

Journée animateurs Sécurité MSA 49  
15 juin 2018 Angers



# EXOSQUELETTES AU TRAVAIL :

---

## COMPRENDRE POUR AGIR



**Jean THEUREL**  
Physiologiste  
INRS



**Jean-Jacques ATAIN KOUADIO**  
Expert d'Assistance  
INRS



■ Notre métier,  
■ rendre le vôtre plus sûr

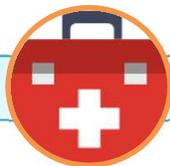
[www.inrs.fr](http://www.inrs.fr)

# Le concept d'exosquelette

# Le concept d'exosquelette



Hardiman 1968  
Structure motorisée



Développement vers des  
applications militaires et médicales



Innovations ?



# Les exosquelettes industriels



## Nouvelles technologies d'assistance physique

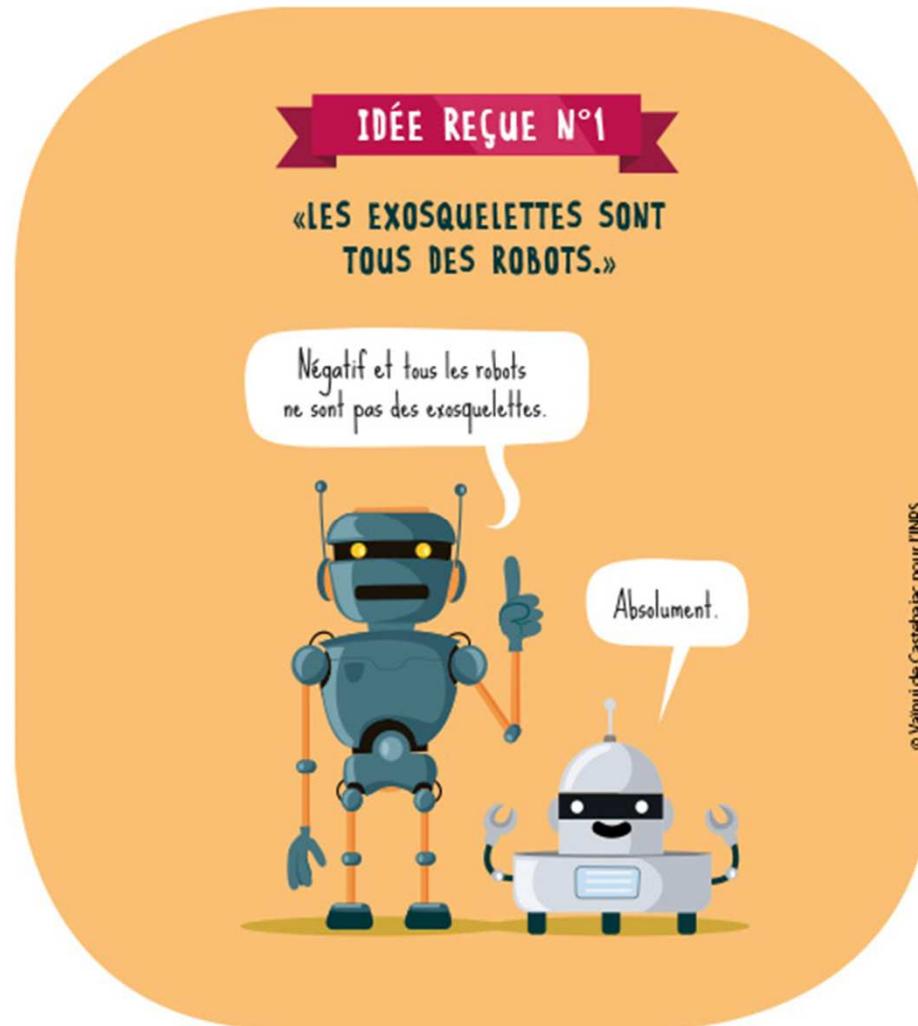
Ensemble des technologies utilisées afin d'apporter une aide physique à l'utilisateur dans l'exécution d'une tâche, par une compensation de ses efforts et/ou une augmentation de ses capacités motrices



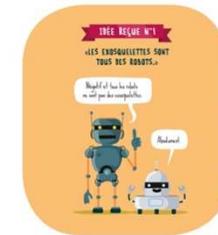
## Exosquelettes et autres technologies ...

- Bras manipulés,
- Robots collaboratifs,
- etc...

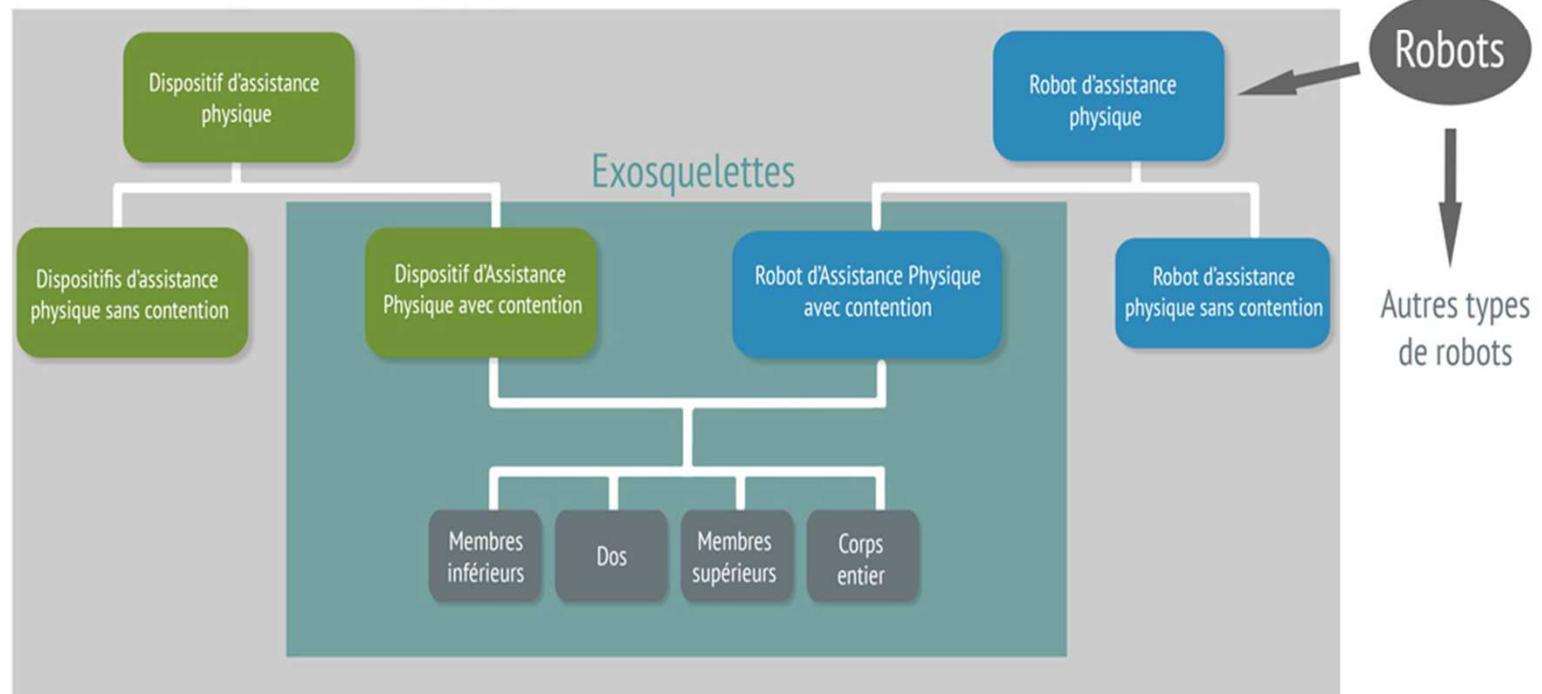
# Les exosquelettes sont-ils tous des robots ?



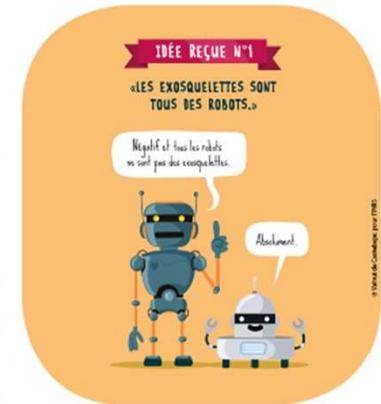
# Les exosquelettes sont-ils tous des robots ?



Nouvelles technologies d'assistance physique



# TOUS DES ROBOTS ?



# TOUS DES ROBOTS ?

## Guide de prévention à destination des fabricants et des utilisateurs

### Pour la mise en œuvre des applications collaboratives robotisées



Edition 2017



# Des technologies très variées

## Membres supérieurs



Amazon



Levitate Tech



Exhaus

## Main



Cyberdine

## Dos



Innophys



Laevo

## Membres inférieurs



Rb3D



Cyberdine

Source : [exoskeletonreport.com](http://exoskeletonreport.com)

# LES EXOSQUELETTES...



(© RB3D)



(© Deledda)



(© INRS)



(© Deledda)



(© INRS/Stuc & Staff)



crédits Colas-Sphère communication



## LES EXOSQUELETES...



Quelles sont les attentes  
des entreprises ?

# Quelles sont les attentes des entreprises ?

- Réduire les troubles musculo-squelettiques (TMS)
- Réduire la charge physique
- Réduire les efforts, ...

Limites de la prévention primaire  
(aménagement des postes et situations de travail, automatisation, ....)

Soulager les postures  
contraignantes...



(buste fléchi, bras en hauteur,  
positions statiques prolongées, ....)

... pour les opérations  
de manutention



# Etat des connaissances

# Les exosquelettes protègent-ils des TMS ?

## IDÉE REÇUE N°2

«LES EXOSQUELLETES SONT LA SOLUTION CONTRE LES RISQUES DE TROUBLES MUSCULOSQUELETTIQUES.»

VRAI  FAUX

Par contre, il me rend bien des services !



## IDÉE REÇUE N°10

«LES EXOSQUELLETES SONT DES ÉQUIPEMENTS DE PROTECTION INDIVIDUELLE.»

VRAI  FAUX

Ah non, désolé, toi tu fais pas partie du club.



# Les exosquelettes limitent-ils les efforts musculaires ?

## IDÉE REÇUE N°4

«LES EXOSQUELLETES AUGMENTENT LA FORCE DU SALARIÉ.»

Je ne sais pas ce qu'il se passe... À chaque fois que je m'équipe, je me transforme.

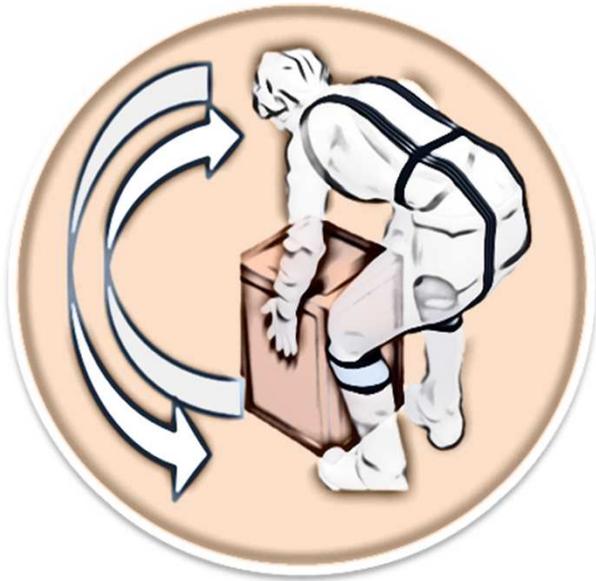


© Vainui de Castebajac pour l'INRS

# Les exosquelettes limitent-ils les efforts musculaires ?

1 / Sur les exosquelettes « **dos** »  
lors de tâches en flexion / extension du buste...

- Cas des dispositifs d'assistance physique



**Activité musculaire**  
(- 10 à - 40 %)



**Fatigue musculaire**



**Compressions vertébrales**



**Inconfort**

**Activité des muscles abdominaux**

**Changements de posture**

# Les exosquelettes limitent-ils les efforts musculaires ?

1 / Sur les exosquelettes « **dos** »  
lors de tâches en flexion / extension du buste...

- Cas des robots d'assistance physique



- **Activité musculaire**  
(- 12 à - 15 %)
- **Fatigue perçue**
- **Endurance de manutention**
- **Confort (buste)**



- Inconfort (zones d'appui sur les jambes)**
- Mesures réduites (postures, muscles antagonistes ...)**

# Les exosquelettes limitent-ils les efforts musculaires ?

2 / Sur les exosquelettes « **membres supérieurs** » lors de tâches de bras en hauteur

- Cas des dispositifs d'assistance physique et des robots d'assistance physique



**Activité musculaire**  
(- 30 à - 40 %)



**Perception d'effort**  
(- 40 à - 50 %)



**Contraintes articulaires**



**Activité des muscles posturaux (dos)**

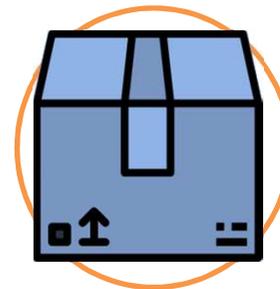
**Changement de stratégies posturales**

# En pratique

Mener des évaluations spécifiques lors de tâches de manutention dynamique ...



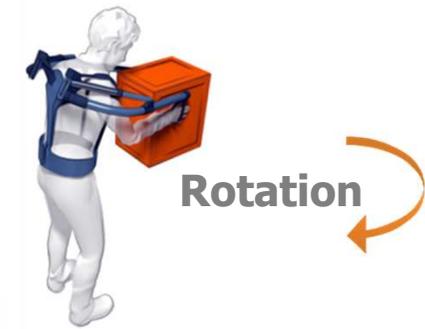
Avec exosquelette



Sans exosquelette



Soulèvement



Rotation

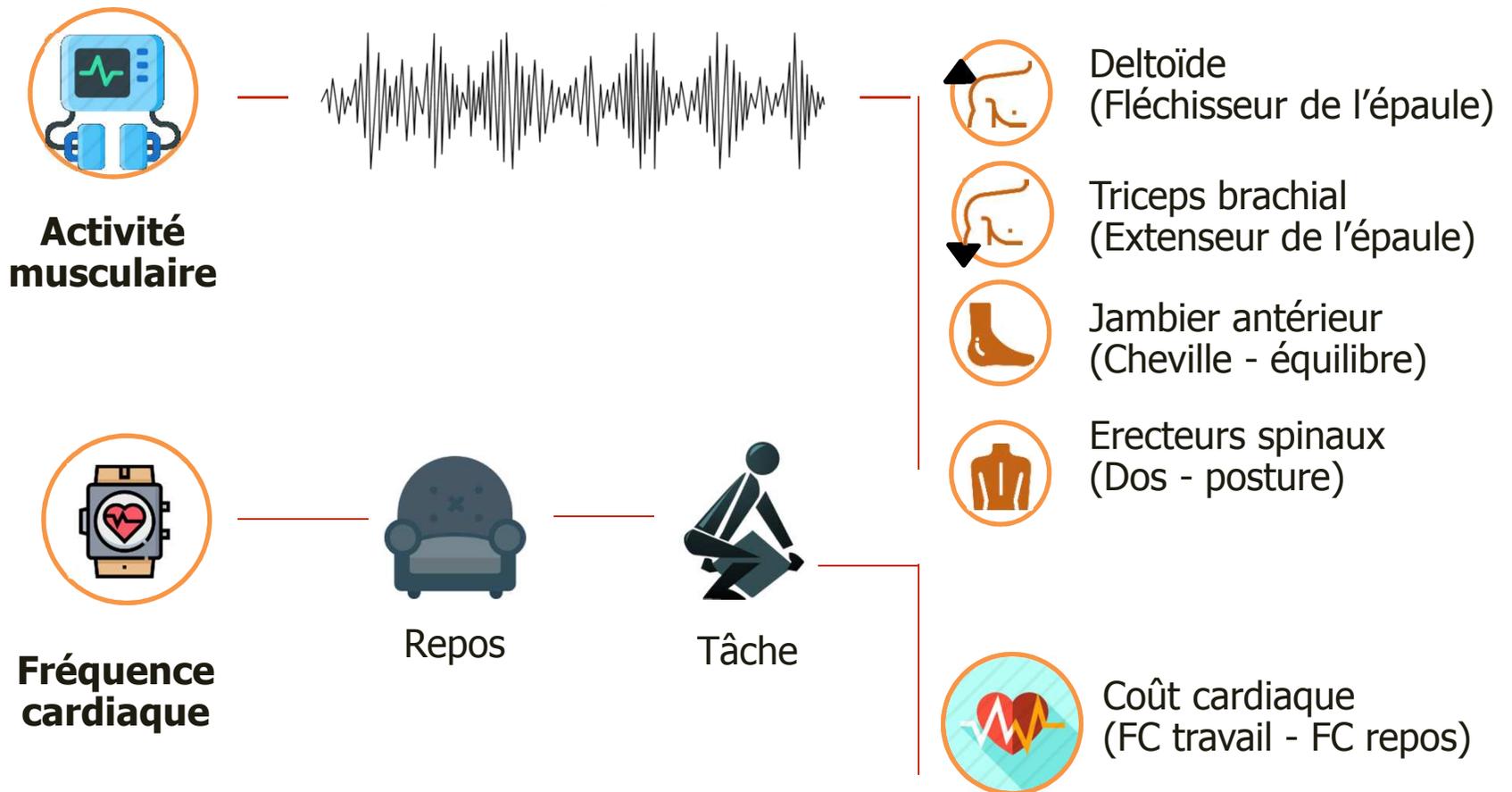


Marche

# Les mesures

Sur les exosquelettes « membres supérieurs »

8 salariés, formés et entraînés à l'usage de l'exosquelette



# Les résultats

Pour les exosquelettes « membres supérieurs » sur l'activité musculaire lors du **mouvement de soulèvement**



Avec exosquelettes



**Deltoïde**



**Triceps brachial**



**Jambier antérieur**



**Erecteurs spinaux**



# Les résultats

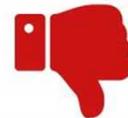
Pour les exosquelettes « membres supérieurs » sur l'activité musculaire lors du **mouvement de rotation**



Avec exosquelettes



**Deltoïde**



**Triceps brachial**



**Jambier antérieur**

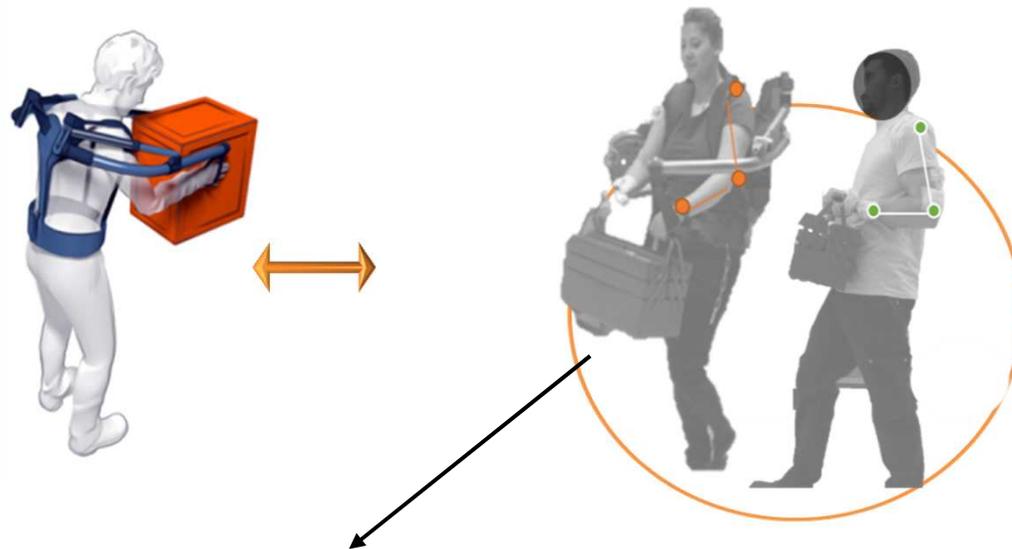


**Erecteurs spinaux**



# Les résultats

Pour les exosquelettes « membres supérieurs » sur l'activité musculaire lors du **mouvement de marche**



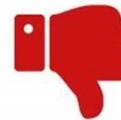
Avec exosquelettes



**Triceps brachial**



**Deltoïde**



**Erecteurs spinaux**



# Les exosquelettes limitent-ils tous les efforts ?

## IDÉE REÇUE N°3

«LES EXOSQUELETES LIMITENT  
LES EFFORTS PHYSIQUES.»

VRAI

FAUX



# Les exosquelettes limitent-ils tous les efforts ?

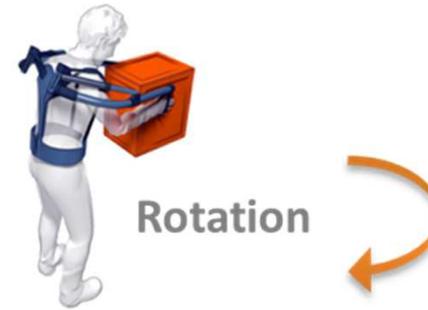


Soulèvement

Avec exosquelette



Effort cardiaque



Rotation

Avec exosquelette



Effort cardiaque



Productivité

# D'autres questions en suspens...

Sur les conséquences physiologiques à moyen et long termes



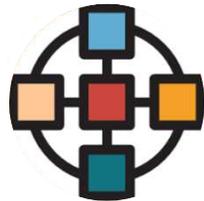
Quels délais de **familiarisation** ?

Quels sont les impacts sur **l'expertise** ?



Quels sont les risques de

**désadaptation musculaire** ?



Quels impacts sur

**l'organisation du travail** ?

# D'autres questions en suspens...

Sur le comportement articulaire...



- Quel impact sur **les coordinations musculaires** ?
- Quel impact sur le **mouvement** ?  
(fonctionnement de l'articulation)
- Quelles conséquences sur **l'intégrité des tendons** ?

# Comment intégrer un exosquelette ?

Jean-Jacques ATAIN KOUADIO  
Expert d'Assistance - INRS



# Les objectifs d'une démarche d'intégration

## IDÉE REÇUE N°8

«LES EXOSQUELLETES SONT IMMÉDIATEMENT UTILISABLES EN SITUATION DE TRAVAIL.»

VRAI  FAUX

Euh... Envoyez la sécurité, Régis est resté coincé avec son exosquelette.



Bénéfices



Risques



# Les questions à se poser en amont



Peut-on éliminer les problèmes à la source ?



Dispose-t-on de moyens de prévention collective ?



Les technologies d'assistance physique peuvent-elles convenir comme moyen de prévention individuelle ?

# Caractériser le besoin d'assistance physique



Analyse de l'activité :

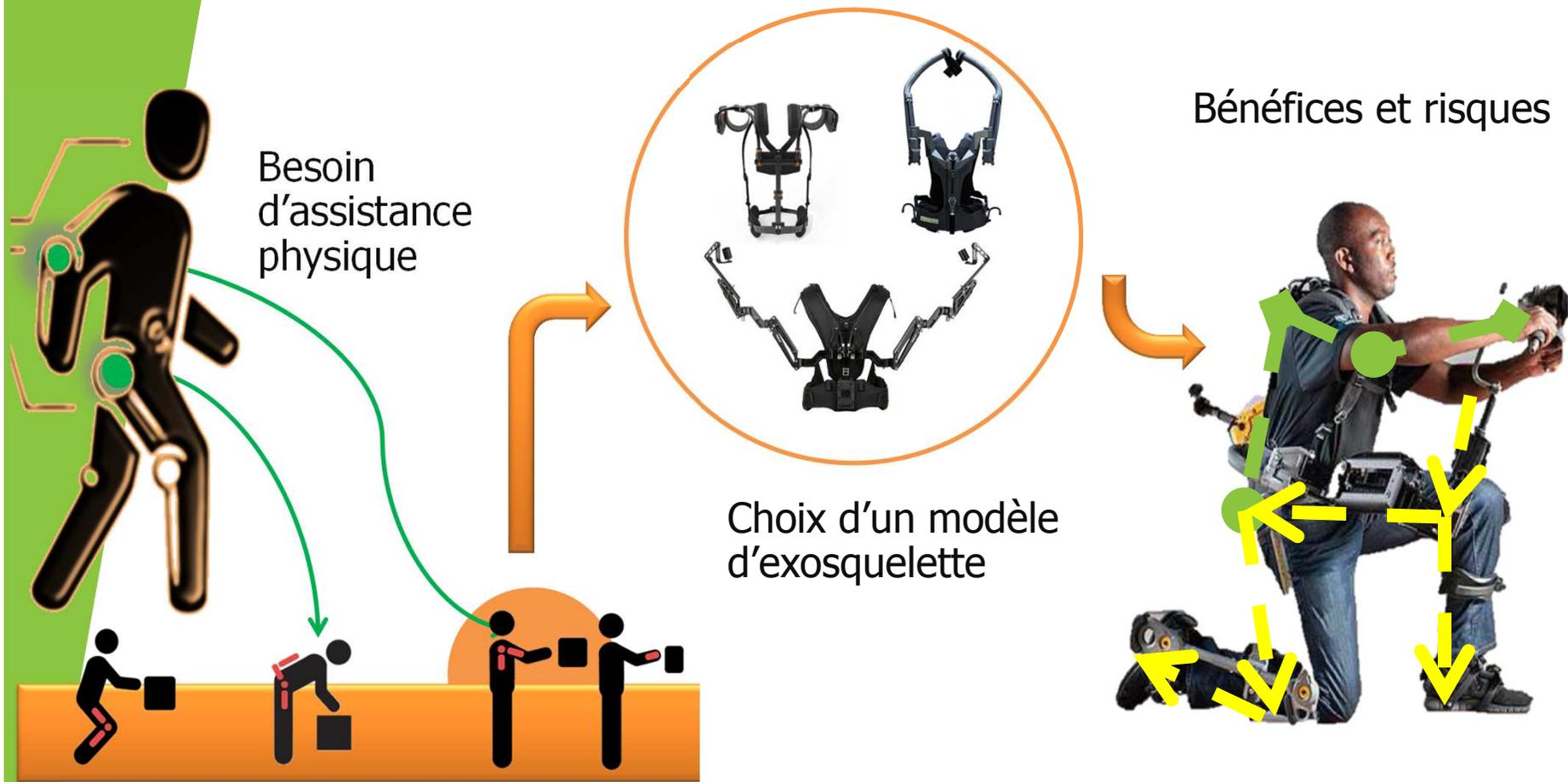
- Quelles sont les spécificités de la tâche de travail ?
- Quels sont les risques ?



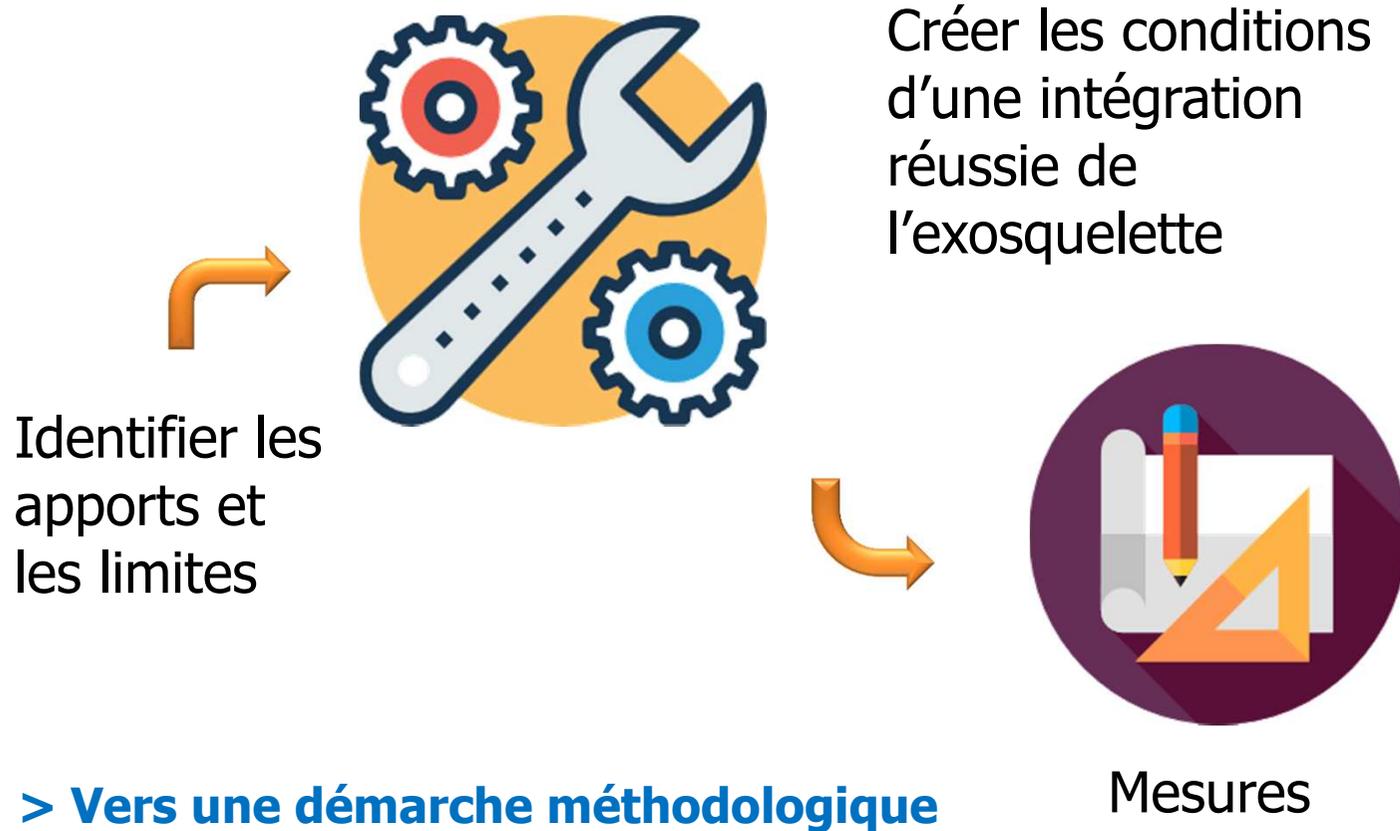
> **Impliquer l'utilisateur final !**

# Caractériser le principe de la technologie

## L'exosquelette : une réponse et des limites spécifiques

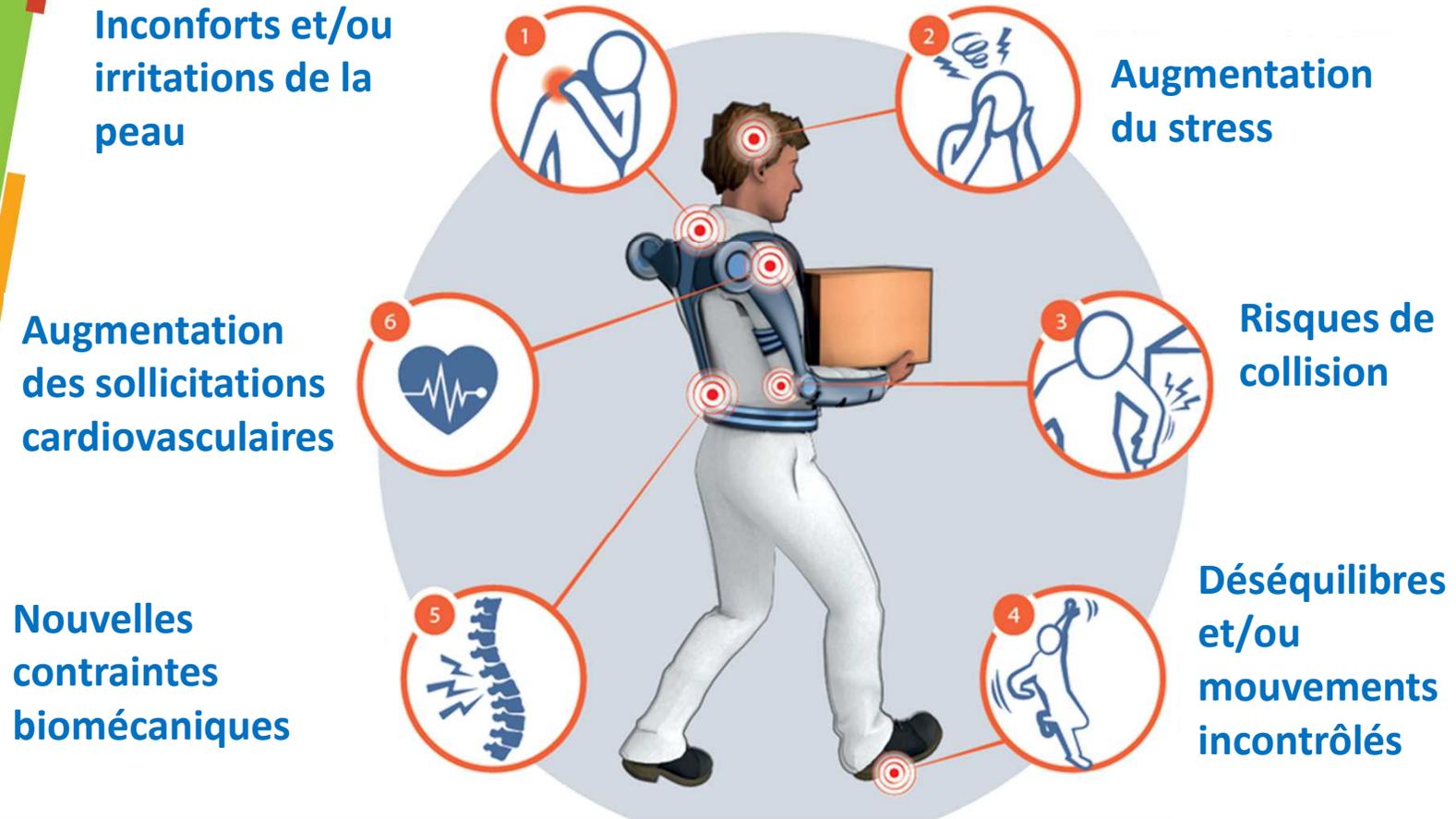


# Evaluer l'interaction entre l'homme, l'exosquelette et la situation



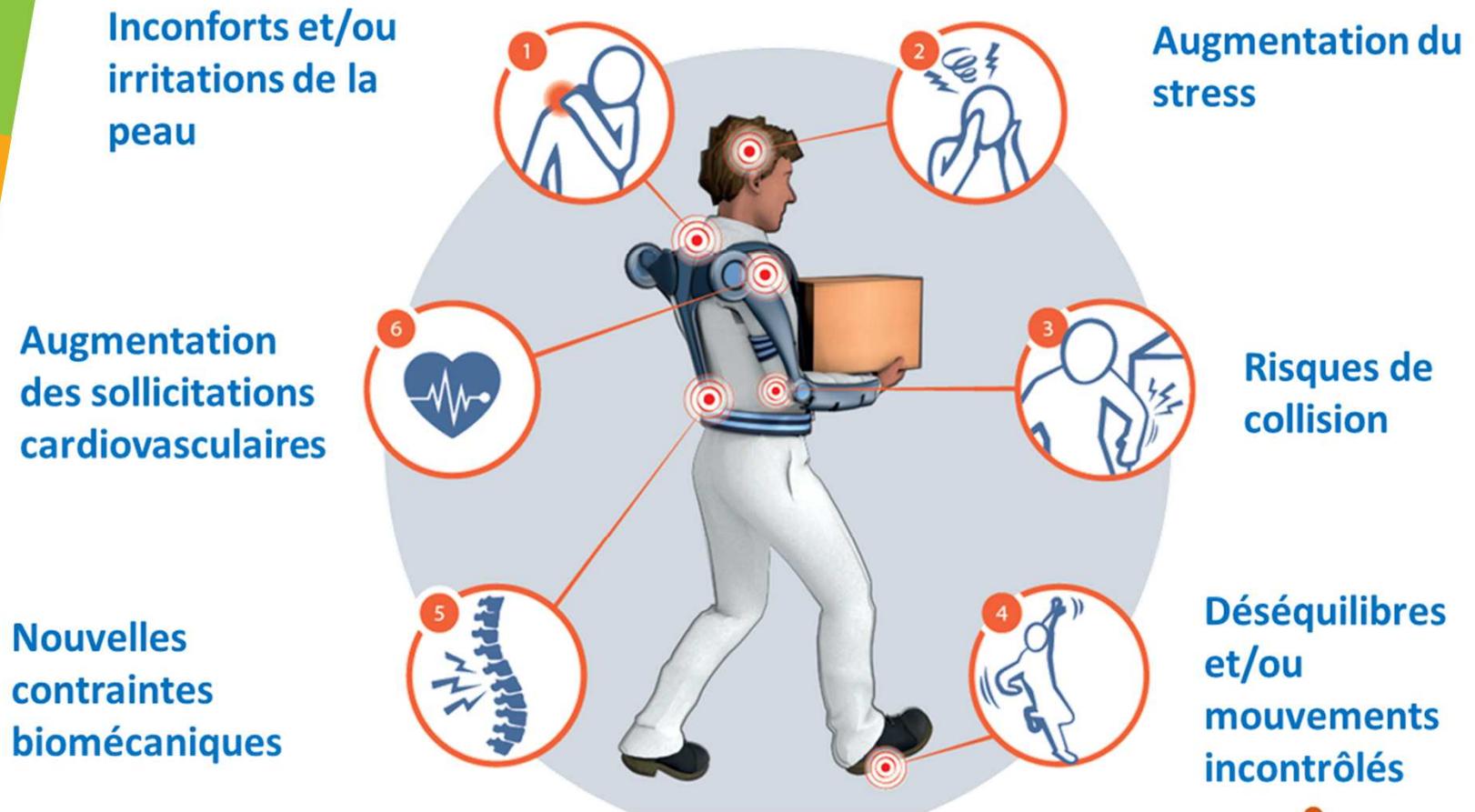
# Prendre en compte les nouveaux risques

Intégrer un exosquelette c'est aussi introduire de nouveaux risques



# Prendre en compte les nouveaux risques

## 1 / Familiarisation et apprentissage



# Prendre en compte les nouveaux risques

## 1 / Familiarisation et apprentissage

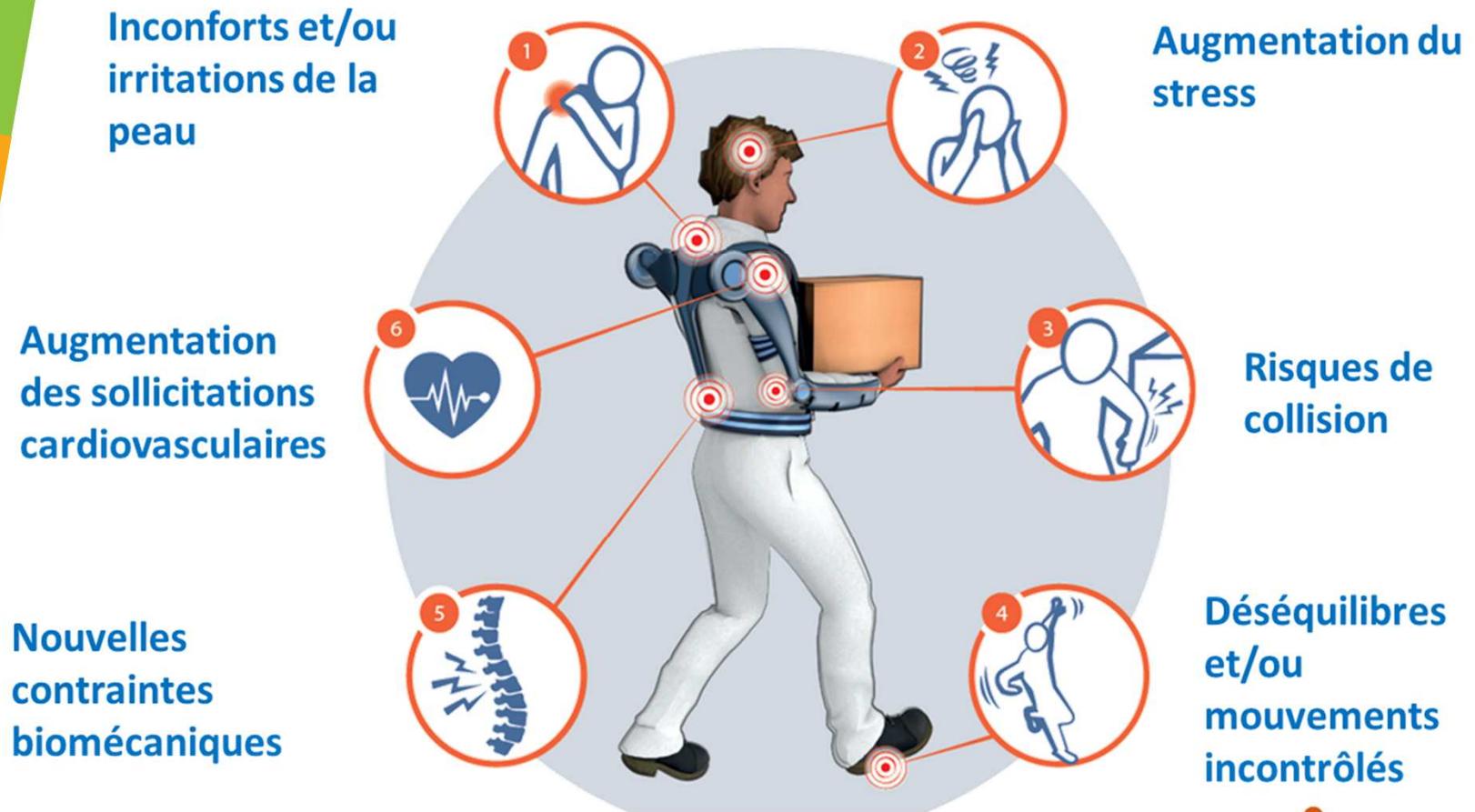


Réponse :

- Favoriser l'apprentissage (Exo – Tâche – environnement)
- Identifier de nouveaux repères
- Inventer l'usage

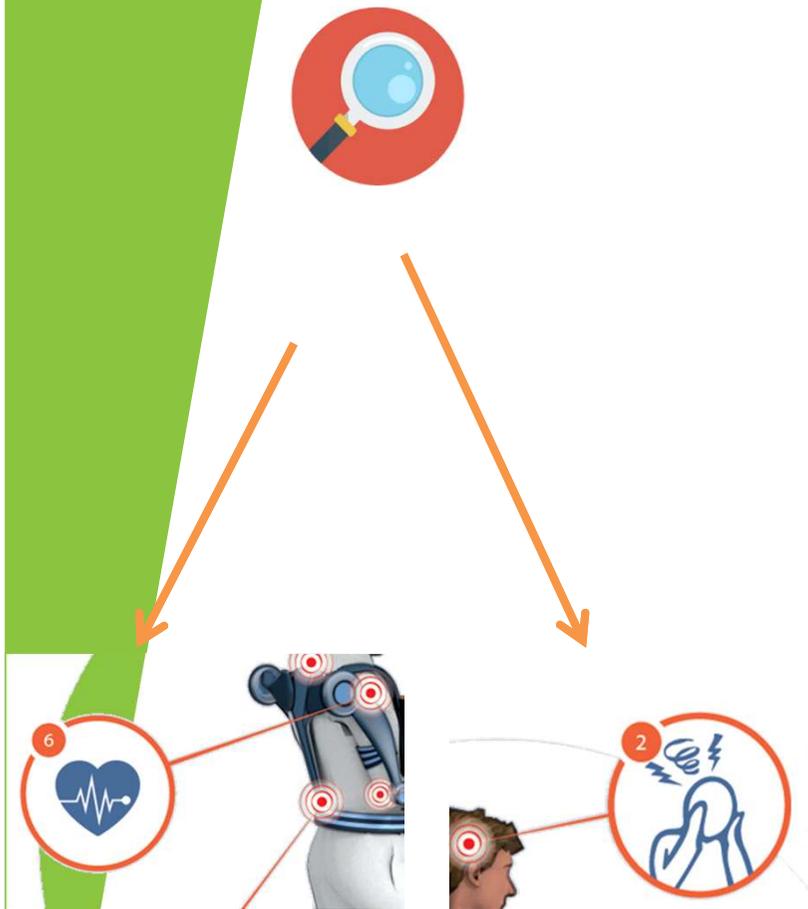
# Prendre en compte les nouveaux risques

## 2 / Réorganisation du travail



# Prendre en compte les nouveaux risques

## 2 / Réorganisation du travail

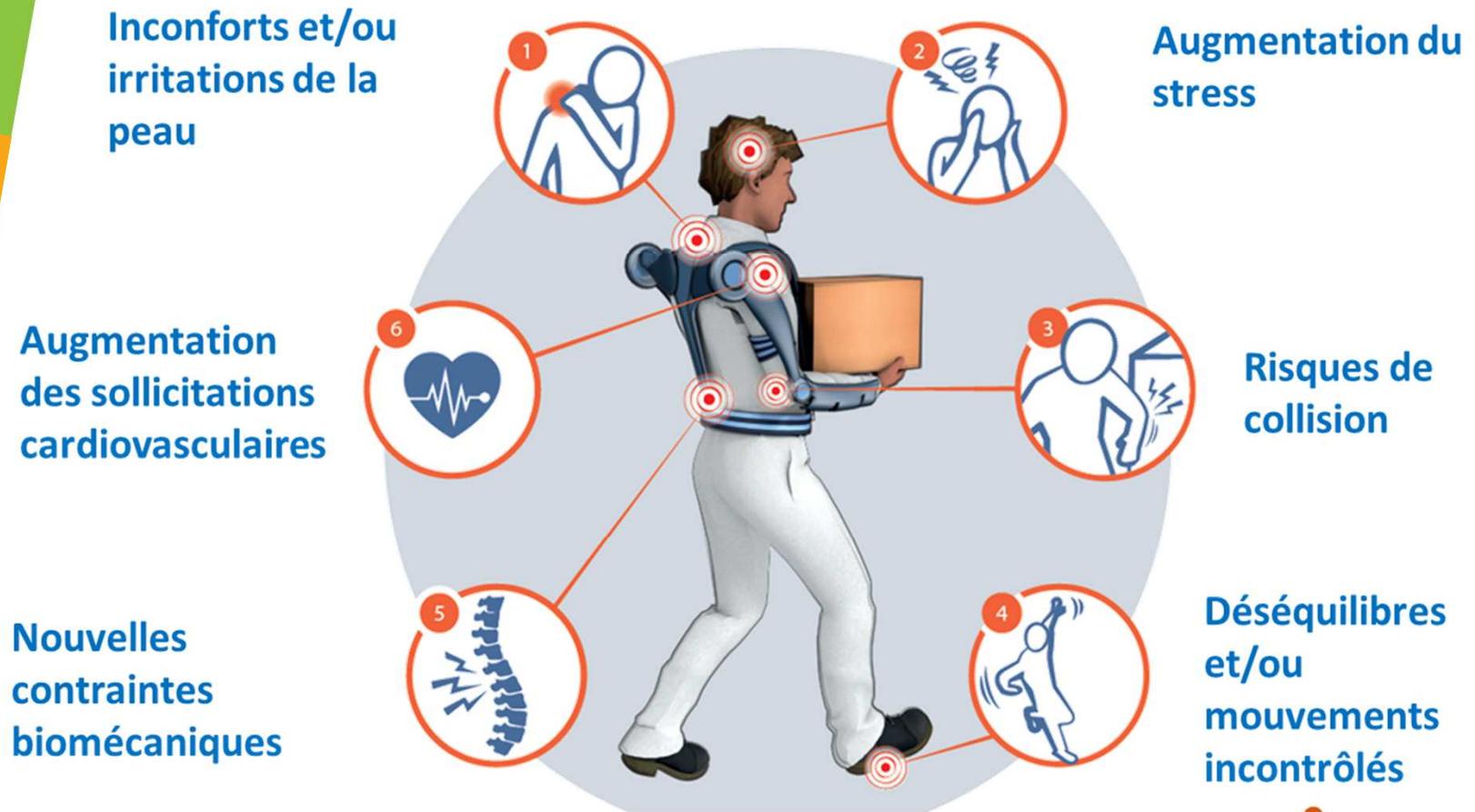


Réponse :

- Reproduire la situation
- Reconfigurer
- Tester
- Transformer

# Prendre en compte les nouveaux risques

## 3 / Réorganisation de l'environnement



# Prendre en compte les nouveaux risques

## 3 / Réorganisation de l'environnement



Les exosquelettes, de par leur encombrement et leur structure, présentent des **RISQUES DE COLLISION** avec une tierce personne ou des éléments de l'environnement.

Réponse :

- Reproduire la situation
- Reconfigurer
- Tester
- Transformer

# Optimiser l'apport de l'exosquelette



Cibler les zones  
**d'efficacité - inefficacité**



Y a-t-il de nouvelles  
**contraintes biomécaniques ?**

Y a-t-il de nouvelles  
**sollicitations cardio-vasculaires ?**

# Les points à retenir

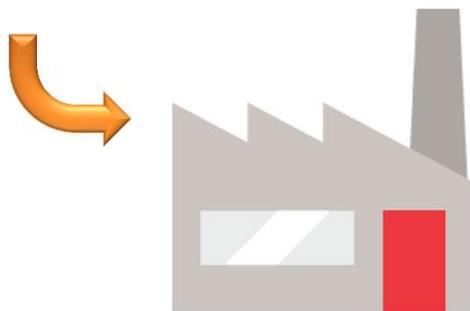
Evaluation de l'interaction Homme-Exo-Situation

**Etape 1:** Introduction des critères et des outils d'évaluation

**Etape 2 :** Elaboration du protocole d'évaluation

**Etape 3 :** Apprentissage hors situation réelle de travail

**Etape 4 :** Mise en œuvre en situation réelle de travail



Intégration d'un exosquelette **effectivement adapté**



**Suivi et retours d'expériences**

# Les points à retenir

<https://www.youtube.com/watch?v=AoNkk02XiA4>



Pour aller plus loin

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



## « 10 idées reçues sur les exosquelettes ».

### L'usage des exosquelettes : 6 points de vigilance et des repères en prévention



Afin d'intégrer les bonnes pratiques de prévention le plus tôt possible dans leur démarche de prévention, les entreprises disposent également :

- D'une [vidéo « Les exosquelettes. Comment s'y préparer ? »](#)
- d'une infographie qui présente les 6 points de vigilance associés à l'utilisation d'un exosquelette, dont les risques d'inconfort et/ou irritations de la peau, d'augmentation du stress, de collision avec une tierce personne ou son environnement... (cf. Annexe)

### Et pour aller plus loin :

- **Des rendez-vous dédiés aux entreprises:**
  - Une conférence sur « [l'émergence des exosquelettes en entreprise, comprendre pour agir](#) », le 30 mai 2018 au salon professionnel Préventica Lyon.
  - Des [webinaires](#), les 19 juin et 18 septembre 2018.
- [Un dossier web dédié aux exosquelettes](#) : définitions, identification des risques professionnels, prévention, publications...)
- [Des témoignages d'entreprises et paroles d'experts](#) dans la revue Travail & Sécurité de l'INRS de novembre 2017 (dossier sur les dispositifs d'assistance physiques (exosquelettes, robots...)).
- [Les robots et dispositifs d'assistance physique : état des lieux et enjeux pour la prévention](#) – Note scientifique et technique, octobre 2017.





Notre métier, rendre le vôtre plus sûr  
Merci de votre attention



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

YouTube

