

**RAPPORT D'EXPERIMENTATION
EXOSQUELETTE PERCKO®**

À la demande de :



Date: 11 Décembre 2024

Table des matières

1	Introduction	4
2	Présentation du protocole	5
2.1	Matériel	5
2.2	Mesures	6
2.3	Sujets	7
3	Analyse des Données	8
3.1	Introduction	8
3.2	Analyse cognitive	8
3.2.1	Analyse de la gêne Perçue	9
3.2.2	Analyse de Performance	10
3.2.3	Analyse de l'utilisabilité	10
3.3	Analyse Biomécanique	11
3.3.1	Charge Musculaire	11
3.3.1.1	Effet de l'exosquelette Percko® sur la charge musculaire lors du port de charge répétée.	11
3.3.1.2	Effet de l'exosquelette Percko® sur la charge musculaire lors maintien de la position penchée	12
3.3.1.3	Effet de l'exosquelette Percko® sur la charge musculaire lors du port de charge lourde (20Kgs)	13
3.3.2	Effet de l'exosquelette Percko® sur l'activité cardiaque	14
3.3.3	Effet de l'exosquelette Percko® sur la Lordose	15
3.3.3.1	Lors de la mise en place	15
3.3.3.2	Lors de l'activité	15
4	Synthèse Générale	16

Table des Illustrations

<i>Figure 1 : Représentation EvalGo©</i>	5
<i>Figure 2: Placement des centrales inertielles (Imus)</i>	6
<i>Figure 3 : placement des Emgs</i>	6
<i>Figure 4 : Différentes étapes du protocole, ici avec exosquelette Percko®</i>	6
<i>Figure 5 : Repartition Homme/Femme</i>	8
<i>Figure 6 : Repartition des âges</i>	8
<i>Figure 7: Evolution des gênes avec l'utilisation de l'exosquelette</i>	9
<i>Figure 8: Synthèse de l'enquête pour l'évaluation de la performance</i>	10
<i>Figure 9: Synthèse de l'enquête pour l'évaluation de l'utilisabilité</i>	10
<i>Figure 10: Gain musculaire avec l'usage de l'exo Percko® - diminution de l'activité musculaire en %)</i>	11
<i>Figure 11: Gain musculaire avec l'usage de l'exo Percko® - diminution de l'activité musculaire en %)</i>	13
<i>Figure 12: Gain musculaire avec l'usage de l'exo Percko® - diminution de l'activité musculaire en %)</i>	14
<i>Figure 13: Représentation d'une augmentation de la lordose (de la gauche vers la droite)</i>	15

1 Introduction

L'utilisation d'exosquelettes dans les domaines médical, industriel et militaire suscite un intérêt croissant en raison de leur potentiel à diminuer les charges physiques sur l'utilisateur, réduire la fatigue et prévenir les blessures.

L'exosquelette Percko® est un exosquelette passif conçu pour réduire la charge physique imposée à l'utilisateur lors d'activités de levage ou de maintien de charge. Son fonctionnement repose sur des éléments mécaniques et élastiques qui redistribuent les actions mécaniques et assistent les mouvements naturels. Des élastiques ou ressorts situés au niveau du dos et des jambes emmagasinent l'énergie lors de la flexion et la restituent lors de l'extension, réduisant ainsi la sollicitation musculaire.

Les principaux avantages de l'utilisation des exosquelettes dans l'industrie sont listés ci-après :

Réduction des Troubles Musculosquelettiques (TMS)

Soutien postural : Les exosquelettes peuvent aider les utilisateurs à maintenir une posture correcte, permettant des mouvements moins contraignants autour de cette posture.

Prévention des blessures : Les exosquelettes diminuent les contraintes mécaniques exercées sur certaines zones spécifiques du corps (dos, épaules, genoux), réduisant ainsi le risque de TMS.

Ce document présente l'expérimentation réalisée sur 14 sujets dans le cadre de l'évaluation des performances et de l'acceptabilité d'un exosquelette spécifique.

Diminution des charges physiques et Gain de Productivité

Diminution des besoins : Ils diminuent les besoins physiologiques musculaires (et donc potentiellement respiratoire et cardiaque) et augmentent, donc, l'endurance des utilisateurs, permettant de manipuler des charges plus lourdes ou de réaliser des tâches répétitives plus longtemps.

Efficacité et fiabilité : En réduisant la fatigue, les exosquelettes augmentent la productivité des travailleurs sur des postes exigeants. Moins d'erreurs liées à la fatigue physique, améliorant ainsi la qualité du travail.

Malgré leurs nombreux avantages, l'utilisation des exosquelettes soulève plusieurs problématiques qui peuvent limiter leur adoption ou leur efficacité :

Contraintes ergonomiques posturale et biomécanique :

Elles sont souvent liées aux mauvais ajustements ou à l'inadéquation de l'exosquelette aux morphologies des utilisateurs, entraînant gêne, douleurs ou limitant le mouvement. De plus, une mauvaise conception peut provoquer un transfert de contraintes vers d'autres zones du corps déplaçant les problématiques vers d'autres articulations.

Contraintes ergonomiques cognitives :

L'Acceptabilité et l'Adoption de l'exosquelette sont souvent liés au confort ressenti mais peuvent aussi être liés à certaines réticences psychologiques (stigmas, intrusif) ou à l'Impact sur l'Organisation du Travail (sécurité, défaillance, modification de tâches, ...)

Ces problèmes doivent être soigneusement pris en compte pour maximiser les avantages des exosquelettes tout en réduisant leurs inconvénients. Pour répondre à ces questions, l'entreprise Percko® a demandé une étude à la société Cogitobio® reconnue pour ses compétences dans le domaine de la biomécanique et dont les outils spécifiques permettent des mesures de cinématique, y compris de déformation du rachis.

Ce document présente l'expérimentation réalisée sur 14 sujets dans le cadre de l'évaluation des performances et de l'acceptabilité d'un exosquelette spécifique.

2 Présentation du protocole

Cette section décrit les différentes étapes de la mesure et les outils utilisés.

2.1 Matériel

La mesure est réalisée à partir de l'outil développé par Cogitobio® EvalGo© (cf. Figure 1)

Il permet la synchronisation de différents types de mesure :

- Mesure Vidéo permet de séquencer les différentes tâches effectuées
- Mesure par centrales inertielles (Imus's) placées sur différents segments corporels permettant de mesurer l'orientation de ces segments au cours des tâches. La particularité de l'outil EvalGo© est qu'il est capable de modéliser la déformation de la colonne vertébrale.
- Mesure de la fréquence cardiaque par Polar Sensor
- Mesure de l'activité électrique des muscles par Electromyographies de surface (EMGs)

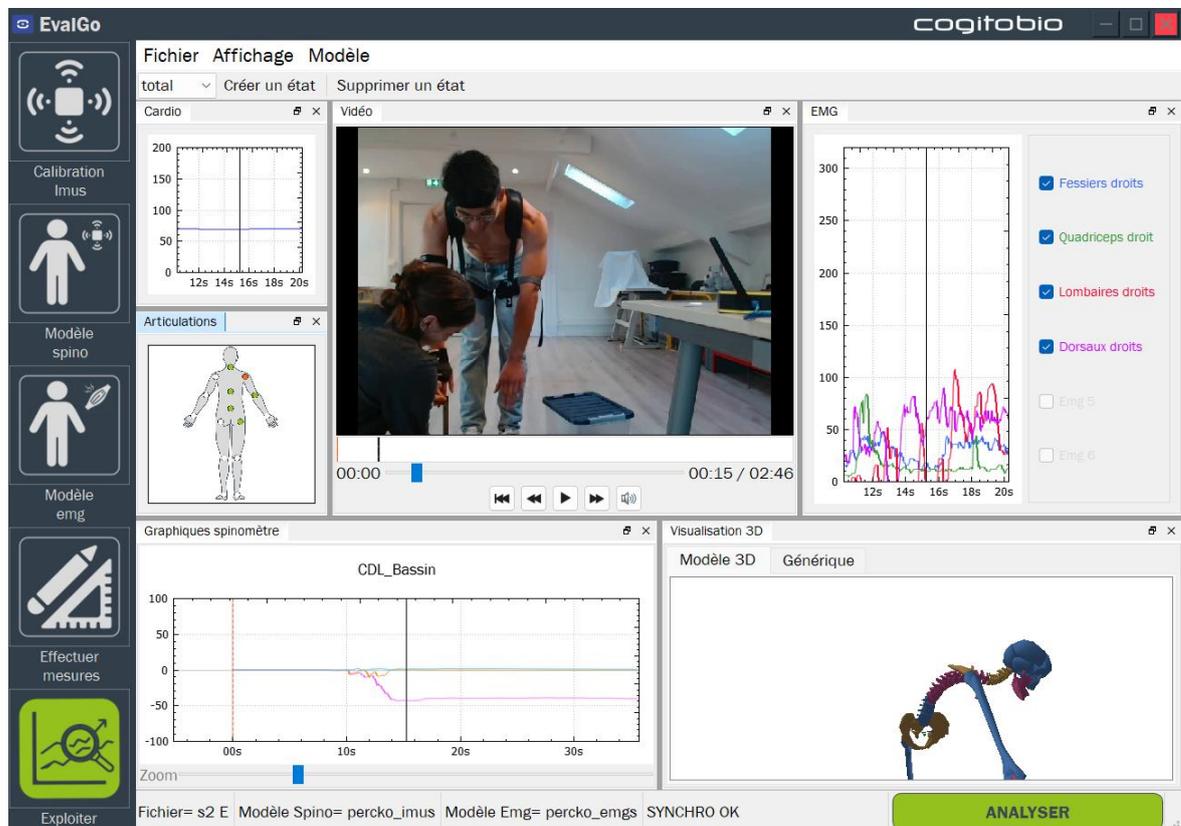


Figure 1 : Représentation EvalGo©

Le placement des Imus est représenté sur la Figure 2 :

- Imu 1, Jonction lombo-sacrée (L5/S1)
- Imu 2, Jonction thoraco-lombaire (T12/L1)
- Imu 3, Jonction cervico-thoracique (C7/T1)
- Imu 4, Tête (C0)
- Imu 5, Bras face latérale
- Imu 6, Avant-Bras face latérale
- Imu 7, Cuisse face latérale

Les Capteurs 1 à 4 permettent la représentation de la déformation de la colonne au cours de la tâche. Le capteur 5, 6 permettent le suivi du mouvement du membre supérieur. Les capteurs 7 et 1 permettent le suivi de l'ouverture de la hanche lors des phases de leviers de charges.

Les capteurs EMG ont été placés sur les muscles érecteurs du rachis lombaires (EMG 2 Lumbar erector spinae) et dorsaux (EMG 3 thoracic erector spinae), le quadriceps (EMG 4 , quadratus lumborum), le glutéal ou muscle fessier (EMG 1 , Gluteus maximus) (cf. Figure 3).

Les mesures ont été effectuées à la fois lors des tâches avec et sans l'exosquelette pour comparer les niveaux d'activation musculaire.

Le signal a été enregistré et traité conformément aux directives européennes (SENIAM). Préalablement aux tâches, les participants ont effectué des exercices de contraction volontaire maximale. Les valeurs mesurées au cours des différentes tâches sont normalisées par rapport à ces valeurs maximales, ce qui permet d'analyser les contractions en inter et intra utilisateurs.

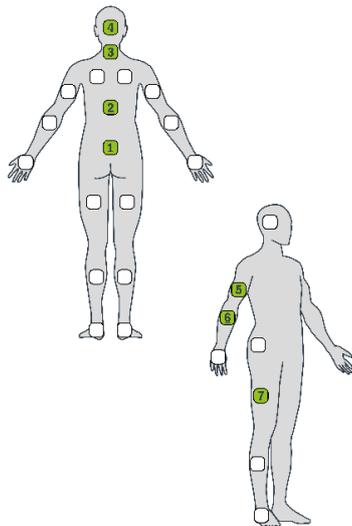


Figure 2: Placement des centrales inertielle (Imus)

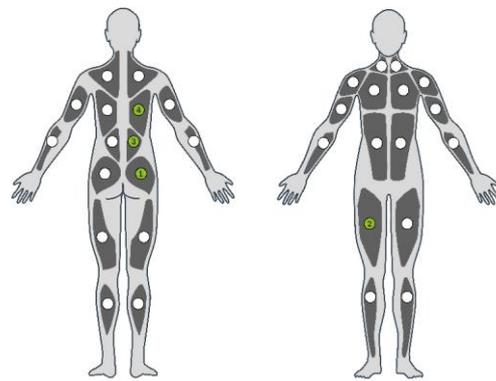


Figure 3 : placement des Emgs

2.2 Mesures

Phase initiale sans exosquelette :

Le sujet est au repos assis. La fréquence cardiaque FC0 est mesurée

Mesure lors de la Fmax :

La mesure est réalisée sans exosquelette.

Le sujet cherche à se relever alors qu'une force est exercée en opposition.

La mesure de l'activité électrique max des différents muscles érecteurs est relevée.

Mesures suivants différentes tâches (avec et sans exosquelette)



Figure 4 : Différentes étapes du protocole, ici avec exosquelette Percko®

L'objectif est de comparer différentes tâches avec et sans exosquelette.

La première action réalisée par le sujet est un tirage au sort pour déterminer l'ordre des tests, avec ou sans exosquelette. Par la suite il répétera la séquence suivante :

- maintien d'une position penchée pendant 90 secondes. Le repérage de la position est réalisé en mesurant la distance doigt-sol lors. La position est reproduite lors du deuxième passage.
- temps de relaxation avec marche du sujet
- 15 répétitions de lever de charge (haltère de 6kgs) sans torsion du buste
- temps de relaxation avec marche du sujet
- lever d'une caisse (masse 20Kgs)

Il est à noter qu'avant la mise en place de l'exosquelette un bref descriptif est donné alors que l'exosquelette est positionné sur un mannequin. il est ensuite demandé au sujet de s'en revêtir sans autres consignes de manière à en apprécier la facilité de mise en place. Le réglage pour le maintien et pour la tension de rappel de l'exosquelette est réalisé avec les mêmes consignes pour tous les sujets et est contrôlé par l'expérimentateur.

Réponses aux questionnaires

Les questionnaires sont remplis en fin de session. L'ensemble des questionnaires sont donnés en Annexe

2.3 Sujets

Le recrutement des sujets pour analyser l'exosquelette Percko® a été réalisé selon les critères anthropométriques suivants

- 14 sujets (8 hommes et 6 femmes) avec des tailles différentes dans la fourchette du 5e percentile féminin au 95e percentile masculin de la population FRANÇAISE.
- Le 5e percentile féminin (1520 mm) et le 95e percentile masculin (1910 mm) ont été utilisés comme extrêmes ; le reste de la distribution des tailles des participants a été placé entre cet intervalle.
- Inclusion d'une large gamme d'IMC (19-30).
- Tranche d'âge : 17-65 ans.
- Critère d'inclusion : Tous les participants ont été examinés et ne présentaient pas des problèmes de troubles musculo-squelettiques (TMS) avant d'être sélectionnés pour participer à l'étude.
- Tous les sujets ont réalisé le même protocole.

Il convient de noter que des participants externes ont été recrutés pour les tests. Les participants ont reçu une rémunération.

Base de données	5 ^{ème} (comprenant 30mm pour chaussure)	50 ^{ème} (comprenant 30mm pour chaussure)	95 ^{ème} (comprenant 30mm pour chaussure)
Taille en cm ISO 15537	152	178	191

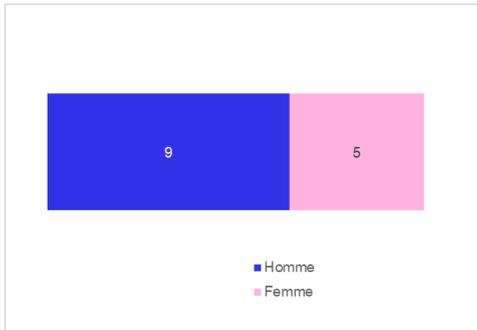


Figure 5 : Repartition Homme/Femme

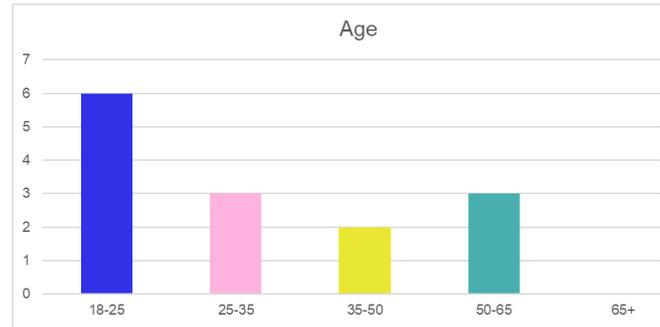


Figure 6 : Repartition des âges

3 Analyse des Données

3.1 Introduction

L'analyse est décomposée en 2 parties :

La première concerne une description statistique de l'aspect cognitif avec l'analyse de l'évolution de la gêne et ou de l'inconfort, de la performance et de l'utilisabilité

La deuxième concerne l'analyse objective des paramètres physiologiques, des gestes et postures, liés à l'utilisation de l'exosquelette.

Dans la suite du document nous utiliserons les symboles suivants



Très favorable, Très confortable, Tout à fait d'accord (moins de 25%)



Acceptable (entre 25-50%)



Pas du tout favorable, Pas du tout d'accord, inconfort ou gêne (plus de 50%)



Problème.

3.2 Analyse cognitive

Dans un premier temps, l'objectif des questionnaires est d'évaluer la gêne perçue, si elle existe, lors des différents usages de l'exosquelette (debout, porter et pencher en avant) et de la localiser. De plus nous utiliserons le questionnaire INRETS T264, outil reconnu pour évaluer l'ergonomie et l'acceptabilité des dispositifs techniques dans un contexte professionnel.

Il est ici quelque peu détourné de son contexte puisque que l'usage de l'exosquelette est réalisé sur un temps court et en situation de laboratoire.

3.2.1 Analyse de la gêne Perçue

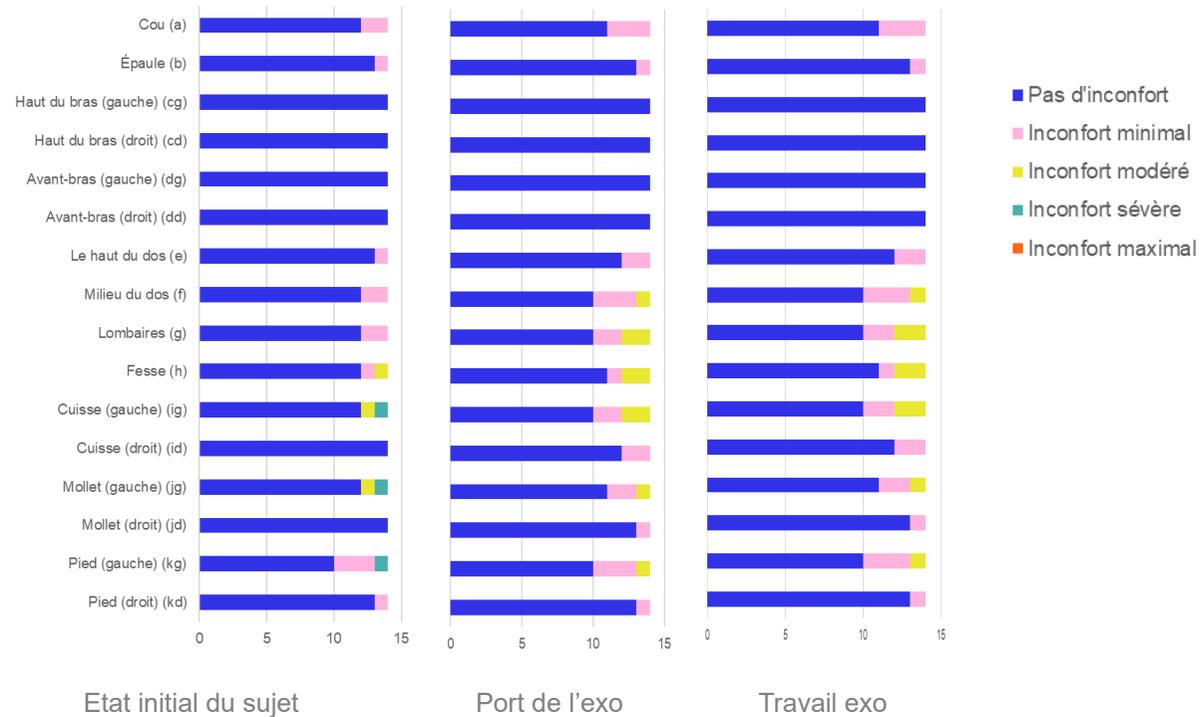
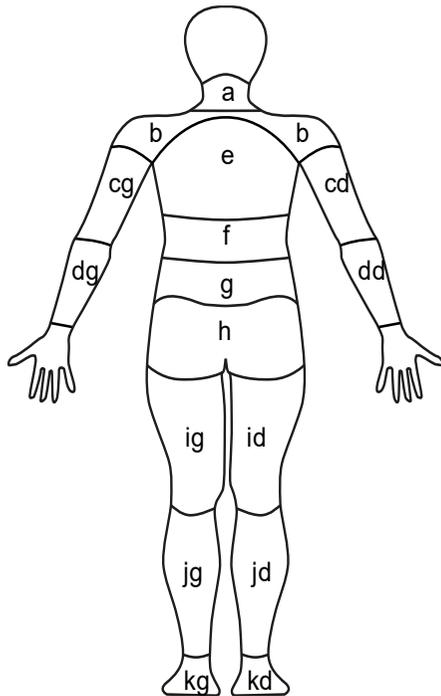


Figure 7: Evolution des gênes avec l'utilisation de l'exosquelette

Objet	Synthèse
 Port de l'exosquelette	Globalement très satisfaisant. A l'instant initial de la mesure certains sujets ressentait des douleurs au niveau de certaines articulations (genoux) ce qui explique la forme du premier graphique. Il apparaît des gênes, pour certains sujets au niveau des attaches de l'exosquelette, mais il est aussi à noter que pour le bien de l'expérience la plupart des sujets étaient en sous vêtement ce qui n'est pas représentatif d'une réalité d'utilisation.
 Travail avec exosquelette	Globalement très satisfaisant. Il n'y a pas d'apparition de gêne lors de l'exécution de la tâche.

3.2.2 Analyse de Performance

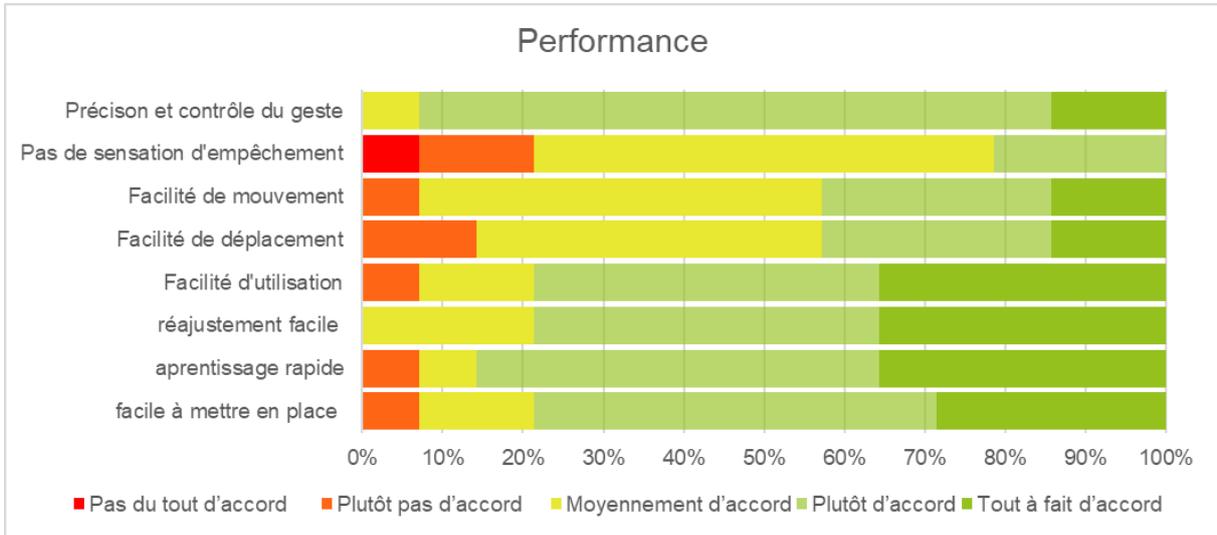


Figure 8: Synthèse de l'enquête pour l'évaluation de la performance

Objet	Synthèse
Usage	Très satisfaisant. La plupart des participants (>90) ont indiqué que l'exosquelette Percko® était facile à mettre en place, à régler et à utiliser
Contrainte lors de aux mouvements	Des difficultés et des limitations de mouvement apparaissent, pour certains usagers, lors des déplacements.

3.2.3 Analyse de l'utilisabilité

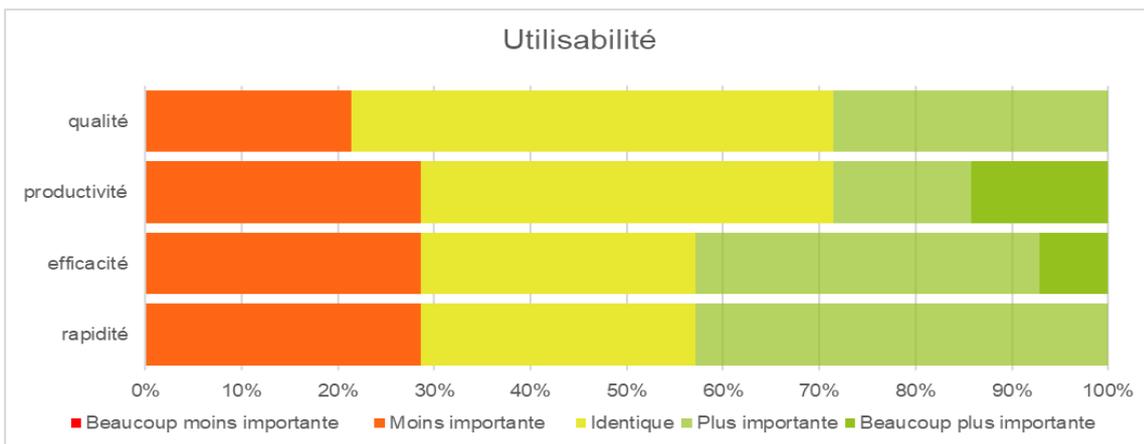


Figure 9: Synthèse de l'enquête pour l'évaluation de l'utilisabilité

Objet	Synthèse
Utilisabilité	Les usagers jugeant une amélioration dans l'efficacité et la rapidité de la tâche sont plus nombreux que ceux jugeant du contraire
Qualité productivité	L'évaluation de la qualité et de la productivité fait apparaître un nombre important d'avis inchangé (ou sans opinion). On touche ici à la limite de l'utilisation du questionnaire T264 sur un temps court.

3.3 Analyse Biomécanique

3.3.1 Charge Musculaire

L'EMG permet de mesurer si un exosquelette réduit effectivement l'effort musculaire dans les zones ciblées. Dans les exemples qui suivent les résultats sont présentés après **normalisation des signaux EMG** : La mesure de l'activité EMG est exprimée en pourcentage de la force musculaire maximale volontaire (MVC, pour **Maximal Voluntary Contraction**). Elle permet de **comparer des individus**, de quantifier l'intensité relative de la contraction musculaire et d'évaluer si une tâche impose un effort excessif (par exemple, au-delà de 60 % de la MVC, un risque de fatigue rapide est probable).

3.3.1.1 Effet de l'exosquelette Percko® sur la charge musculaire lors du port de charge répétée.

La mesure s'est révélée défailante pour un sujet (décollement d'une électrode) ce qui n'a pas permis la comparaison. La moyenne est réalisée sur 13 sujets.

Sujet	% fessier	% quadri	% lombaire	% dorsale
1	-18	98	16	13
2	-7	45	11	22
3	-4	0	24	5
4	24	27	51	24
5	-39	-7	33	-1
6	9	27	15	28
7	-9	23	18	26
8	-1	49	18	18
9	3	-9	22	19
10	10	2	12	1
11	0	11	56	12
12	16	-6	36	-34
13	-23	49	-2	7
Moyenne	-3	24	24	11

Table 1: Variation de la charge musculaire avec vs sans exo lors du soulèvement de charge répété (6,5 kgs)

Catégorie 1: -5 => 5

Catégorie 2: 6 => 10

Catégorie 3: 11 => 20

Catégorie 4: 21 => 39

Catégorie 5: 40 => 50

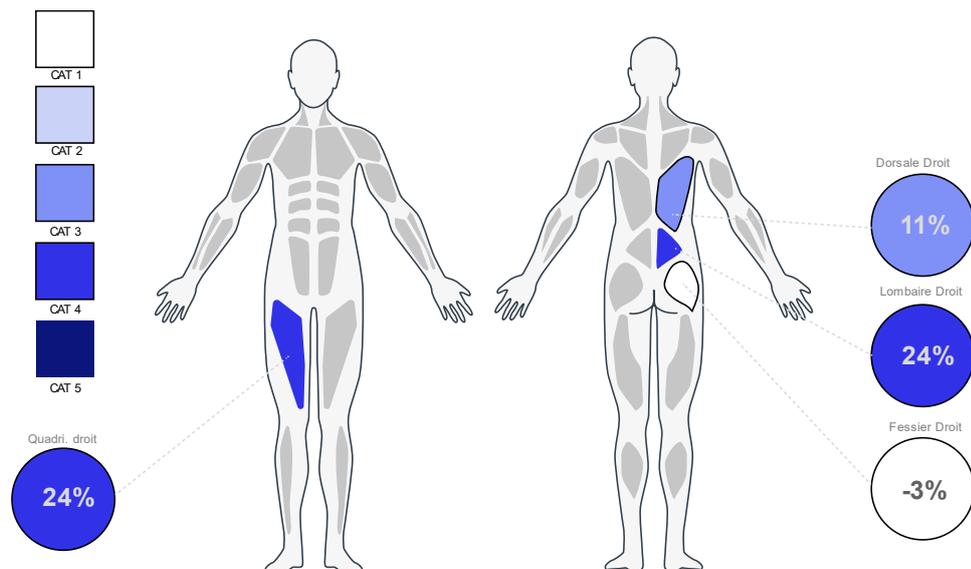


Figure 10: Gain musculaire avec l'usage de l'exo Percko® - diminution de l'activité musculaire en %)

	Objet	Synthèse
	Muscles lombaires	Pour l'ensemble des sujets, on constate une diminution de l'activité musculaire au niveau des erectors lombaires. Elle peut être très importante, jusqu'à 56 %, avec une moyenne de 24%. Cela répond à l'objectif de l'exosquelette et tend à diminuer fortement les risques de pathologie discale lombaire ainsi que la fatigue musculaire
	Muscles Dorsaux	Globalement on constate une diminution de l'activité musculaire au niveau dorsal (85% des sujets). Elle reste moins importante qu'en lombaire (moyenne 11% max 28%) mais il est à noter que le bras de levier de la charge étant moins important les muscles dorsaux hauts sont moins impliqués . Ils servent plus au maintien d'un bloc thoracique sans modification de cyphose.
	Quadriceps et fessiers	Les activités sont variables suivant les sujets. Excepté pour le sujet 5, on constate que quand il y a une augmentation de l'activité des fessiers elle est « compensée » par une diminution des quadriceps. Cela semble traduire un changement de stratégie de maintien de « l'équilibre » du bassin

3.3.1.2 Effet de l'exosquelette Percko® sur la charge musculaire lors maintien de la position penchée

La mesure s'est révélée défailante pour un sujet (décollement d'une électrode) ce qui n'a pas permis la comparaison. La moyenne est réalisée sur 13 sujets.

Sujet	% fessier	% quadri	% lombaire	% dorsale
1	4	67	48	9
2	4	34	-5	39
3	-1	-1	2	-24
4	6	17	39	58
5	-7	-6	23	36
6	1	1	88	72
7	5	2	42	19
8	12	9	90	94
9	3	32	10	42
10	21	0	8	33
11	0	-2	8	17
12	11	49	14	91
13	12	20	35	37
Moyenne	5	18	33	40

Table 2: Variation de la charge musculaire avec vs sans exo lors du maintien de la position penchée

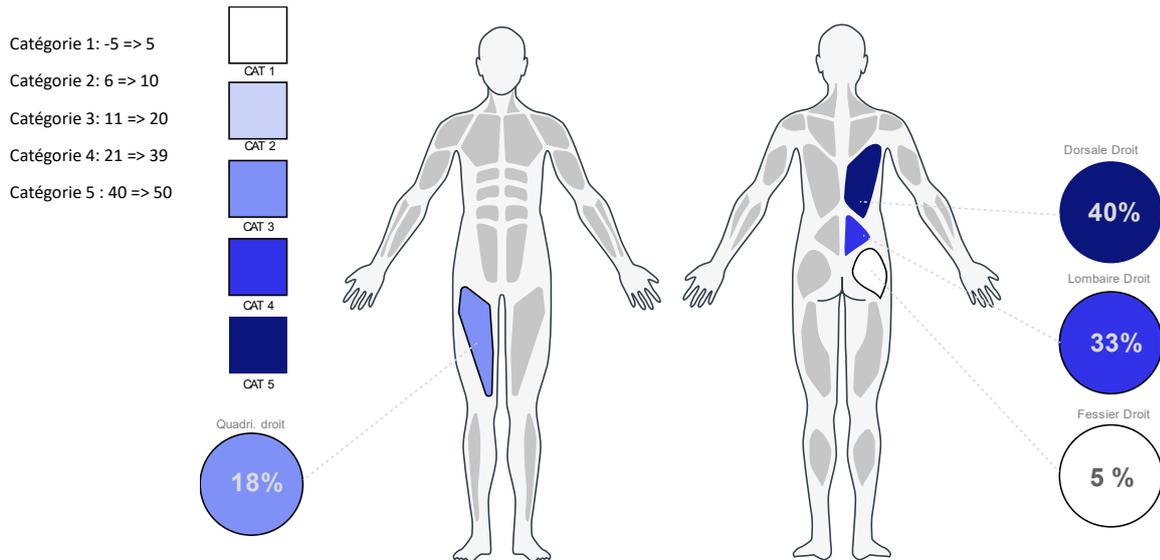


Figure 11: Gain musculaire avec l'usage de l'exo Percko® - diminution de l'activité musculaire en %)

Objet	Synthèse
 Muscles lombaires	Idem § précédent : diminution de l'activité musculaire au niveau des erectors lombaires. Elle peut être très importante, jusqu'à 88 %, avec une moyenne de 33%. Cela répond à l'objectif de l'exosquelette et tend à diminuer fortement la fatigue musculaire lors du maintien de la posture. Elle autorise la posture prolongée sans apparition de spasme musculaire.
 Muscles Dorsaux	Idem § précédent : diminution, souvent très importante de l'activité musculaire au niveau dorsal (85% des sujets). Idem que pour les lombaires, tend à diminuer fortement la fatigue musculaire lors du maintien de la posture. Elle autorise la posture prolongée sans apparition de spasme musculaire

3.3.1.3 Effet de l'exosquelette Percko® sur la charge musculaire lors du port de charge lourde (20Kgs)

La mesure s'est révélée défailante pour un sujet (décollement d'une électrode) ce qui n'a pas permis la comparaison. La moyenne est réalisée sur 13 sujets.

Sujet	% fessier	% quadri	% lombaire	% dorsale
1	-42%	68%	52%	65%
2	-26%	50%	79%	25%
3	68%	54%	-6%	-43%
4	26%	57%	48%	46%
5	-8%	-20%	47%	97%
6	-43%	-7%	12%	-2%
7	23%	81%	71%	40%
8	-46%	11%	-8%	51%
9	47%	60%	48%	47%
10	21%	52%		
11	67%	6%	81%	18%
12	40%	41%	79%	69%
13	-42%	68%	52%	65%
Moyenne	5	18	33	40

Table 3: Variation de la charge musculaire avec vs sans exo lors du port de charge lourde (20 kgs)

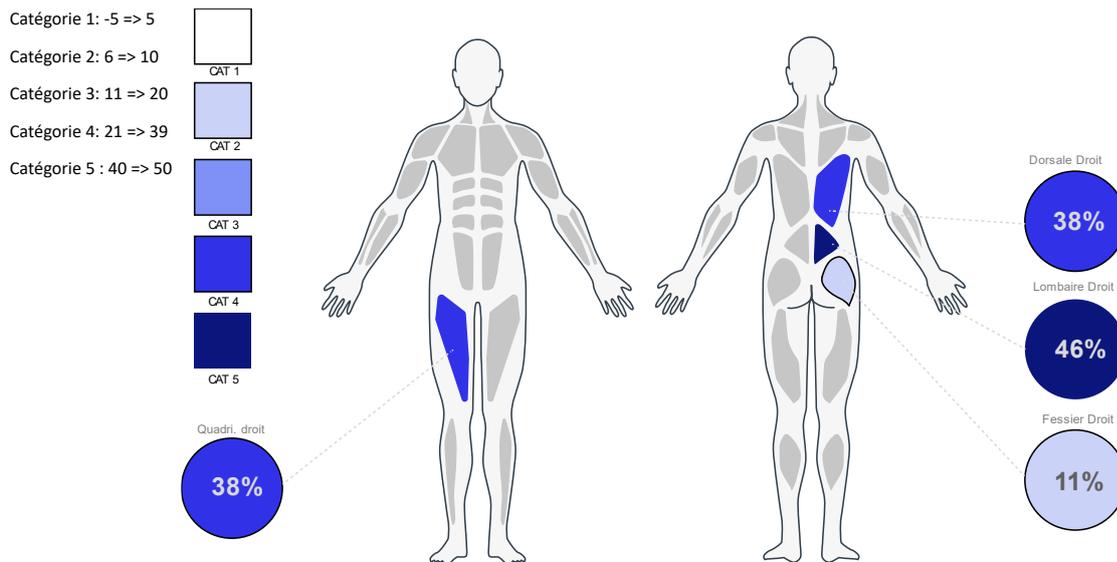


Figure 12: Gain musculaire avec l'usage de l'exo Percko® - diminution de l'activité musculaire en %

Objet	Synthèse
 Fatigue lors du lever de charge	Pour l'ensemble des sujets, il y a une modification importante dans la chaîne musculaire impliquée dans le lever de charge. La diminution est quasi systématique en zone lombaire et dorsale et, si elle ne l'est pas, ce sont les muscles permettant l'orientation du bassin qui connaissent une forte diminution. L'effet sur les muscles impliqués dans le lever de charge est systématique. La proportion à la diminution des muscles mesurés est dépendante de la stratégie de lever de charge (flexion des membres inférieurs ou flexion du tronc). Dans chacun des cas elle contribue à une diminution des risques TMS.

3.3.2 Effet de l'exosquelette Percko® sur l'activité cardiaque

La mesure de la fréquence cardiaque (FC) par rapport à la fréquence cardiaque au repos (FCR) est une méthode largement utilisée pour évaluer l'intensité des efforts physiques ou le niveau de stress

En comparant la fréquence cardiaque pendant une activité à la fréquence au repos, on peut déterminer l'effort relatif. Plus la fréquence cardiaque s'éloigne de la FCR, plus l'effort est intense. Une élévation inhabituelle de la FC à des niveaux d'effort modérés peut indiquer une fatigue ou un surentraînement.

Sujet	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Δ cardiaque =(FC-FCR)	-19	3	6	-3	-11	-4	18	-11	-5	0	-9	9	7	1

-Table 4: Variation de la charge musculaire avec vs sans exo lors du soulèvement de charge répété (6,5 kgs)

Objet	Synthèse
Activité cardiaque	Il n'y a pas d'effet mesuré de l'exosquelette sur la fréquence cardiaque. Aucune différence significative. Cela peut être dû à la mesure que à fréquence cardiaque au repos qui a été réalisée au début de l'expérimentation et qui peut aussi traduire un état de stress de l'individu. Cela peut être du au temps d'expérimentation, trop court pour faire apparaître une modification de l'état physiologique du sujet. Il semble que les modifications de la FC soit plus dépendante du moment de la prise de mesure et donc du tirage au sort.

3.3.3 Effet de l'exosquelette Percko® sur la Lordose

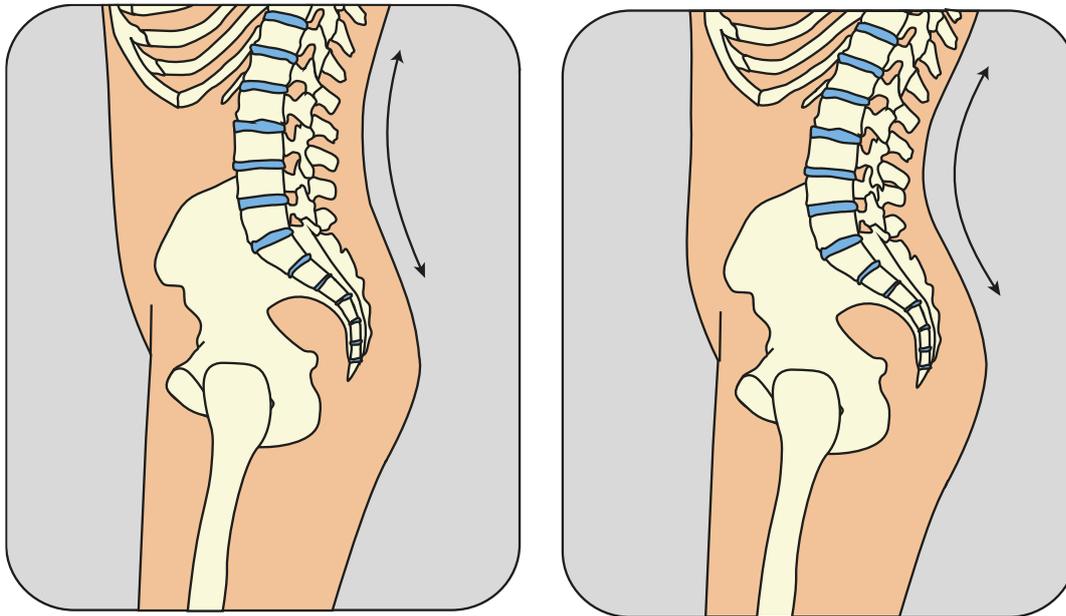


Figure 13: Représentation d'une augmentation de la lordose (de la gauche vers la droite)

La mesure de la lordose lombaire en ergonomie, en particulier dans le contexte du port de charges, revêt un intérêt significatif pour évaluer et prévenir les risques de troubles musculosquelettiques (TMS) et optimiser les postures de travail. En effet, la mesure de la lordose permet d'évaluer si une posture est ergonomiquement favorable ou si elle impose des contraintes excessives sur la colonne : une **diminution excessive de la lordose** (hyperflexion lombaire ou rétroversion pelvienne) lors du port de charges est associée à un risque accru de blessures comme les hernies discales ou lombalgie

Les techniques de levage qui maintiennent une lordose naturelle, en fléchissant les hanches et les genoux plutôt que le dos, réduisent la charge sur les disques intervertébraux et les muscles lombaires.

3.3.3.1 Lors de la mise en place

Modification de la lordose avec et sans exo (une valeur positive traduit une délordose)

Sujet	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Moyenne
Délordose (°)	16	22	3	4	4	24	12	-4	0	-1	10	3	6	8



Objet	Synthèse
Lordose	La mise en place de l'exosquelette, entraîne une diminution de la lordose lombaire. Il semble que la mise en charge initiale des tenseurs élastiques contribuent à la réduction de la lordose. Il peut être utile de proposer une solution qui maintienne la courbure physiologique lombaire.

3.3.3.2 Lors de l'activité

Déformation lombaire avec et sans exo. Différence de délordose au cours du mouvement, une valeur positive traduit un maintien de la lordose

Sujet	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Moyenne
Délordose (°)	8	27	23	2	6	9	35	19	-6	11	9	0	3	11



Objet	Synthèse
Lordose	il y a systématiquement moins d'effet délordosant lors de l'utilisation de l'exosquelette donc moins de contraintes en cisaillement responsables des pathologies lombaires et des TMS.

4 Synthèse Générale

Les **objectifs d'un exosquelette** sont à valider dans son contexte d'utilisation industriel. Pour autant cette première phase de validation a permis de mettre en évidence les avantages de l'exosquelette Percko® :

- **Diminution des efforts musculaires et articulaires en transférant les charges physiques,**
- **Réduction significative de l'effort musculaire** lors du port de charge : **46 % de diminution sur les lombaires, et 38 % sur les quadriceps et les dorsaux.**
- **Moindre fatigue musculaire** : une réduction de **40 % de l'effort sur les dorsaux** et de **33 % sur les lombaires.**
- **Prévenir des troubles musculosquelettiques (TMS)** en limitant les postures contraignantes et en diminuant les contraintes articulaires. **Amélioration de la posture en limitant la délordose lombaire avec un gain mesuré de 11°**

L'exosquelette Percko® **répond aux attentes des utilisateurs**, en termes **d'ergonomie du produit, de performance et d'utilisabilité** : **93 % des participants** confirment la facilité de mise en place et d'utilisation de l'exosquelette.