

+ CONGRES REGIONAL SANTÉ AU TRAVAIL

LUNDI 25 NOVEMBRE 2024 | À VANNES



EXOSQUELETTES: UNE SOLUTION EN PRÉVENTION ?

Christine Fernandes _ CARSAT Bretagne



LES EXOSQUELETES

Définition



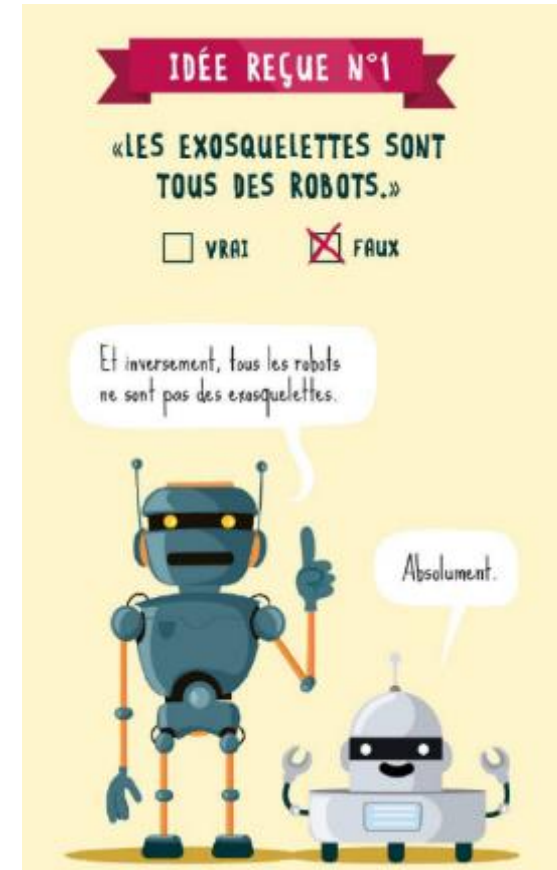
Ils sont portés par l'utilisateur
(à contention / « wearable »)



Ils offrent une aide au mouvement
« Assistance Physique »



DAP: Dispositif d'Assistance Physique
RAP : Robot d'Assistance Physique

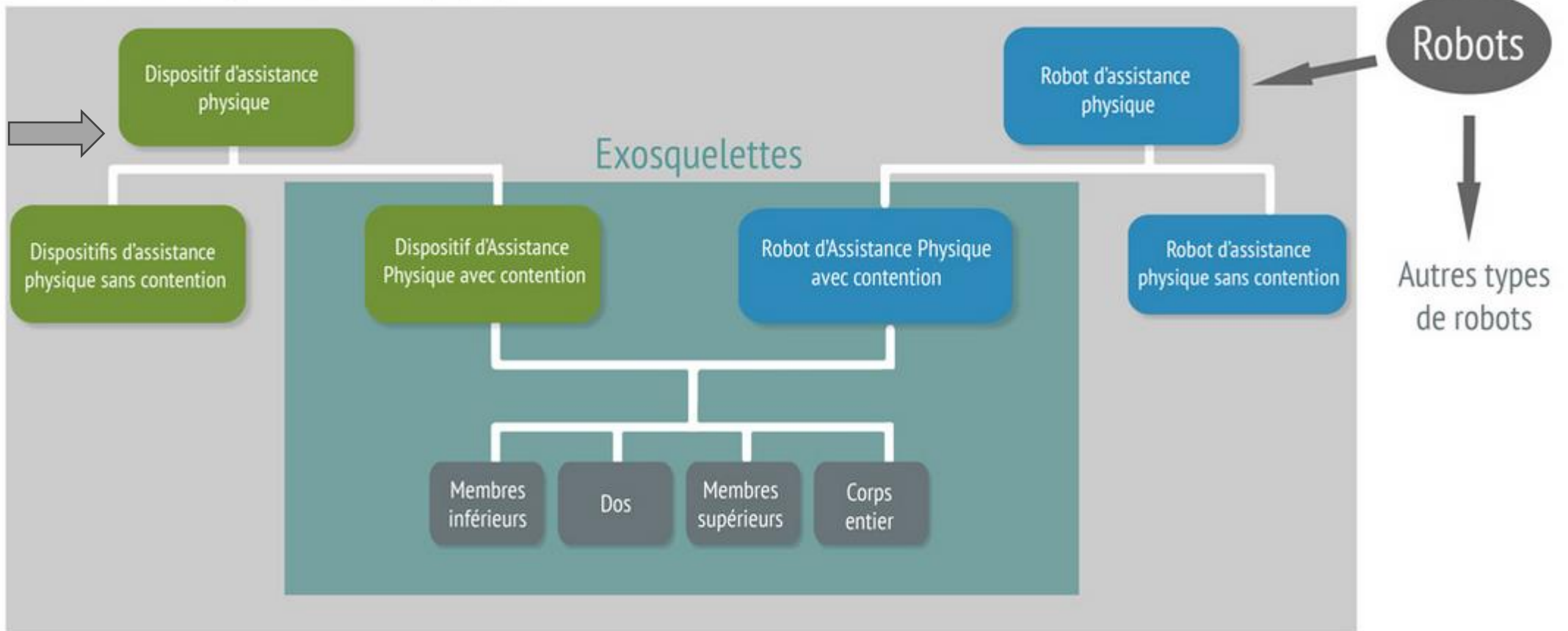


LES EXOSQUELETES



Bras 0 gravité,
bras de
manipulation,
ventouses,
Equilibreurs de
charges

Nouvelles technologies d'assistance physique



© INRS

Les exosquelettes au sein des nouvelles technologies d'assistance physique



© Deledda
Robot collaboratif d'assistance physique de type bras articulé (RAP sc)



© Deledda
Robot d'assistance du dos de type exosquelette (RAP ac)



© Deledda
Robot d'assistance des membres supérieurs de type bras exosquelette (RAP ac)



© Deledda

Dispositif à ressorts d'assistance physique de type bras articulé (DAP sc)



© Deledda

Dispositif élastique d'assistance du dos de type harnais de force (DAP ac)



© Deledda

Dispositif à ressorts d'assistance des membres supérieurs de type exosquelette (DAP ac)

LES EXOSQUELETES

Un écosystème en pleine évolution



→ Divers modèles d'exosquelettes disponibles sur le sol français

- les exosquelettes rigides d'assistance du dos
- les exosquelettes textiles d'assistance du dos
- les exosquelettes mécaniques d'assistances des bras
- les exosquelettes mécaniques d'assistance des épaules
- les exosquelettes mécaniques d'assistance des mains

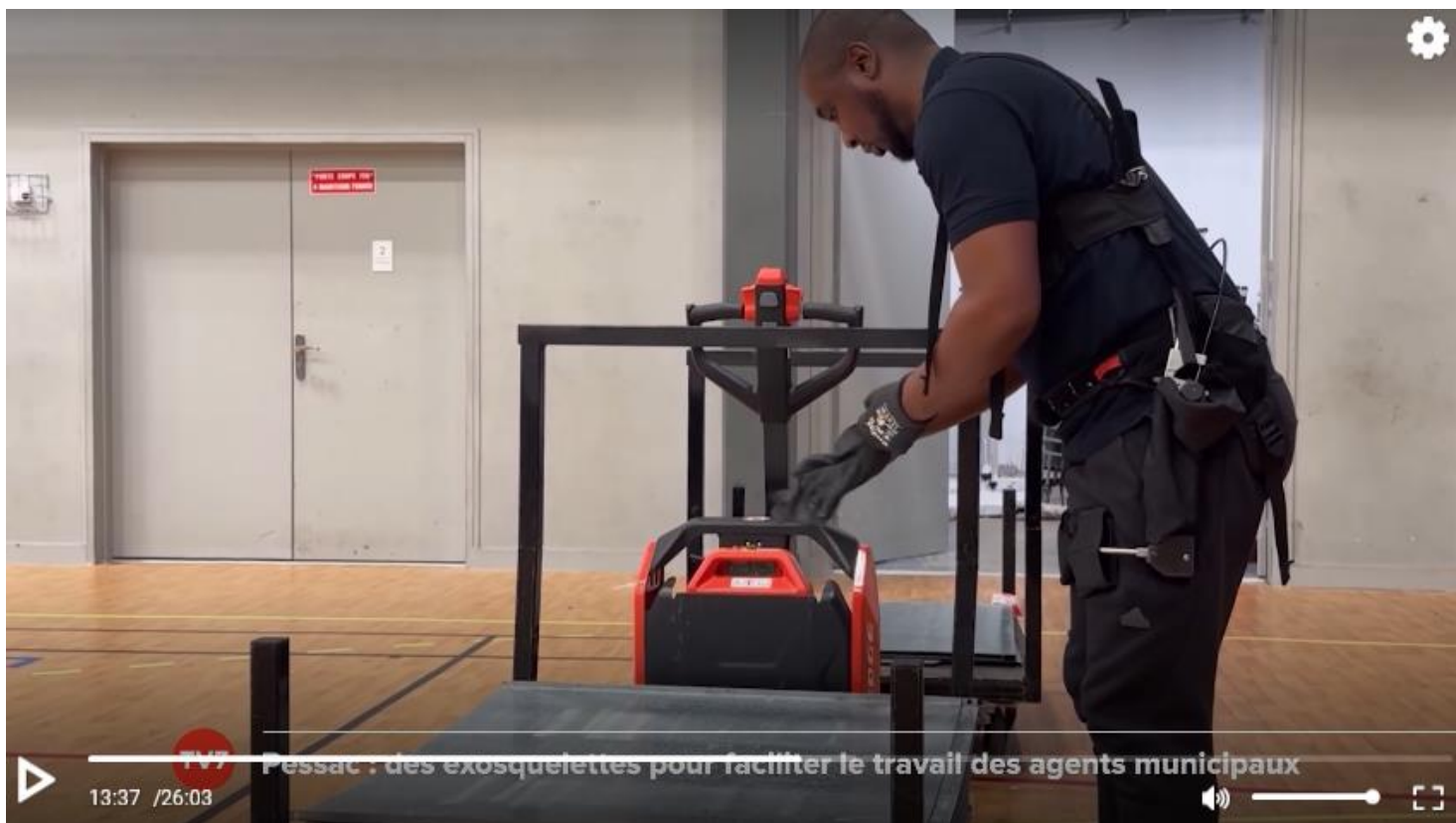
→ Une diversité d'acteurs

- Les concepteurs
- Les intégrateurs : Fox Innovation Robots ; Europe Technologies / Gobio Robot ; HBR innovation ; Cobo4You ; TDR Groupe ; ...
- Les fournisseurs/distributeurs
- Les loueurs de matériels : Loxam, Solurent Location, Kiloutou, ...
- Les spécialistes de la mesure (Moten Technologies, Moovency, Optimergo, ...)
- De **nombreuses thèses universitaires** et travaux en lien avec la prévention

Veille technologique – exemple de DAP dos



EXPÉRIMENTATIONS



+ Agents municipaux à Pessac
Service des sports
Activité: Montage de tribunes

<https://www.ouest-france.fr/medias/tv5monde/video-un-exosquelette-pour-reduire-les-risques-d-accidents-d61a01b0-542f-3033-b92f-3c4070d43a99>

12'51''

EXPÉRIMENTATIONS



+ En test auprès d'agents volontaires avec ajustements



Veille technologique – exemple de DAP membres supérieurs



Dispositifs robotisés



LES APPLICATIONS PROFESSIONNELLES



Qui ?



Entreprises de toutes taille, tous secteurs

Pourquoi ?



Charge Physique
Prévention TMS

de Looze et al., 2016



Pas d'aménagement
Pas d'automatisation

Fox & Kotbella, 2018
Gibbs, 2016

Pour quelles
tâches ?



Manutention

e.g.: Graham et al., 2009
Theurel et al., 2018



Postures contraignantes

e.g.: Urley & Fathallah 2013
Bosh et al., 2016

PREVENTION DES TMS

Les exosquelettes sont-ils la solution ?



FORCE

Autres facteurs :
Répétitivité, Posture



Autres
Conséquences



Autres facteurs de
risques de TMS
(RPS, Organisation...)



Coordination motrice, activité
musculaire, posture, équilibre, ...

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 !



LES EXOSQUELETES APPORTENT UNE ASSISTANCE TRÈS SPÉCIFIQUE ET LOCALISÉE



Position de travail
Plage angulaire

Conception de l'EXO
Point de contact
Masse
Raideur
Equilibre antéro-postérieur

Charge manipulée

QUELS EXOSQUELETES
POUR QUELLES TÂCHES
?

INTERETS



LIMITES

IDÉE REÇUE N°8

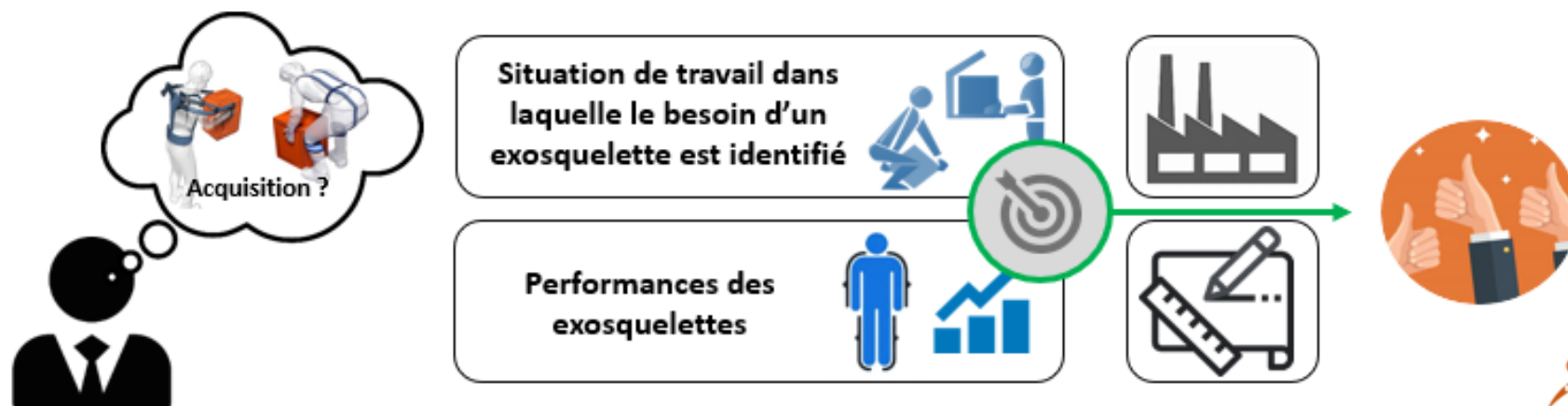
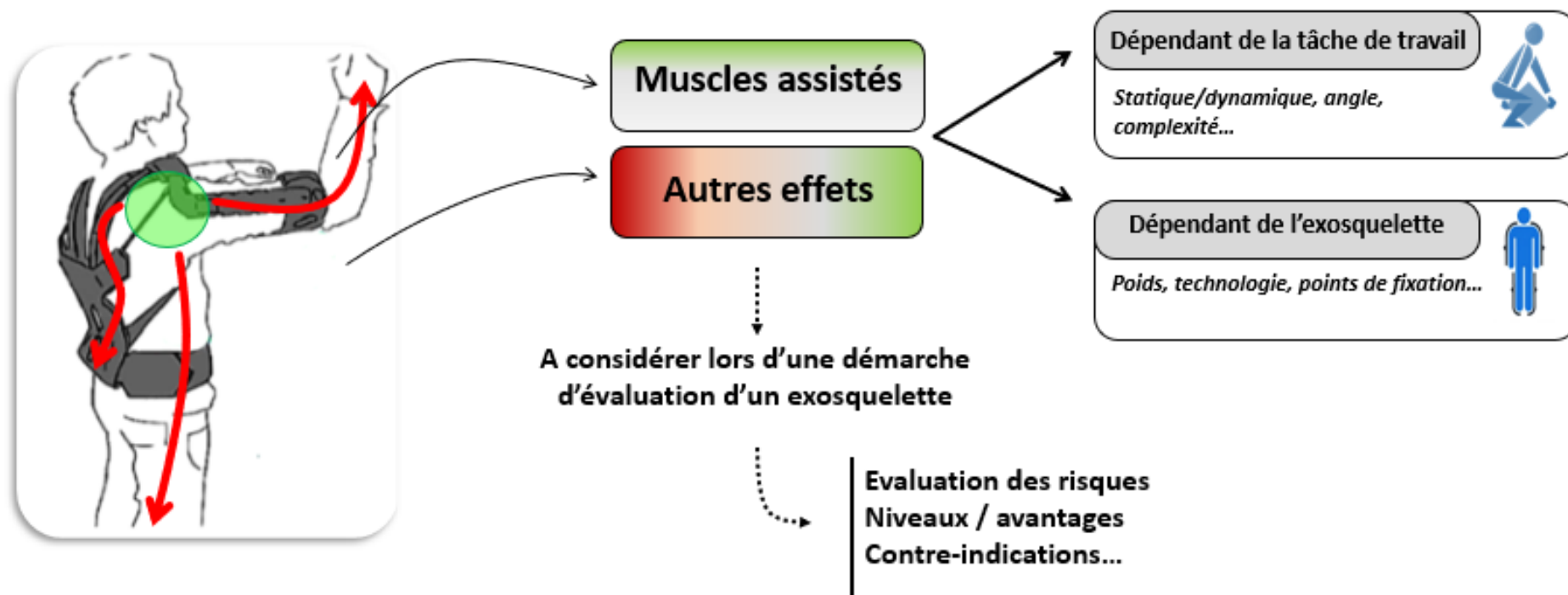
«LES EXOSQUELETES SONT IMMÉDIATEMENT
UTILISABLES EN SITUATION DE TRAVAIL.»

VRAI

FAUX

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





INTÉGRATION DES EXOSQUELETES

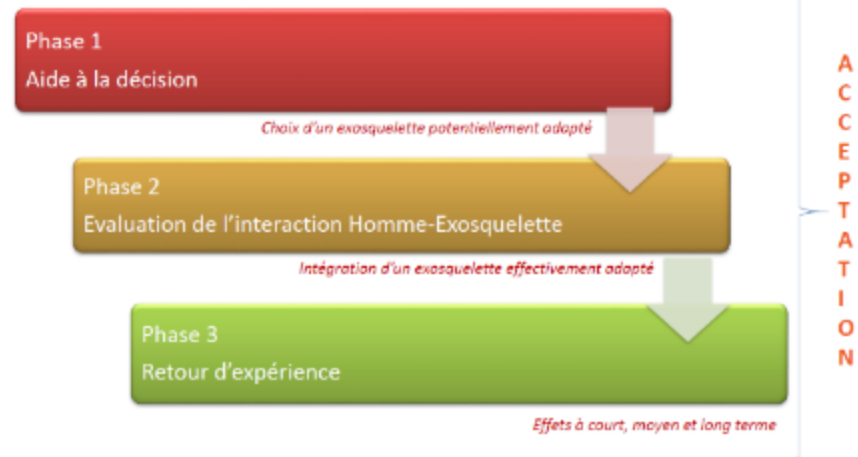
La méthodologie



- Accompagner l'entreprise dans sa prise de décision d'acquisition d'un exosquelette
- Procéder à toutes les étapes d'évaluation nécessaires à l'identification des apports et des limites que pourraient générer l'intégration d'un exosquelette
- Créer les conditions permettant l'intégration optimale de l'exosquelette dans la situation de travail et l'acceptation de la technologie par les utilisateurs



Structure de la méthode



INTÉGRATION DES EXOSQUELETES

La méthodologie : les questions à se poser



Quelle est la problématique de l'entreprise ?



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 ?

ANALYSE DE L'ACTIVITÉ DES SALARIÉS



- Compréhension fine de l'activité des salariés
- Identification des facteurs de risques et des déterminants de l'activité
- Recherche de pistes de prévention



Identifier les tâches nécessitant une assistance physique spécifique

CARACTÉRISATION DU BESOIN D'ASSISTANCE



+ Analyse de l'activité



- Spécificités de la tâche de travail ?
- Quels risques potentiels ?

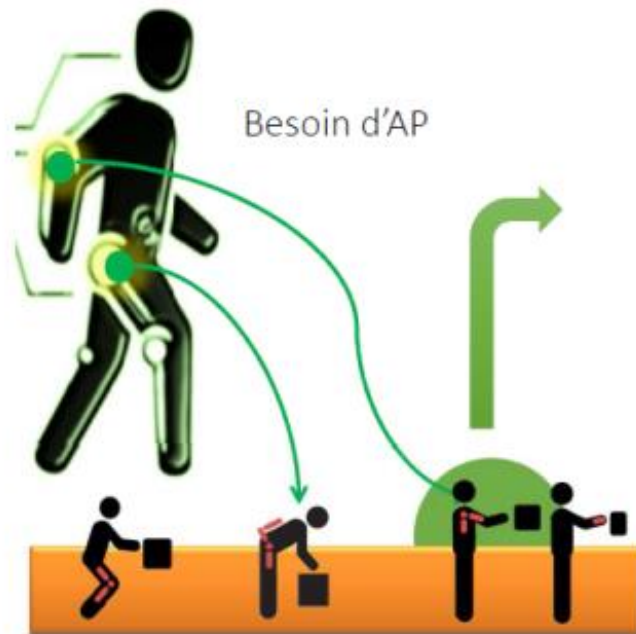


Impliquer l'utilisateur final !

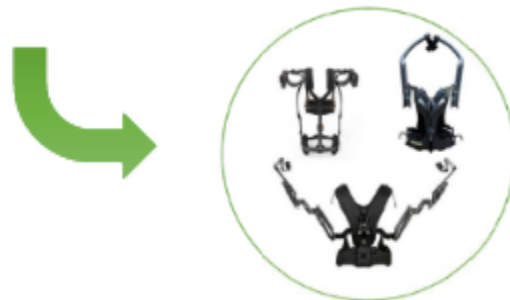
CARACTÉRISATION DES FONCTIONS DE L'EXOSQUELETTE



Intégrer des critères objectifs dans le cahier des charges



- Apports et limites de la solution Exo
- Zones corporelles nécessitant une assistance
- Fonctions d'assistance souhaitées
- Conditions de réalisation de la tâche
- Besoins de réglages spécifiques



Modèle d'exosquelette

CARACTÉRISATION DES FONCTIONS DE L'EXOSQUELETTE



Intégrer des critères objectifs dans le cahier des charges



ED 6416

- Apports et limites de la solution Exo
- Zones corporelles nécessitant une assistance
- Fonctions d'assistance souhaitées
- Conditions de réalisation de la tâche



Modèle d'exosquelette

Quels repères pour un projet exosquelette ?

Acquisition et intégration d'un exosquelette en entreprise
Guide pour les professionnels

Normalisation française
Norme française homologuée et publiée par AFNOR

Repères méthodologiques pour la sélection d'un exosquelette professionnel
ED 6416

PHASE 1 Aide à la décision	
Étape 1	<ul style="list-style-type: none"> Analyse de la charge physique de travail et recherche de pistes de prévention Attendus : <ul style="list-style-type: none"> Identifier les situations de travail qui peuvent bénéficier de solutions de prévention collectives et organisationnelles Identifier les tâches qui peuvent bénéficier d'une assistance physique spécifique
Étape 2	<ul style="list-style-type: none"> Description détaillée des tâches pouvant bénéficier d'une assistance physique spécifique Attendus : <ul style="list-style-type: none"> Identifier les caractéristiques spécifiques des tâches sélectionnées
Étape 3	<ul style="list-style-type: none"> Validation collective des caractéristiques de l'exosquelette Attendus : <ul style="list-style-type: none"> Utiliser des critères objectifs à intégrer au cahier de charges S'accorder sur l'exosquelette le plus adapté
Choix d'un exosquelette potentiellement adapté	
PHASE 2 Évaluation de l'interaction homme - exosquelette	
Étape 1	<ul style="list-style-type: none"> Introduction des critères et des outils d'évaluation Attendus : <ul style="list-style-type: none"> Comprendre les critères d'évaluation Sélectionner des outils d'évaluation
Étape 2	<ul style="list-style-type: none"> Élaboration du protocole d'évaluation Attendus : <ul style="list-style-type: none"> Structurer dans un protocole structuré
Étape 3	<ul style="list-style-type: none"> Apprentissage dans situation réelle de travail Attendus : <ul style="list-style-type: none"> Se familiariser avec l'exosquelette et faire l'apprentissage de la tâche et de son environnement Décider de la poursuite de l'évaluation en situation réelle de travail
Étape 4	<ul style="list-style-type: none"> Mise en œuvre en situation réelle de travail Attendus : <ul style="list-style-type: none"> Faire l'apprentissage approfondi de l'usage de l'exosquelette Décider de l'intégration définitive, au sein, de l'exosquelette en fonction des résultats de l'évaluation
Intégration d'un exosquelette effectivement adapté	
PHASE 3 Retour d'expérience	
Attendus : <ul style="list-style-type: none"> Mener des retours d'expérience à court, moyen et long terme sur l'usage de l'exosquelette sur la santé et la sécurité des opérateurs en fonction des évolutions des situations de travail 	

PHASE 1 Aide à la décision	
Étape 1	<ul style="list-style-type: none"> Analyse de la charge physique de travail et recherche de pistes de prévention Attendus : <ul style="list-style-type: none"> Identifier les situations de travail qui peuvent bénéficier de solutions de prévention collectives et organisationnelles Identifier les tâches qui peuvent bénéficier d'une assistance physique spécifique
Étape 2	<ul style="list-style-type: none"> Description détaillée des tâches pouvant bénéficier d'une assistance physique spécifique Attendus : <ul style="list-style-type: none"> Identifier les caractéristiques spécifiques des tâches sélectionnées
Étape 3	<ul style="list-style-type: none"> Validation collective des caractéristiques de l'exosquelette Attendus : <ul style="list-style-type: none"> Utiliser des critères objectifs à intégrer au cahier de charges S'accorder sur l'exosquelette le plus adapté
Choix d'un exosquelette potentiellement adapté	
PHASE 2 Évaluation de l'interaction homme - exosquelette	
Étape 1	<ul style="list-style-type: none"> Introduction des critères et des outils d'évaluation Attendus : <ul style="list-style-type: none"> Comprendre les critères d'évaluation Sélectionner des outils d'évaluation
Étape 2	<ul style="list-style-type: none"> Élaboration du protocole d'évaluation Attendus : <ul style="list-style-type: none"> Structurer dans un protocole structuré
Étape 3	<ul style="list-style-type: none"> Apprentissage dans situation réelle de travail Attendus : <ul style="list-style-type: none"> Se familiariser avec l'exosquelette et faire l'apprentissage de la tâche et de son environnement Décider de la poursuite de l'évaluation en situation réelle de travail
Étape 4	<ul style="list-style-type: none"> Mise en œuvre en situation réelle de travail Attendus : <ul style="list-style-type: none"> Faire l'apprentissage approfondi de l'usage de l'exosquelette Décider de l'intégration définitive, au sein, de l'exosquelette en fonction des résultats de l'évaluation
Intégration d'un exosquelette effectivement adapté	
PHASE 3 Retour d'expérience	
Attendus : <ul style="list-style-type: none"> Mener des retours d'expérience à court, moyen et long terme sur l'usage de l'exosquelette sur la santé et la sécurité des opérateurs en fonction des évolutions des situations de travail 	

PHASE 1 Aide à la décision	
Étape 1	<ul style="list-style-type: none"> Analyse de la charge physique de travail et recherche de pistes de prévention Attendus : <ul style="list-style-type: none"> Identifier les situations de travail qui peuvent bénéficier de solutions de prévention collectives et organisationnelles Identifier les tâches qui peuvent bénéficier d'une assistance physique spécifique
Étape 2	<ul style="list-style-type: none"> Description détaillée des tâches pouvant bénéficier d'une assistance physique spécifique Attendus : <ul style="list-style-type: none"> Identifier les caractéristiques spécifiques des tâches sélectionnées
Étape 3	<ul style="list-style-type: none"> Validation collective des caractéristiques de l'exosquelette Attendus : <ul style="list-style-type: none"> Utiliser des critères objectifs à intégrer au cahier de charges S'accorder sur l'exosquelette le plus adapté
Choix d'un exosquelette potentiellement adapté	
PHASE 2 Évaluation de l'interaction homme - exosquelette	
Étape 1	<ul style="list-style-type: none"> Introduction des critères et des outils d'évaluation Attendus : <ul style="list-style-type: none"> Comprendre les critères d'évaluation Sélectionner des outils d'évaluation
Étape 2	<ul style="list-style-type: none"> Élaboration du protocole d'évaluation Attendus : <ul style="list-style-type: none"> Structurer dans un protocole structuré
Étape 3	<ul style="list-style-type: none"> Apprentissage dans situation réelle de travail Attendus : <ul style="list-style-type: none"> Se familiariser avec l'exosquelette et faire l'apprentissage de la tâche et de son environnement Décider de la poursuite de l'évaluation en situation réelle de travail
Étape 4	<ul style="list-style-type: none"> Mise en œuvre en situation réelle de travail Attendus : <ul style="list-style-type: none"> Faire l'apprentissage approfondi de l'usage de l'exosquelette Décider de l'intégration définitive, au sein, de l'exosquelette en fonction des résultats de l'évaluation
Intégration d'un exosquelette effectivement adapté	
PHASE 3 Retour d'expérience	
Attendus : <ul style="list-style-type: none"> Mener des retours d'expérience à court, moyen et long terme sur l'usage de l'exosquelette sur la santé et la sécurité des opérateurs en fonction des évolutions des situations de travail 	



Quels repères pour un projet exosquelette ?



Analyse de l'activité des salariés

IDÉE REÇUE N°7
«LES EXOSQUELLETES SONT ADAPTES À TOUTES LES SITUATIONS DE TRAVIL.»
«Non, par exemple, pour porter les débris... C'est un danger !»

Caractérisation du besoin d'assistance

ED 6416

Familiarisation et apprentissage(s)

IDÉE REÇUE N°8
«LES EXOSQUELLETES SONT IMMÉDIATEMENT UTILISABLES EN SITUATION DE TRAVIL.»
 VRAI FAUX

«Euh... Essayez le modèle, il est très facile avec son compatibilité.»

Validation de la capacité d'intégrer

IDÉE REÇUE N°9
«LES EXOSQUELLETES AMÉLIORENT LA PRODUCTIVITÉ.»
 VRAI FAUX

«Ouh, ben... Je suis sûr que même Jean Marc a dû passer quelques heures avant de s'habituer, non ?»

- Rex
- Suivi
- Remettre en question les apports du système



Le processus d'adoption est transverse à toutes ces étapes

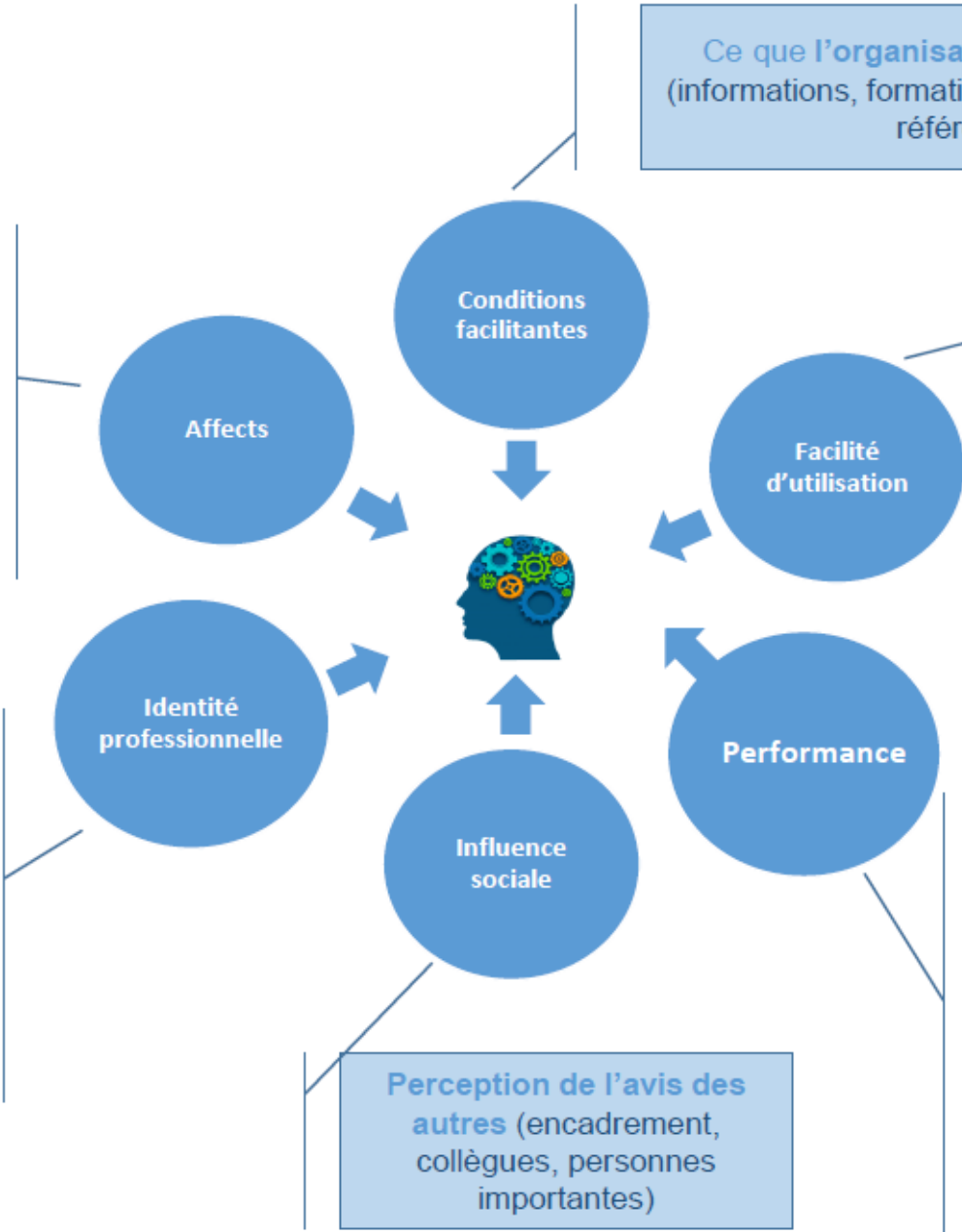
Exosquelettes au travail : 6 points de vigilance

Les exosquelettes peuvent soulager les opérateurs mais... leur usage n'est pas sans risque.



Ressenti de l'opérateur
(agréable, aimer travailler avec, confiance, anxiété, nervosité, isolement, enthousiasme)

Effets sur la construction de l'identité au travail
(dev. nvelles compétences, perte compétences, reconnaitre son travail, exo a sa place, valorisation du métier)



Ce que l'organisation met en place
(informations, formation, procédure, suivi, référent)

Utilisation du système & efforts
(mise en place, apprentissage, concentration, réajustement, utilisation, déplacement, mouvement, gestes, empêché de travailler)

Amélioration de la performance (efficacité, productivité, qualité, vitesse)
sa santé et sa sécurité au travail (travailler en sécurité, efforts physiques, fatigue, gênes et douleurs, conditions de travail)

Perception de l'avis des autres (encadrement, collègues, personnes importantes)



6 dimensions
45 items
20 min



Références en Santé au Travail TF 274

ANNEXE 2 Questionnaire pour les utilisateurs ou ex-utilisateurs

Conservation de la confidentialité des données personnelles

☐ Oui, car j'ai été informé(e) de la confidentialité des données
 ☐ Non, car j'ai été informé(e) de la confidentialité des données
 ☐ Non, car j'ai été informé(e) de la confidentialité des données
 ☐ Non, car j'ai été informé(e) de la confidentialité des données

Objectifs de l'étude, commentaires et/ou des données personnelles

1. La prise en compte des besoins des utilisateurs est-elle prise en compte ?

2. La prise en compte des besoins des utilisateurs est-elle prise en compte ?

3. La prise en compte des besoins des utilisateurs est-elle prise en compte ?

4. La prise en compte des besoins des utilisateurs est-elle prise en compte ?

5. La prise en compte des besoins des utilisateurs est-elle prise en compte ?

6. La prise en compte des besoins des utilisateurs est-elle prise en compte ?

7. La prise en compte des besoins des utilisateurs est-elle prise en compte ?

8. La prise en compte des besoins des utilisateurs est-elle prise en compte ?

9. La prise en compte des besoins des utilisateurs est-elle prise en compte ?

10. La prise en compte des besoins des utilisateurs est-elle prise en compte ?

11. La prise en compte des besoins des utilisateurs est-elle prise en compte ?

12. La prise en compte des besoins des utilisateurs est-elle prise en compte ?

13. La prise en compte des besoins des utilisateurs est-elle prise en compte ?

14. La prise en compte des besoins des utilisateurs est-elle prise en compte ?

15. La prise en compte des besoins des utilisateurs est-elle prise en compte ?

16. La prise en compte des besoins des utilisateurs est-elle prise en compte ?

17. La prise en compte des besoins des utilisateurs est-elle prise en compte ?

18. La prise en compte des besoins des utilisateurs est-elle prise en compte ?

19. La prise en compte des besoins des utilisateurs est-elle prise en compte ?

20. La prise en compte des besoins des utilisateurs est-elle prise en compte ?

21. La prise en compte des besoins des utilisateurs est-elle prise en compte ?

22. La prise en compte des besoins des utilisateurs est-elle prise en compte ?

23. La prise en compte des besoins des utilisateurs est-elle prise en compte ?

24. La prise en compte des besoins des utilisateurs est-elle prise en compte ?

25. La prise en compte des besoins des utilisateurs est-elle prise en compte ?

26. La prise en compte des besoins des utilisateurs est-elle prise en compte ?

27. La prise en compte des besoins des utilisateurs est-elle prise en compte ?

28. La prise en compte des besoins des utilisateurs est-elle prise en compte ?

29. La prise en compte des besoins des utilisateurs est-elle prise en compte ?

30. La prise en compte des besoins des utilisateurs est-elle prise en compte ?

31. La prise en compte des besoins des utilisateurs est-elle prise en compte ?

32. La prise en compte des besoins des utilisateurs est-elle prise en compte ?

33. La prise en compte des besoins des utilisateurs est-elle prise en compte ?

34. La prise en compte des besoins des utilisateurs est-elle prise en compte ?

35. La prise en compte des besoins des utilisateurs est-elle prise en compte ?

36. La prise en compte des besoins des utilisateurs est-elle prise en compte ?

37. La prise en compte des besoins des utilisateurs est-elle prise en compte ?

38. La prise en compte des besoins des utilisateurs est-elle prise en compte ?

39. La prise en compte des besoins des utilisateurs est-elle prise en compte ?

40. La prise en compte des besoins des utilisateurs est-elle prise en compte ?

41. La prise en compte des besoins des utilisateurs est-elle prise en compte ?

42. La prise en compte des besoins des utilisateurs est-elle prise en compte ?

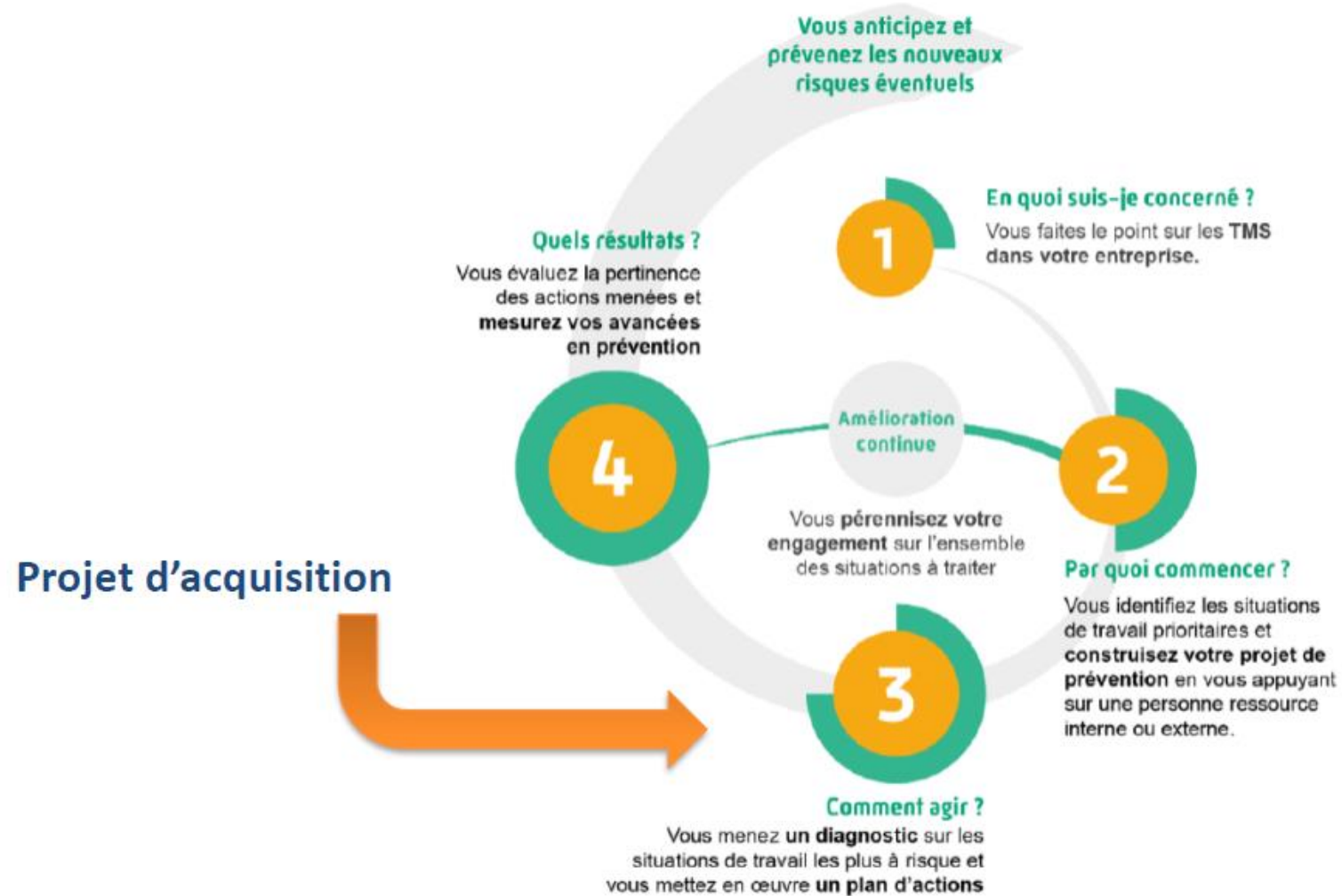
43. La prise en compte des besoins des utilisateurs est-elle prise en compte ?

44. La prise en compte des besoins des utilisateurs est-elle prise en compte ?

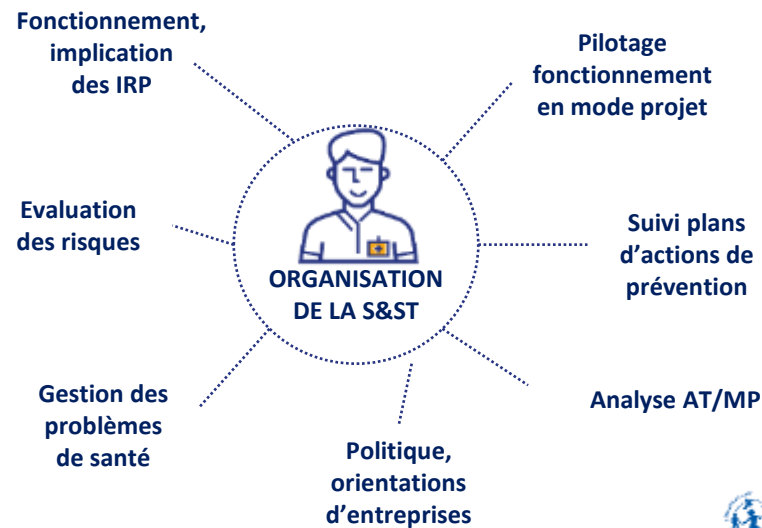
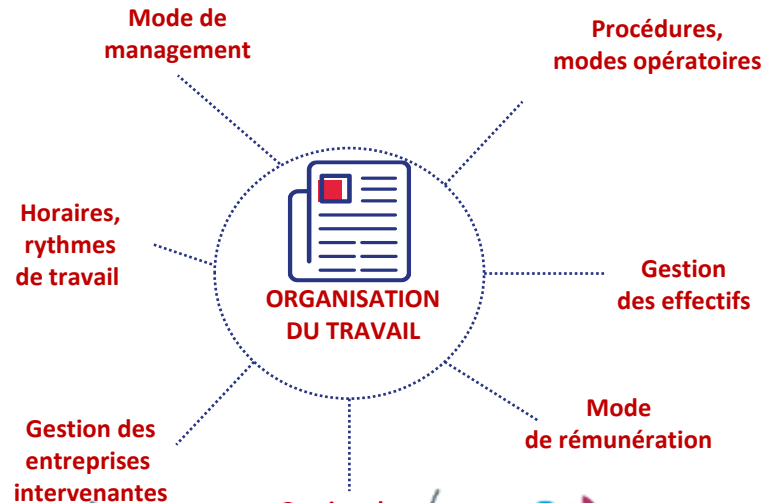
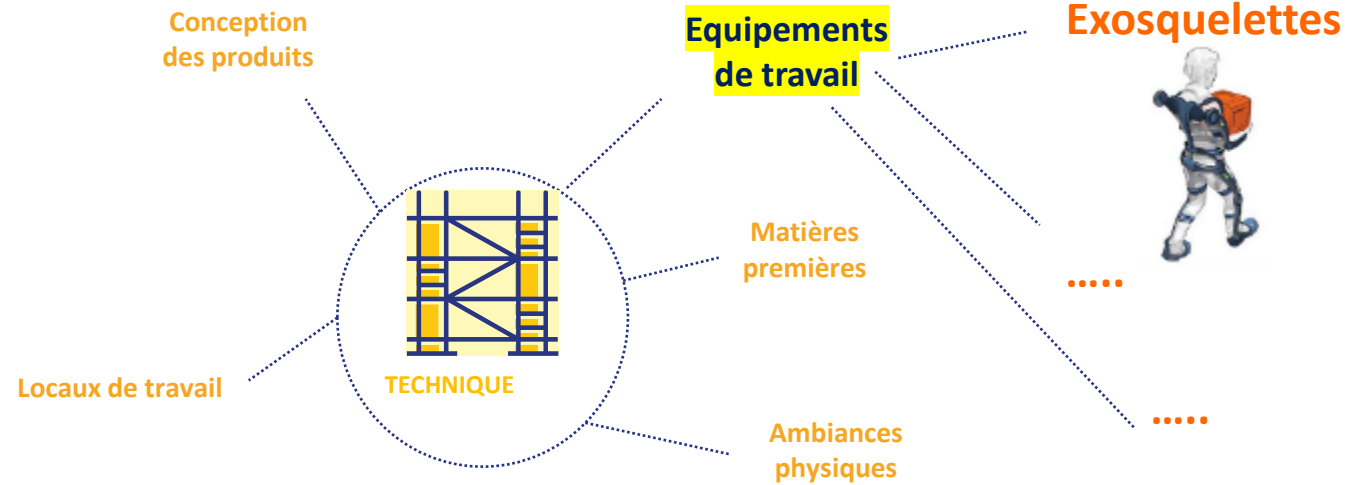
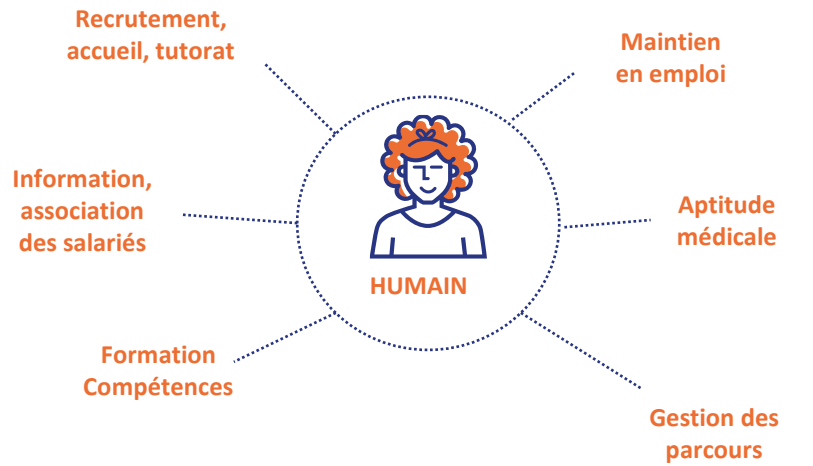
45. La prise en compte des besoins des utilisateurs est-elle prise en compte ?



S'INSCRIRE DANS UNE DÉMARCHE DE PRÉVENTION



LE CHAMP DES ACTIONS DE PRÉVENTION



POUR EN SAVOIR PLUS

+ Complémentarité des méthodes

<https://www.inrs.fr/risques/exosquelettes/ce-qu-il-faut-retenir.html>

ED 6315 INRS

ED 6416



Exemples de tâches de travail

Tâches impliquant le maintien statique (ou quasi-statique) des bras en hauteur

Il peut s'agir, par exemple, de tâches de montage libre d'œils (perçage, vissage...), de tâches en hauteur (ponçage, peinture, travail avec scie...), voir figure 10.

Cette typologie de tâche est régulièrement rencontrée dans les secteurs de la logistique, de BTP, de l'agriculture, ou de l'industrie. Les principaux symptômes musculo-squelettiques concernent généralement les muscles situés aux bras, au niveau des épaules, dans des conditions quasi-statiques (faible amplitude de mouvement).

Tâches impliquant le maintien statique (ou quasi-statique) du tronc en position inclinée vers l'avant

Ces tâches consistent à déplacer ou maintenir des charges situées en position basse. Elles peuvent également concerner le maintien d'œils dans des espaces de travail restreints. Cette typologie de tâche est régulièrement rencontrée dans les secteurs de la logistique, de BTP, mais également dans l'industrie, ou lors d'opérations de maintenance. Les principaux symptômes associés concernent généralement les muscles de l'arc lombaire (en raison du maintien de l'œil), dans des conditions statiques ou quasi-statiques (faible amplitude de mouvement), voir figure 11.

Tâches dynamiques de maintenance manuelle d'une charge

Ces tâches se caractérisent le plus souvent par le déplacement manuel ou manuel d'une charge. Cette typologie de tâche est régulièrement rencontrée dans les secteurs de BTP, ou de la logistique, par exemple, lors de plan à bras, voir figure 12.

Exemples : assistance au niveau des membres supérieurs

Cette partie présente les bénéfices associés aux deux principales catégories d'exosquelettes utilisés en entreprise : les exosquelettes d'assistance des épaules et les exosquelettes d'assistance des membres supérieurs. Ces exosquelettes sont utilisés dans des tâches impliquant le maintien statique ou quasi-statique des bras en hauteur (voir figure 13) et dans une tâche dynamique de maintenance manuelle de charge, impliquant une situation des membres supérieurs (voir figure 14).

Exosquelettes d'assistance des épaules

Ces exosquelettes (figure 13) le sont dans des tâches impliquant des situations des membres supérieurs (voir figure 13).

Exosquelettes d'assistance des membres supérieurs

Ces types d'exosquelettes ont été conçus pour réduire les efforts musculaires nécessaires à l'élevage



Merci de votre attention