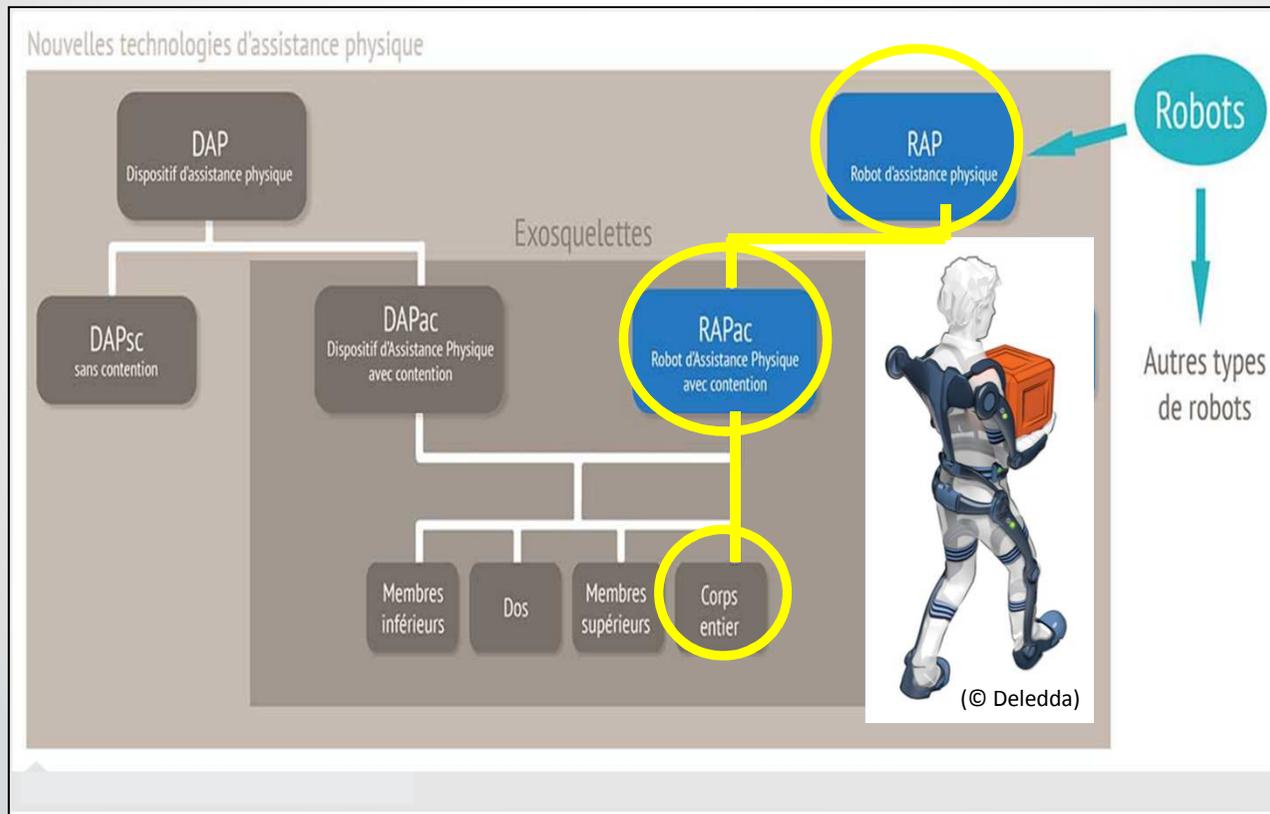
Les nouvelles technologies d'assistance physique
le besoin d'une classification



Compréhension Commune
Normalisation



Recherche



Utilisés en milieu industriel, ces robots doivent répondre aux exigences de sécurité des robots industriels.

Classification et mode de fonctionnement d'un RAP

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

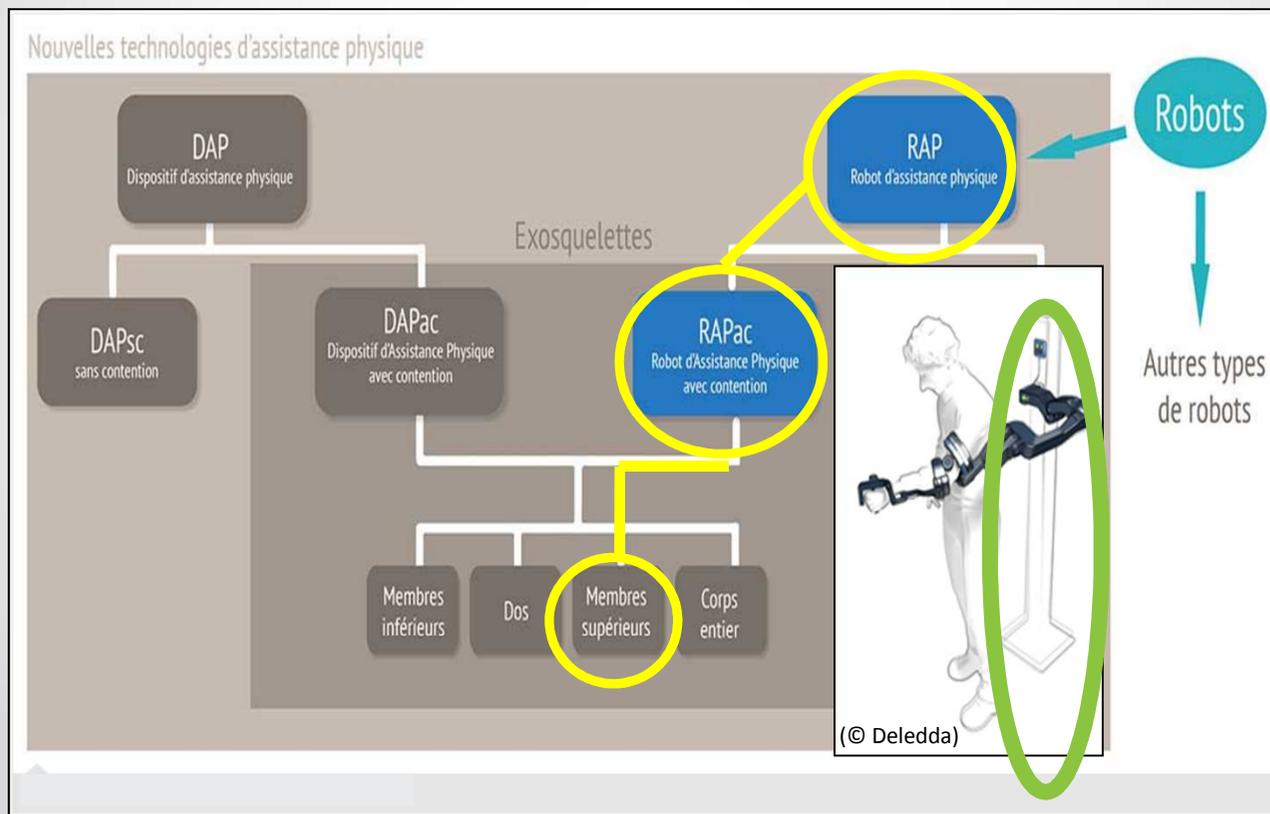
- Des robots guidés manuellement par l'Homme



Compréhension Commune
Normalisation



Recherche



Classification et mode de fonctionnement d'un RAP

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

- Des robots guidés manuellement par l'Homme

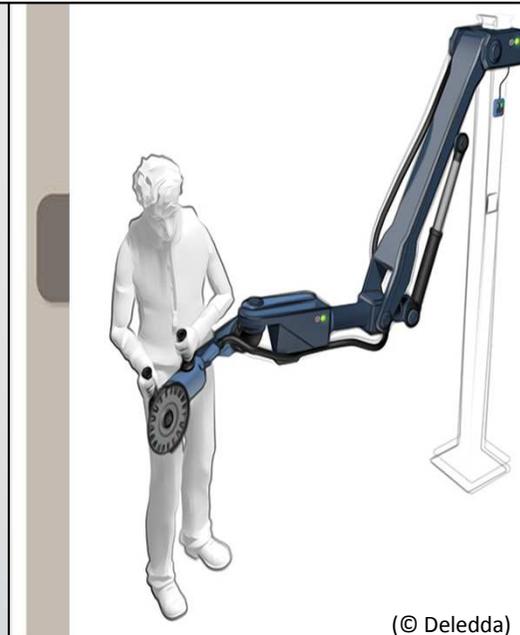


Compréhension Commune
Normalisation

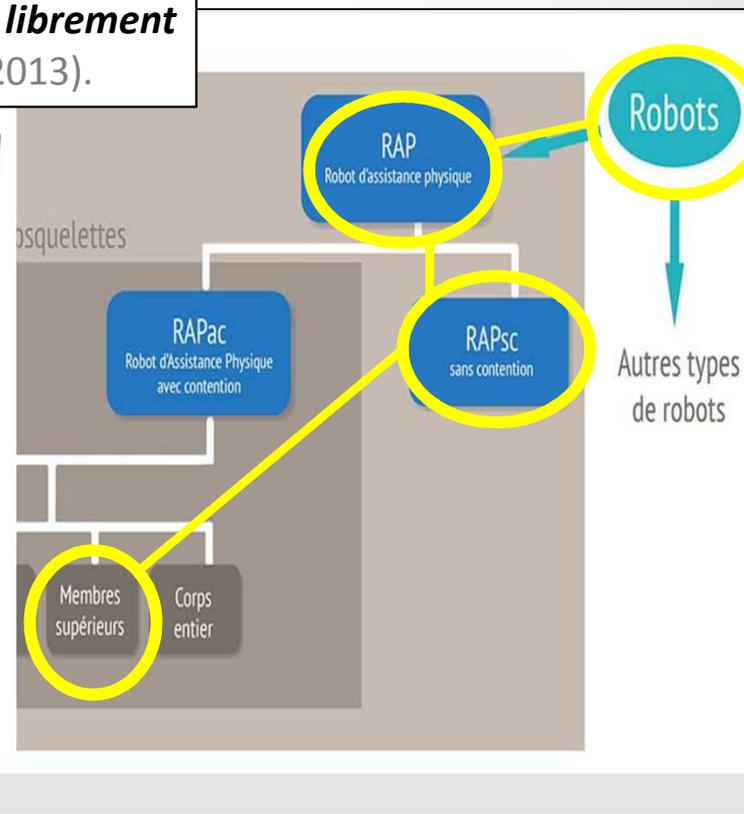


Recherche

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



(© Deledda)



Utilisés en milieu industriel, ces robots doivent répondre aux exigences de sécurité des robots industriels.

Qu'est-ce qu'un RAPsc ?

Robot d'Assistance Physique sans contention



(© Deledda)

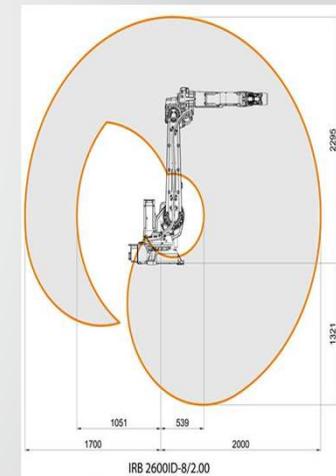
JJ. ATAIN KOUADIO (INRS) - Expert d'Assistance, Ergonome
A. SGHAIER (INRS) - Chercheur, Sureté de fonctionnement en robotique

Qu'est-ce qu'un RAPSC

- 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)

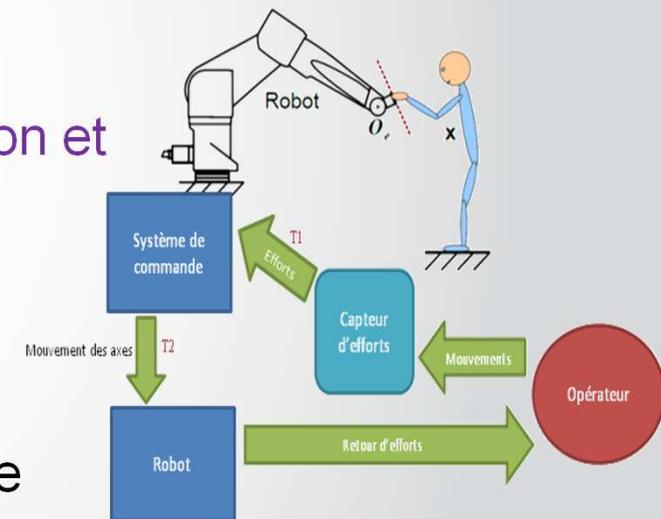
Spécificité mécaniques

- 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 ?
 - ...



Système 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)

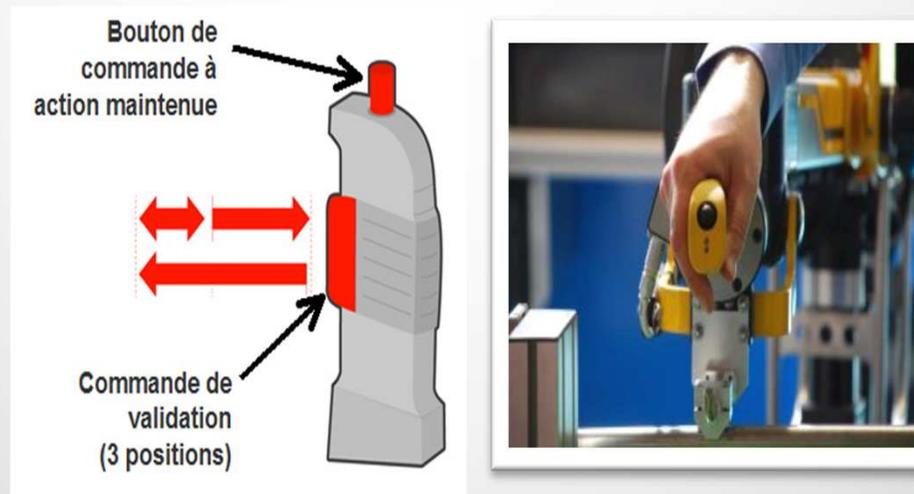


T1 : Temps de réponse du système de commande pour la lecture des efforts
T2 : Temps de réponse du robot pour réaliser le mouvement souhaité

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



Normalisation/règlementation

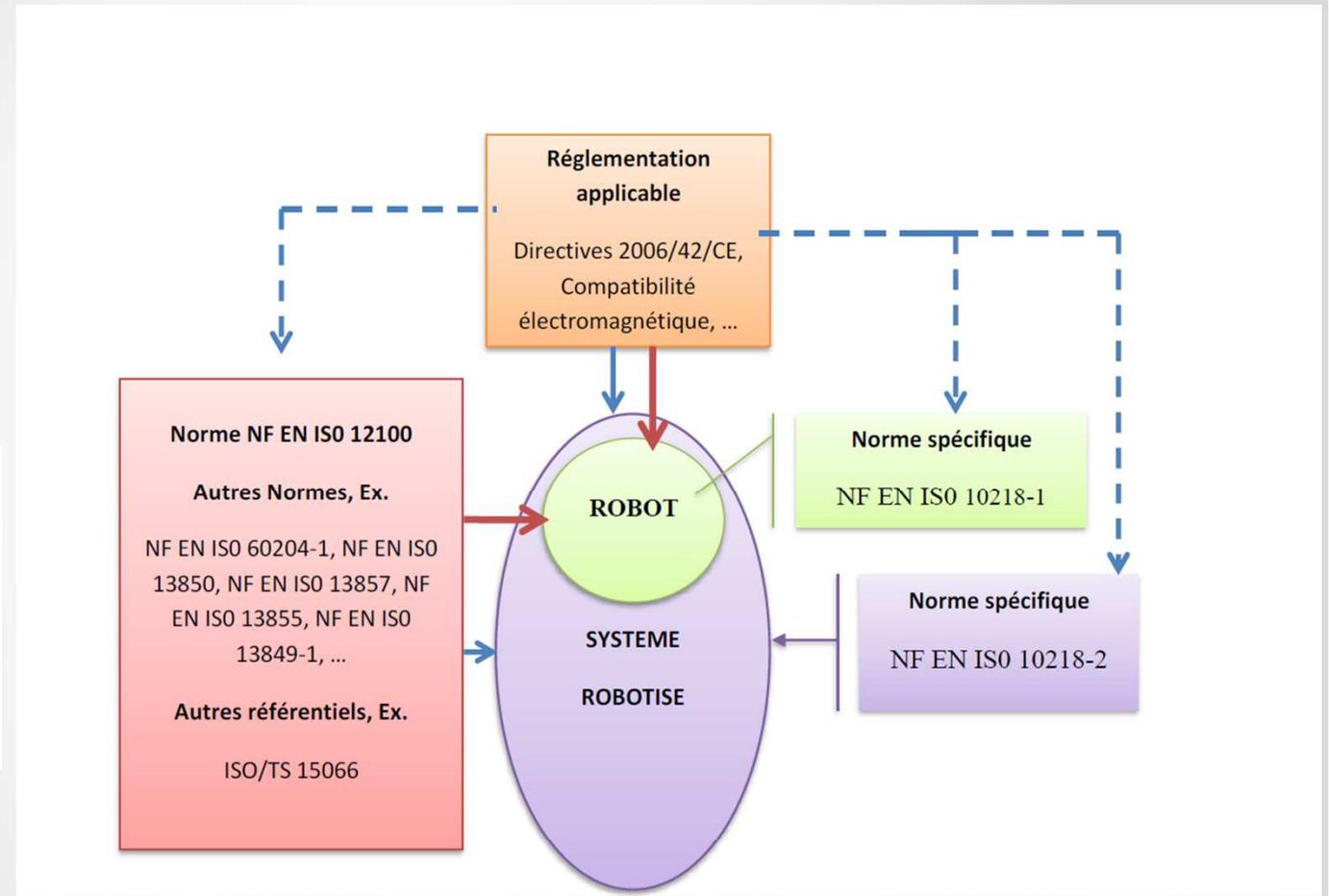
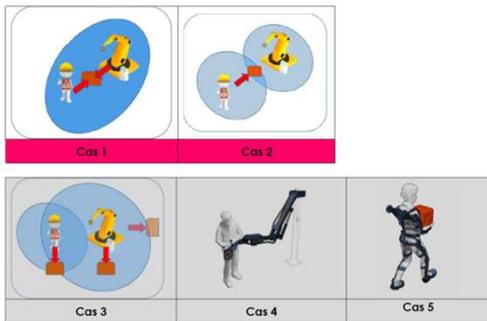
- Évolution de la norme EN ISO 10218 – Robots et dispositifs robotiques -Exigences de sécurité pour les robots industriels (2011)
- Fonctionnement collaboratif (~Coopératif) – ISO TS 15066 (2016)
- La majeure partie des fabricants de robots propose des solutions pour mettre en œuvre la collaboration Homme-robot.
 - Fonctions de sécurité
 - Robots dédiés à la collaboration



Guide de prévention à destination des fabricants et des utilisateurs

Pour la mise en œuvre des applications collaboratives robotisées

Edition 2017



http://travail-emploi.gouv.fr/IMG/pdf/guide_de_prevention_25_aout_2017.pdf

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 ?

Un cobot dans une fonderie Haut-Marnaise



Ferry Captain



➤ Entreprise familiale créée en 1831 (6^{ème} génération)

- 450 pers. / Gpe 7 ets (1700 pers)
- La main d'œuvre représente 58 % du C.A.

➤ Certifiée

- ISO 9001, 14 001, 50 001
- OHSAS 18 001
- COFRAC pour les labos



(Crédits Ferry Captain)

Activité

- Spécialisée dans la réalisation de pièces unitaires de grandes dimensions en alliages ferreux (fonte et acier), finies d'usinage.
 - Jusqu'à 12 m de diamètre – 70T



(Crédits Ferry Capitain)



(Crédits Ferry Capitain)

- Marchés : Cimenteries, mines, ouvrages d'art, énergies (éolien, nucléaire...), tunneliers, aéronautique...
 - 8-9 mois pour réaliser (des plans à l'expédition) une pièce pouvant coûter 600 000 euros

Contexte

- 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

Contexte

- Etats des lieux santé et technique réalisés avec la Carsat du Nord-Est (années 2000) au secteur ébarbage (29 ets).
 - les ébarbeurs se plaignaient tardivement et souvent leur état de santé était déjà dégradé

- La Carsat NE établit des recommandations pour 5 thèmes (ventilation, manutention, vibrations des outils, masque ventilé et l'air respirable)
 - L'ets met en œuvre les recommandations à partir du [5S]
 - cales spécifiques pour les pièces, nouveaux masques ventilés, meuleuses avec poignées antivibratiles, plateformes de travail, chauffage, éclairage...

L'ébarbage manuel



(Crédits Ferry Capitain)



(Crédits Ferry Capitain)



(Crédits Ferry Capitain)

2012 : Réflexion / Cobot pour l'ébarbage



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

Les attendus de l'entreprise

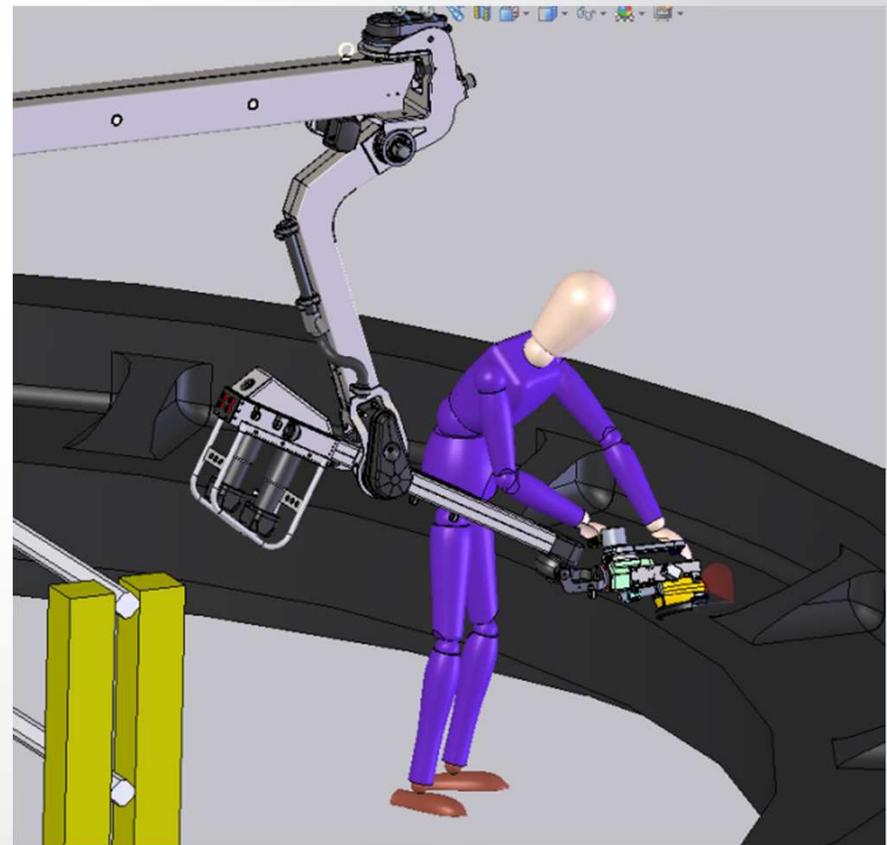
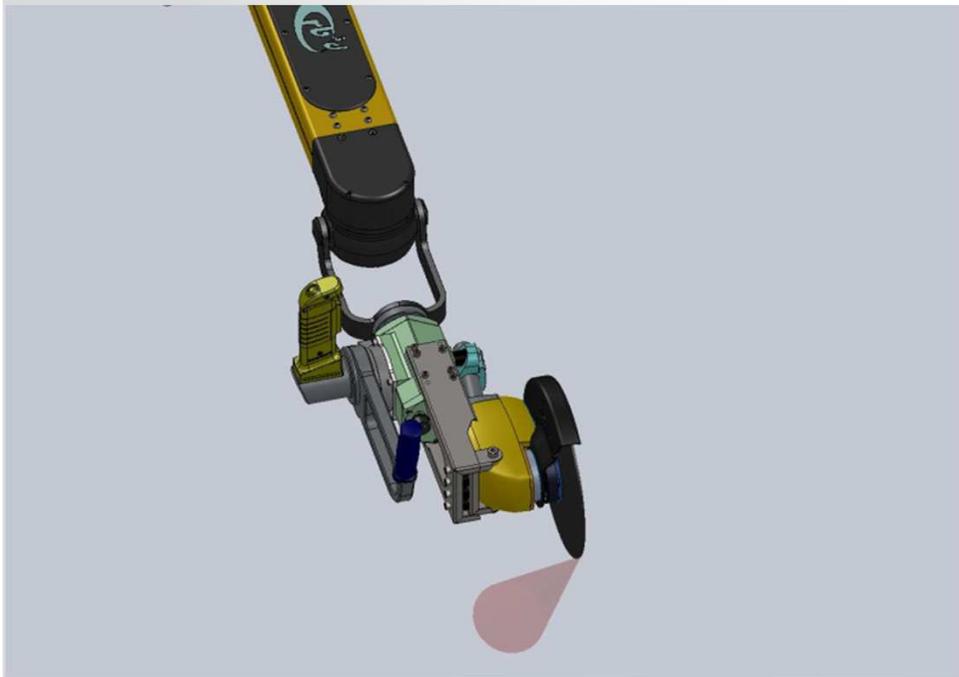
- Réduire les TMS en agissant sur :
 - Les vibrations
 - Les efforts de meulage
 - La réduction du port de charges

- Maintenir l'expertise de opérateur

- Développer le cobot pour les couronnes et assiettes (80% du marché)

Groupe projet

1. Identifie la faisabilité du projet avec le concepteur
2. Organise un brainstorming avec des opérateurs du poste
3. Réalise un audit des opérations réalisées



Groupe projet

4. Défini le cahier des charges

- Echanges et interventions Carsat / **sécurité machine, robotique et ergonomie**
- Carsat demande assistance à l'INRS sur la fiabilité du cobot (observations et échanges en situation réelle)
- CR d'analyse et d'échanges formalisés par l'INRS pour préciser des éléments dans le cahier des charges et augmenter le niveau d'exigences de l'entreprise vis-à-vis du concepteur.

Les étapes de l'assistance

- Présentation de la méthode de développement et d'intégration du cobot par RB3D et attendus de l'entreprise
- Observation d'un test d'intégration à partir d'une maquette
- Réunion de restitution des observations et réponses des acteurs du projet
- Rédaction d'une synthèse transmise à l'entreprise et à la Carsat du Nord-Est

Synthèse des CR de l'INRS

Quelques exemples de questions posées au concepteur

- Quel est l'effet du diamètre du disque de la meule sur le risque de casse outil ?
- Comment est gérée la sécurité de la commande du cobot ?
- Qui a la maîtrise du geste, le cobot ou l'Homme ?
- Est-ce que l'apprentissage est simple ?
- Est-ce que les opérateurs conserveront les mêmes stratégies pour contrôler la qualité de leur travail ?

Des préconisations formulées / Conformité machine :

- Analyse des risques à faire en situation pour l'ensemble cobot / meuleuse
- CE pour l'ensemble car meuleuse modifiée pour être intégrée

Des infos données sur des indicateurs à mettre en place :

- Douleurs,
- Nombre incidents,
- Temps d'apprentissage,
- Productivité

Groupe projet

5. Réalisation d'une maquette sur site



En // une 1^{ère} application



(Crédits Ferry Capitain)



(Crédits Ferry Capitain)

Cobot 1 axe / pose des pavés
800 pavés de 15kg = 12 tonnes en 4 heures

Groupe projet

6. Réalisation d'un prototype
7. Des essais chez le concepteur + adaptations
8. Puis des essais sur le site avec quelques opérateurs
9. Et avec l'ensemble des opérateurs du poste
10. Réunions d'optimisation de l'équipement

Fin 2013

11. Mise en production

Aide financière Carsat pour projet innovant

Evolutions Techniques

Conception partagée avec les opérateurs

- Ajout d'un 7^{ème} 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 verrouiller certains axes
 - limiter le couple et les angles d'attaque
- Ajout d'adaptation pour les autres meuleuses (droite, d'angle)
- Protection des câbles des projections incandescentes
- Éclairage incorporé

<http://youtu.be/49cmLNkgWvM>



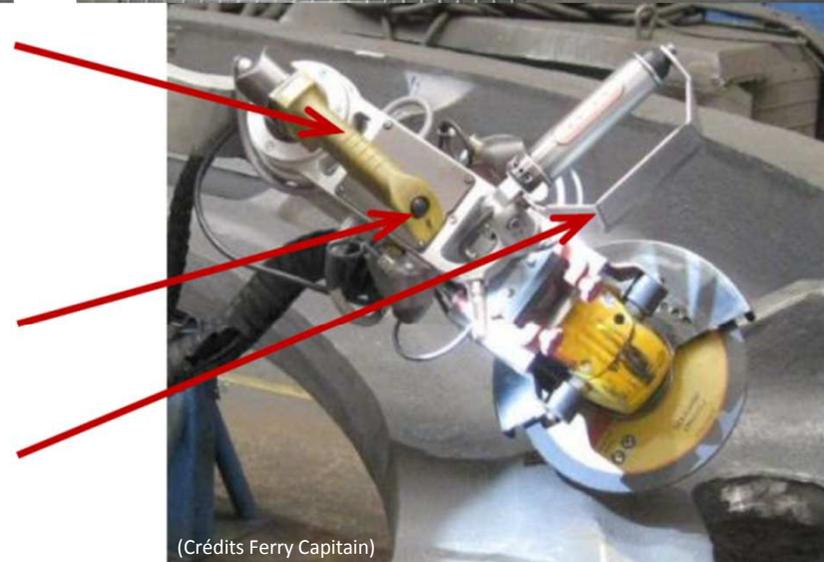
(Crédits Ferry Capitain)



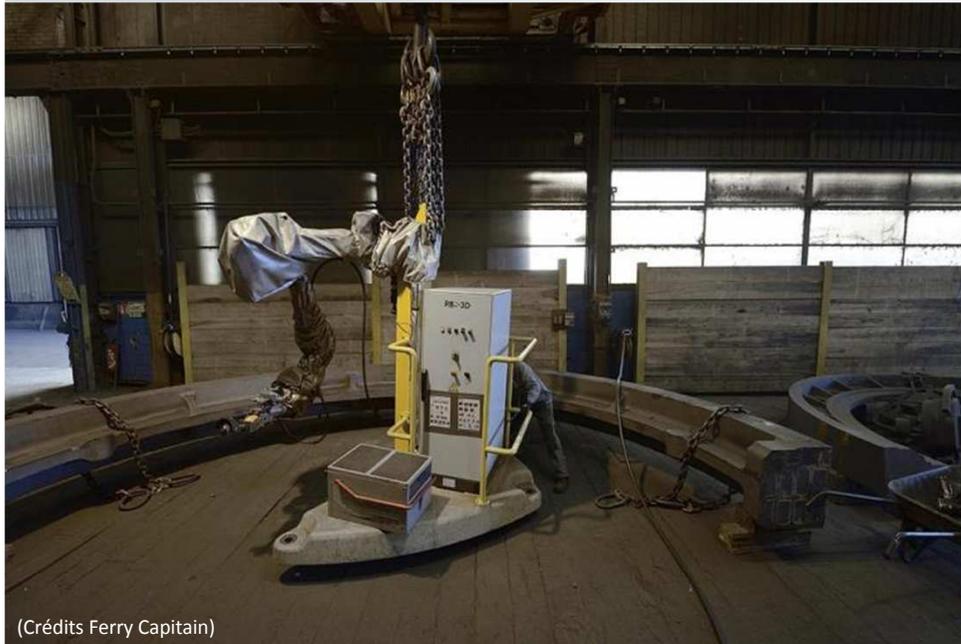
(Crédits Ferry Capitain)



(Crédits Ferry Capitain)



(Crédits Ferry Capitain)



(Crédits Ferry Capitain)

Poids du cobot : 200kg
Du socle : 3,5T



(Crédits Ferry Capitain)

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 »

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)
- Pas de malveillance sur l'équipement

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
 - Réflexion autour des exosquelettes

- // changements de pratiques
 - Évolution du métier et du vocabulaire : opérateur parachèvement
 - Formation maintenance 1^{er} niv pour les opérateurs

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**



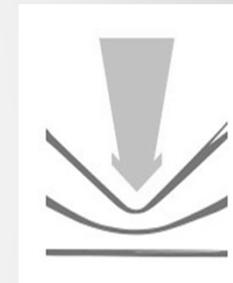
**Casse d'outils
et projection**



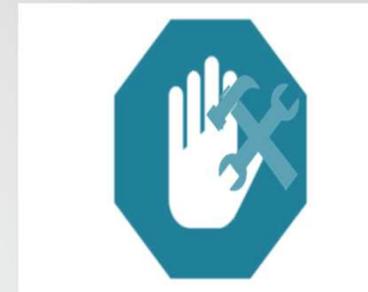
Ecrasement



**Lésions
articulaires**

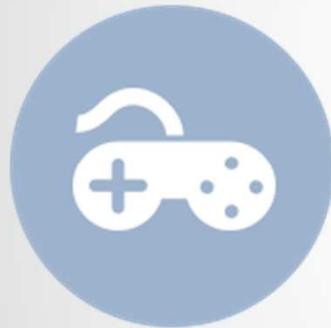
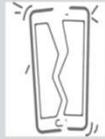


**Frottement
/Abrasion**



Restons prudents...

Des risques mécaniques?

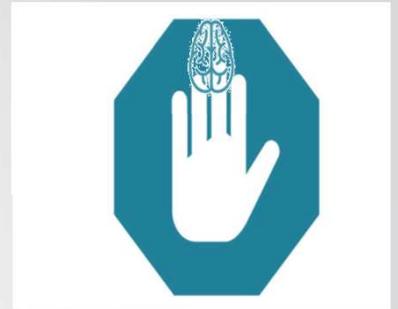
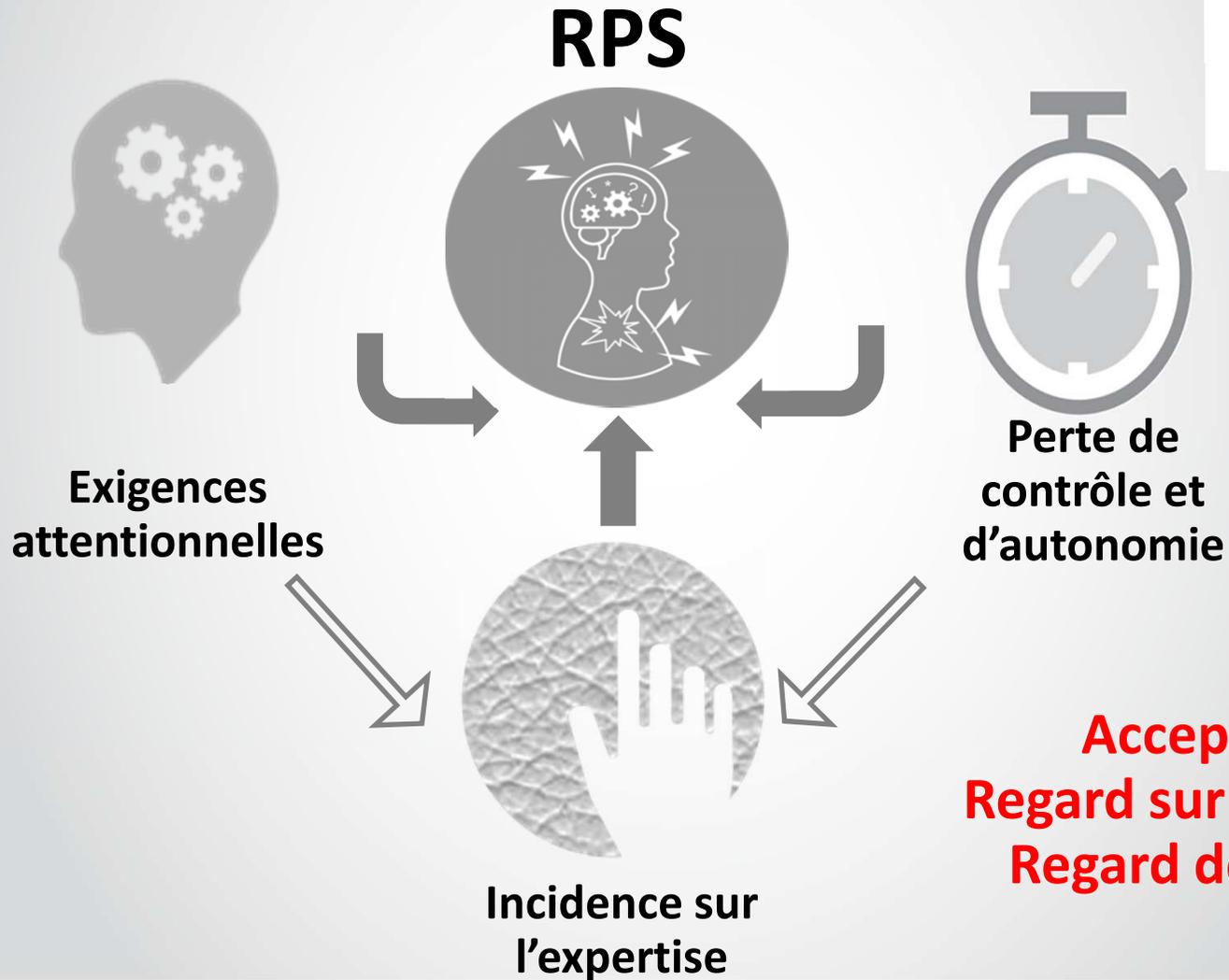


L'ensemble de ces risques peuvent être occasionnés dans des conditions normales d'utilisation, **mais également par des défaillances du système de commande.**

**Défaillances
du système de
commande**

Restons prudents...

Des risques liés à la charge cognitive ?



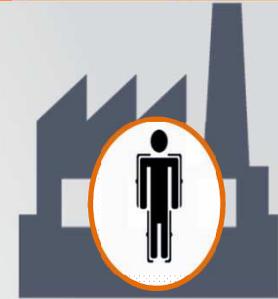
**Acceptation?
Regard sur son travail?
Regard des autres?**

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 ?

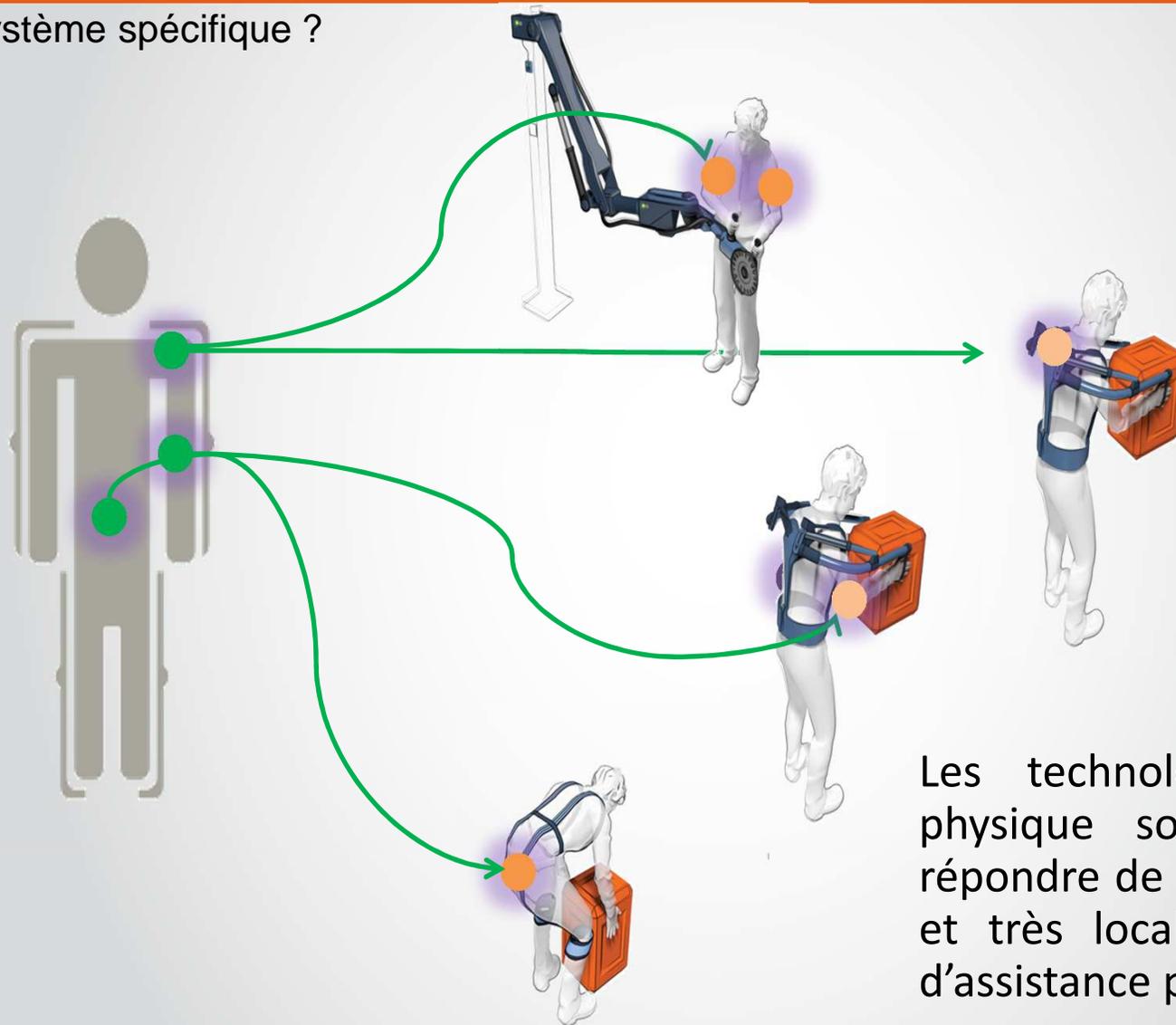
Intégration d'une technologie d'assistance physique ...

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

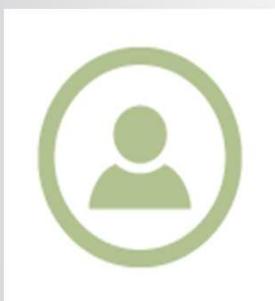
30/10/2017

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

- **Partager l'information - dialoguer** entre concepteurs, intégrateurs, acteurs de l'entreprise et opérateurs,



Notre métier, rendre le vôtre plus sûr

Merci de votre attention



<http://www.inrs.fr/risques/nouvelles-technologies-assistance-physique/ce-qu-il-faut-retenir.html>