

# Exosquelettes au travail Comment s'y préparer ?

Webinaire INRS - 19 juin 2018



■ Notre métier,  
■ rendre le vôtre plus sûr

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

# Les intervenants

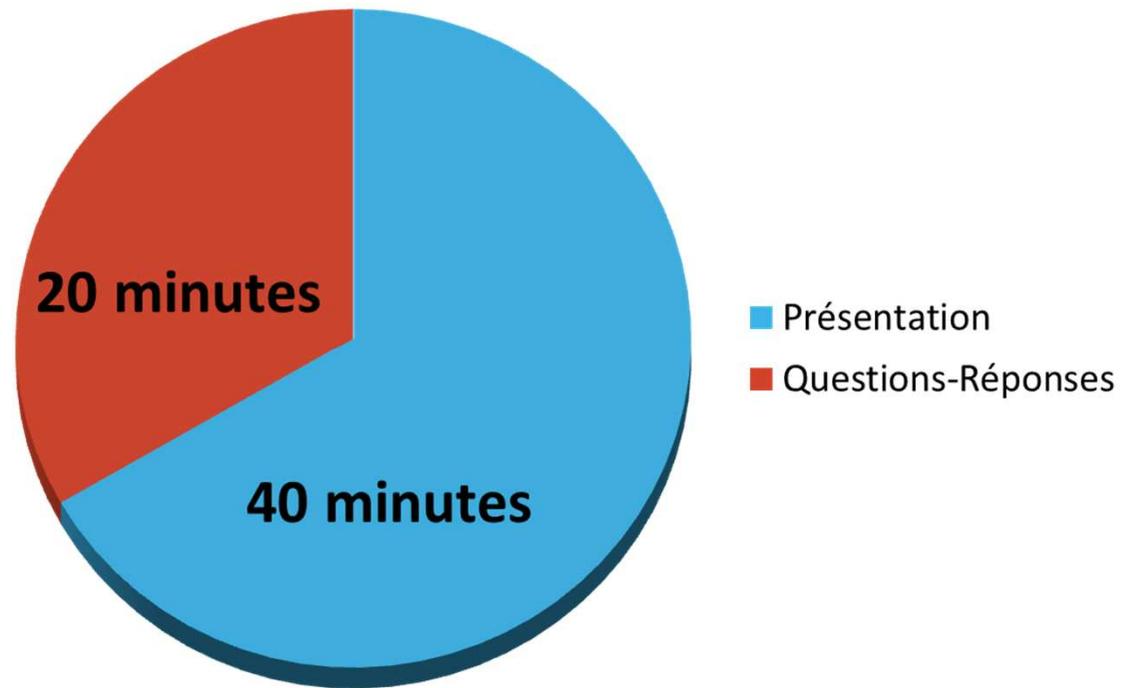


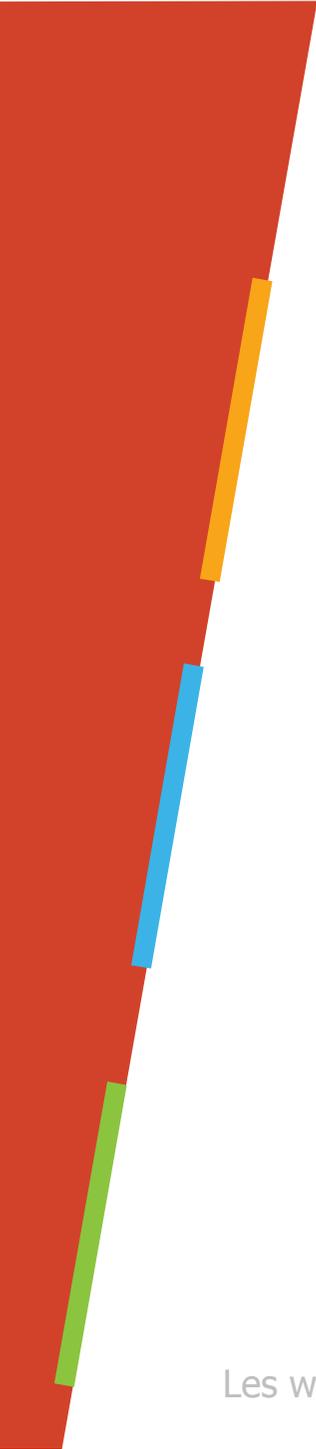
**Jean Theurel**  
Physiologiste  
INRS



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

# Durée





# Sommaire

5 Le concept d'exosquelette

---

10 Quelles sont les attentes des entreprises ?

---

12 Etat des connaissances

---

27 Comment intégrer un exosquelette ?

---

40 Questions/réponses

---

45 Pour en savoir plus

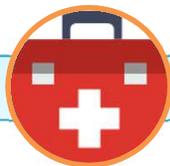
---

# 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

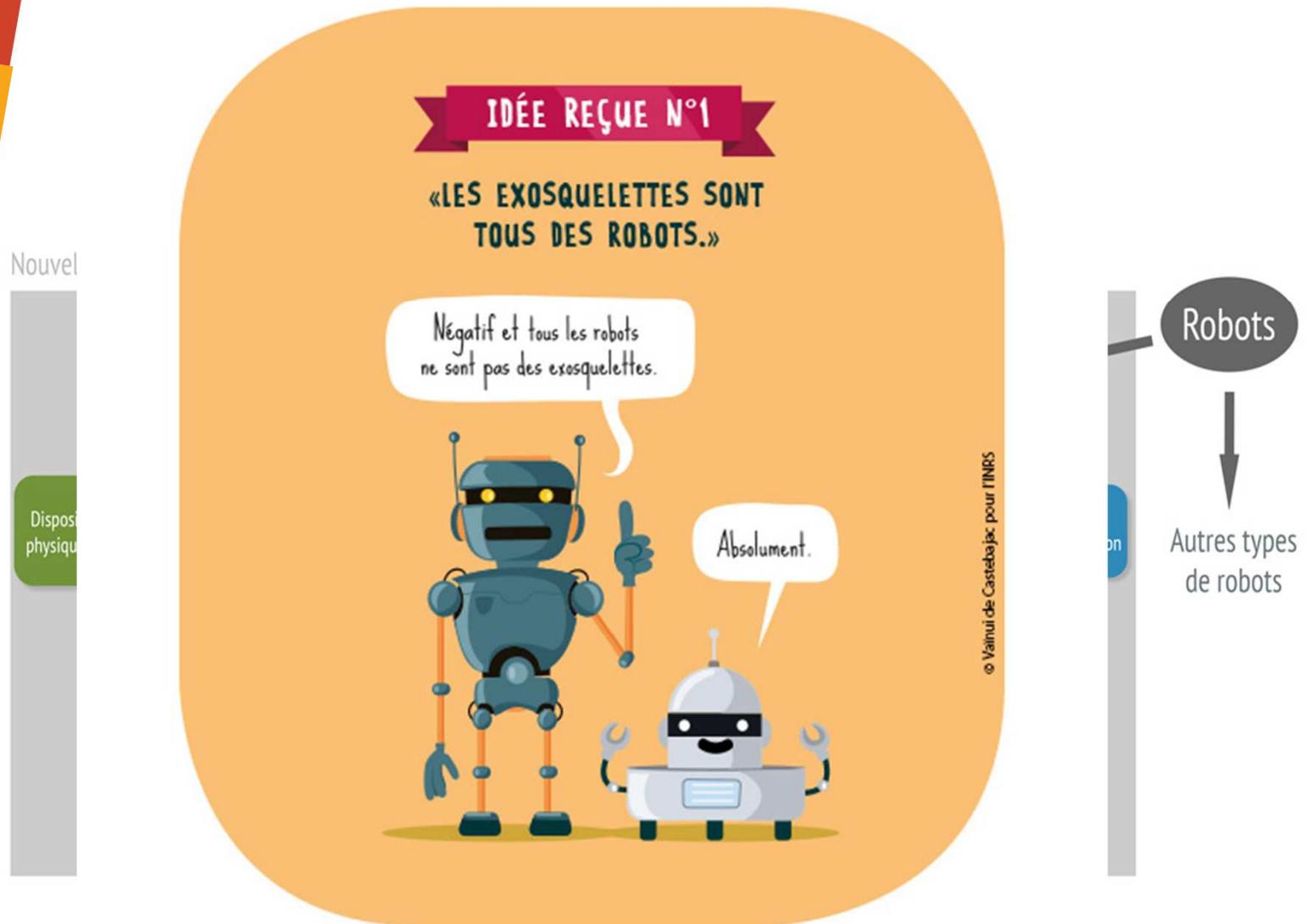
Ensemble des technologies utilisées afin d'apporter une aide physique à l'utilisateur dans l'exécution d'une tâche, par une compensation de ses efforts et/ou une augmentation de ses capacités motrices



## Exosquelettes et autres technologies ...

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

# Les exosquelettes sont-ils tous des robots ?



# Des technologies très variées

## Membres supérieurs



Amazon



Levitare Tech



Exhaus

## Main



Cyberdine

## Dos



Innophys



Laevo

## Membres inférieurs



Rb3D



Cyberdine

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

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 ?

Les TMS ont une origine multifactorielle. Ils peuvent être dus :

- au stress
- à l'organisation du travail
- aux contraintes biomécaniques (force, répétitivité, posture)

**IDÉE REÇUE N°2**

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

VRAI  FAUX

Par contre, il me rend bien des services !



**IDÉE REÇUE N°10**

«LES EXOSQUELETES 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)**

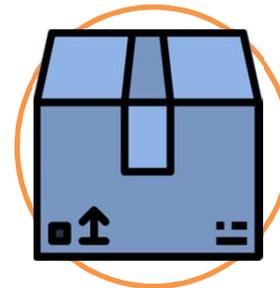
**Changement de stratégies posturales**

# En pratique

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



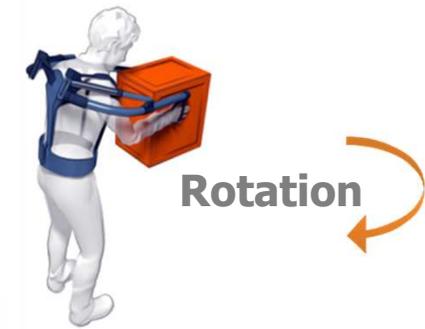
**Avec  
exosquelette**



**Sans  
exosquelette**



**Soulèvement**



**Rotation**

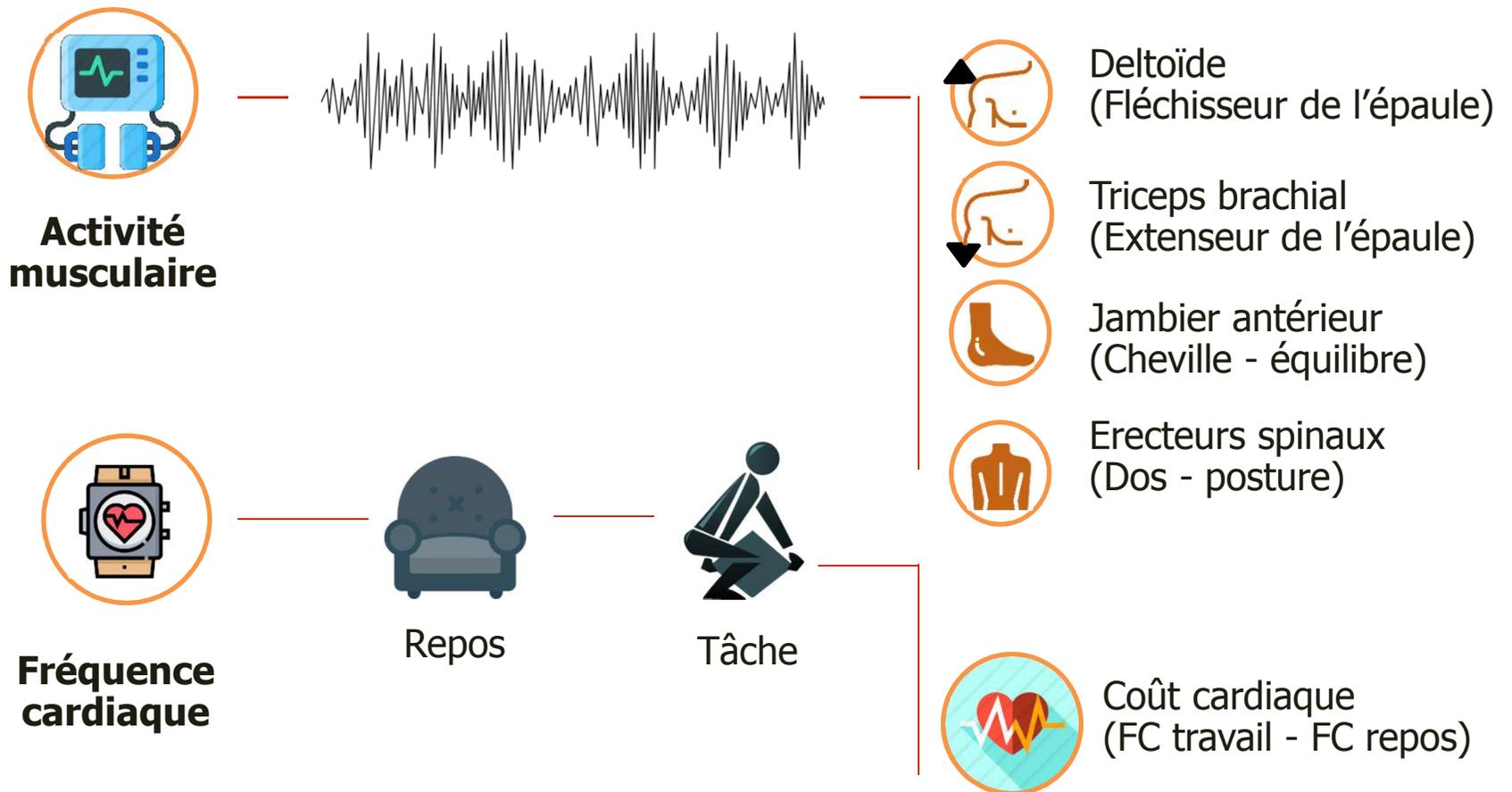


**Marche**

# 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**



**Deltoïde**



**Triceps brachial**



**Jambier antérieur**



**Erecteurs spinaux**



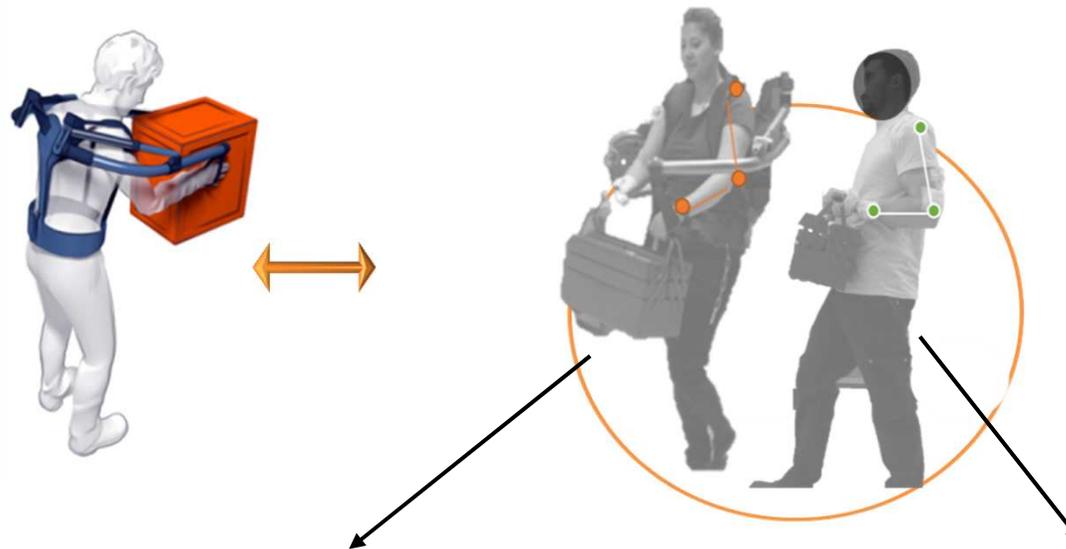
# Les résultats

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



# Les résultats

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



**Triceps brachial**



**Deltoïde**



**Erecteurs spinaux**



# Les exosquelettes limitent-ils tous les efforts ?



# Les exosquelettes limitent-ils tous les efforts ?

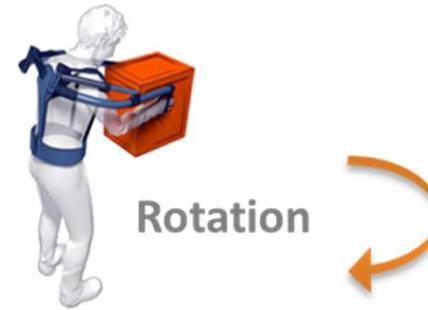


Soulèvement

Avec exosquelette



Effort cardiaque



Rotation

Avec exosquelette



Effort cardiaque



Productivité

# D'autres questions en suspens...

Sur les conséquences physiologiques à moyen et long termes



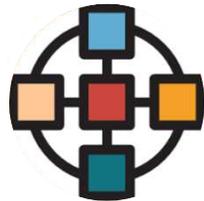
Quels délais de **familiarisation** ?

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 :

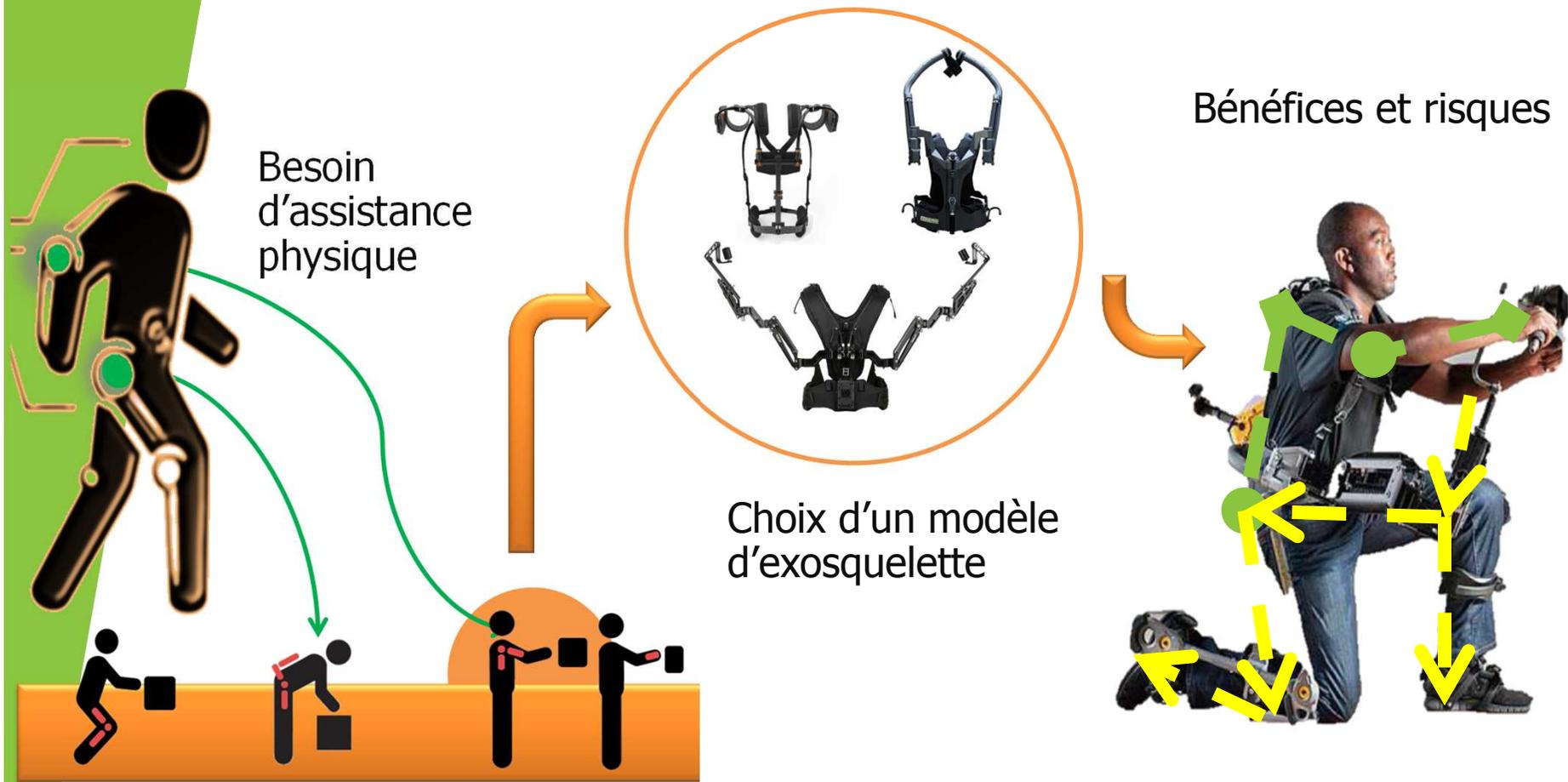
- Quelles sont les spécificités de la tâche de travail ?
- Quels sont les risques ?



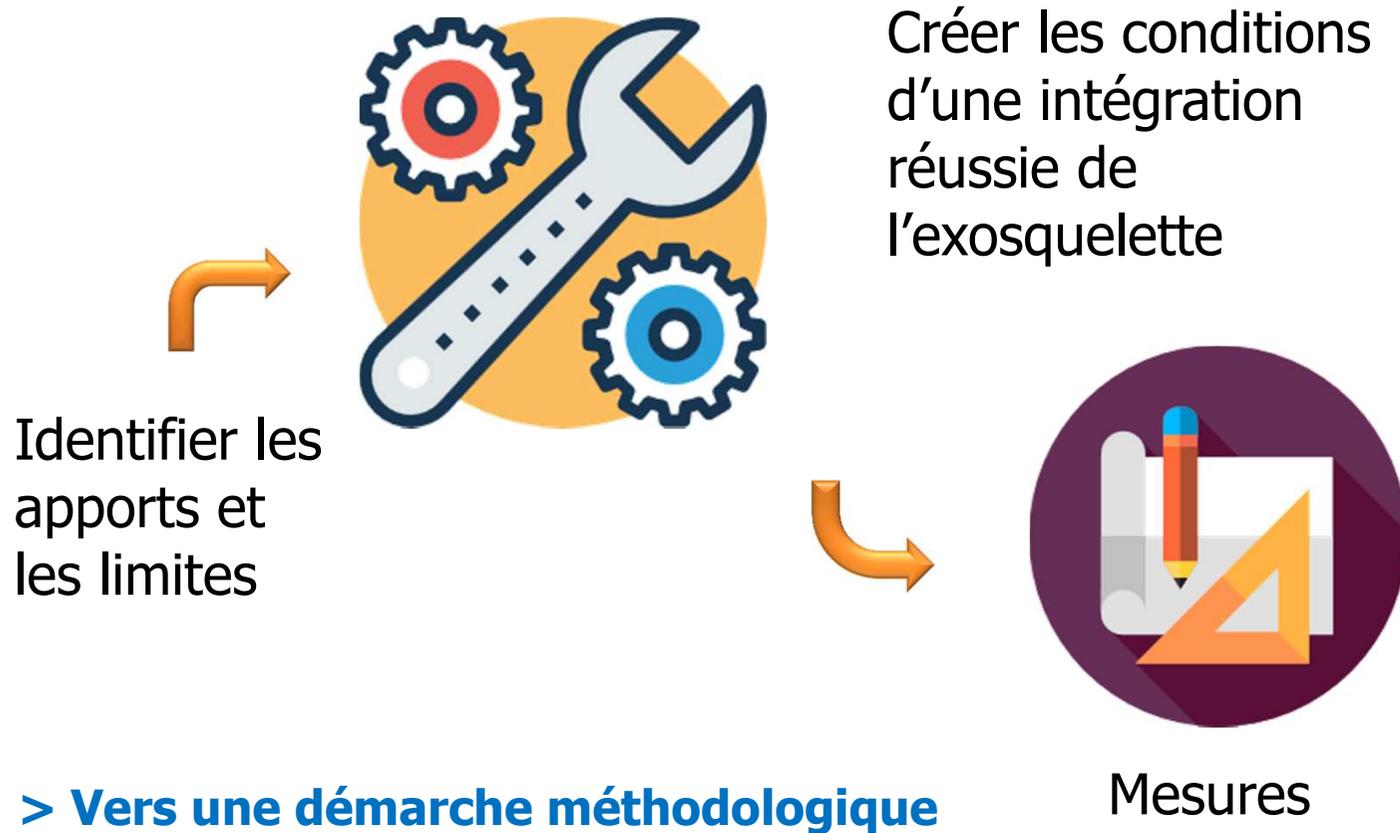
> **Impliquer l'utilisateur final !**

# Caractériser le principe de la technologie

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

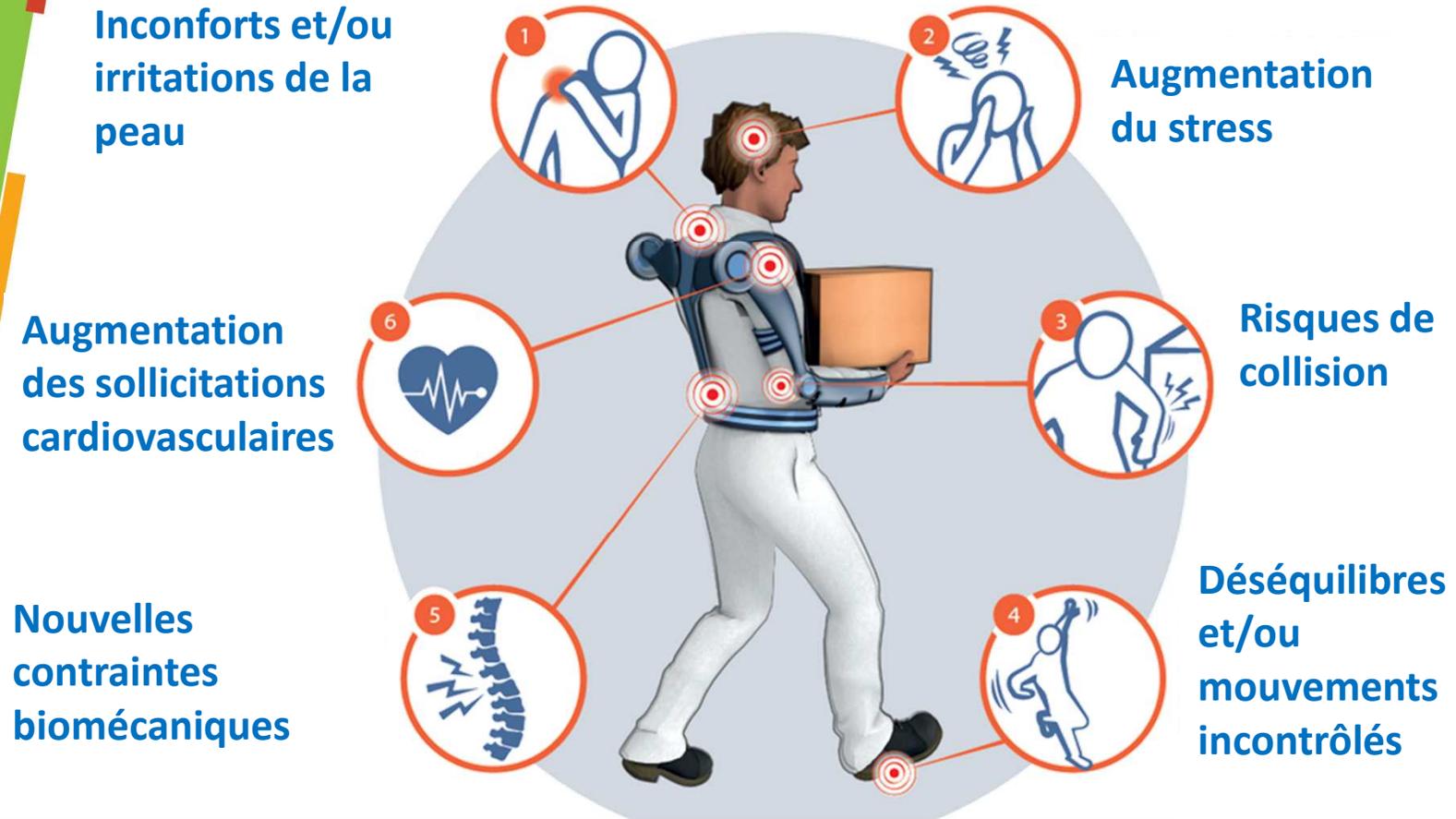


# Evaluer l'interaction entre l'homme, l'exosquelette et la situation



# 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

## 2 / Réorganisation du travail



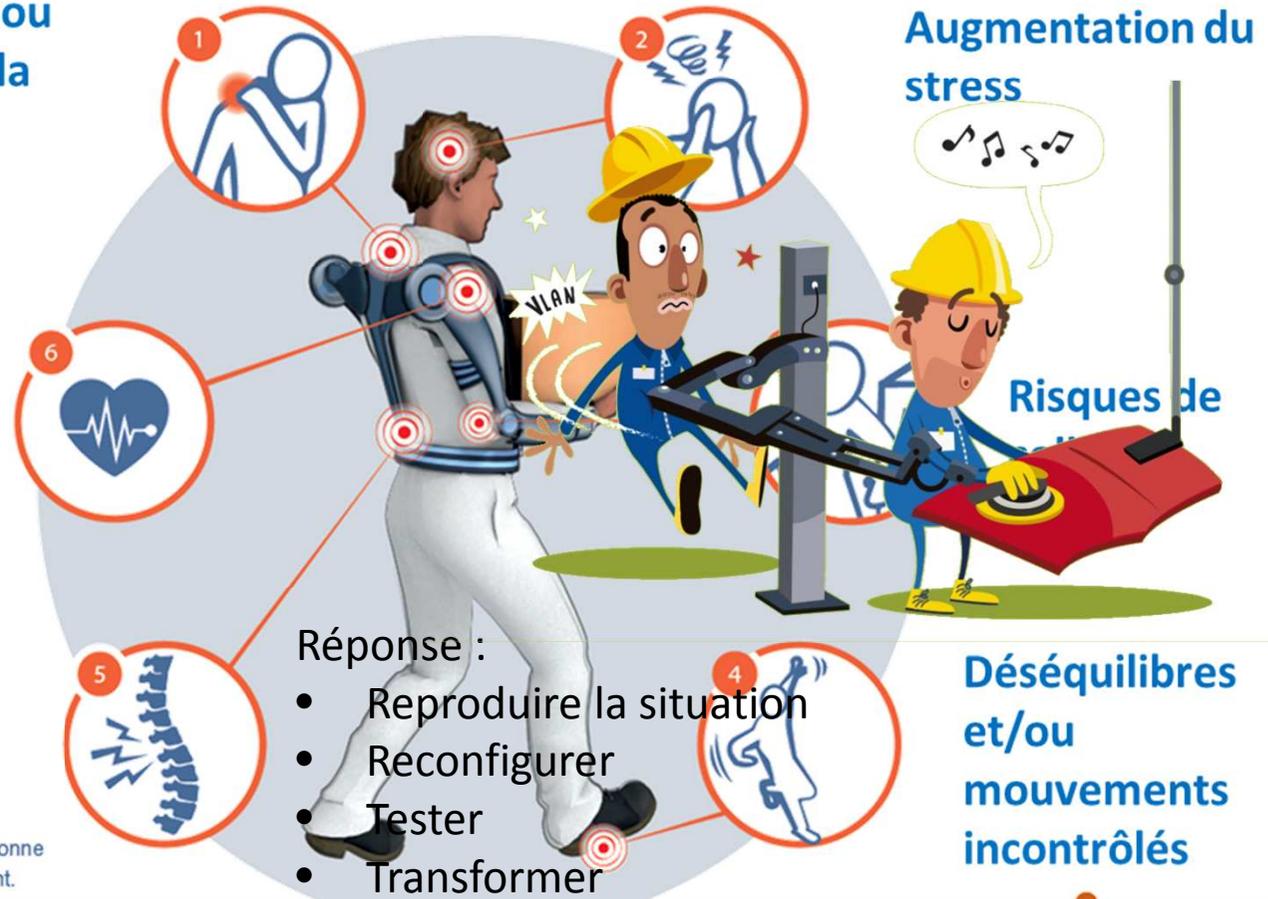
# Prendre en compte les nouveaux risques

## 3 / Réorganisation de l'environnement



Augmentation des sollicitations cardiovasculaires

Nouvelles contraintes biomécaniques



# 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

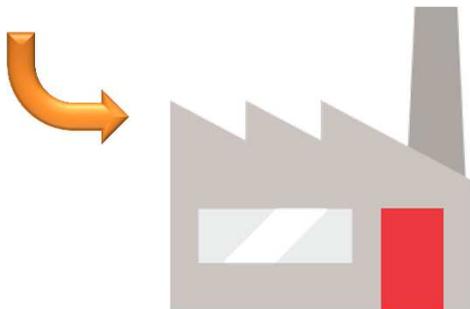
Evaluation de l'interaction Homme-Exo-Situation

**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>



# Questions / Réponses

A quelles activités et quel public s'adressent les exosquelettes ?

Les exosquelettes  
peuvent-ils aider à porter  
des objets lourds ?

Les exosquelettes sont-ils adaptés à un usage ponctuel par plusieurs opérateurs ? Ou faut-il les réserver à un seul opérateur ?

Peut-on considérer les  
exosquelettes comme  
des équipements de  
protection individuelle  
(EPI) ?

La réduction de la charge  
physique suffit-elle à  
compenser la charge  
mentale ?

Pour en savoir plus







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



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

YouTube

