



HAL
open science

Introduction d'une approche participative lors de l'élaboration d'une démarche d'intégration d'exosquelette en milieu industriel

Julien Foret

► **To cite this version:**

Julien Foret. Introduction d'une approche participative lors de l'élaboration d'une démarche d'intégration d'exosquelette en milieu industriel. Sciences de l'Homme et Société. 2019. dumas-02363556

HAL Id: dumas-02363556

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02363556>

Submitted on 14 Nov 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Centre National des Art et Métiers

Centre de CAEN - NORMANDIE

**Mémoire présenté en vue d'obtenir
Master Sciences Humaines et Sociales mention Ergonomie
Voie professionnelle (MR11100A)**

Introduction d'une approche participative lors de l'élaboration d'une démarche d'intégration d'exosquelette en milieu industriel.

Julien FORET

Soutenu le 19 septembre 2019

Membres du jury :

Willy BUCHMANN	Président du jury, Maître de Conférences en Ergonomie CNAM Paris
Nicole CARLIN	Ergonome, Responsable Pédagogique Filière ergonomie CNAM Normandie
Bénédicte SIX-TOUCHARD	Ergonome, Chargée d'enseignement CNAM Normandie
Eric PELTIER	Ergonome, Chargé d'enseignement CNAM Normandie
Lauriane ROGER	Ergonome, Chargée d'enseignement CNAM Normandie
Dorine TALBOT-ROUDEL	Ergonome, Chargée d'enseignement CNAM Normandie

Remerciements

Je tiens à remercier,

Loïc Gaget, ergonomiste, tuteur et collègue qui m'a accompagné tout au long de cette dernière année. Il a su me donner cette liberté pour mettre à profit mes connaissances et mes savoirs faire au sein de l'entreprise tout en restant un professionnel pédagogue et attentionné,

L'équipe sécurité qui m'a accueilli avec bienveillance et professionnalisme. Merci à Françoise Lecoutey, Jean Madelaine, Fabrice Boulay, Franck Margueritte, Catherine Gueroult et Tanguy Pratt pour cette année auprès de vous.

L'équipe du CNAM Normandie particulièrement Mme Six-Touchard et Mme Carlin pour leur disponibilité, ainsi que Mme Lucas et Mme Jouault,

La promotion 2017-2019, pour nos échanges, nos partenariats, nos discussions, nos fous rires, nos cafés en salle « repos », nos soirées, nos et vos délires,

Ma famille et plus particulièrement ma femme sans qui tout cela n'aurait pas été possible pour moi ; et ma fille, qui ne comprenait pas toujours pourquoi son papa « travaille encore ce soir »,

....A Caro Tutu.

SOMMAIRE

Introduction	6
1 La demande et son contexte	8
1.1 La demande initiale	8
1.2 L'entreprise Renault Trucks.	9
2 Analyse stratégique de la demande	13
2.1 Entretiens avec les différents demandeurs.....	13
2.2 Recueil et analyse des données populations de l'entreprise	14
2.3 Exosquelettes et revue de la littérature	19
2.4 Les différents cas d'expérimentations au sein du groupe Volvo.....	24
2.4.1 Exosquelette du dos - Renault Trucks à Vénissieux	24
2.4.2 Exosquelette membres supérieurs – Renault Trucks à Lyon.....	25
2.4.3 Les exosquelettes du dos et membres supérieurs à Volvo Curitiba – Brésil.....	26
2.4.4 Exosquelettes du dos et des épaules à Volvo Gant – Belgique.....	28
2.5 Prémisses d'élaboration d'une démarche	31
3 Cadrage de la démarche d'intégration d'un exosquelette.....	33
3.1. A l'échelle du groupe Volvo	33
3.2. Dans le contexte de Renault Trucks Blainville	34
4 Enjeux et Reconstruction de la demande.....	34
4.1 Des enjeux de santé et de performances pour les salariés et pour l'entreprise.....	34
4.2 Point de vue de l'ergonomie	35
4.3 Reconstruction de la demande	36
5 Méthode	37
5.1 Entretiens des différents acteurs et identification des besoins sur les potentielles situations de travail « exosquelettes ».	37
5.2 Méthode de Sélection d'un exosquelette	39
5.2.1 Critères à évaluer	39
5.2.2 Sélection des modèles.....	40
5.3 Mise en place de la démarche participative.....	44
5.3.1 Création du comité de pilotage, sélection et validation des modèles d'exosquelettes	44
5.3.2 Création et mise en place des groupes de travail	45
6 Analyse de l'activité Encyclage tapis.....	47
6.1 Le travail prescrit.....	47
6.2 Mise en évidence de la réalité de l'activité et de ses effets à l'encyclage des tapis ..	51

6.3	Pré-diagnostic	55
6.4	Hypothèses.....	55
6.5	Observations systématiques.....	56
6.5.1	Tapis CP	57
6.5.2	Tapis Tunnel.....	60
6.6	Diagnostic	63
6.7	Pistes de solutions.....	63
7	Expérimentations avec et sans exosquelette	64
7.1	Sensibilisation et formation à l’usage des exosquelettes.....	64
7.2	Expérimentation de la démarche d’intégration.....	64
7.3	Les outils de notre expérimentation.....	65
7.3.1	L’élaboration des outils	65
7.3.2	La démarche d’intégration d’un exosquelette	65
7.4	Les résultats de l’expérimentations exosquelettes.....	66
7.4.1	Temps d’utilisation avec et sans exosquelettes	66
7.4.2	Les efforts ressentis	67
7.4.3	La santé musculosquelettiques des opérateurs testeurs	69
7.4.4	Evolution de l’activité cardiaque des utilisateurs	70
7.4.5	Retour d’expériences en groupe de travail	72
	Discussion.....	75
	Conclusion.....	77
	References Bibliographiques	78
	Table des illustrations	80
	Annexes	82
	Résumé	135

INTRODUCTION

Le travail est une des dimensions qui concourent à la construction de la santé des hommes et des femmes qui sont en emploi. La médecine a évolué et l'hygiène de vie et les conditions de travail se sont largement améliorées. Depuis toujours l'homme recherche des idées intelligentes pour améliorer son quotidien, se faciliter la vie et développer des projets personnels. Ces dernières années, les salariés sont d'accord pour travailler mais plus question de se mettre en danger ou encore de se fatiguer inutilement au travail. Il ne s'agit plus de se détériorer la santé pendant sa vie professionnelle, mais plutôt de s'épanouir et profiter de sa vie personnelle. L'épanouissement au travail est même aujourd'hui un critère identifié, évalué et mis en avant pour le développement de l'individu dans les entreprises. Et c'est encore plus vrai dans les entreprises à caractère industriel dans lesquelles le travail « ouvrier » est très souvent synonyme de pénibilité. Les contraintes de production et les exigences de qualité placent l'opérateur de production au carrefour de celles-ci et pour lesquelles il va chercher à répondre en adoptant des stratégies différentes. L'opérateur met alors en jeu, par son activité, différentes ressources pour faire un travail de qualité. Il va adapter sa manière de faire à chaque situation à condition que son environnement, ses compétences et son état le lui permettent. (Rabardel et Pastré, 2005).

L'avènement des Troubles Musculosquelettiques (TMS) comme 1^{ère} maladie professionnelle depuis 20 ans montre bien que le travail est de plus en plus difficile de par les contraintes de production, de l'intensification du travail et d'un début de retraite de plus en plus tardif (Source : INRS - Institut National de Recherche et de Sécurité) alors que dans le même temps la technologie et l'ergonomie optimise l'activité des opérateurs. Le coût économique des TMS ne faisant que s'accroître, les entreprises cherchent des solutions pour diminuer ces coûts. Les divers moyens de manutention mis en place et la transformation des postes de travail vers des postes dits « plus ergonomiques » ont permis une première réponse « normative », mais avec le temps elles ne font pas forcément disparaître les troubles.

Aujourd'hui, les entreprises trouvent sans cesse des solutions techniques et technologiques qui permettent de réduire les effets de certains facteurs caractérisant les TMS : la charge physique et la répétitivité des tâches. Une des dernières solutions techniques sont les dispositifs d'assistance physique, plus communément appelés exosquelettes. Concept créé dès les années 60 puis développé dans les milieux militaires et médicaux, une réflexion à l'intégration des exosquelettes au sein des entreprises a commencé depuis les années 2000. Actuellement, ces dispositifs sont présents au sein même des entreprises sans pour autant en connaître tous les effets sur les opérateurs. L'hypothèse d'une amélioration de la santé des salariés et de la performance des entreprises par l'usage de ces nouveaux dispositifs reste encore à démontrer.

Étiquetés et vendus comme une solution à la problématique des TMS, les exosquelettes deviendraient la solution « miracle » pour répondre aux problèmes de santé des opérateurs et aux problèmes économiques des gestionnaires des entreprises. Avec une présence de plus en plus grande des exosquelettes sur de nombreux salons internationaux consacrés pour la plupart à la prévention des risques professionnels, le marché des exosquelettes présente une croissance mondiale qui devrait dès lors être très rapide, selon ABI Research, prévoyant que les revenus annuels générés pourraient passer de 192 millions de dollars en 2018 à 5,8 milliards de dollars dans les dix ans à venir. Le secteur de la santé pour la réhabilitation de patients handicapés et de l'industrie sont les deux secteurs se partageant actuellement le marché.

Notre intervention s'est déroulée lors d'une année d'alternance d'ergonome en fin de professionnalisation au sein du groupe Volvo, dans l'entreprise Renault Trucks de Blainville sur Orne. Afin de répondre parallèlement aux exigences du CNAM et aux demandes de l'entreprise, nous avons proposé une démarche structurée pour l'élaboration d'une démarche d'intégration d'un exosquelette ainsi que leurs expérimentations en situation réelle de travail, ce qui fait l'objet de ce mémoire.

1 LA DEMANDE ET SON CONTEXTE

1.1 La demande initiale

Les entreprises, PME et grands groupes, communiquent beaucoup sur la prise en compte de la santé de leurs collaborateurs. 90% des dirigeants et des salariés sont d'accord pour affirmer que la santé contribue à la performance de l'entreprise, et 85% des dirigeants affirment que leur entreprise a mis en place des actions de prévention santé ((Malakoff-Médéric, 2017), alors que 35% des salariés pense la même chose (Viavoice/Harmonie Mutuelle, 2017).

En France, 87% des maladies professionnelles recensées à ce jour sont liées aux troubles musculosquelettiques. Selon les dernières études de la Direction de l'Animation de la Recherche, des Etudes et des Statistiques en 2016, les plus courants sont le syndrome du canal carpien, qui provoque des douleurs dans le poignet (34% des affections), les tendinites de l'épaule (29%) et du coude (20%), ainsi que les lombalgies (dos). Leur apparition est liée à des gestes répétitifs, des postures immobiles prolongées ou la manutention de charges lourdes ; et que la moitié de ces TMS reconnus par la sécurité sociale laissent des séquelles.

Depuis quelques années déjà, le Groupe Volvo et Renault Trucks, fait aussi partie de ces entreprises qui mettent en place une politique de prévention de la santé de leurs salariés. En 2017, Renault Trucks Blainville comptait 22 maladies professionnelles reconnues, issues du tableau 57 du régime général (Affections périarticulaires) et 15 accidents du travail avec arrêt pour 2028 salariés. En 2018, 8 maladies professionnelles reconnues et 10 accidents avec arrêts ont été déclarés.

En parallèle, les développements technologiques récents ont pu voir émerger des exosquelettes destinés au monde professionnel. Ce sont des outils d'assistance physique pour lesquels l'assistance donnée à l'opérateur est générée par des moteurs ou par restitution d'énergie mécanique. Nous définirons ce que sont les exosquelettes dans une prochaine partie.

Le groupe Volvo n'échappe pas à ce phénomène, mais à l'inverse de certaines entreprises, il souhaite être prudent avec ces nouveaux outils car il existe trop peu de retour sur l'utilisation des exosquelettes. Volvo Trucks, via ses filiales, voit ainsi apparaître des expériences de ces exosquelettes au sein même de ses usines de production. Ces expériences proviennent soit d'une démarche interne à l'entreprise soit d'une démarche commerciale d'entreprises fournisseurs d'exosquelettes. Plusieurs collaborateurs du groupe ont souhaité intégrer ces exosquelettes pour leurs opérateurs de production dans l'idée de tenter de répondre à la problématique des TMS et de charge physique de travail importante.

Ainsi, des opérateurs au Brésil, en Belgique, et en France ont participé à des programmes de tests de différents exosquelettes. Avec des résultats différents selon la variabilité des exosquelettes, des processus d'intégration, des fonctions du chef de projet et surtout des opérateurs, le groupe Volvo, via son entité Group Truck Opération (GTO), s'est alors posé la question des apports réels des exosquelettes au sein de ses usines. Ils souhaitent surtout avoir un cadre pour l'introduction de cette nouvelle technologie par le biais d'une démarche d'intégration commune à toutes les usines du groupe Volvo.

La demande qui émane du Directeur Santé Sécurité Brésil et Europe du groupe Volvo est la suivante :

Elaborer une démarche d'intégration des exosquelettes et proposer un cadre d'utilisation des exosquelettes pour tenter de répondre aux soucis de santé et de sécurité des opérateurs.

1.2 L'entreprise Renault Trucks.

L'entreprise Renault Trucks pour laquelle nous sommes intervenus dans le cadre de ce mémoire d'ergonome en fin de professionnalisation est un constructeur de véhicules industriels et un fournisseur de solutions de transports. Issu d'un rapprochement entre BERLIET fondé en 1894, situé à Lyon Vénissieux, et RENAULT créé en 1898 à Boulogne-Billancourt, Renault Véhicules Industriels puis Renault V.I devient le premier constructeur français de poids lourds en 1978. (Voir annexe A : Historique de Renault Trucks)

Depuis 2001, Renault Trucks fait partie du groupe suédois VOLVO, un des leaders mondiaux des solutions de transport. Avec un chiffre d'affaire de 34,3 Mds €, l'activité camion représente 64% du CA du groupe Volvo, 20% pour les engins de chantier et 8% pour autocar et autobus (le reste concerne la construction de moteur de bateau Penta et l'activité financière du groupe).

Le groupe Volvo exploite 6 marques de poids lourds : Volvo, UD (Japon), Mack Trucks (USA), Eicher (Inde), DongFeng (Chine) et Renault Trucks (France). Il compte 105 000 employés qui produisent dans 18 pays par le monde.

En France, Renault Trucks représente 9500 personnes dont le siège est à Lyon. L'ensemble de sa production de véhicules est produit dans différents sites :

- Le site de Lyon ; usine d'assemblage de moteurs, une unité d'emboutissage de tôles de cabines et d'éléments de châssis, une unité d'assemblage d'essieux et un centre de distribution de pièces de rechange.
- Le site de Bourg-en-Bresse : usine de production de tracteurs de semi-remorques
- Le site de Blainville-sur-Orne : usine de production de véhicules de moyens tonnages et d'assemblage cabines des marques Renault Trucks, Volvo Trucks et DAF. Unité de démontage et de collections de pièces pour un envoi vers certaines destinations internationales et un remontage sur place.
- Le site de Limoges : unité de rénovation de moteurs et organes pour échanges standard.

Aperçu des véhicules Renault Trucks

Les véhicules produits par la marque Renault Trucks sont des véhicules industriels de transport de marchandises sur des distances courtes types approvisionnement, distribution urbaine et de chantiers. Il existe 5 typologies de véhicules :

- La gamme livraison, véhicules les plus petits.
- La gamme construction.
- La gamme longue distance, transports de marchandises sur de long trajets.
- La gamme défense, à usage exclusivement militaire.
- La gamme distribution, véhicule à champ d'action très large essentiellement en zone urbaine et extra-urbaine.



Figure 1: Exemple de véhicules Renault Trucks de la gamme distribution.

Un véhicule est catégorisé selon le nombre d'essieux qui vont supporter les roues, le nombre de roues étant proportionnel au poids du véhicule. Un véhicule est constitué de différentes parties :

- Le châssis, c'est-à-dire l'ossature du véhicule où sont fixé tous les composants du camion.
- La chaîne cinématique, qui va permettre la mise en mouvement du camion avec le moteur, l'embrayage, la boîte de vitesses, l'arbre de transmission, le pont et les arbres des roues.

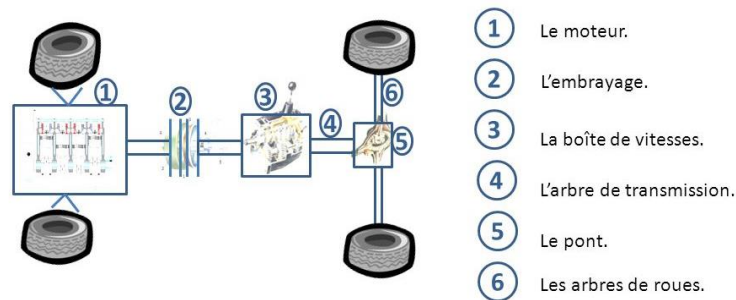


Figure 2: : Chaîne cinématique d'un véhicule industriel type poids lourd

- La cabine, qui est composée de la calandre, la grille radiateur, le pare-chocs, le bouclier et l'espace de pilotage.



Figure 3: Face avant d'un véhicule industriel

Pour produire ses véhicules industriels, l'usine de Blainville sur Orne dans laquelle nous sommes intervenus s'étend sur une surface d'environ 80 hectares, dont 20 hectares de bâtiments environ.

Organisation générale.

L'organisation générale de Renault Trucks Blainville se caractérise par un découpage en 5 centres :

- Centre Tôlerie, Peinture et composants
- Centre Assemblage
- Centre logistique
- Centre Adaptation clients
- Centre Emboutissage (situé à Lyon)

Chaque centre et entité est géré par un Responsable de centre ou d'Unité de Production (UP). Chaque UP est découpée en zones sous la responsabilité d'un Responsable d'Unité Élémentaire de Production (UEP) dont chacune des zones est elle-même découpée en X postes de travail occupé par les opérateurs et gérés par des Responsables d'équipe ou « Team leader ». (Cf. Figure 4)

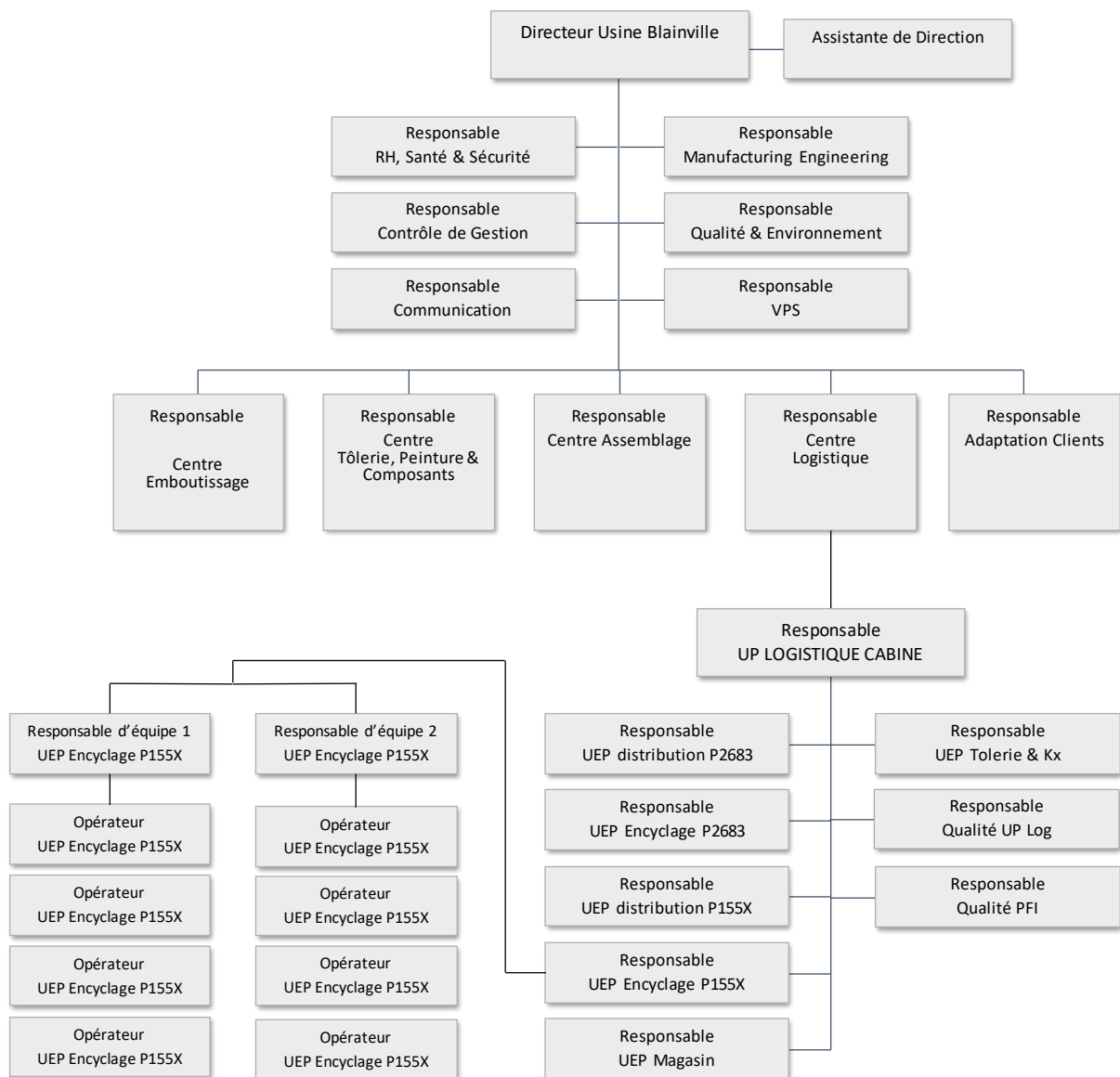


Figure 4: Organigramme; exemple ligne hiérarchique du directeur à un opérateur logistique encyclage

Les outils de l'ergonome chez Renault Trucks – Volvo.

Les ergonomes du groupe Volvo ont élaboré des outils de cotation afin de classer les différents postes de travail. Elles permettent de coter un poste de travail selon 4 critères : l'environnement de travail, les manutentions, l'utilisation d'un véhicule, des équipements utilisés, de l'ambiance et de l'organisation du travail. Chaque critère est quantifié par un nombre points selon si c'est acceptable (couleur verte), acceptable sous condition (couleur jaune) ou bien si c'est un point dur (couleur rouge). En fonction du poste à évaluer et de son domaine d'exécution, plusieurs « checklists » sont utilisées autant par les ergonomes que par les responsables d'UEP et chef d'équipe :

- Logistic Ergonomic Checklist, elle permet l'évaluation d'un poste de logistique (voir annexe B)
- Manufacturing Ergonomic Checklist, elle permet l'évaluation d'un poste d'assemblage ou de préparation de pièces pour du montage (voir annexe B).
- Vehicule Ergonomic Checklist. Elle permet l'évaluation des postes où la conduite d'un engin représente une grande partie de l'activité. Cette checklist est en cours de finalisation avec les ergonomes du groupe.

En plus de ces 3 outils, l'ergonome a spécifiquement un « outil expert » qui lui permet d'analyser plus finement un poste de travail directement à l'aide d'une vidéo du poste à évaluer (cf. annexe C). Cet outil permet l'évaluation de :

- De la charge physique/risque TMS, avec des données de postures, de poids, de sollicitation articulaire,
- De la charge mentale, avec des critères de satisfaction sur le mode opératoire, les niveaux d'attention et de dextérité réels du poste et les informations données à l'opérateur pour faire son travail.
- De la globalité du poste avec des critères concernant la sécurité, l'ambiance, l'organisation et les moyens disponibles au poste.

En fonction de leur fréquence d'apparition par cycle, le poste est classé selon 5 couleurs vert, vert foncé, jaune, rouge et marron. L'outil met également en avant les opérations ou les postures et/ou les efforts qui sont cotées rouge et pour lesquelles une action d'amélioration doit être envisagée.

Ces outils de cotation sont intéressants à plusieurs points de vue. Les checklists simplifiées permettent d'avoir une vision assez bonne de l'ergonomie d'un poste comme elle est ressentie par l'opérateur qui l'occupe, tant au niveau de la charge physique que de l'activité mentale. L'outil expert décortique très finement les mouvements, les postures les modes opératoires et permet de mettre en avant les opérations coûteuses physiquement et mentalement pour l'opérateur. L'outil expert permet ainsi de cibler au plus précis sur quelle(s) opération(s) pour lesquelles des actions doivent être mise en place.

En revanche, ils donnent une image à un instant T du poste évalué et ne montrent pas comment les opérateurs font pour résoudre les aléas, pour fonctionner en mode dégradé. Ces informations s'obtiennent en observant longuement sur le terrain et en analysant des entretiens d'explicitation.

2 ANALYSE STRATEGIQUE DE LA DEMANDE

Afin de bien cerner les enjeux, nous avons instruit la demande avec dans un premier temps des entretiens avec les demandeurs, puis un traitement et une analyse des données populations et santé de l'entreprise.

2.1 Entretiens avec les différents demandeurs.

Directeur GTO Santé Sécurité, Europe et Brésil.

Lors de notre entretien, le directeur nous fait part de l'arrivée des exosquelettes dans plusieurs usines du groupe Volvo de par le monde. L'intégration de ces nouvelles technologies n'ont pas de cadre précis permettant d'avoir une manière commune de faire dans toutes les usines du groupe. Il nous demande alors dans un premier temps de rapporter l'existant que ce soit sur les différentes expérimentations dans le groupe ainsi que sur les différentes technologies concernant les exosquelettes. Dans un second temps, il souhaite que nous élaborions une démarche d'intégration des exosquelettes, une sorte de standard sur lequel tout collaborateur qui souhaite utiliser un exosquelette puisse s'appuyer pour une bonne adéquation entre les futurs utilisateurs, le ou les exosquelettes concernés et le travail qu'ils doivent fournir.

Ergonome site Renault Trucks de Blainville.

L'ergonome du site de notre intervention nous fait part des difficultés physiques sur certains postes de travail et pour lesquels les améliorations sont maintenant difficiles. Il souhaite nous laisser carte blanche pour définir les modalités de sélection des postes dits « durs » ainsi que sur l'élaboration de la démarche d'intégration d'un exosquelette. Il souhaite également procéder à une expérimentation d'un ou plusieurs exosquelettes sur une ou plusieurs parties du site de Blainville sur Orne que nous piloterons.

2.2 Recueil et analyse des données populations de l'entreprise

Afin de réaliser notre analyse des données nous nous sommes rapprochés des services Ressources Humaines de l'entreprise (site de Blainville et siège à Lyon) ainsi que du service santé au travail par l'intermédiaire d'un des deux médecins.

Sur le site Renault Trucks de notre intervention, l'entreprise comptait 2187 personnes au 31 décembre 2018, répartie de la manière suivante : 82% d'hommes pour 18% de femmes. Les Figure 5 et Figure 6 nous montrent que près de 70% des salariés sont âgés entre 30 et 50 ans avec une ancienneté comprise entre 10 et 20 ans.

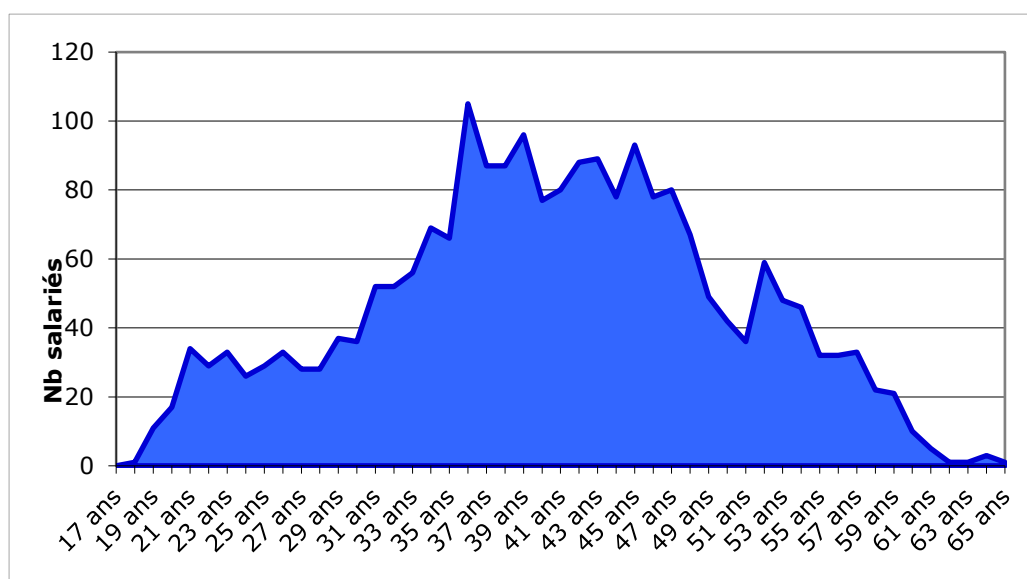


Figure 5: Pyramide des âges globale Renault Trucks Blainville au 31 déc. 2018.

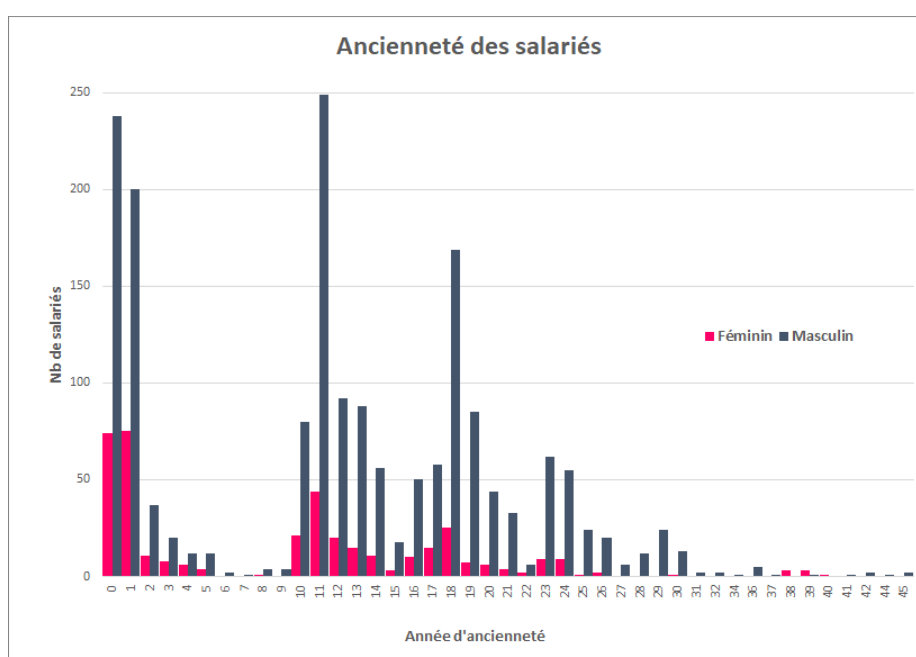


Figure 6: Histogramme du nombre de salariés selon leur année d'ancienneté

Dans 10 ans, et avec les effets du vieillissement et du travail, l'entreprise pourrait se retrouver avec près de 60% de ses salariés entre 40 et 60 ans, présentant une population susceptible de montrer des états de santé fragiles dû aux effets du travail.

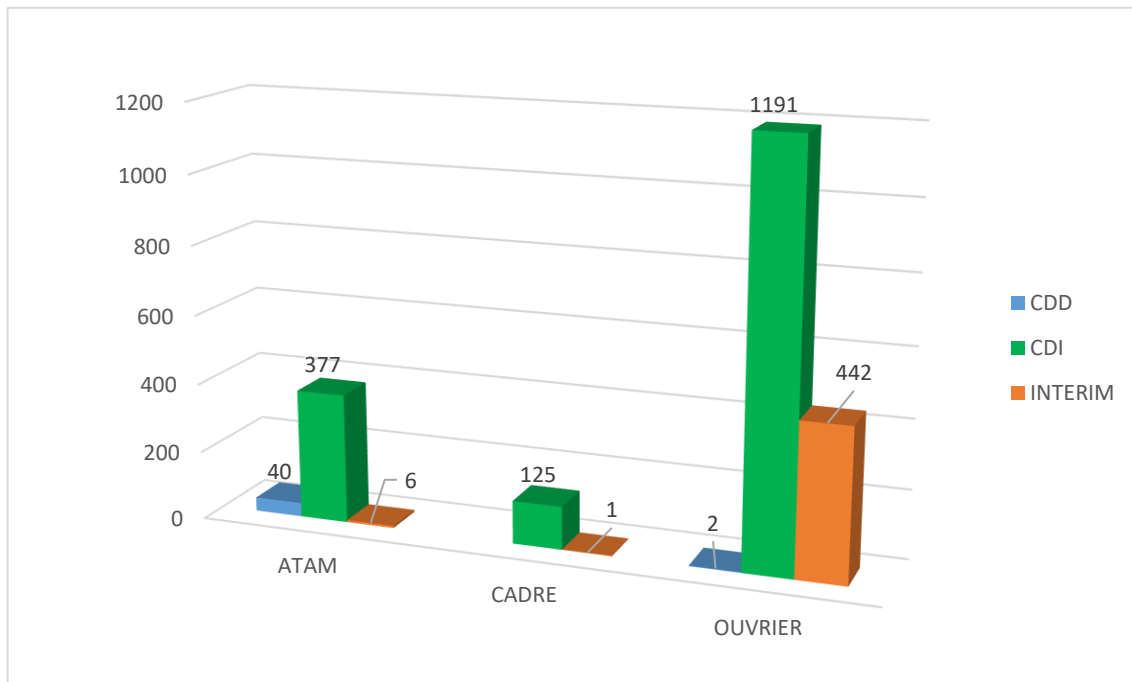


Figure 7: Nombre de salariés selon leur statut et leur contrat au 31 décembre 2018.

La Figure 7 ci-dessus nous indique que le site de Renault Trucks Blainville compte :

- 1635 ouvriers, soit 75% de la totalité des salariés,
- 426 ATAM (Agents Techniques, Administratifs, agent de Maitrise), soit 19%,
- 126 cadres, représentant 6% des salariés de l'entreprise

La catégorie des ouvriers est la catégorie la plus exposée au risque d'apparition des TMS, de par l'intensité de la production, la répétitivité des gestes aux postes, la manutention de charge.

Selon leur ancienneté et les postes occupés, ces salariés pourraient présenter un état de santé fragile qui demande plus de besoins, moins de contraintes physiques. Il s'agit donc de prévenir ses effets actuels pour préserver une population de salariés en bonne santé.

De 2012 à 2018, la Figure 8 suivante nous indique que les maladies professionnelles (MP) déclarées et reconnues les plus importantes sont :

- Les affections péri-articulaires (Tableau 57), représentant 86% de la totalité des maladies professionnelles,
- Les affections lombaires par port de charge (Tableau 98), représentant 5%,
- La surdité (Tableau 42) avec 4%,
- Les atteintes par inhalation d'amiante (Tableau 30) avec 3%,
- Les affections lombaires par vibration (Tableau 97) et les affections respiratoires par le nickel –oxydes/sels (Tableau 30B) représentants 1%.

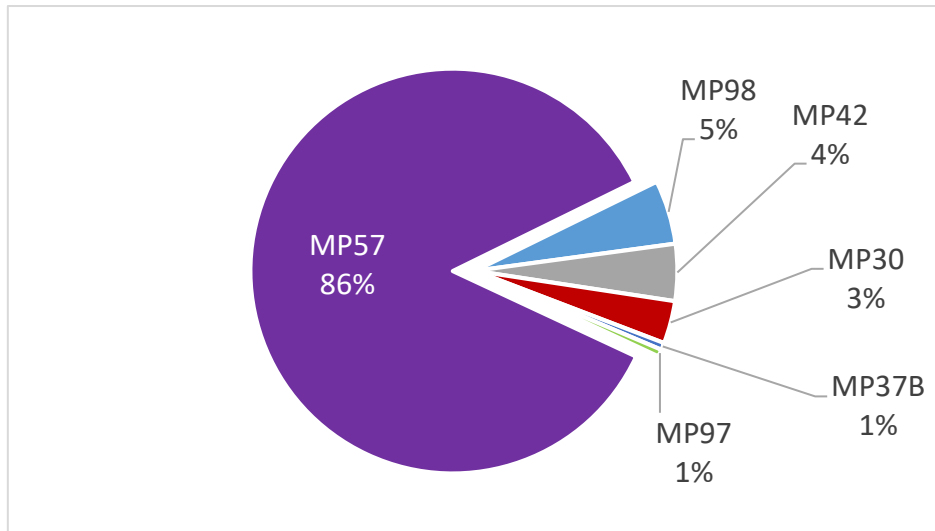


Figure 8: Répartition des maladies professionnelles déclarées et reconnues de 2012 à 2018.

Concernant les accidents du travail avec arrêt (ATAA), le site compte 10 accidents avec arrêt pour l'année 2018. La Figure 9 suivante nous indique une tendance à la baisse non significative depuis 2012.

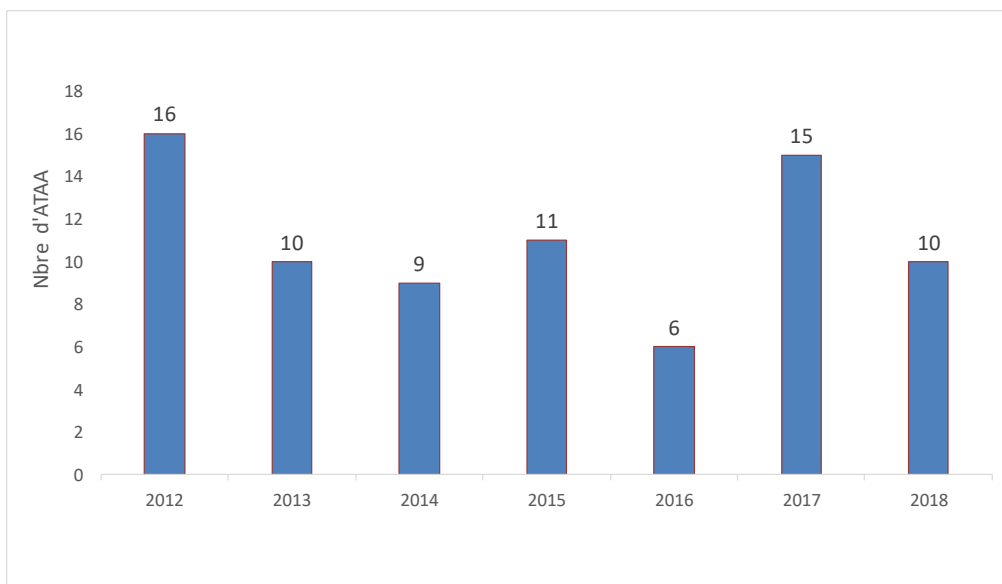


Figure 9: Nombre d'accidents de travail avec arrêts de 2012 à 2018.

En revanche les données qu'il nous a semblé intéressantes à analyser sont les jours perdus selon les ATAA et les MP. En effet ils dépendent directement des absences dont celles pour arrêts de travail suite à une maladie professionnelle ou accident du travail. Pour la période 2012-2018, le site de Renault Trucks Blainville compte 71 % de jours perdus pour maladie professionnelle contre 29% pour les accidents du travail avec arrêts (cf. Figure 10)

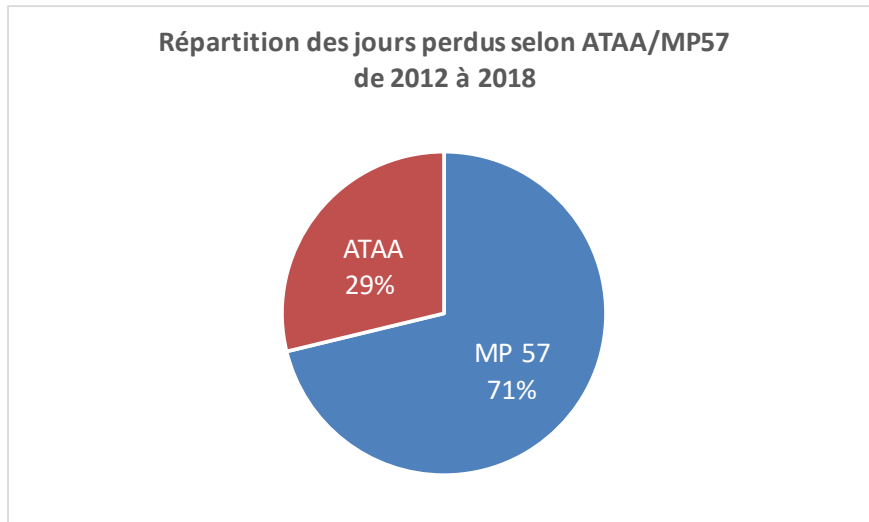


Figure 10: Répartition des jours perdus selon ATAA/MP57 de 2012 à 2018.

Les jours perdus pour absentéisme dû à un accident du travail ou une maladie professionnelle ont un coût qui est complexe car il prend en charge de nombreuses variables telles que le niveau de rémunération, l'accord collectif de l'entreprise, le remplacement ou non de l'absent, etc.

Le cout direct comprend le montant des salaires bruts et des cotisations sociales correspondant à la période d'absence du salarié concerné et aussi l'absence de contribution à la valeur ajoutée de ce salarié pendant sa période d'absence.

Les coûts indirects vont également augmenter le coût de l'absentéisme pour maladie professionnelle ou accident du travail car il faut prévoir le coût du remplacement, le coût de gestion, les coûts liés au dysfonctionnements organisationnels, les coûts sociaux voir les coûts d'improductivité.

Au regard des maladies professionnelles qui concernent pour une large part les affections périarticulaires des membres supérieurs du tableau 57 (l'épaule, le coude et le poignet), nous avons analysé les données sur 10 ans concernant leur nombre et leur coût à l'entreprise.

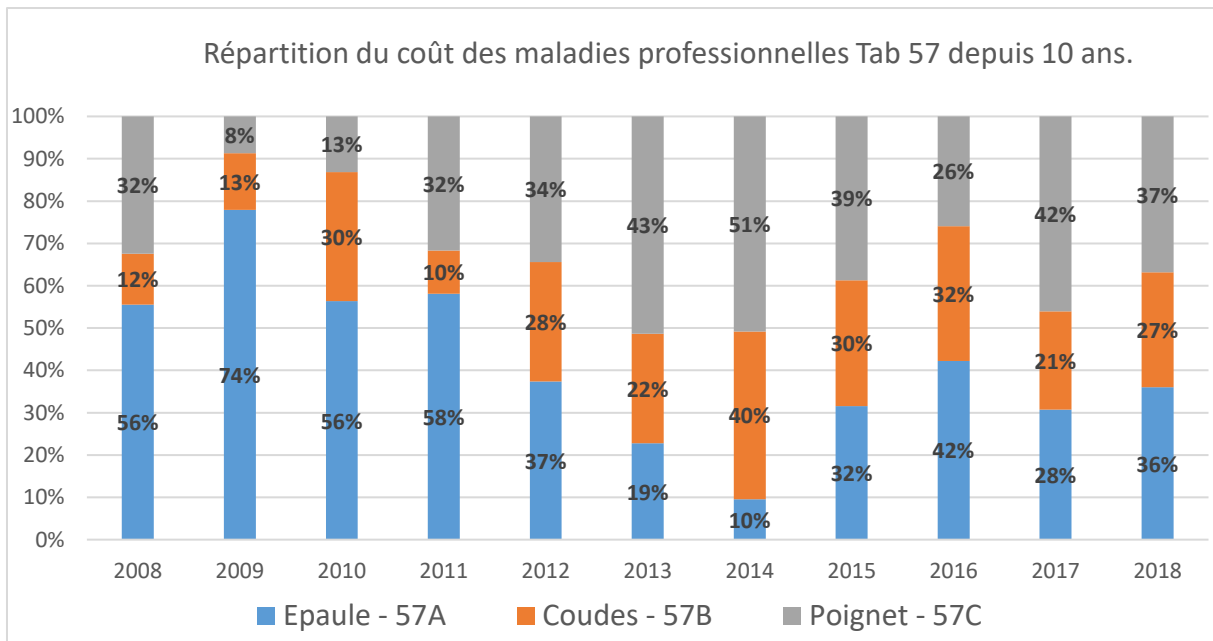


Figure 11: Répartition du coût des maladies professionnelles Tableau 57 de 2008 à 2018

Pour le site de Blainville la Figure 11 ci-dessus nous montre sur 10 ans que le coût des MP concernant les différentes parties des membres supérieurs est variable. On peut voir que de 2008 à 2012, une MP 57A-Epaule représente la part la plus importante en terme de coût avec une moyenne de 56%. De 2013 à 2015, ce sont les MP du poignet qui sont les plus importantes. En 2018, les proportions entre une MP de l'épaule, du coude ou du poignet s'approche d'une répartition équilibrée avec respectivement 36%, 27% et 37% du coût des maladies professionnelles imputées à l'employeur. Sur 10 ans, ce sont les MP de l'épaule qui coûtent le plus à l'entreprise avec une proportion de 41%, suivent les MP du poignet avec 33% puis les MP du coude avec 24% (cf. Figure 12).

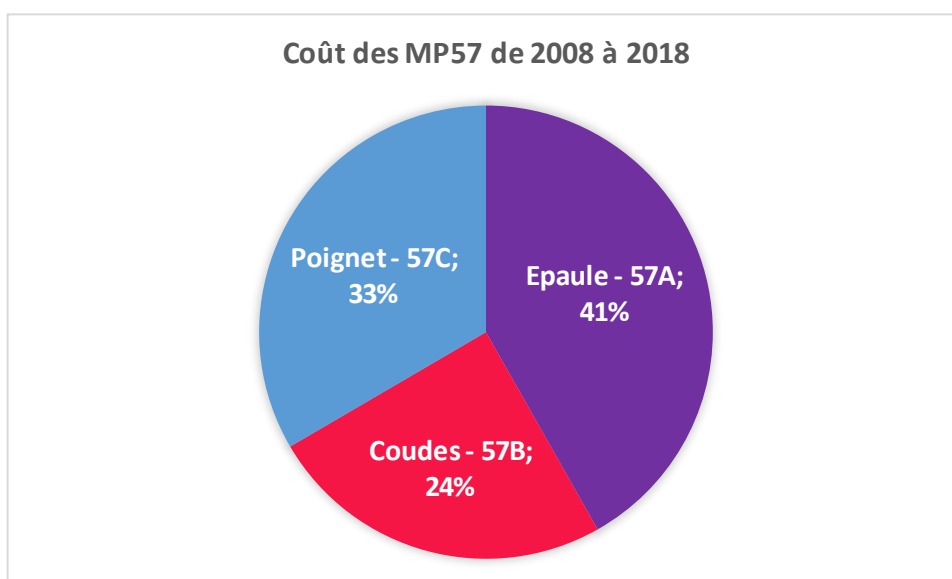


Figure 12: Répartition du coût des MP57 de 2008 à 2018.

Nous pensons que l'articulation de l'épaule semble être une partie du membre supérieur la plus touchée au regard des données traitées. De plus les maladies professionnelles qui touchent l'épaule sont celles qui coûtent le plus à une entreprise. Pour notre intervention, nous avons calculé que depuis 10 ans, une MP de l'épaule coûte à l'entreprise 20,000 € /an en moyenne, alors qu'une MP du coude et du poignet coûte entre 10,000 et 13,000 € /an en moyenne. (cf. Tableau 1)

Maladies Professionnelles Tableau 57- de 2008 à 2018	Proportion	Coût moyen
Epaule – Tab 57A	41 %	20.000 €
Coude – Tab 57B	24 %	10.000 €
Poignet – Tab 57C	33 %	13.000 €

Tableau 1: Proportion des Maladies Professionnelles (Tab.57) et leur coût moyen de 2008 à 2018.

Avec l'analyse des données de santé et de sécurité de l'entreprise, nous venons de mettre en évidence que les TMS sont une part importante des maladies professionnelles et de plus être un coût conséquent pour Renault Trucks. Elles représentent près de 90% de toutes les MP de l'entreprise ; plus précisément les affections de l'épaule représentent la part la plus grande sur les 10 dernières années avec 41%.

2.3 Exosquelettes et revue de la littérature

Apparus dans les années soixante par l'invention de E. KULTSAR aboutissant à un premier brevet, les exosquelettes se sont particulièrement développés dans les années 2000 avec le lancement de plusieurs programmes militaires américains de recherche. En 2013, l'armée américaine réussit à développer une tenue légère d'assaut qui fournit au soldat qui la porte une force surhumaine et une meilleure protection balistique. En 2016, une nouvelle orientation est donnée à ces programmes avec la volonté de réduire l'emport du soldat et donc d'améliorer sa résistance pour faire face aux éléments. On peut voir ici que le développement de l'exosquelette évolue vers l'idée d'assister, d'aider l'humain plutôt que de l'augmenter.

Cette notion est d'ailleurs beaucoup plus empruntée par le milieu médical qui voit aussi en ces dispositifs exosquelettes un moyen de rééducation des personnes touchés par divers handicaps moteurs. Depuis 2015, des exosquelettes sont utilisés pour la rééducation de patients paraplégiques (Viteckova et al.,2013). Ils leur permettent de se mettre en position debout et de se mouvoir à nouveau, sur de courtes périodes. Au-delà de l'intérêt physiologique et des problèmes liés à la paralysie, l'avantage est aussi psychologique. L'exosquelette offre alors à des personnes privées de mobilité le moyen de retrouver une vie normale, ou de s'en rapprocher. La station debout, le mouvement, sont des dimensions essentielles pour mener une vie sociale. Ce n'est donc plus la performance qui est en ligne de mire, mais la mobilité, l'autonomie, et

avec elles une certaine dignité. Avec l'usage des exosquelettes en milieu médical, la notion d'assistance de l'être humain handicapé ouvre de nouvelles perspectives de rééducation, d'un réapprentissage de la marche plus rapide, et donc d'une qualité de soins améliorée dans le but de répondre aux besoins de ces patients paraplégiques.

Après ce court historique de l'apparition des exosquelettes, définissons plus précisément ce que sont ces nouveaux équipements.

Selon l'Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS), un exosquelette est « un système mécanique ou textile revêtu par le salarié et visant à lui apporter une assistance physique dans l'exécution d'une tâche, par une compensation de ses efforts et/ou une augmentation de ses capacités motrices (augmentation de la force, assistance des mouvements, etc.). »

Pour le milieu industriel (De Looze et al., 2016), plusieurs sociétés ont créé et développé des exosquelettes. Ils apportent une assistance à l'opérateur à la flexion du tronc vers l'avant pour prévenir les lésions du dos, une assistance des membres supérieurs pour supporter le maintien postural des bras lors d'un travail au-dessus de la tête ou encore une assistance aux membres inférieurs pour diminuer la fatigue, par exemple lors de postures contraignantes sollicitant fortement les genoux ou le dos. Nous pouvons ici voir que les concepteurs de ces dispositifs cherchent à concevoir des outils pour une aide spécifique aux besoins des opérateurs qui les porteraient dans un but de prévention des risques inhérents à leur activité.

On distingue deux catégories d'exosquelette : les exosquelettes actifs et les exosquelettes passifs.

Les exosquelettes actifs ont besoin d'énergie, telle une batterie, qui permet d'actionner des moteurs qui assistent alors l'opérateur, voir augmentant ses capacités de forces et de maintien. (cf. Photo 1). Actuellement en plein développement pour convenir aux enjeux de l'industrie, ces exosquelettes actifs demandent encore recherche et développement pour répondre aux besoins d'autonomie des opérateurs qui le portent.



Photo 1: Exemple d'exosquelette actif port de charge/support dos.

A contrario, la majorité des exosquelettes disponibles sur le marché sont passifs (cf. Photo 2). Le dispositif n'a pas besoin de source d'énergie pour fonctionner. Ce sont des harnais équipés de mécanismes de récupération et de restitution d'énergie mécanique (par exemple des ressorts ou des élastiques) qui respectent les limites kinesthésiques liées aux gestes à accomplir ou à la position à adopter.



Photo 2: Exemple d'exosquelette passif pour les membres supérieurs

Depuis les débuts des exosquelettes dans les milieux professionnels et plus particulièrement dans l'industrie, des études ont démontré les effets bénéfiques sur les personnes qui les utilisent mais aussi leurs limites.

Plusieurs études portant sur l'exosquelette de dos (Abdoli et Stevenson, 2008 ; Bosch et al., 2016, De Looze et al., 2016 ; Huysamen et al., 2018) ont démontré une diminution de l'activité musculaire du dos entre 15 et 40% lors de tâches de manutention manuelles, une augmentation de l'endurance lors de tâches statiques ainsi qu'une réduction de l'effort perçu. De même, pour l'exosquelette des membres supérieurs, les travaux de Rashedi et al. (2014), Sylla et al. (2014), Spada et al. (2017) ainsi que ceux de Huysamen et al. (2018), ont mis en évidence une augmentation du maintien posturale de 31%, de la précision de 33% et dans le même temps une forte diminution de l'activité musculaire de l'épaule (pour les muscles deltoïde et biceps, respectivement 62% et 49%) lors de travaux au-dessus de la tête. De plus, ils ont rapporté également une réduction de l'effort physique perçu ainsi que des jugements positifs à l'utilisation de l'exosquelette membres supérieurs.

D'un point de vue cardiaque, il semblerait que le coût cardiaque soit diminué par l'assistance donnée avec le port de l'exosquelette. En effet, l'étude de Moyon (2018) rapportant un cas d'usage de ponçage de coques de bateau, a montré que le port d'un exosquelette des membres supérieurs a diminué de manière significative le coût cardiaque. Le profil cardiaque des opérateurs était moins lourd avec l'exosquelette pour une même tâche. Elle précise également que la fatigue perçue est réduite pour la réalisation de la tâche et que pour 75% des opérateurs interrogés, ils se sentent plus concentré sur elle et moins sur leur pénibilité physique.

En revanche d'autres travaux ont aussi montré des effets délétères lors de l'utilisation d'un exosquelette. Les travaux de Theurel et al., 2018 et Rashedi et al., 2014, ont rapporté une augmentation de l'activité des muscles érecteurs spinaux et triceps brachial lors de tâche de soulèvement/abaissement de charges avec un exosquelette membres supérieurs. Les études de Herbert et al., 2002, et de Bey et al., 2007, ont montré que dans plus de 70% des cas de tendinopathie de l'épaule, la cause est la compression du muscle supra-épineux entre la tête humérale et l'arc coraco-acromial. Autrement dit c'est plus le fait de la position du bras élevé au-dessus de l'épaule que la répétitivité de ce mouvement qui occasionne les affections de l'épaule. L'assistance d'un exosquelette ne fait que soulager l'effort musculaire nécessaire au mouvement, alors qu'il faudrait éviter de travailler les bras au-dessus des épaules : la seule réduction des tensions musculaires de l'épaule ne suffit pas à démontrer que les tendons seraient préservés par l'usage d'un exosquelette. L'usage des exosquelettes membres supérieurs modifierait les synergies d'actions des muscles agonistes et antagonistes et altérerait le comportement fonctionnel de l'articulation de l'épaule.

Concernant l'exosquelette du dos, des études comme celles de Baltrusch et al. (2018), et Picchiotti et al. (2019) ont évalué les effets de ce type d'exosquelette sur des opérateurs. Ils démontrent que les bénéfices envisagés sur la pression intervertébrale et l'activité musculaire de la colonne vertébrale n'est pas significative avec ce type d'outil.

L'INRS travaille également sur le sujet des exosquelettes en milieu industriel. Institut national de recherche publiant régulièrement des travaux, guides, et articles sur la sécurité des individus au travail, il indique que les exosquelettes sont de nouveaux outils d'assistance pour lesquels l'encadrement et le suivi sont indispensables pour leur intégration au sein du milieu professionnel. Il explique qu'au travers les études scientifiques de laboratoire et de terrain récentes, les connaissances actuelles ne permettent pas d'avoir un recul suffisant sur les effets d'une utilisation d'exosquelette sur du long terme.

L'INRS a montré la possible existence de multiples risques inhérents à l'usage de l'exosquelette (cf. Annexe D) et pour lesquels la prise en compte est indispensable pour la sécurité des opérateurs :

- L'inconfort et l'irritation de la peau, dû aux frottements et pressions répétés,
- Une augmentation du stress lors d'activités où l'attention est déjà accrue,
- Les risques de collisions avec autrui et/ou l'environnement par leur encombrement,
- Le déséquilibre dû à la modification de la perception des efforts et à l'entrave de certains gestes,
- L'apparition de nouvelles contraintes biomécaniques dû à la nouvelle répartition des efforts,
- Une augmentation des sollicitations cardiaques, de par le poids de l'exosquelette et la gêne associée à la réalisation de certains gestes.

Il préconise alors un temps limite d'utilisation d'un exosquelette fixé à deux heures après lequel il n'existe pas encore assez de connaissances sur les effets directs sur l'opérateur, mais également sur les changements d'organisations et les perturbations que cela peut créer.

Afin d'aider au mieux les entreprises à l'intégration d'un exosquelette, l'INRS et plusieurs entreprises de grands groupes se sont constituées en un groupe de travail piloté par l'AFNOR. Ce groupe et l'INRS ont ainsi fait paraître plusieurs guides dont nous nous sommes largement inspirés pour l'élaboration de la démarche d'intégration d'un exosquelette pour le groupe Volvo. Nous avons donc travaillé à l'élaboration de ce guide exosquelette dès janvier 2019 pour l'éprouver lors des tests exosquelettes sur le site de Renault Trucks Blainville.

Les différents travaux et études cités précédemment concourent en faveur de l'intérêt de cette nouvelle technologie pour la préservation des opérateurs lors de tâches au-dessus de la tête et de manutention manuelle. Mais il reste encore à connaître les effets à long terme sur les opérateurs car beaucoup d'études ont été réalisées en laboratoire, sans les contraintes et les exigences de production d'une entreprise.

Les exosquelettes permettraient d'agir sur la diminution des astreintes liées aux exigences de travail. Nous savons que l'apparition des TMS est plurifactorielles. Les facteurs de risques sont :

- Les sensibilités individuelles (sexe, âge, état de santé, etc.)
- Les facteurs psychosociaux (insatisfaction au travail, stress, perception négative du travail, management, etc)
- Les facteurs biomécaniques (Efforts, répétitivité des gestes, posture et maintien de posture)

C'est sur ce dernier facteur que les exosquelettes seraient une réponse aux efforts, postures et gestes répétitifs engendrée par les situations de travail.

Mais en quoi permettront-ils de contribuer à aider les opérateurs dans leurs activités ? Pour répondre à cette question, Nous avons tenté de rapprocher les exosquelettes des aides à la conduite et à la navigation pour tenter de répondre à cette question.

Dans l'article de Malaterre et Saad (1986), l'aide à la conduite est définie comme un dispositif qui assiste le conducteur lorsqu'il réalise l'activité de conduite en prenant en charge totalement ou partiellement une sous-tâche de la conduite, voire même parfois en doublant certaines fonctions. L'aide à la conduite permet de mieux atteindre, ou dans de meilleures conditions, ou de manières plus fiables, le résultat souhaité. Ils définissent l'aide de la manière suivante : « aider est lorsqu'on prend en charge une partie de son travail (sous-tâche) ou lorsque l'on en réalise une partie avec lui, mais tout en lui laissant le contrôle des opérations. »

Dans une autre étude sur l'aide à la navigation en activité de conduite (Forzy, 1999), il a été montré que l'usage des aides à la navigation n'améliore pas la performance de la navigation elle-même mais plutôt la qualité de la conduite. L'apport d'une aide à la navigation pour en améliorer ses performances a plutôt augmenté la qualité de l'activité de base : la conduite. D'autre part, King et Lunenfeld (1971) précisent même que le concept d'aide inclut tous les moyens physiques pour lesquels la réception et le traitement de l'information par les conducteurs sont assistés.

Si nous transposons ces réflexions à l'objet de cette revue de littérature, l'aide à l'opérateur représente tous les moyens qui lui permettent d'agir en fonction pour traiter au mieux les informations et les modes opératoires nécessaires à son activité. L'aide au travail est donc

quelque chose qui guide la performance de l'individu dans son travail de façon à le rendre capable de faire une chose qu'il n'était pas capable de faire auparavant (Wulff et Berry, 1966), ou sinon plus facilement, plus efficacement et de manière plus fiable. On pourrait alors supposer qu'une aide à l'activité physique générée par une situation de travail n'améliorerait pas forcément la performance de l'opérateur mais plutôt la qualité de son activité. L'aide apportée par un exosquelette permettrait à l'activité de mieux se réaliser, plus facilement ; l'opérateur préserverait lui-même sa santé avec l'usage d'un exosquelette et ainsi serait capable d'agir de manière plus efficace et plus efficiente. (Bobillier et Clot, 2016).

2.4 Les différents cas d'expérimentations au sein du groupe Volvo.

2.4.1 Exosquelette du dos - Renault Trucks à Vénissieux

En 2016, des collaborateurs Renault Trucks basés à l'usine moteur de Lyon cherchent à améliorer l'ergonomie des postes de production. Ils relèvent alors plusieurs nouvelles technologies telles que les cobots et les exosquelettes. Ils commencent à prospecter sur les différents salons de santé sécurité. Ils répertorient plusieurs types d'exosquelettes (passif et actifs) et décident de procéder à des essais de 1 jour durant de l'année 2016. Ils se rendent rapidement compte que les exosquelettes actifs sont lourds, peu flexibles et renvoient une image d'homme-robot qui pourrait rebuter les équipes et les opérateurs testeurs. Ils décident rapidement d'arrêter de prospecter dans cette direction.

En revanche ils essaient plusieurs exosquelettes passifs dont celui pour le dos, le LAEVO (cf. Photo 3), qui apporte un soutien au niveau du sternum lors de la flexion du buste vers l'avant de l'opérateur, diminuant l'activité musculaire des lombaires.

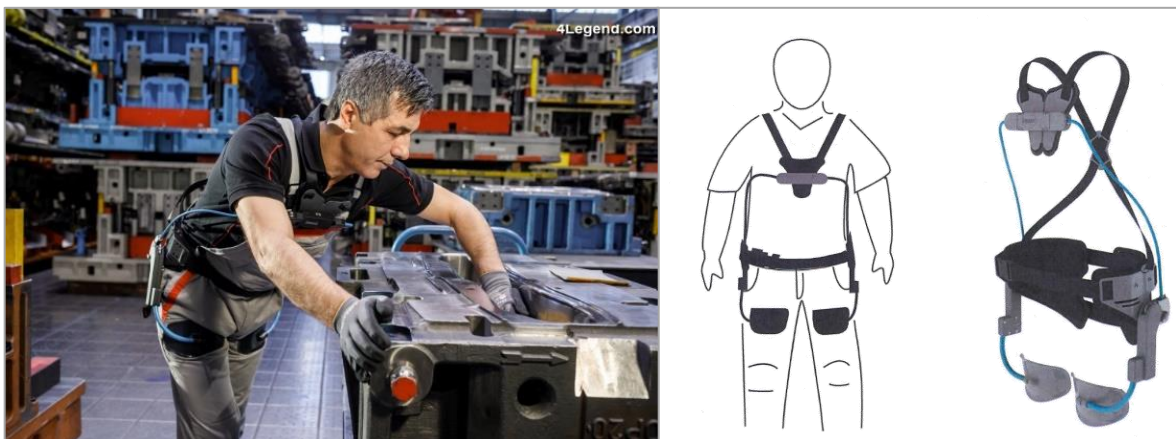


Photo 3: Exosquelette Laevo (dos).

Piloté par un chef de projet, la démarche est participative avec un groupe projet composé d'opérateurs, de responsables de ligne, responsables projet, de médecins du travail, de représentant du CHSCT et du responsable technologique du fournisseur de l'exosquelette.

Ils décident de programmer une session de tests sur une plus longue période de 4 semaines durant l'année 2017. Ces tests s'avèrent peu concluants malgré l'apport indéniable au niveau de la région lombaire. Testé durant l'été 2017, l'exosquelette apporte de l'inconfort avec une forte augmentation de chaleur au niveau des parties en contact avec l'opérateur (essentiellement la poitrine et les hanches). Et malgré sa légèreté, les opérateurs ont besoin d'ajuster l'exosquelette et leur position régulièrement ce qui les ralentissent dans l'exécution de leurs différentes tâches. Ils indiquent également aux fournisseurs des modifications à faire sur l'exosquelette pour améliorer « l'ergonomie », concernant les bretelles d'épaules et les spatules qui prennent appui sur les membres inférieurs.

De plus, la qualité des matériaux qui composait l'exosquelette n'était pas satisfaisante et leur à occasionné des renvois au fournisseur. Ils ont alors abandonné l'usage de cet exosquelette.

Résultats à retenir :

- La chaleur est un élément déterminant pour le port ou non de cet exosquelette
- Les opérateurs rapportent rapidement le gain au niveau de la région lombaire
- La qualité des matériaux de l'exosquelette doit résister à l'environnement du milieu industriel.
- Un exosquelette pas encore assez développé en 2017 pour répondre aux exigences du milieu industriel
- La démarche participative

2.4.2 Exosquelette membres supérieurs – Renault Trucks à Lyon.

En septembre 2018, un autre collaborateur fait appel à un autre fournisseur d'exosquelette, GOBIO, et achète après un court essai un exosquelette pour les membres supérieurs. Le poste concerné est un poste physiquement pénible de nettoyage des matrices de presse qui servent à l'emboutissage de pièces de métal. La situation de travail fait que les opérateurs doivent se placer sous la matrice supérieure pour nettoyer l'intérieur des trous de la matrice qui sont d'une profondeur variable selon les matrices. (cf. Photo 4)

Fonctionnant en 3x8, cette situation de travail intervient 1 à 2 heures par jour. Il y a donc un opérateur par équipe de travail chargé de ce nettoyage. En échangeant avec le chef d'équipe qui a participé au test, il m'indique qu'aujourd'hui, après 1 mois d'utilisation seulement, l'exosquelette n'est plus utilisé par les opérateurs. Il nous explique les raisons :

- La morphologie des opérateurs était trop différente : une jeune femme moins d'1m60 et très fine, un homme de taille moyenne (1m75) et un homme très grand (2m02) et d'une morphologie imposante. Les opérateurs devaient donc tous les jours prendre du temps pour régler l'exosquelette à leur morphologie avant de l'utiliser.
- Certains opérateurs s'étaient plaints de frottements cutanés au niveau de l'omoplate.
- La formation à l'utilisation de l'exosquelette avait été trop courte à son avis, ne permettant pas aux opérateurs d'être suffisamment autonome.

Il est à retenir de cet échange que les exosquelettes ne sont pas pour toutes les morphologies et que la formation de l'opérateur pour qu'il devienne autonome avec l'exosquelette est capitale dans l'optique d'une utilisation sur du long terme.



Photo 4: Opérateur avec exosquelette M. Sup. - Nettoyage des matrices de presse.

2.4.3 Les exosquelettes du dos et membres supérieurs à Volvo Curitiba – Brésil.

Afin d'améliorer l'ergonomie de leurs postes de production (chaîne de montage et logistique), des collaborateurs de Volvo Curitiba prennent contact avec un fournisseur d'exosquelettes (SuitX). Ils leur envoient des photos de leurs postes de travail dont l'activité physique est une problématique sans solutions, si ce n'est une solution excessivement coûteuse. A la suite de cet envoi, le fournisseur leur suggère 2 modèles d'exosquelettes : celui pour le dos, modèle BackX et celui pour les membres supérieurs, modèle ShoulderX. (cf. Photo 5)

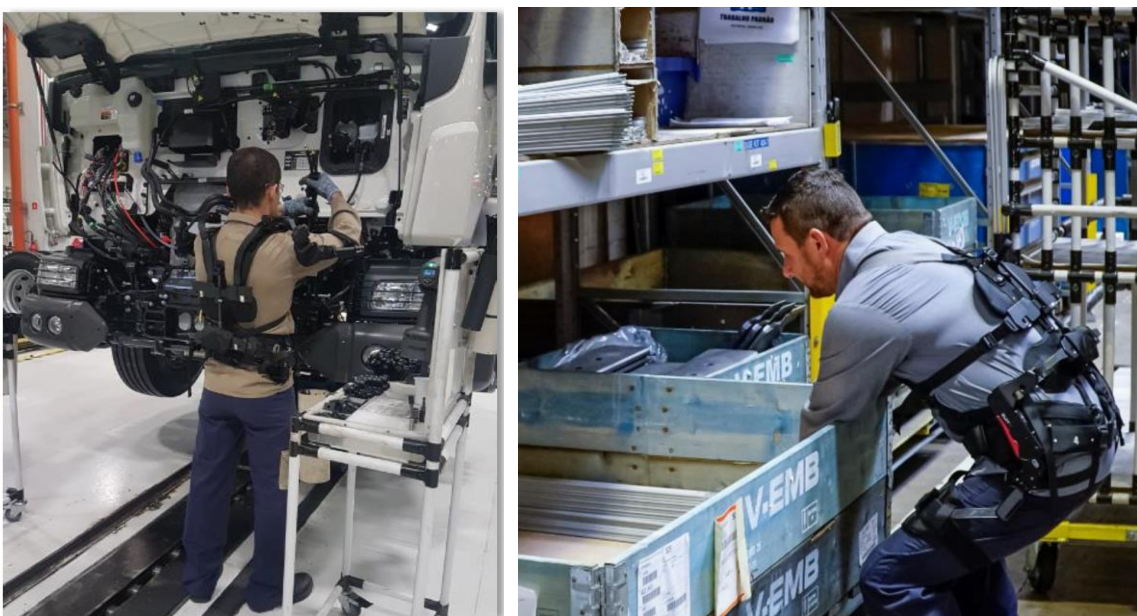


Photo 5: Exosquelettes SuitX. A gauche ShoulderX (Epaules), à droite BackX (Dos).

Le chef de projet constitue également un groupe de travail composé d'opérateurs, du médecin, d'un ergonome et d'ingénieurs process. Ils orientent le choix des postes de travail pour tester les exosquelettes en fonction des difficultés des opérateurs, de la quantité de pièces lourdes à manipuler et le temps de travail les bras au-dessus des épaules. Ils choisissent de tester les exosquelettes sur plusieurs postes : poste de démontage VEMB des palettes, en première partie de garnissage de l'intérieur des cabines, à la connexion des durites en façade de cabine, au poste logistique de constitution des kits d'assemblage, à la pose de mastic de la cabine, au poste de soudure d'intérieur des cabines.

Un protocole de tests est mis en place pendant l'été 2018, avec un questionnaire qui mesure la fatigue des opérateurs, avec des questions sur l'épuisement, la concentration, la fatigue oculaire, les douleurs musculaires sur différentes parties du corps. Le protocole se déroule de la manière suivante :

- Etape 1 : Passation du questionnaire pendant 2 jours de travail sans l'utilisation de l'exosquelette (remplis 3 fois par jour)
- Etape 2 : 3 semaines de tests de l'exosquelette durant lesquelles les testeurs remplissent le questionnaire 3 fois par jour (en début de poste, 30 min après la pause déjeuner et 1 heure avant la fin de poste) avec des échanges journaliers avec les opérateurs-testeurs
- Etape 3 : Après les 3 semaines de tests, les opérateurs-testeurs relatent leurs expériences avec le ou les exosquelettes utilisés.

Le groupe de travail conclut sur 3 critères résumés dans le Tableau 2 ci-dessous.



	 BACK X – MODEL AC	 SHOULDER X
Precondition	<ul style="list-style-type: none"> • Activities with trunk flexion or trunk sustenance; • The worker needs to have a strenght muscle. If the worker have a flaccid muscle, he/she fatigue that in one or two days and the adaptation is very slow; • No walk long distances. 	<ul style="list-style-type: none"> • Activities with shoulder flexion at 90°; • The worker needs to have a strenght muscle. If the worker have a flaccid muscle, he/she fatigue that in one or two days and the adaptation is very slow; • More than 50% of the takt time with arms above the shoulders.
Benefit ☺	<ul style="list-style-type: none"> • Very good for trunk sustenance and lift heavy load; • Keep a good posture all the time; • Improving of lumbar pain; • Good for workstation that the operator have more than 50% of the takt time with flexion trunk or lifting heavy loads. 	<ul style="list-style-type: none"> • Very good for sustaining the arms above the shoulders; • Keep a good posture all the time; • Good for workstation that the operator have more than 50% of the takt time with arms above the shoulders.
Bad points ☹	<ul style="list-style-type: none"> • Is not good when you change the posture frequently; • Heavy weight perception on shoulders in the end of the day 	<ul style="list-style-type: none"> • Is not good when you change the posture frequently; • Is not good for works inside the cabs (lack of space); • Heavy weight perception in the end of the day

Tableau 2: Résultats des tests de 2 exosquelettes effectués à Volvo Curitiba - Brésil

A l'heure où nous écrivons ces lignes, 2 opérateurs utilisent aujourd'hui un exosquelette : au poste de démontage des VEMB sur palette avec l'exosquelette de dos et au poste logistique de constitution des kits d'assemblage des réservoirs de gasoil avec l'exosquelette pour les épaules. Après entretien avec l'ergonome, les exosquelettes ont été testés dans l'usine de Curitiba en fonction des opérateurs volontaires qui manifestaient des difficultés à leurs postes.

Résultats à retenir :

- Après 3 semaines de tests, l'exosquelette du dos soulage les douleurs lombaires,
- L'environnement dans lequel il est utilisé est à considérer (pas de longue distance de marche, pas à l'intérieur des cabines).
- Le port de l'exosquelette permet de garder une bonne posture. (Peut-il alors être considéré comme une contrainte par les opérateurs ?)
- Le port de l'exosquelette est favorable lorsque ce pour quoi il est sensé aider (flexion vers l'avant pour du buste ; épaule au-dessus de 90°) dépasse 50% du temps. A l'entretien, le collaborateur nous explique que sinon l'exosquelette devient gênant pour effectuer les tâches annexes du poste.
- Le port de l'exosquelette est bien si l'opérateur ne change pas de posture fréquemment,
- Les opérateurs ressentent un poids, une fatigue à la fin de la journée. Le poids de l'exosquelette serait un critère non-négligeable pour les opérateurs après leur journée de travail.
- Seulement 2 opérateurs utilisent l'exosquelette à leurs postes de travail respectifs, alors que 6 postes avaient été sélectionné pour l'éventuelle utilisation d'un exosquelette.

2.4.4 Exosquelettes du dos et des épaules à Volvo Gant – Belgique.

Suite aux essais réalisés à Curitiba au Brésil, l'ergonome du site Volvo de Gant en Belgique souhaite également améliorer les conditions de travail des opérateurs sur des postes pénibles physiquement. Début 2019, il prend alors contact avec le même fournisseur d'exosquelettes, SuitX. Il organise dans un premier temps des sessions d'informations sur les exosquelettes des équipes de management avec l'aide du fournisseur puis des démonstrations au sein de l'usine. Il sélectionne ensuite des postes pénibles tout en appelant les opérateurs volontaires à se manifester pour tester les exosquelettes sur les postes considérés. S'en suit une période de tests de 2 à 3 semaines avec les outils du fournisseur d'exosquelettes. Les postes concernés sont :

- Le poste de dépollution et pliage des emballages vides (VEMB) avec l'exosquelette du dos. L'opérateur doit faire beaucoup de manutention manuelle de pièces difficile à pendre et à manipuler.
- Le poste de montage de pare-soleil et barre de toit sur le toit de la cabine, tout en haut avec l'exosquelette pour les épaules. Le travail que doit réaliser l'opérateur se trouve au-dessus de ses épaules, présentant une posture très sollicitant pour les épaules.

Les questions que se pose l'équipe projet, composée du chef d'équipe, du manager, des opérateurs testeurs, du département médical et de l'ergonome, concernent l'efficacité et l'utilité de l'exosquelette en situation et également l'adaptation à la morphologie des opérateurs. Ils utilisent les questionnaires SuitX qui permet de noter la fatigue ressentie sur différentes parties du corps à l'instar des échelles de Borg ou de Lickert. (cf. Figure 13).

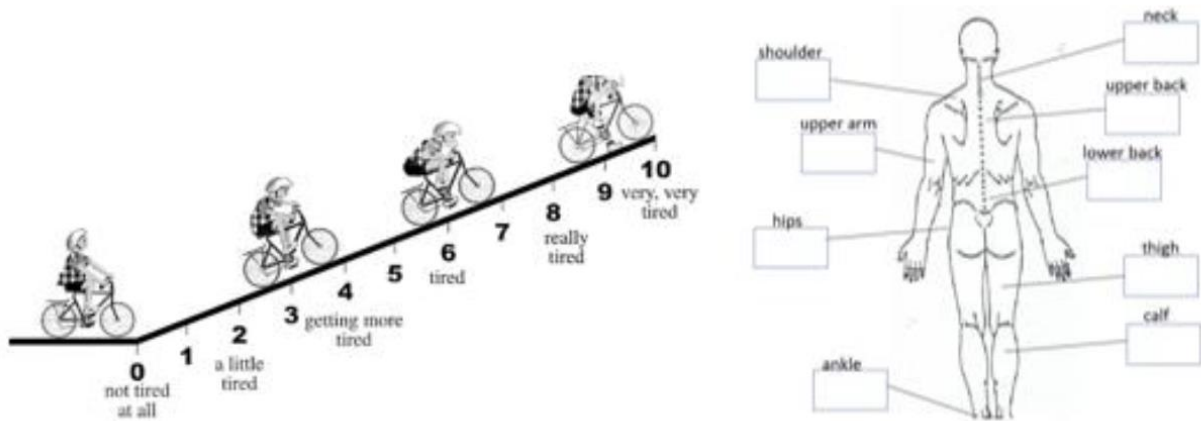


Figure 13: Echelle de fatigue selon les parties du corps.

D'après l'ergonome, les résultats obtenus par les 2 opérateurs testeurs (24 et 28 ans) sont plutôt satisfaisant après 2 semaines de tests.

Concernant l'exosquelette du dos (cf. Photo 6), l'opérateur a indiqué une diminution de la fatigue physique passant de 8/10 sans exosquelette à 2/10 avec exosquelette, au bout de la première semaine de test. En revanche la deuxième semaine présente un pic de fatigue important (6/10 pour le dos, 7/10 pour les membres inférieurs) dès le 2^{ème} jour avec un temps de port sur toute sa journée de travail. Nous notons également une montée progressive des heures de port de l'exosquelette qui semble accentuer la fatigue physique sur les autres parties du corps telles que les épaules et les membres inférieurs.

La synthèse des résultats est :

- Bon support pour le dos,
- Exosquelette ajustable à la morphologie
- Difficulté pour marcher avec l'exosquelette
- Chaleur supplémentaire engendré par le port de l'exosquelette

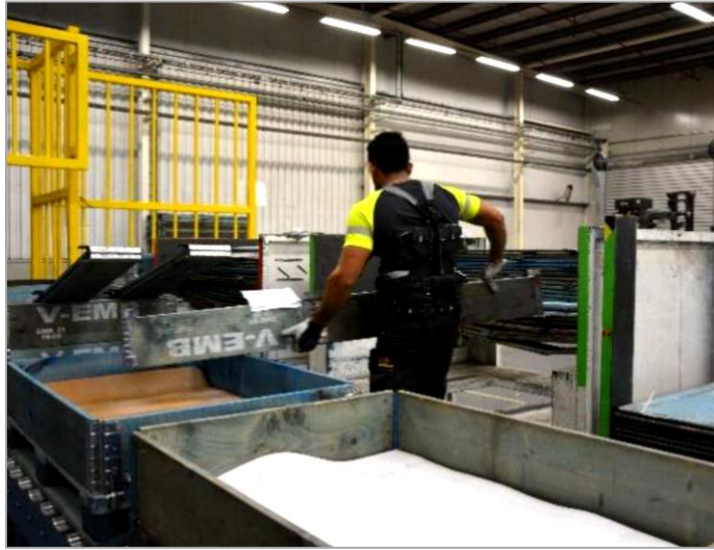


Photo 6 : Opérateur sur poste Dépollution d'emballage VEMB vide.

Concernant l'exosquelette des épaules (cf. Photo 7: Opérateur au poste de montage de pare-soleil et barre de toit), l'opérateur a indiqué des scores de fatigue des membres supérieurs de 10/10 sans exosquelette, atteignant une moyenne de 3/10 avec exosquelette. On constate rapidement dès la 1^{ère} semaine un pic de fatigue physique ressentie au niveau du bas du dos et du cou. De façon globale, nous remarquons une augmentation de la fatigue physique qui serait corrélée à l'augmentation du temps de port de l'exosquelette.

La synthèse des résultats est :

- Bon support des épaules,
- Exosquelette facile à mettre et à enlever,
- Chaleur supplémentaire engendré par le port de l'exosquelette
- Risque d'abimer la cabine du camion avec l'exosquelette



Photo 7: Opérateur au poste de montage de pare-soleil et barre de toit

Résultats à retenir :

- Une information et deux sessions de démonstration ont été au préalable réalisées auprès de l'encadrement et des opérateurs
- L'appel au volontariat pour être opérateurs testeurs
- Une réelle et significative diminution de la perception de la fatigue physique avec le port de l'exosquelette.
- L'augmentation de la fatigue avec l'augmentation du temps de port. Nous pensons alors que le poids des exosquelettes serait un critère non négligeable pour notre session de tests au sein du site de Blainville.

2.5 Prémisses d'élaboration d'une démarche

Un poste de travail peut être difficile pour un opérateur et beaucoup moins pour un autre et l'exosquelette ne deviendrait pas d'une grande utilité et même contraignant selon la morphologie, le mode opératoire des opérateurs, les activités principales, les activités annexes et la configuration spatiale de l'environnement. L'exosquelette se doit alors de répondre aux tâches pour lequel l'opérateur a besoin d'assistance, mais également de ne pas être défavorable à l'exécution des autres tâches annexes du poste.

Nous comprenons par nos recherches et nos entretiens avec les différents collaborateurs qui ont déjà testé un exosquelette, qu'il peut également être la cause d'effets physiques et psychologiques indésirables subis par l'opérateur décidant à raison de ne plus l'utiliser. Il nous paraît alors important de l'envisager comme une des dernières solutions d'améliorations des postes de travail à forte pénibilité et précisément à charge physique et/ou risques TMS importants.

Dans un premier temps, nous pensons utiliser les principes généraux de la prévention c'est-à-dire respecter l'idée qu'il faille aller de la prévention collective vers la prévention individuelle. Il faut s'assurer que toutes les pistes de prévention collective soient épuisées en amont pour envisager la solution d'un exosquelette. Nous établissons alors un logigramme (cf. Figure 14) rapportant notre réflexion sur les étapes précédant l'intégration d'un exosquelette.

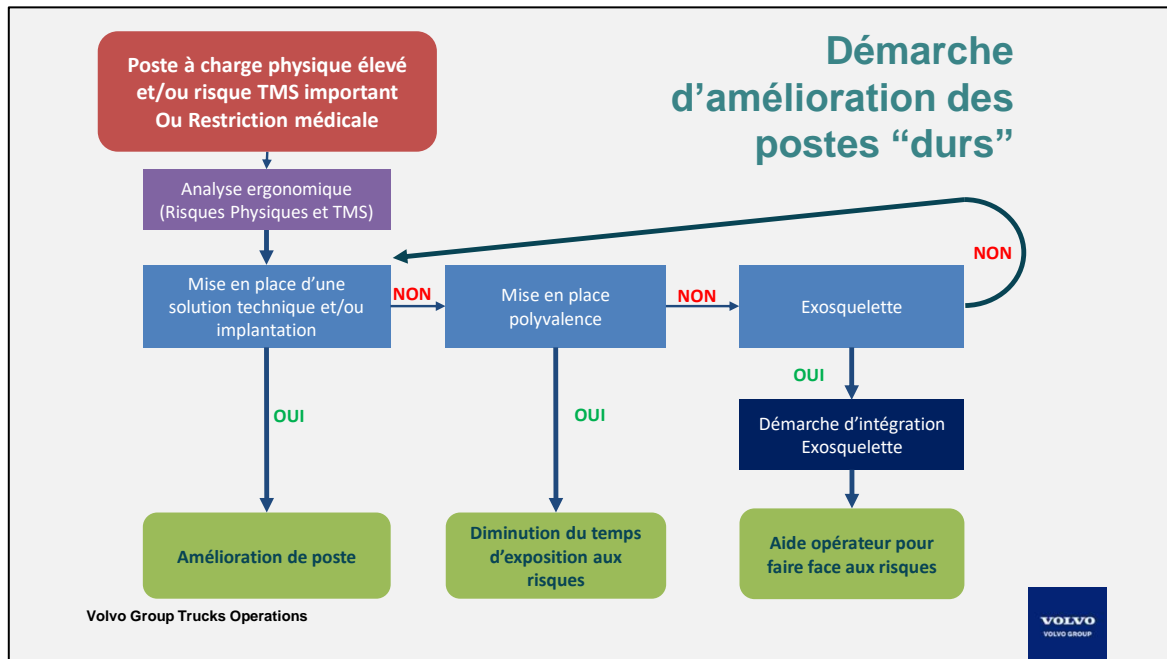


Figure 14: Démarche préalable à l'intégration d'un exosquelette.

Comme nous l'avons écrit précédemment, un exosquelette est un équipement qui est revêtu par un opérateur lui apportant une assistance physique. Nous pensons alors que la fonction première d'un exosquelette est d'assister l'opérateur dans ses mouvements. C'est-à-dire que l'opérateur serait aidé lors l'accomplissement de ses mouvements mais en aucun cas la répétitivité ne serait être diminuée. Nous pensons également que l'idée d'augmenter la force n'est pas compatible avec les exosquelettes passifs. Dans un souci de préservation de la santé, nous sommes convaincus de la nécessité de chercher à rester dans les normes établies concernant le port de charge et les manutentions manuelles plutôt qu'il ne faille augmenter la capacité de soulèvement de charge d'une personne.

Pour la suite de notre intervention, nous dégagons l'idée que nous devons faire une première sélection de nos postes « exosquelettes » en fonction des besoins et de leur pénibilité de ceux-ci, et admis par le plus grand nombre d'opérateurs, et dont les solutions d'améliorations sont trop coûteuses voire inexistantes aux yeux des opérateurs et de l'encadrement. Nous orienterons nos entretiens et premières observations ouvertes dans ce sens.

3 CADRAGE DE LA DEMARCHE D'INTEGRATION D'UN EXOSQUELETTE

3.1. A l'échelle du groupe Volvo

La démarche d'intégration que nous avons élaborée se devait de répondre de façon globale à un besoin d'accompagnement pour l'intégration de ces exosquelettes en milieu industriel. Par conséquent, elle doit permettre à un manager situé au Brésil comme à un préventeur au Japon de pouvoir s'appuyer sur cette démarche. Il nous semblait important d'y trouver toutes les étapes nécessaires à réaliser pour permettre aux opérateurs l'usage d'un exosquelette en toute sécurité et tout en préservant leur santé.

Pour cela nous nous sommes appuyés sur les retours d'expériences des tests déjà réalisés au sein du groupe Volvo et également les publications et articles scientifiques traitant des exosquelettes. Dès octobre 2018, nous avons réalisé un état de l'art sur le sujet. Nous trouvons principalement deux écrits sur lesquels nous nous sommes largement inspirés pour élaborer notre démarche d'intégration d'un exosquelette en milieu industriel :

- L'accord AFNOR AC Z68 800 - Dispositifs d'assistance physique à contention de types exosquelettes robotisés ou non, paru en mars 2017. Il s'agit d'un document qui représente le consensus d'acteurs individuels ou collectifs et qui proposent des outils permettant d'évaluer l'usage des exosquelettes.
- Une parution de l'INRS intitulé « Acquisition et intégration d'un exosquelette en entreprise - ED6315 », paru en décembre 2018.

Nous nous sommes alors attachés à synthétiser toutes les données et écrits que nous avons (données santé, données expérimentales, verbatim de collaborateurs, accord AFNOR et guide INRS, etc.) pour proposer une démarche aux couleurs et dans l'esprit du groupe Volvo.

Nous validons ce que nos recherches et échanges avaient pu mettre alors en avant pour l'élaboration et l'écriture de la démarche d'intégration d'un exosquelette, à savoir :

- Identifier et évaluer les besoins des opérateurs en fonction des postes de travail,
- Sélectionner des postes qui pourraient se prêter à l'utilisation d'un exosquelette en fonction des besoins,
- Faire appel au volontariat des opérateurs mais aussi des équipes et responsables d'équipes qui seraient concernés,
- Sensibiliser les salariés aux exosquelettes,
- Créer un comité de pilotage pour valider les postes sélectionnés et suivre l'avancement des tests,
- Créer des groupes de travail avec les opérateurs pour des retours d'expérience tout au long de la période de test des exosquelettes,
- Former et accompagner les opérateurs testeurs d'exosquelettes pour préserver leur autonomie et leur efficacité
- Elaborer un protocole expérimental pour évaluer l'interaction entre l'homme et l'exosquelette.

Initialement prévu début septembre 2019, la restitution en anglais de ce « Guide Exosquelette » devait d'abord passer par une validation des médecins, puis par les ergonomes du groupe Volvo. Nous avons dû finaliser cette première version pour le début du mois de mai 2019 pour validation (Voir Annexe G).

3.2. Dans le contexte de Renault Trucks Blainville

Il nous a été demandé de réaliser des tests d'exosquelettes au sein de notre lieu d'intervention. Dès le mois de novembre 2018, nous avons réalisé plusieurs benchmarks et pris contact avec des fournisseurs d'exosquelettes.

L'exemple le plus parlant concerne le benchmark de l'entreprise de Renault Cléon près de Rouen. Comptant près de 4000 postes de production, seulement 2 exosquelettes sur 2 postes de travail étaient utilisés. L'approche qu'ils avaient mise en place était en fonction de la cartographie des postes à forte pénibilité dits « postes rouges » (sur échelle commençant à vert, puis orange et enfin rouge). Leur objectif était de trouver des solutions ergonomiques à des postes « rouges » pour lesquels aucune autre solution n'avait été trouvée ou financièrement trop coûteuses.

Ils ont alors dans un premier temps identifier les besoins et évaluer le risque sur chaque poste rouge. Dans un second temps, ils ont établi un protocole de test avec une phase de retour d'expériences en groupe de travail puis évaluer l'interaction homme-exosquelette par des questionnaires de satisfaction et des mesures cardiofréquencesométriques. Nous y avons retrouvé les mêmes caractéristiques que dans les différents tests réalisés dans le groupe Volvo.

4 ENJEUX ET RECONSTRUCTION DE LA DEMANDE.

4.1 Des enjeux de santé et de performances pour les salariés et pour l'entreprise

L'introduction des nouvelles technologies comme les exosquelettes présentent plusieurs enjeux à différents niveaux.

Le premier enjeu est l'amélioration potentielle de la santé des opérateurs par la réduction de la charge physique. Il semble certain que, par son fonctionnement, l'exosquelette apporte une aide à l'opérateur lors de ses mouvements, de ses gestes, nécessaires à l'accomplissement de son activité de travail. Les études convergent vers une diminution des efforts musculaires et cardiaques de l'opérateur qui utiliserait un exosquelette, mais également une évolution progressive de leur concentration sur la tâche à réaliser plutôt que sur la pénibilité physique du poste. Cette diminution des contraintes serait ainsi favorable aux opérateurs avec une fatigue qui semblerait être réduite. Cette évolution positive de l'état physique des opérateurs concourrait à la fois à une possible réduction de l'apparition des TMS, et également une meilleure qualité de vie au travail.

Du côté de l'entreprise, l'usage de ces nouvelles technologies envisagerait à la fois une réduction des coûts liés aux maladies professionnelles, dont 86 % sont des TMS, et à la fois une baisse de l'absentéisme liées aux arrêts de travail pour des tendinopathies et autres douleurs liées à un effort intense et/ou répétitif. La production et son organisation seraient moins perturbées, augmentant la performance de l'entreprise.

4.2 Point de vue de l'ergonomie

Implantés dans certaines conditions, l'intérêt de ces dispositifs d'assistance physique est une potentielle amélioration de la santé des opérateurs qui le portent, plus spécifiquement en tant que diminution de la pénibilité des postes à charge physique et/ou TMS importants. C'est un outil qui aiderait donc l'opérateur sur des tâches spécifiques de son activité. Les différentes études montrent les apports lors de l'usage de ces outils, mais la grande majorité de ces études ont été faite en laboratoire. Les sujets-cobayes étaient placés dans des situations de tâches caractéristiques sans contraintes de temps, liées à la production par exemple, ou encore non-soumis aux aléas et aux multitudes de tâches que rencontrent les opérateurs en situations réelles de travail. Le travail réel étant l'objet d'étude de l'ergonome, il doit de se saisir de ce sujet. Comme tout changement, l'introduction des exosquelettes devrait avoir des répercussions au niveau de l'organisation, du collectif de travail, au niveau du mode opératoire des opérateurs, etc. L'acceptation par les opérateurs n'est pas jouée d'avance. L'exosquelette peut être dans un premier temps adopté puis rejeté. Les raisons peuvent être multiples mais nous devons comprendre pourquoi au travers l'analyse de l'activité des opérateurs avec et sans exosquelette et l'utilisation d'une démarche participative de tous les acteurs concernés.

Les objectifs de la démarche participative sont multiples (Dugué et al., 2010) :

- Découvrir les représentations que chacun des acteurs concernés a des situations travail et des exosquelettes,
- Les apports de chaque acteur concerné concourent à une vision exhaustive de la situation de travail,
- Connaissance précise du travail réel des opérateurs dans leur environnement de travail,
- Augmenter les capacités d'agir des opérateurs dans un souci de préservation de la santé (moins d'apparition des TMS) et d'efficacité économique (moins de maladies professionnelles, moins d'absentéisme, etc),
- Pérennisation des connaissances et des méthodologies favorisant la communication et la participation des acteurs pour une réflexion commune sur l'organisation du travail.

Notre volonté d'introduire une dimension participative à cette démarche d'introduction d'un exosquelette a pour but de conserver l'approche située en incluant les acteurs et les communications à l'analyse du travail.

4.3 Reconstruction de la demande

Au regard de notre analyse des données, des différentes études sur les exosquelettes et la demande d'élaboration d'une démarche d'intégration d'un exosquelette pour le groupe Volvo, nous souhaitons orienter la demande pour connaître l'apport de ces exosquelettes en situation de travail et comprendre en quoi ils facilitent ou non l'activité des opérateurs. Couplé au pilotage des expérimentations des exosquelettes que nous devons mener au sein de l'entreprise Renault Trucks Blainville, nous proposons d'intégrer la dimension participative d'une intervention ergonomique à la démarche d'intégration d'un exosquelette.

Nous reformulons la demande de la manière suivante pour notre intervention :

« Introduction d'une approche participative dans une démarche d'intégration d'un exosquelette en milieu industriel. »

5 METHODE

5.1 Entretiens avec différents acteurs et identification des besoins sur les potentielles situations de travail « exosquelettes ».

La demande de l'ergonome du site de Blainville est de procéder à une expérimentation d'exosquelettes sur plusieurs postes de travail pénibles, dans différents centres de l'usine. En parallèle de nos benchmarks et de l'écriture de la démarche d'intégration, nous commençons en janvier 2019 à identifier les postes dont la pénibilité physique est réelle. Notre méthode est de partir de la vision macro d'un responsable d'UP de son propre centre, puis de la vision micro d'un responsable d'UEP des postes de travail de son équipe. Cette méthodologie par l'entonnoir nous permettra d'aller vers les postes considérés comme pénible physiquement et admis par l'encadrement. Une fois les postes identifiés, nous procédons à nos entretiens simultanés avec les opérateurs en postes.

Nous nous aidons d'une cartographie des postes dits « durs », d'un tableau « Top 10 Ergo », qui répertorie les postes de travail pour lesquels des actions d'améliorations doivent être menées et procédons à des entretiens avec, dans l'ordre,

- Les responsables d'UP des centres Assemblage final, Centre Peinture, Centre Tôlerie, Centre Garnissage et Centre Logistique
- Des responsables d'UEP
- Des opérateurs.

Les entretiens que nous menons se font majoritairement sur le terrain. Pour la première partie, nous les informons des futurs tests d'exosquelettes que nous allons piloter, et nous leur exposons une présentation powerpoint expliquant que nous cherchons d'abord à :

- Identifier les besoins des postes avec une charge physique et/ou à risques TMS importants,
- Connaître leurs idées préconçues sur les exosquelettes
- Exposer synthétiquement nos connaissances des potentiels apports et des limites probables des exosquelettes.

Notre information a essentiellement pour but d'affranchir chacun des représentations qu'ils peuvent avoir des exosquelettes et qui ne seraient pas la réalité. Dans la seconde partie de nos entretiens, nous leur demandons de nous montrer sur le terrain ce qui est pour eux le poste le plus pénible physiquement.

A chaque fois, le responsable d'UP nous a orienté vers le secteur dont il savait l'existence d'un poste à charge physique et/ou risques TMS importants. Delà, nous nous entretenons avec le responsable d'UEP du poste concerné afin qu'il valide également ce choix. Cette méthode permettait que tous connaissent les raisons de notre présence et nous identifient plus facilement par la suite, mais également de nous présenter au sein des opérateurs des postes pénibles concernés et obtenir les premières informations.

Verbatim de nos premiers entretiens simultanés avec des opérateurs et chefs d'équipe :

- Poste Cheminement Faisceaux : « Quand je me penche à l'intérieur du châssis pour mettre mes faisceaux, ça me tire dans le dos et à la fin de la journée j'ai mal aux épaules. »
- Poste Finition soudure interne : « Ici c'est le bras, c'est surtout dans le dos à la fin de la journée ça tire ! Mais toute façon moi les exo-machin j'en veux pas. J'ai toujours fait comme ça ! Et puis je vois pas pourquoi j'en aurai un, mon pistolet de soudure il n'est pas lourd ? »
- Poste Rivetage : « Ici c'est speed ! faut pas perdre de temps. Faut aller vite ! En fin de semaine j'ai souvent mal aux épaules et aux coudes. »
- Poste Encyclage tapis : « Ah ouais des exosquelettes comme dans Avatar ? on va être des surhommes alors, on va pouvoir prendre 4 tapis en une fois... »
- Poste Pose Mastic sous cabine : « C'est cool ici, mais c'est vrai qu'en fin de semaine j'ai mal aux bras à force pour mettre le mastic sous la cabines »
- Poste Pose des Ailes cabines : « Ouais je connais un peu les exosquelettes j'en ai vu à la télé. Ça serait pas mal ici, mais je sais pas quoi. Moi j'ai mal au dos, j'ai toujours le dos en arrière, et puis ici c'est super speed et y a plein de monde faut toujours faire attention où on va... »
- Poste Encyclage Chandelles (Team leader) : « Ici le poste il est dur, c'est pour ça que je le charge qu'à 60-70%. Les chandelles sont lourdes et un chariot revient vide toutes les 20 minutes environ. Je suis passé par ce poste et je me suis flingué le dos ».

On peut retenir de ses échanges la pénibilité physique des postes par l'expression de douleurs aux épaules et au dos. Nous notons également de la part des opérateurs une représentation des exosquelettes basée sur des images cinématographiques, où les capacités de l'homme sont fortement augmentées.

De ces entretiens exploratoires et des outils à notre disposition, nous avons pu finaliser notre sélection de postes pénibles physiquement et pour lesquels les améliorations sont difficiles ou encore extrêmement coûteuses. Le Tableau 3 suivant dresse les postes qui pourraient potentiellement se prêter à l'utilisation d'un exosquelette. Parmi ces 16 postes identifiés, 3 font partie de la liste des postes « Top10 Ergo » du site : le poste Cheminement des faisceaux, le poste Pose antenne W800 et le poste Pose des ailes.

	Centre - BLV					
	FA	Peinture	Tôlerie	Garnissage	LOG FA	LOG TPG
Assistance physique						
Membres supérieurs	Pose faisceau module	Ligne Mastic Poste 12	OP130 Finition W800 Soudure interne	Pose antenne W800	Prépa PE	Encyclage tapis tunnel
	Cheminement	Ligne Accrochage des pièces				
Dos	Cheminement	Pose mastic intérieur cabine	OP130 Finition W800 Soudure interne	Pose siège W800		Dépollution PE
		Pose Mastic Poste 5				Encyclage Chandelles
Membres inférieurs				Pose aile W800		
				Pose Calandre W800		
Main	Gant - Rivetage Visseuse Hydro					

Tableau 3: Postes à charge physique et/ou risques TMS importants selon les centres et la potentielle assistance physique.

5.2 Méthode de Sélection d'un exosquelette

Dans l'idée d'observer une grande partie des postes identifiés dans le tableau 3, nous avons choisi de coupler nos observations ouvertes avec la sélection des exosquelettes appropriés aux opérateurs et aux postes. Nos entretiens et nos premières observations cités précédemment nous ont permis d'avoir une vision globale des postes et d'orienter notre sélection d'exosquelettes en fonction de l'activité physique principale identifiée par nos soins et par les verbatim des opérateurs.

5.2.1 Critères à évaluer

Afin d'évaluer au mieux la pertinence de l'usage d'un exosquelette par un opérateur pour un poste donné, nos recherches nous ont permis d'utiliser un tableau de critères qui caractérise de façon complète cette interaction entre l'homme et l'exosquelette mais aussi l'impact de son utilisation sur le collectif et la sécurité de l'utilisateur et de ses collègues (cf. Tableau 4 ci-dessous).

Tableau 4: Critères d'évaluation caractérisant l'usage d'un exosquelette

Appropriation	Utilité	Utilisabilité	Impacts	Sécurité
<ul style="list-style-type: none"> • Fluidité du mouvement • Maîtrise de l'exosquelette • Durée de réalisation de la tâche • Acceptabilité sociale • Ressenti des opérateurs 	<ul style="list-style-type: none"> • Tenue du temps de cycle • Respect de la qualité de l'opération • Efficacité de l'assistance physique • Durée d'assistance active durant la tâche • Ressenti des opérateurs 	<ul style="list-style-type: none"> • Facilité de mise en œuvre (mise en place, retrait, réglage) • Facilité d'utilisation • Facilité de maintenance • Opérateur n'est pas gêné dans la réalisation de sa tâche • Adaptabilité aux différentes composantes de l'activité • Ressenti des opérateurs 	<ul style="list-style-type: none"> • Sur l'utilisateur • Sur le collectif de travail • Bonne intégration dans l'activité • Maîtrise des nouvelles stratégies opératoires • Ressenti des opérateurs 	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluation des risques pour l'opérateur • Evaluation des risques pour les collègues • Evaluation des risques pour l'environnement de travail • Prise en compte des risques de dégradation de l'exosquelette • Ressenti des opérateurs

Les précédents tests réalisés au sein du groupe Volvo et nos recherches pour effectuer notre état de l'art ont orienté notre choix. Les exosquelettes passifs semblent mieux répondre au contexte industriel et choisissons de prospector des fournisseurs dans ce sens.

5.2.2 *Sélection des modèles*

Pour une première approche de chaque poste identifié, nous cherchons donc à connaître la tâche principale qui demanderait une assistance d'un exosquelette. Pour en avoir une idée très concrète, nous décidons de mettre à l'épreuve les exosquelettes qui nous semblent les plus appropriés pour chaque poste par un essai de 20 à 30 minutes avec des opérateurs qui ont été au préalable informés et se portant volontaires.

Ces essais nous ont permis d'identifier en situation les points bloquants, s'ils existaient, et surtout les premiers ressentis des opérateurs portant l'exosquelette. Nous souhaitons voir également l'utilisabilité de ces dispositifs. Il était important pour nous que le temps pour revêtir l'exosquelette ne dépasse pas la minute voir 30 secondes. Les temps de cycle de production sont parfois très courts sur des postes d'assemblage final ou même de peinture (pose de mastic), de l'ordre de la minute voir moins. Une mise en place rapide de l'exosquelette évite également de rajouter du stress à l'opérateur pour le revêtir.

Nous choisissons de contacter plusieurs fournisseurs (cf. annexe F). Notre premier critère de sélection des exosquelettes passifs proposés sur le marché est celui du poids. Au regard de nos différentes recherches et retours d'expériences nous pensons que le poids est capital. Pour rappel, l'exosquelette est un équipement porté par l'opérateur. En échangeant avec le médecin, nous comprenons que le poids d'un dispositif d'assistance ne doit pas dépasser 10% du poids du corps de l'opérateur qui le porte. En effet, il nous explique qu'appliquer une charge supplémentaire au-delà de 10% du poids du corps d'une personne engendre des effets sur l'astreinte cardiaque.

Notre prospection se tourne alors vers des dispositifs légers. Pour notre sélection, nous choisissons de prendre en compte les personnes de faible poids. En effet, une personne de 50kg verra des difficultés à porter un exosquelette s'il pèse 5kg ou plus. En revanche pour le même exosquelette, une personne d'un poids supérieur à 70kg sera moins gênée par le poids de l'exosquelette s'il est inférieur à 5kg. Même si la proportion des femmes, qui sont communément plus légères que les hommes, n'est que de 18% au sein de l'entreprise nous pensons que l'exosquelette se doit de répondre à toutes les morphologies actuelles et futures. Un exosquelette léger sera d'autant plus agréable à porter que ça soit pour un homme ou pour une femme (Travailler tous les jours avec un sac à dos de plus de 5 kilos sur le dos n'enchantent personne !).

Notre second critère est l'utilisabilité. L'utilisabilité est la capacité d'un objet à être facilement utilisable par une personne donnée pour réaliser la tâche pour laquelle il a été conçu. Pour les exosquelettes, cette utilisabilité concerne la facilité pour le mettre ou pour l'enlever, la facilité à le régler, son adaptation à différentes composantes de l'activité, etc.

Pour cette première sélection, nous nous sommes attachés au temps et à la facilité de revêtir l'exosquelette par les opérateurs. Nous choisissons également comme critères le report de contraintes, la nature de l'assistance et le prix.

Pendant ou après chaque essai nous échangeons directement avec les opérateurs. Nous leur posons les questions suivantes :

- Etes-vous à l'aise avec l'exosquelette ?
- Ressentez-vous l'assistance ?
- Ressentez-vous une gêne particulière ?
- Vous voyez-vous travailler avec l'exosquelette sur une journée de travail ?
- A votre avis, pensez-vous qu'une période plus longue pour tester l'exosquelette serait envisageable ?

Au travers leurs réponses, les opérateurs nous font rapidement remarquer les points bloquants à l'usage de tel ou tel exosquelette. Par exemple, pour le poste cheminement faisceaux, les opérateurs prennent appui avec leur buste pour s'enrouler autour du châssis et rendre la posture plus confortable. (Cf. Photo 8)



Photo 8 : Opérateurs (à droite) au poste de cheminement des faisceaux.

Avec l'exosquelette des épaules, et peu importe le modèle, les opérateurs se sentaient rapidement gênés. La raideur que leur imposait l'exosquelette au niveau du haut du dos les empêchait de s'enrouler autour du châssis afin de se positionner confortablement pour placer les faisceaux (cf. Photo 9)



Photo 9: Opératrice revêtue d'un exosquelette au poste de cheminement des faisceaux

Comme d'autres opérateurs se plaignaient également du dos sur ce même poste, nous avons testé l'exosquelette pour le dos. Cette fois-ci, ce sont 2 parties de l'exosquelette qui touchaient le châssis. Les tiges du support sternal empêchaient l'opérateur de s'enrouler autour du châssis et la ceinture de hanche de l'exosquelette le gênait pour se positionner au plus près du châssis pour placer les faisceaux. Avec les retours des opérateurs et les points bloquants mis en avant, nous choisissons de ne pas sélectionner ce poste pour des tests sur une plus longue période.

Nous procédons avec la même méthodologie pour tous les postes. Nous identifions 4 postes pour lesquels les points bloquants ne nous permettent pas de proposer l'usage d'un exosquelette :

- Pose faisceaux module/Exosquelette M. sup. : l'exosquelette empêche l'opérateur de se positionner confortablement par rapport au châssis
- Cheminement des faisceaux/Exosquelettes M. sup. et dos: l'exosquelette empêche l'opérateur de se positionner confortablement par rapport au châssis
- Pose des ailes W800/Exosquelette M. inf. : l'exosquelette ralentit la vitesse d'exécution des opérateurs
- Pose calandre W800/Exosquelette M. inf. : l'exosquelette ne convenait pas. Le siège déjà utilisé favorise une posture acceptable et une rapidité du mode opératoire qu'il ne retrouve pas avec l'utilisation de l'exosquelette.

En revanche, l'essai de l'usage d'un exosquelette au poste d'encyclage des tapis de cabine a été validé par les opérateurs.

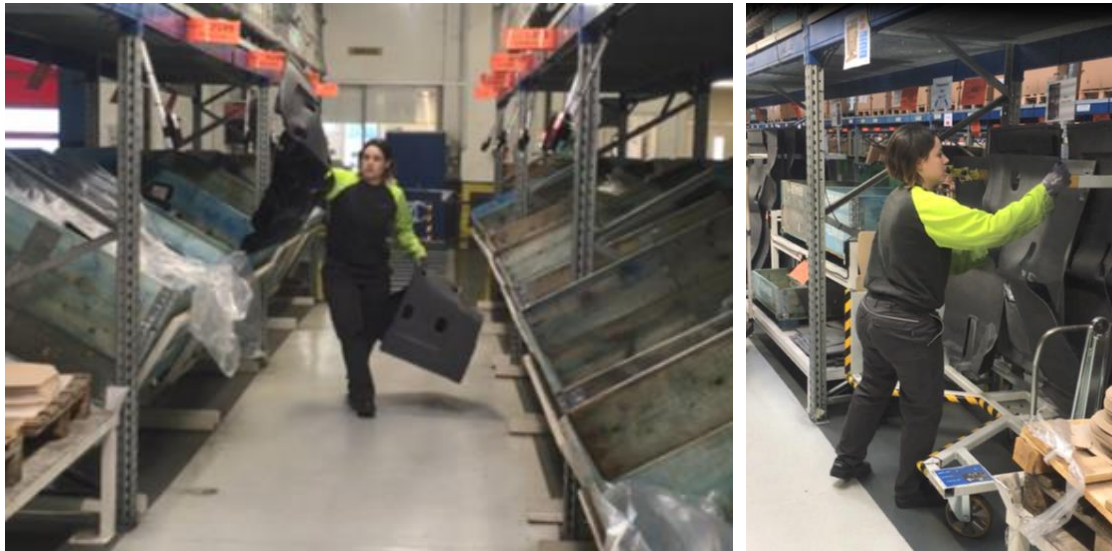


Photo 10: Opératrice au poste d'encyclage tapis CP. Prise de tapis dans un picking (à g.) - Dépose des tapis sur chariot d'encyclage (à dr.)

Sur ce poste l'opérateur doit prendre un tapis de cabine disposé dans un picking et le déposer sur un chariot d'encyclage selon la référence de la cabine et dans un ordre prédéterminé. (Cf. Photo 10). L'opérateur encycle également des tapis tunnel, des coins ronds de cabine et des sièges conducteurs et passagers.

Les premiers ressentis des opérateurs sont favorables à l'utilisation d'un exosquelette. Ils confirment la plus-value de l'assistance lors de la prise et la dépose des tapis et ne témoignent pas d'effets gênants au port de l'exosquelette. Tout comme leur chef d'UEP et chefs d'équipe, ils expriment également leur motivation à tester ce type d'exosquelette sur plus de temps.

La méthode que nous avons employé pour sélectionner nos postes de travail ayant des besoins concernant la charge physique et/ou risques TMS importants nous a permis de nous rendre compte rapidement des points bloquants sur chaque poste que nous avons identifié. Suite à ces courts essais, nous nous rendons compte que plusieurs postes pourraient également se prêter à l'usage d'un exosquelette, en orange et vert dans le Tableau 5 suivant. Pour une problématique de logistique et de conditions optimales de tests, nous choisissons 4 postes (en vert dans le Tableau 5), à savoir :

Au centre logistique :

- Poste Encyclage Tapis.
- Poste Encyclage Chandelles.

Au centre Peinture :

- Poste Pose mastic sous cabine (poste 12)
- Poste Pose mastic intérieur cabine (poste 5)

		Centre - BLV					
		FA	Peinture	Tôlerie	Garnissage	LOG FA	LOG TPG
Assistance physique							
Membres supérieurs	Pose faisceau module	Ligne Mastic Poste 12	OP130 Finition W800 Soudure interne	Pose antenne W800	Prépa PE	Encyclage tapis tunnel	
	Cheminement	Ligne Accrochage des pièces					
Dos	Cheminement	Pose mastic intérieur cabine	OP130 Finition W800 Soudure interne	Pose siège W800		Dépollution PE	
		Pose Mastic Poste 5				Encyclage Chandelles	
Membres inférieurs				Pose aile W800			
				Pose Calandre W800			
Main	Gant - Rivetage Visseuse Hydro						

Tableau 5: Résultat de la sélection des postes pour l'usage probable d'un exosquelette.

5.3 Mise en place de la démarche participative

5.3.1 Création du comité de pilotage, sélection et validation des modèles d'exosquelettes

Nous présentons et exposons nos recherches et expliquons le but de notre intervention en CHSCT début janvier 2019, puis lors d'un comité de direction usine début février 2019, nous proposons de créer un comité de pilotage afin de rendre compte de l'évolution de notre intervention, il sera composé de :

- Directeur Santé Sécurité GTO (non présent sur le site)
- Directeur de l'entreprise
- Responsable Ressources Humaines
- Responsables de centres
- Médecins du Service Santé
- Responsable Service sécurité
- Ergonomes

Au cours des essais avec les différents fournisseurs, nous apprenons qu'ils ne nous prêteront pas d'exosquelettes pour des expérimentations sur une longue période avant achat. Lors d'un Comité de Direction Usine le 12 février 2019, nous exposons au directeur de l'entreprise de Blainville et aux responsables de centres ce qui s'est fait, ou ce qui est en cours, au sein du groupe Volvo. Nous leur expliquons les intérêts et les limites des exosquelettes ainsi que les enjeux. Le but est d'acheter un ou plusieurs exosquelettes pour nos tests. Le comité de pilotage décide de financer l'achat d'exosquelettes à hauteur de 10.000€.

Nous proposons suite à ce comité l'achat d'un exosquelette pour les membres supérieurs, modèle SKELEX 360, et un exosquelette pour le dos, modèle LAEVO.

5.3.2 *Création et mise en place des groupes de travail*

Une fois notre sélection des postes effectuée, nous constituons nos groupes de travail début mai 2019. Nous constituons 4 groupes de travail, un par poste. Nous proposons de constituer chaque groupe de la manière suivante :

- Opérateurs testeurs volontaires
- Opérateurs non testeurs volontaires
- Responsable UEP et/ou responsable d'équipe
- Médecin
- Ergonome.

Lors de nos groupes de travail, nous leur proposons d'évaluer l'interaction entre les opérateurs testeurs et l'exosquelette selon les critères définis précédemment (cf. Tableau 4) à savoir :

- L'appropriation
- L'utilité
- L'utilisabilité
- L'impact (sur les testeurs et le collectif)
- La sécurité

Pour cela, nous expliquons que chaque semaine nous animerons chaque groupe de travail pour échanger sur l'expérience vécu avec l'exosquelette durant la semaine passée. L'idée est d'obtenir le ressenti de chaque opérateur-testeur en fonction des critères d'évaluation caractérisant l'usage d'un exosquelette, ainsi que le ressenti d'un non-testeur (opérateurs « missionné ergonomie ») et d'un responsable concernant les effets sur le collectif de travail et l'organisation.

Les raisons de l'abandon des tests au centre Mastic.

Les tests que nous devions piloter devaient porter sur 2 types d'exosquelettes et 4 postes de travail. Les expérimentations qui ont débuté au centre Mastic n'ont pu continuer après la première semaine de familiarisation des opérateurs avec l'exosquelette.

Plusieurs opérateurs ont manifesté des douleurs et des gênes avec le port des exosquelettes. Lors de notre premier groupe de travail hebdomadaire de la semaine 1, les opérateurs estiment que l'utilité de l'exosquelette à la cadence à laquelle ils travaillent ne l'est plus. En effet, à chaque changement de cadence de production, un rééquilibrage des tâches à faire par poste est effectué. Lors des pré-tests avec les fournisseurs d'exosquelettes, la cadence était moins élevée, avec plus de tâches (main au-dessus de la tête et buste penché en avant) à faire par cabine. Lors de débuts des tests, la cadence a augmenté et les tâches par cabines ont été réduites. Le temps de travail passé les mains au-dessus de la tête ou le buste en flexion avant étant moins important, les opérateurs subissaient moins les effets du maintien de ces postures. L'assistance prodiguée par l'usage d'un exosquelette présente alors une plus-value beaucoup moins intéressante. L'exosquelette devient alors gênant et voir même crée des douleurs physiques. Concernant l'exosquelette du dos, les opérateurs expliquaient être gênés par les spatules sur les jambes qui servent de report de contraintes. Pour l'exosquelette des membres supérieurs, des douleurs aux hanches et au dos apparaissaient quelques minutes après le port de l'exosquelette.

D'autres part, avec la démarche que nous avons élaborée sur la base de retour d'expériences en interne et sur les références scientifiques dans le domaine, il nous semblait important de laisser du temps aux opérateurs-testeurs. C'est-à-dire de construire des repères de réglages, de confort, de moment d'assistance et de non-assistance, d'être confrontés à des résolutions de problèmes avec l'exosquelette durant une semaine complète de familiarisation pour être le plus autonome possible. Il avait été décidé que pendant l'heure quotidienne « d'apprentissage de l'utilisation de l'exosquelette en contexte », un opérateur serait en soutien à l'opérateur-testeur pour prendre son relais s'il avait des réglages à affiner sur l'exosquelette et ainsi ne pas retarder la production. Une personne avait été effectivement prévue le premier jour. Le reste de la semaine, l'opérateur devait être capable de gérer et son poste et l'exosquelette. Nous avons ici compris l'importance de la formation, de l'accompagnement et de l'apport de l'encadrement dans cette phase d'apprentissage.

Avec le médecin et les opérateurs, nous décidons ensemble d'arrêter l'expérimentation au sein du centre Mastic et nous envisageons avec les opérateurs et le responsable d'UEP de reprendre lors d'une baisse de cadence. Au moment de l'écriture de ce mémoire, nous n'avons pas pu envisager la reprise des essais.

Pour la suite de ce mémoire, nous nous concentrons sur les postes d'encyclage pour l'analyse de l'activité et pour l'expérimentations des exosquelettes.

6 ANALYSE DE L'ACTIVITE ENCYCLAGE TAPIS

Suite à l'arrêt de notre démarche d'expérimentation au centre Mastic, nous décrirons dans cette partie l'analyse de l'activité Encyclage des tapis pour établir un diagnostic et proposer des pistes de transformations.

6.1 Le travail prescrit

Avant de présenter nos observations ouvertes sur ce poste, nous allons vous présenter le travail tel qu'il est prescrit. Il n'existe pas de fiche de poste à proprement parler, c'est une succession de standards opératoires qui sont expliqués à l'opérateur et affichés au poste.

L'équipe, dont ce poste fait partie, travaille de jour de 7h35 à 16h12, avec deux pauses de 15min (une le matin et une l'après-midi) et une pause déjeuner de 12h15 à 13h05. Les trois quarts des opérateurs sont polyvalents sur la douzaine de postes de l'équipe. Chacun tourne toutes les semaines sur tous les postes (sauf restriction). La rotation des opérateurs mise en place sur ces postes permet alors de diminuer les effets du travail. Les postes de logistique encyclage, dépendent en aval de la chaîne de production et en amont de la logistique d'approvisionnement.

Le poste encyclage Tapis consiste pour l'opérateur à encycler les tapis conducteurs, passagers et « tunnels » ainsi que les coins ronds, partie aérodynamique apparente à l'extérieur de la cabine, sur des bases roulantes correspondantes qui seront ensuite acheminées par un livreur sur chaîne de production et être montés au niveau de la cabine. Il s'ajoute également deux autres activités : l'encyclage des sièges/banquettes et des coffres de cabines.

Le rayonnage, ou « picking » dans lequel sont entreposées les pièces à encycler, est muni d'un système informatisé de séquencing. C'est un système d'aide au choix pour gérer la diversité des références. Il est utilisé pour diminuer les erreurs en allumant une lumière de couleur à l'emplacement auquel l'opérateur doit prélever la pièce (cf. Photo 11). L'opérateur doit valider sa prise en appuyant sur la lumière ou en actionnant le picker. Chaque emplacement est caractérisé par une référence correspondant à un type de pièces.



Photo 11: Système de séquencing pour la prise des pièces au picking.

Encyclage des tapis

L'opérateur doit procéder de la manière suivante :

1. Trier les feuilles qui sortent de l'imprimante par catégorie (Tapis CP, Tunnel, Tapis rallonge), les numéroter et les ranger dans les bannettes appropriées.
2. Une fois les 15 feuilles sorties (une par cabine et par catégorie), zipper le code barre de la 15^{ème} cabine pour déclencher le mode séquencing et valider sur l'écran d'ordinateur la demande de création de liste inversée des 15 cabines.
3. Prendre la pièce demandée.
4. Appuyer sur la lumière pour valider la prise de la pièce ou fouetter le « picker »
5. Positionner le tapis demandé sur la base roulante
6. Renouveler les opérations 3 à 5 jusqu'à la fin du séquencing
7. Vérifier sur l'écran d'ordinateur que toute la liste créée à l'étape 2 soit terminée.

Variantes

Tapis CP	Tapis tunnel
<p>1) Positionner les pièces dans la base roulante en respectant le sens du tapis côté conducteur et côté passager (30 tapis au total/base)</p> <p>2) Lorsqu'il est demandé de mettre des sur-tapis, prendre une bâche, la déposer à cheval sur l'emplacement tapis conducteur et tapis passager, puis mettre les sur-tapis dans les bâches.</p> <p>3) Pour des références faibles en demande, le voyant du meuble de pré-encyclage s'allume. Bien suivre le numéro de cabine et la référence demandée. Appuyer sur la lumière pour valider la prise de la pièce ou fouetter le « picker » du meuble pré-encyclage.</p> <p>4) Une fois la base préparée, positionner les protections en cartons dans l'emplacement prévu à cet effet sur le côté de la base roulante.</p>	<p>1) Positionner les tapis DAF, dans la partie haute de la base et les tapis DV dans la partie basse. (15 tapis au total/base)</p> <p>2) Pour les tapis tunnels pré-encyclés dans le meuble pré-encyclage, se référer au numéro de la cabine indiquée sur le tapis. Appuyer sur la lumière pour valider la prise de la pièce ou fouetter le « picker » du meuble pré-encyclage.</p> <p>3) Une fois les 15 tapis déposés dans la base roulante, verrouiller celle-ci en manœuvrant la barre de sécurisation</p>

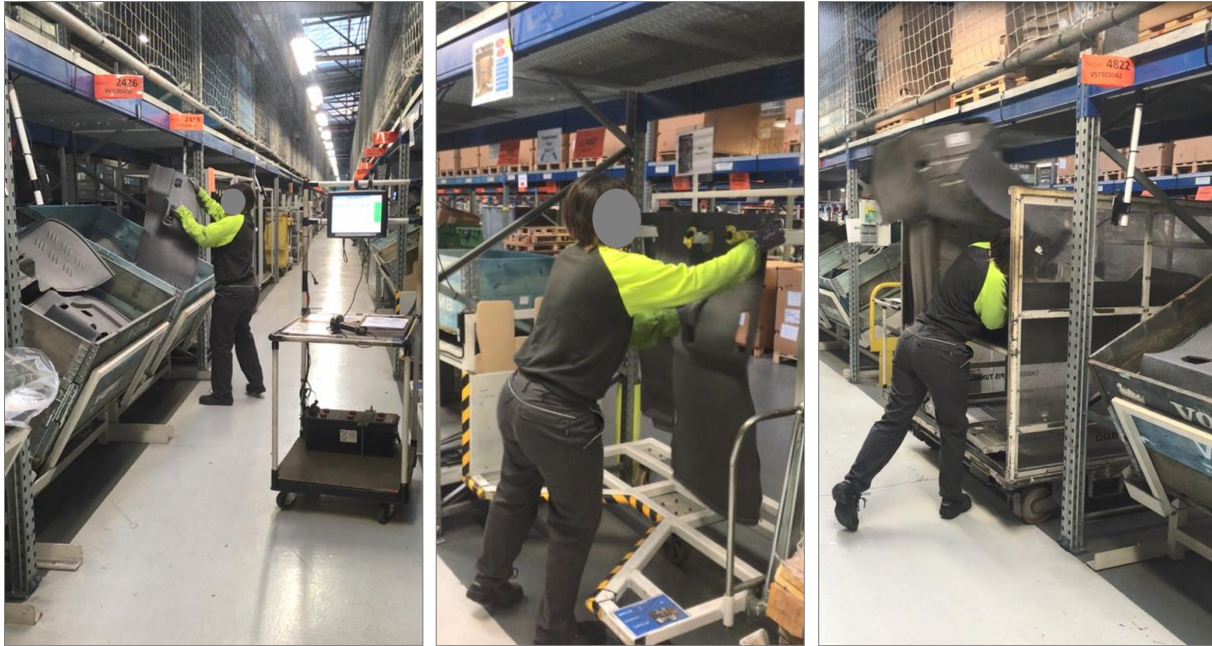


Photo 12: Prise tapis (à g.); Dépose sur base roulante tapis CP (au centre); Dépose sur base roulante tapis tunnel (à dr.).

Encyclage des coins ronds :

L'opérateur doit procéder de la manière suivante :

- 1) Prendre les feuilles dans l'imprimante.
- 2) Numéroté les feuilles de 1 jusqu'à 10.
- 3) Encycler les coin ronds en commençant par la dixième position, en positionnant les pointes vers l'extérieure.
- 4) En positionnant les CR dans la base, s'assurer que la patte centrale soit en appuis contre les barres. Sinon risque de dégradation des pièces.
- 5) Encycler les coins rond en commençant par la dixième position, jusqu'à la première.
- 6) Pour encycler les pièces, prendre en compte l'annotation : « *au sol* » ou « *attention affecté* » indiqué sur chaque feuille :
 - Pour l'annotation « *attention affecté* », prendre les coins ronds dans le meuble pré-encyclage en se fiant au numéro de VI.
 - Pour l'annotation « *au sol* », prendre les coins ronds au picking en se fiant au réf indiquées sur la fiche tronçon.
- 7) Une fois la préparation terminée sur la feuille 1, positionner les feuilles dans le support prévu à cette effet.

Un standard explique également la manière d'utiliser la base roulante des coins ronds (cf. Photo 13) :

- 1) Pour commencer à encycler, ramener toutes les poches vers soi.
- 2) Commencer à encycler votre 10^{ème} coin rond selon référence VI en commençant par la dernière poche au fond à droite de la base.
- 3) Pousser la poche vers le fond et encycler la 9^{ème} selon référence VI, et ainsi de suite jusqu'au coin rond n°6.

- 4) Une fois terminer la préparation n°6, verrouiller le côté droit de la base à l'aide de la goupille.
- 5) Répéter les opérations 1 à 4 pour les coins ronds n°5 à n°1, côté gauche de la base roulante.



Photo 13: Base roulante encyclage coins ronds

Encyclage des coffres de cabines

- 1) Prendre les feuilles de l'imprimante
- 2) Zipper les codes-barres de références sur les feuilles
- 3) Prendre au picking le coffre correspondant à la référence du VI
- 4) Déposer le coffre et ses accessoires correspondants sur la base roulante

Encyclage des sièges/banquettes.

La mise sur base roulante des sièges se réalise à 2 opérateurs. Ils récupèrent les feuilles sorties de l'imprimante qui leur donneront les références de sièges ou banquettes à encycler. Avant la mise en place sur la base roulante, les sièges sont entreposés dans des cartons 2 par 2, en position « tête bêche ». Les 2 opérateurs sortent le carton du picking en fonction de la référence demandée pour le positionner devant la base roulante au milieu de l'allée picking. En se coordonnant, ils soulèvent un siège du carton et le positionnent sur la base roulante (cf. Photo 14). Ils renouvellent l'opération autant de fois qu'il y a de référence de sièges à encycler.

Avant notre intervention, un seul opérateur réalisait cette opération. Suite à des douleurs au dos ressenties par plusieurs opérateurs, l'encadrement a décidé que cette opération d'encyclage des sièges se ferait à 2 opérateurs.



Photo 14: Encyclage siège.

6.2 Mise en évidence de la réalité de l'activité et de ses effets à l'encyclage des tapis

Pour ce poste d'encyclage tapis, nous observons que l'opérateur doit réaliser 3 activités principales et 2 que nous qualifions d'annexes par leur fréquence d'apparition sur une journée de travail :

Activités principales

- Encyclage des tapis CP
- Encyclage des tapis tunnels
- Encyclage des coins ronds

Activités annexes

- Encyclage des sièges/§banquettes
- Encyclage des coffres de cabines

Activité coins ronds

Les opérateurs estiment que ce n'est pas la plus pénible. En revanche, nous avons observé que le picking ne dispose pas d'un système de séquencing comme pour les tapis. L'opérateur utilise les références indiquées sur la feuille de picking pour aller prendre le coin rond demandé. Certains opérateurs ont mémorisé les emplacements des références les plus demandées, les autres opérateurs se répètent la référence à voix haute pour ne pas se tromper lors de la prise. Le projet de doter le kitting coins ronds d'un système d'aide à la prise de pièce est actuellement en cours de validation, ce qui facilitera et libérera les opérateurs de cette charge cognitive ainsi que d'éviter des erreurs.

Chaque pièce de coin rond présente un poids variant entre 2k et 2,5kg. A chaque base roulante effectuée, l'opérateur manipule 20 pièces au total. Le picking coins ronds se caractérise par

divers emplacements et contenants : les références très demandées sont disposées sur des palettes au sol, les moins demandées, ou celles avec des spécificités particulières demandées par le client, sont disposées dans un meuble de pré-encyclage (cf. Photo 15)

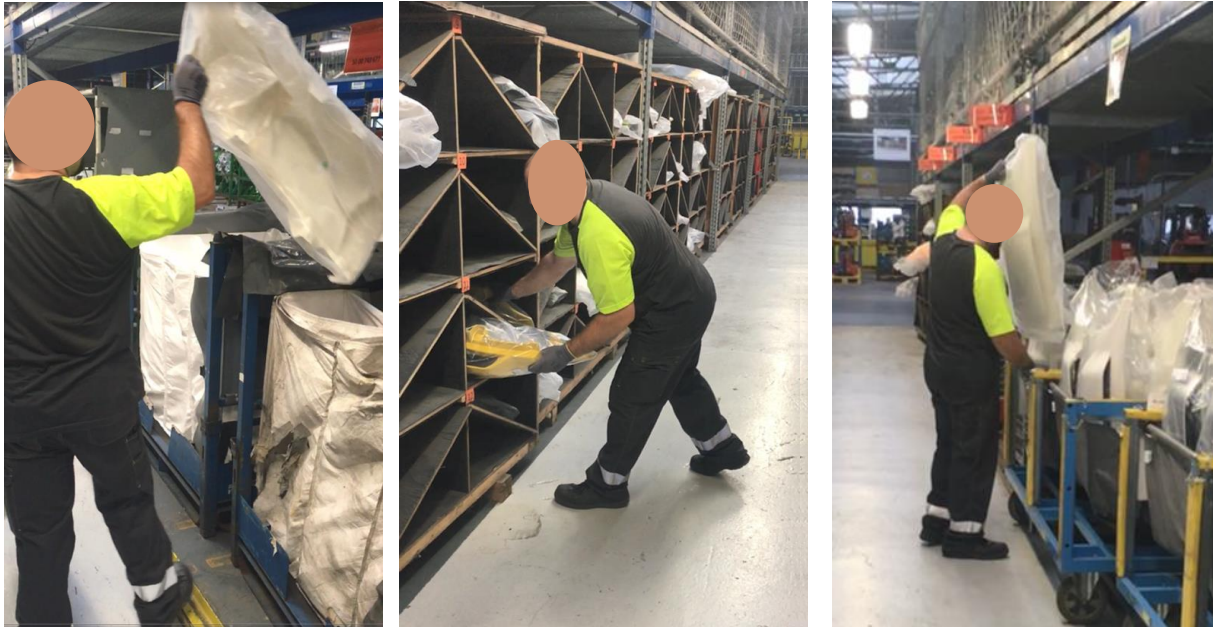


Photo 15: Encyclage Coins ronds. à g. : Prise coins ronds caisse au sol. au centre : Prise coins ronds en meuble pré-encyclage. à dr. : Dépose coin rond dans base roulante.

Activité tapis CP

Nous observons que la manipulation des tapis est fréquente, sur des distances comprises entre 2m pour les références les plus proches et 12m pour les références les plus éloignées de la base roulante. De plus, un tapis CP est une pièce d'un poids compris entre 4,5kg et 6,3kg et d'une taille d'environ 120x60cm, contraignant l'opérateur à le prendre et le soulever en prise pleine main, rajouté à la souplesse du tapis, sa manipulation est rendue d'autant plus difficile.

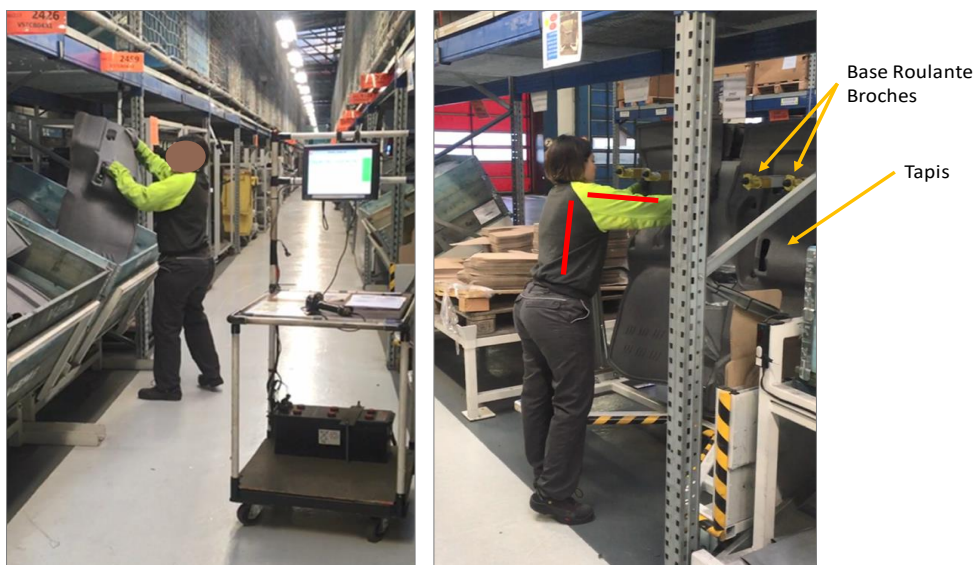


Photo 16: Prise (à dr.) et dépose (à g.) tapis CP sur base roulante.

La dépose des tapis sur base roulante doit se faire de manière à ce que le tapis soit pendu et maintenu par les trous existant sur celui-ci via les broches de la base roulante, demandant à l'opérateur précision, dextérité et force (cf. Photo 16)

En cours de préparation, nos observations ont également mis en évidence les activités suivantes :

- Simultanément l'opérateur dépose son tapis sur la base et recherche le voyant lumineux dans le picking ;
- Les opérateurs prennent occasionnellement 2 tapis en même temps, un dans chaque main ;
- L'opérateur regarde occasionnellement l'ordinateur alors que le système de séquencing est en fonction ;

En entretiens simultanés, les opérateurs expriment :

- Ressentir des brûlures au niveau des épaules à chaque fin de préparation ;
- Devoir faire beaucoup de distance à pieds sur une journée de travail.
- Apprécier le système d'aide indiquant l'emplacement de la pièce à prendre dans le picking.

L'activité des tapis tunnel

Les opérateurs prennent, soulèvent et manipulent des tapis d'un poids compris entre 9.2kg et 13kg. Un tapis tunnel représentent environ le double d'un tapis CP, soit à peu près une dimension de 200x140cm. Leur souplesse et leur dimension font d'eux une pièce difficile à manipuler dans les différentes zones de picking (cf. Photo 17).

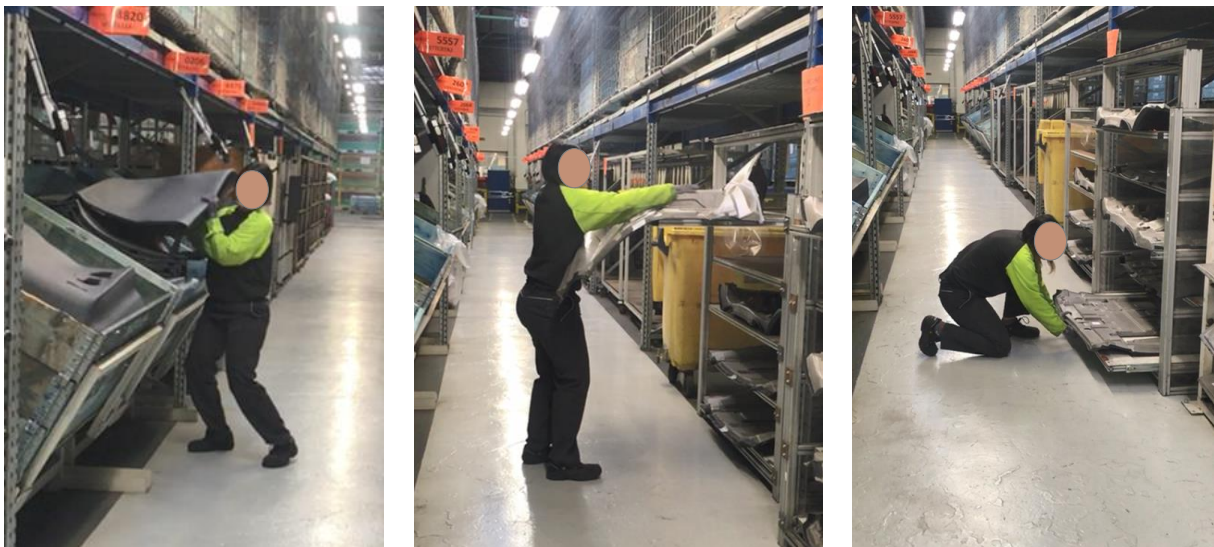


Photo 17 : Encyclage tapis tunnel (à g: prise tapis en picking ; au centre et à dr. : Prise tapis pré-encyclés)

Pour un critère de qualité, les tapis doivent être déposés à plat dans la base roulante et dans un sens défini pour faciliter leur prise par les opérateurs de chaîne de production. De par leurs

caractéristiques, les opérateurs opèrent parfois à des manutentions supplémentaires pour prendre le tapis mais aussi pour replacer le tapis une fois déposé dans la base.

De plus, en fonction des références, les tapis sont déposés soit sur la partie haute soit dans la partie basse de la base roulante. Le placement en partie basse nécessite à l'opérateur de prendre des postures de flexion de tronc très prononcées ou bien à genoux. Dans ces positions, les opérateurs réalisent des manutentions supplémentaires pour replacer le tapis une fois déposé dans la base (cf. Photo 18).



Photo 18: Dépose de tapis tunnel en base roulante (à g.: stratégie de port des tapis tunnel; au centre: dépose en partie haute; à dr.:dépose en partie basse)

6.3 Pré-diagnostic

Au regard de l'analyse documentaire, des observations ouvertes et des entretiens exploratoires, plusieurs points clés sont à retenir :

- Des stratégies opératoires de prise de tapis conditionnées par la dépose en base roulante ;
- Des postures très contraignantes à la prise des tapis en meuble de pré-encyclage ;
- Des difficultés de manipulation et de manutention des tapis tunnels ;
- La recherche et l'identification des lumières de séquencing ;
- L'opérateur regarde occasionnellement l'ordinateur alors que le système de séquencing est en fonction ;
- Selon les opérateurs du poste aval et du poste amont, l'opérateur peut être amené à devoir rattraper le retard engendré par le réapprovisionnement et/ou la livraison des bases roulantes.

En entretiens exploratoires, les opérateurs expriment :

- Ressentir de la fatigue et brûlures musculaires au niveau des épaules à chaque fin de préparation ;
- Le manque de praticité de la base tunnel lors de la dépose de tapis en partie basse ;
- Apprécier le système d'aide indiquant l'emplacement de la pièce à prendre dans le picking et éviter les erreurs de références.

6.4 Hypothèses.

De nos observations ouvertes et de nos entretiens, il semble que :

- Les caractéristiques physiques des pièces à encycler ;
- Les caractéristiques physiques des bases d'encyclage ;
- Les exigences de conditionnement des tapis en bases roulantes ;
- Le système de séquencing ;
- La succession d'activités de manipulation et de manutention de pièces ;

Influent sur les stratégies opératoires et l'astreinte physique des opérateurs afin d'assurer la préparation des bases roulantes destinées aux opérateurs de chaîne de production.

6.5 Observations systématiques

Nous avons choisi plusieurs situations de travail qui ont fait l'objet d'observations systématiques pour l'analyse fine des activités d'encyclage tapis. Au vu des éléments mis en avant par le pré-diagnostic, nous avons choisi d'analyser les activités d'encyclage tapis CP et encyclage tapis tunnel.

La chronique d'activité (cf. Figure 15) et nos observations sur le terrain nous indiquent que l'activité des tapis CP, Coin ronds, puis tapis tunnels représentent chacune environ 25% du temps de travail (cf. Figure 16).

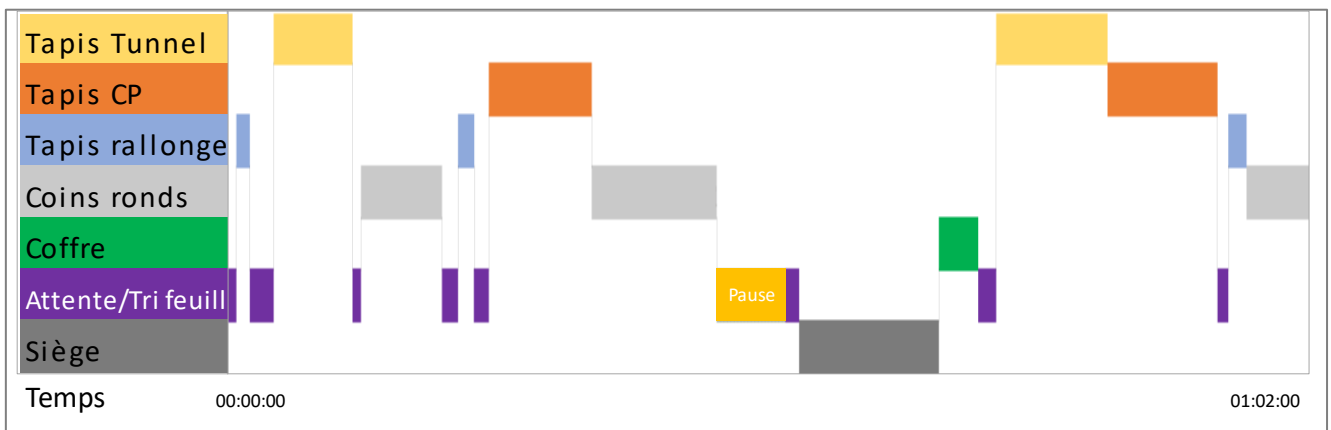


Figure 15: Poste Encyclage tapis - Chronique d'activité

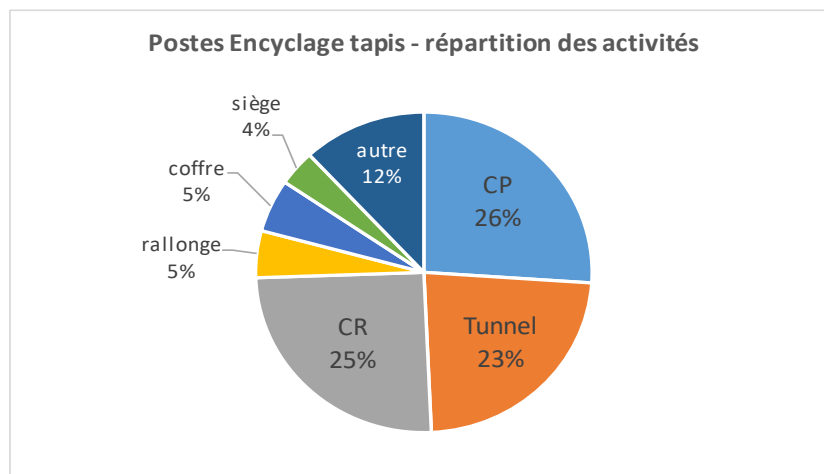


Figure 16: Répartition des activités Poste encyclage tapis sur une journée de travail.

Au regard de nos observations ouvertes, les différentes activités du poste d'encyclage tapis nécessitent la mobilisation de manipulation de pièces et la mobilisation des membres supérieurs sur la totalité des activités observées. Le chronogramme indique la succession de ces activités qui demandent des efforts importants à l'opérateur pour préparer ses bases roulantes.

6.5.1 Tapis CP

Les observations systématiques ont permis de réaliser une chronique d'activité (cf. Figure 17). Les observables que nous avons choisis pour ce chronogramme sont :

Catégories	Observables
Direction regard	Identifie réf sur ordi
	Cherche "pick-to-light"
Déplacements	Déplace sans tapis
	Déplace avec tapis
Actions	Eteint "Pick-to-light"
	Prise tapis
	Prise 2ème tapis
	Dépose sur base
	Contrôle et Mep feuilles picking

Tableau 6: Catégories d'observables pour chronique d'activités

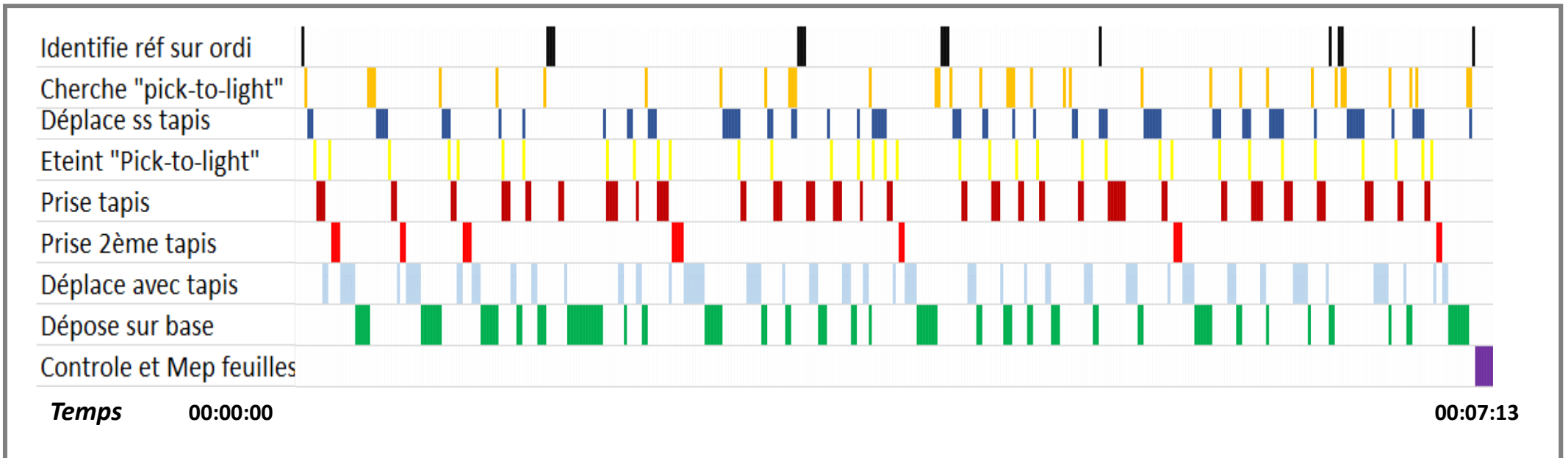


Figure 17 : Tapis CP - Chronique d'activités

Le chronogramme Tapis CP de 7 minutes permet de voir que les activités qui se succèdent ont une part plus ou moins importante pendant un cycle. Ici, la dépose des tapis sur base et le déplacement avec tapis sont les plus importantes avec respectivement 32% et 27% du temps (cf. Figure 18). Durant ces activités, l'opérateur porte, soulève, manipule les tapis CP. Ce sont donc 2 activités qui lui demande le plus d'effort au regard de la chronique. De plus, la prise des tapis en tant que telle représente 15% de ces activités. Ainsi, l'opérateur a une activité de port et de manipulation de charge représentant 74% du temps de la totalité d'un cycle d'encyclage tapis CP.

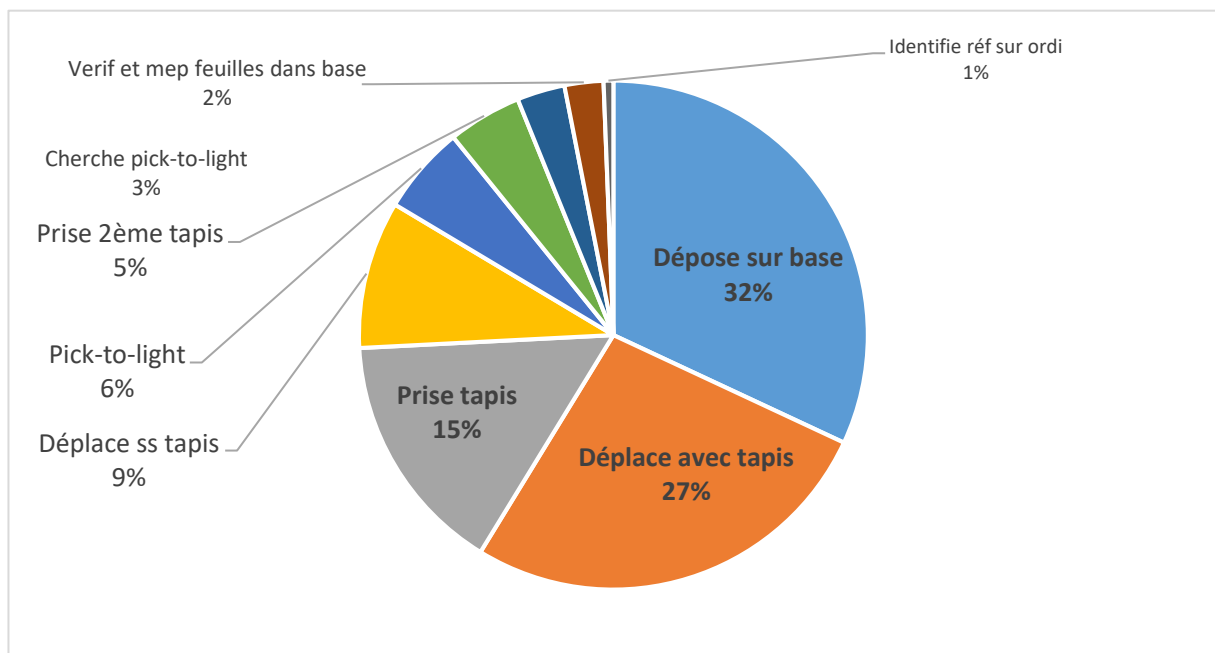


Figure 18: Pourcentage des activités durant un cycle d'encyclage tapis CP.

Le chronogramme indique la prise d'un 2^{ème} tapis à 7 reprises. En effet, lorsque 2 références dont l'emplacement est physiquement proche et même temps éloignée de la base roulante, l'opérateur fait le choix de prendre le 2^{ème} tapis pour éviter un nouvel aller-retour vers la base. En entretien d'explicitation, l'opérateur indique connaître la procédure mais exprime vouloir gagner du temps en procédant ainsi. Il rajoute qu'il fait la même chose en fin de préparation alors même qu'il ressent des douleurs aux épaules, dans le but de gagner du temps :

⇒ « Récupérer et souffler un peu, aller prendre 5 min pour boire un verre d'eau ou pouvoir faire mon 5S (nettoyage de poste) ».

Nous notons également que lors de la prise de ce 2^{ème} tapis, l'opérateur porte chaque tapis dans chaque main, ce qui augmente encore l'effort. D'après le guide ergonomique du groupe (Volvo – Ergonomics Guideline – Manufacturing 2017 - 0001-27-521), le poids maximal autorisé pour une manutention d'environ 60 fois/heure n'est que de 4 kg pour un effort de levage, dans une position debout, avec une posture classé verte. Avec un poids moyen de 5kg (min : 4.5kg ; maxi 6.03kg), l'effort demandé à l'opérateur est important.

Lors de nos observations, valider la prise d'une pièce en éteignant le voyant lumineux est réalisé avec la main. Situé au-dessus des caisses VEMB (cf. Photo 11 pp.47), cette action imposée par le système de séquencing oblige une nouvelle fois l'opérateur à lever les bras et mettre son épaule dans une posture sollicitante voir très sollicitante (cf. Photo 11 pp.47).

L'observable « déplacement sans tapis », qui est donc sans charges, représente 9%. Une action durant laquelle l'opérateur se déplace sans avoir d'effort à faire avec ses épaules, un temps de récupération pour les membres supérieurs. Ce qui peut paraître très court au regard des 75% pendant laquelle l'opérateur est sollicité physiquement.

L'observable « Eteint Pick-to-light », représente l'action pendant laquelle l'opérateur éteint avec sa main le voyant lumineux pour valider la prise de la pièce demandée. Avec le système de séquencing, cela permet d'allumer automatiquement le voyant lumineux suivant, et donc la pièce suivante à prendre. L'opérateur ne prend ainsi pas connaissance, via son ordinateur, de la référence suivante de tapis à encycler pour la mémoriser. Il cherche alors le « pick-to-light » allumé suivant. N'ayant pas besoin de connaître la référence suivante, la charge mentale est diminuée. Lors d'entretiens en auto-confrontation et allo-confrontation, les opérateurs ont confirmé l'aspect « *confortable du « pick-to-light », c'est un gain de qualité et de contrôle de prise de pièces.* »

En revanche, la chronique nous montre que l'opérateur regarde 8 fois son ordinateur pour connaître la référence suivante. Le chronogramme montre également que l'opérateur cherche régulièrement à prendre de l'avance en détectant le plus tôt possible le voyant lumineux suivant allumé. Lors de l'entretien en auto-confrontation, l'opérateur exprime le fait que « parfois, l'ordinateur est plus lent que lui. S'il ne voit pas de voyant lumineux, il se tourne alors vers l'ordinateur qui indique la référence suivante pour aller plus vite sans attendre : *« avec l'ordinateur près de ma base roulante, en regardant la référence suivante j'ai pas besoin d'attendre lorsque le système de lumière ralentis et je me rassure en faisant un contrôle vu que je connais la majorité de l'emplacement de mes références.* »

6.5.2 Tapis Tunnel

Les observations systématiques ont permis de réaliser une chronique d'activité (cf. Figure 19). Les observables que nous avons choisis pour ce chronogramme sont :

- Les postures de l'épaules
- Les postures du dos
- Les postures à genoux
- Les déplacements avec ou sans tapis

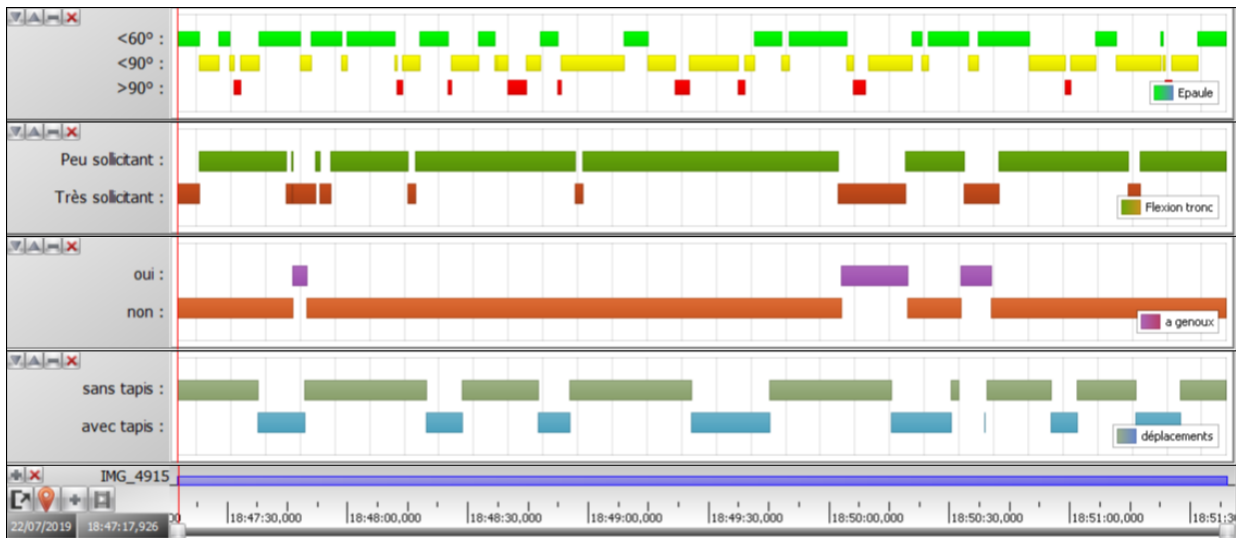


Figure 19: Chronogramme Tapis Tunnel

L'analyse du chronogramme indique que l'opérateur réalise ses actions de prise et dépose de tapis mettant ses épaules dans des postures sollicitantes et très sollicitantes durant 55% du temps (cf. Figure 20). « Les tapis tunnel sont des grosse pièces, lourdes, la prise n'est pas évidente, comme c'est encombrant faut savoir les prendre d'une certaine manière ».

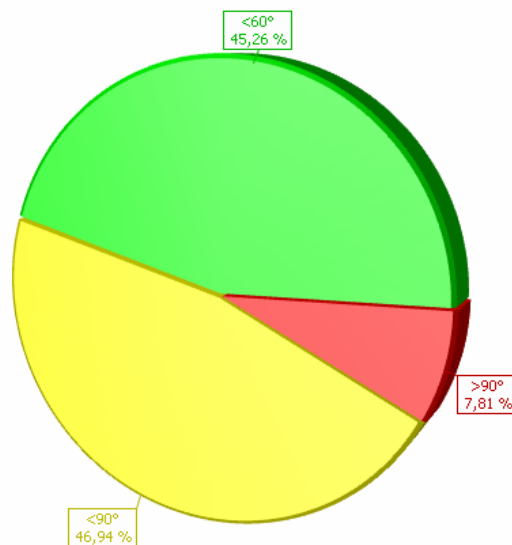


Figure 20: Répartition des postures de l'épaule sur l'activité Tapis tunnel

De plus nos observations ouvertes indiquaient que le poids des tapis tunnel était compris entre 9 et 13kg. A chaque encyclage d'une base roulante de tapis tunnel, l'opérateur manipule au minimum 15 tapis. Avec une fréquence 30 à 45 par heure, l'opérateur est obligé de fournir des efforts importants. Ajouté à un retard des bases par le livreur et un réapprovisionnement tardif, l'opérateur accentue ses efforts et fait des choix pour compenser son retard. Il fait alors un compromis entre stratégie opératoire et préservation de sa santé (diminution des douleurs aux épaules) pour encycler les tapis tunnel dans la base roulante.

Selon la référence, l'opérateur nous indique lors d'entretiens en auto-confrontation détecter des repères sur le tapis (« grandes oreilles » ou « côté plat »), pour le positionner correctement du premier coup dans la base. Cette détection a deux buts :

- Une qualité de préparation et de reconnaissance du travail bien fait : *« je n'ai pas envie que mes collègues me disent que je fais de la merde. »*
- La qualité des tapis (non-conformité) : *« je n'ai pas le choix si je veux pas que mes pièces prennent de mauvaises formes. »*

Auquel cas, l'opérateur est obligé de manipuler le tapis dans son emplacement « picking » pour le placer correctement dans la base ensuite :

- ⇒ *« Je le prends en fonction de la position dans ma base après, selon la forme de la pièce et pour pouvoir mettre les autres à la suite, faut les mettre toujours dans le même sens comme ça ils s'emboîtent sinon après on fait encore plus de manutention ».*
- ⇒ *« Ma priorité c'est de faire la qualité. »*

Il explicite plus précisément sa stratégie opératoire de prise des tapis tunnel :

- ⇒ *« Quand j'arrive devant ma pièce je fais attention à ce que le côté plat soit toujours devant mon corps et parfois cette pièce et mis un coup à gauche ou un coup à droite, je prends ma pièce soit avec main droite ou avec ma main gauche, pour avoir toujours ce côté plat devant mon corps.*

Pour déposer le tapis dans la base, l'opérateur ne prends pas le tapis de la même manière selon la référence et son lieu de dépose dans la base haute :

- ⇒ *« Je fais une bascule quand je suis devant ma base avec mon bras et ce fameux côté plat est positionné devant, il faut que le côté plat soit toujours devant dans la base, tout le temps. Comme ça je n'ai pas besoin de le manipuler dans la base. »*

Il utilise une autre stratégie pour les tapis qui se placent dans la partie basse de la base :

- ⇒ *« Pour les tapis qui se placent en bas, là je l'enroule pour après la dérouler tranquillement sur ma base, mettre au niveau de mes hanches puisque c'est une pièce que je vais mettre en bas sur la base. »*

L'opérateur au poste d'encyclage est dépendant du poste de Cariste Réapprovisionnement en amont et du poste Livreur bases roulantes en chaîne de production. Les opérateurs nous ont rapportés qu'au poste encyclage tapis, si le livreur prend son temps pour ramener les bases vides de la chaîne de production, ils devront par la suite « courir » pour préparer leurs bases. En effet, les bases roulantes « coins ronds » et « tapis CP » sont au nombre de 2, alors qu'il n'y a qu'une seule base roulante pour les tapis tunnel. Cette quantité de bases coins ronds et tapis CP permet aux opérateurs de réguler plus facilement leurs différentes activités. Ils cherchent à préparer en priorité la base des tapis tunnel. Il arrive également qu'il y ai une rupture de stock d'une référence. Dans ce cas, l'opérateur est obligé d'attendre le réapprovisionnement pour continuer la préparation étant donné la nécessité de mettre les tapis et les coins ronds dans l'ordre correspondant au séquençage des cabines en chaîne de production. Ces 2 problèmes influencent les stratégies opératoires de l'opérateur pour ensuite rattraper le retard.

6.6 Diagnostic

Les opérateurs au poste encyclage tapis exécutent une succession d'activités telles que l'encyclage des tapis CP, des tapis tunnel, des coins ronds, des siège/banquettes et des coffres de cabines.

Les observations systématiques et entretiens en auto-confrontation permettent de valider nos hypothèses et de poser le diagnostic suivant :

- ➔ Les caractéristiques des bases roulantes tapis tunnel et tapis CP entraînent des contraintes posturales chez les opérateurs pouvant entraîner l'apparition de TMS des épaules ;
- ➔ Les caractéristiques du picking tapis tunnel et tapis CP mettent en jeu les savoirs faire des opérateurs en adaptant des stratégies opératoires pour favoriser la préservation de leur santé
- ➔ Le système de séquencing mis en place à l'encyclage des tapis permet de soulager la charge cognitive des opérateurs, alors qu'il est en même temps source de sollicitations articulaires.

Notre diagnostic met en avant les différents moyens techniques comme contraintes et ressources pour les opérateurs à l'encyclage des tapis. Malgré un travail conséquent préalable à notre intervention sur l'amélioration de ces dernières, les opérateurs réalisent tous les jours des compromis entre préservation de leur santé et qualité de production.

6.7 Pistes de solutions

Pour répondre aux objectifs de production tout en préservant la santé des opérateurs, des pistes de solutions peuvent être envisagées :

- Une conception de bases roulantes répondant aux contraintes de qualité et diminuant le risque d'apparition des TMS ;
- La création de groupes de travail pour favoriser les échanges entre opérateurs sur les différentes stratégies opératoires de manutention et de manipulation des tapis ;
- La formation et la sensibilisation des nouveaux opérateurs sur les risques physiques qui peuvent être engendrés par l'activité.

Malgré les transformations récentes, les pistes de solutions pour améliorer les conditions de travail peuvent encore être envisagées. Au vue des besoins et des contraintes physiques des différentes activités, l'usage d'un exosquelette pourrait être une réponse aux exigences du poste après une expérimentation et la validation par les opérateurs.

7 EXPERIMENTATIONS AVEC ET SANS EXOSQUELETTE

L'objet de la seconde demande sur le site était de piloter une expérimentation d'exosquelettes, pour laquelle nous avons rajouté la dimension participative. Dans cette partie nous présenterons les résultats obtenus lors des échanges en groupes de travail ainsi que les mesures réalisées avec nos différents outils.

7.1 Sensibilisation et formation à l'usage des exosquelettes.

Avant l'expérimentation et l'utilisation d'un exosquelette par les opérateurs, nous commençons par sensibiliser chaque équipe dont les postes sélectionnés font partie. Cela nous permet de découvrir les premières représentations que chacun des opérateurs et des responsables concernés a de l'utilité des exosquelettes. Elle permet également de construire une représentation commune des exosquelettes.

Comme toute utilisation d'un nouvel outil en milieu professionnel, Les exosquelettes ne dérogent d'autant pas à la règle car aucun des opérateurs ne connaît ce type d'outils et ne peuvent faire appel à des savoir-faire acquis précédemment. Une formation à l'usage d'un exosquelette est indispensable. Donnée par les fournisseurs, la procédure de réglage d'un exosquelette est une notice. Les fournisseurs ne forment pas, ou peu, les opérateurs, mais forment une personne qui sera « formateur-référent » sur les différents sites. Et pour une adaptation optimale à chaque morphologie l'usage d'un exosquelette doit être expliquée et expérimentée plusieurs fois. Nous mettons en place deux sessions de formation qui précéderont les débuts des tests. Pendant ces sessions, nous leur expliquons les risques potentiels à l'usage d'un exosquelette (cf. annexe D), leur rôle et nos attendus pendant toute la durée des tests, notre rôle et ainsi que le planning.

7.2 Expérimentation de la démarche d'intégration.

Dans le même temps que le pilotage des tests exosquelettes sur le site de Blainville, nous souhaitons pouvoir expérimenter la démarche d'intégration d'un exosquelette que nous avons élaborée (cf. annexe G). Notre objectif était de procéder à des itérations par expérimentation sur le terrain de notre propre démarche. Seulement pour procéder à une première validation de la démarche par les médecins et les ergonomes du groupe Volvo, nous sommes obligés de diffuser notre version finalisée début mai 2019, alors que pour des problèmes de commandes avec les fournisseurs, nous avons reçu les exosquelettes que fin mai 2019.

Nous choisissons malgré tout d'utiliser notre démarche pour mener le pilotage des tests exosquelettes sur le site de Blainville. Elle comporte 4 grandes étapes incluant une phase d'analyse préalable de données et d'informations, des étapes de mise en œuvre et d'évaluation de l'interaction entre l'opérateur et l'exosquelette et une phase de retour d'expérience. Tout au long de ces étapes, nous avons intégré l'approche participative avec les différents acteurs nécessaires à l'intégration d'un exosquelette tels que les opérateurs, les managers, les médecins, le directeur d'établissement, les animateurs sécurité, les organisations syndicales, le CHSCT, etc.

7.3 Les outils de notre expérimentation.

7.3.1 L'élaboration des outils

Afin de mesurer, d'évaluer et rendre compte de l'utilité et de l'usage d'un exosquelette, nous créons plusieurs outils destinés aux opérateurs. Nous nous inspirons d'outils déjà connus et validés scientifiquement (Questionnaire Nordic, Echelle de borg), mais aussi des travaux réalisés par l'AFNOR et l'INRS. Les outils sont (cf. annexe G) :

- Un questionnaire sur la Santé Musculo-squelettique, pour nous permettre de dresser le portrait de la santé musculo-squelettique des opérateurs volontaires avant et après les tests ;
- Un questionnaire « Ressenti opérateur », pour connaître les ressentis des opérateurs sur l'interaction et l'utilité qu'ils peuvent avoir avec l'exosquelette ;
- Une « Fiche de suivi d'utilisation exosquelette », pour connaître et évaluer dans le temps le temps d'utilisation de l'exosquelette ;
- Des enregistrements cardiofréquence-métriques des opérateurs avec et sans exosquelettes.

Pour ce dernier outil, nos recherches précédentes et les différents cas d'expérimentation au sein du groupe Volvo, nous souhaitons savoir si les exosquelettes utilisés augmentent les sollicitations cardiaques des opérateurs qui le portent. Pour cela nous choisissons de procéder à des mesures de fréquences cardiaques avec un cardiofréquence-mètre de poignet de marque POLAR© sur des situations de travail avec et sans exosquelette.

L'introduction de la dimension participative est également un outil que nous avons utilisé lors de nos réunions en groupe de travail hebdomadaires.

7.3.2 La démarche d'intégration d'un exosquelette

Pour la démarche d'intégration, il a été indispensable d'élaborer un protocole d'expérimentation des exosquelettes (cf. Démarche d'intégration annexe E p.25). En nous inspirant des différentes recherches et retours d'expérience divers au sein du groupe Volvo, nous préconisons un protocole de 5 semaines.

Il nous paraît important que les opérateurs puissent se familiariser avec l'exosquelette afin de faire de ce nouvel outil un instrument qui a du sens dans leur propre activité, de laisser du temps aux opérateurs de construire un « partenariat » et devenir autonome à l'usage de l'exosquelette. Pour cela les opérateurs doivent être en situation de travail habituelle ôter de la pression du temps pour construire leurs propres repères. Une semaine de familiarisation en situation « Off-line » au moins 1heure par jour nous paraît être un minimum. Les 4 semaines suivantes permettent l'évaluation de l'usage de l'exosquelette.

7.4 Les résultats de l'expérimentations exosquelettes

Les 5 opérateurs qui ont participé à cette expérimentation étaient tous volontaires, sans critère de choix anthropométriques (cf. Tableau 7). Nous sommes conscients de la taille réduite du nombre d'opérateurs-testeurs, mais ce sont les différents problèmes d'organisation des équipes, l'absence de rotation sur des postes pénibles sur une période de 5 semaines et notre volonté de favoriser de bonnes conditions de tests pour les opérateurs qui nous ont conduit à ce faible effectif.

	Sexe	Age (années)	Ancienneté dans l'entreprise	Ancienneté au poste	Statut de contrat	Taille (en cm)	Poids (en kg)	Latéralité
Oérateur 1	F	32	23 mois	23 mois	CDI	163	70	Droitier
Oérateur 2	M	28	13 mois	13 mois	CDD	176	74	Droitier
Oérateur 3	M	36	28 mois	28 mois	CDI	182	92	Gaucher
Oérateur 4	M	37	31 mois	31 mois	CDI	184	80	Droitier
Oérateur 5	F	22	18 mois	18 mois	CDI	168	62	Droitier

Tableau 7: Données population des tests exosquelettes

7.4.1 Temps d'utilisation avec et sans exosquelettes

Avec l'aide de notre fiche de suivi exosquelette (Annexe G), nous avons pu déterminer et évaluer le temps d'utilisation des exosquelettes sur les 4 semaines d'expérimentation. Pendant cette période, les opérateurs étaient libres sur le temps et le moment d'utilisation de l'exosquelette. Le Tableau 8 résume le temps pendant lequel les opérateurs ont porté les exosquelettes. Après une première semaine de familiarisation, on peut voir que le temps de port se stabilise autour de 30% sur une journée de travail.

Au regard des fiches de suivi remplies par les opérateurs, nous constatons également que les moments de l'utilisation des exosquelettes se situent avant la pause déjeuner et après la pause de l'après-midi. Lors des groupes de travail, les opérateurs rapportent que ce sont les moments

	Mastic		Encyclage	
Test Semaine 1	Exo Epaules 6% (1h20/22h)	Exo Dos 10% (2h15/22h)	Exo Epaules 57% (6h10/10h45)	Exo Dos 83% (9h/10h45)
Test semaine 2	- Arrêt		Exo Epaules 30% (6h30/28h)	Exo Dos 19% (7h10/36h)
Test semaine 3	-		Exo Epaules 32% (11h30/36h)	Exo Dos 33% (12h/36h)
Test semaine 4	-		Exo Epaules 32% (11h30/36h)	Exo Dos 27% (6h/22h)

Tableau 8: Temps de port des exosquelettes durant les 4 semaines de tests.

de la journée durant lesquels ils ressentent un coup de fatigue et qu'ils voulaient bénéficier de l'aide apportée par les exosquelettes.

7.4.2 Les efforts ressentis

Tout au long de l'expérimentation, les opérateurs devaient remplir une fiche « Ressenti Opérateur » après chaque utilisation d'un exosquelette (Annexe G). Sur cette fiche, les opérateurs indiquaient les efforts ressentis via une échelle de Borg (0 étant pas d'effort à 10 étant effort extrêmement dur) selon les différentes opérations qu'ils devaient faire (ex : prendre un tapis, déposer un tapis sur la base, etc.). Les figures ci-dessous nous montre l'évolution des efforts ressentis des opérateurs.

Pour l'exosquelette des membres supérieurs (cf. Figure 21), nous constatons que l'effort sans exosquelette est estimé à 5/10. Avec exosquelette, nous constatons une tendance à la baisse sur toute la durée de l'expérimentation : d'un effort senti à 4.5/10 en semaine 1 à un effort senti à 1.5/10 en semaine 4.

En groupe de travail, les opérateurs déclarent ressentir moins d'effort avec l'usage de l'exosquelette. Ils précisent une réelle sensation d'aide et d'effort moins importants ainsi qu'une diminution des douleurs aux épaules notamment pour l'encyclage des tapis CP et tapis tunnel concernant surtout la dépose des pièces dans les bases et la manipulation des tapis. La Figure 21 montre également que l'effort senti n'est pas corrélé au temps de port.

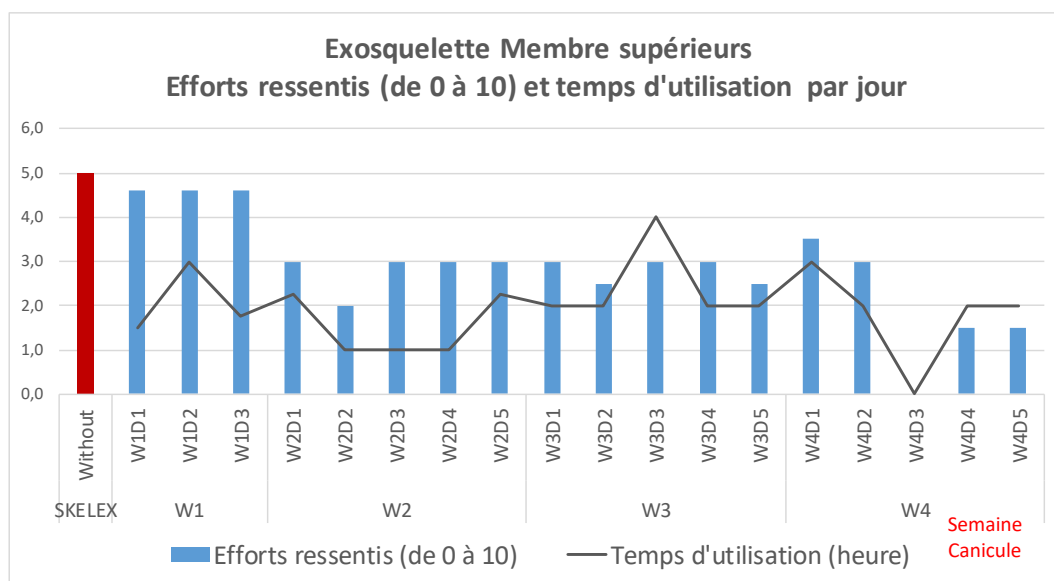


Figure 21: Efforts ressentis des opérateurs - Sans et avec exosquelette membres supérieurs

Concernant l'exosquelette du dos (cf. Figure 22), nous constatons que l'effort sans exosquelette est estimé à 4,5/10. Avec exosquelette, nous constatons une tendance à la baisse jusqu'à la fin de la semaine 3 de l'expérimentation : d'un effort senti à 5/10 en semaine 1 à un effort senti à 2/10 en semaine 3. La dernière semaine montre une augmentation des efforts ressentis. En effet cette semaine était une semaine de canicule avec des températures dépassant

les 30°C au poste de travail. En groupe de travail, les opérateurs déclarent ressentir une assistance réelle et une diminution des efforts musculaires au niveau du bas du dos, mais également l'apparition de chaleur supplémentaire à l'usage de l'exosquelette. Ils précisent également que lors des opérations de prise de chandelles sur les supports l'effort ressenti est diminué passant de 6/0 sans exosquelette à 3/0 avec exosquelette.

La Figure 22 montre également que l'effort ressenti n'est pas corrélé au temps de port.

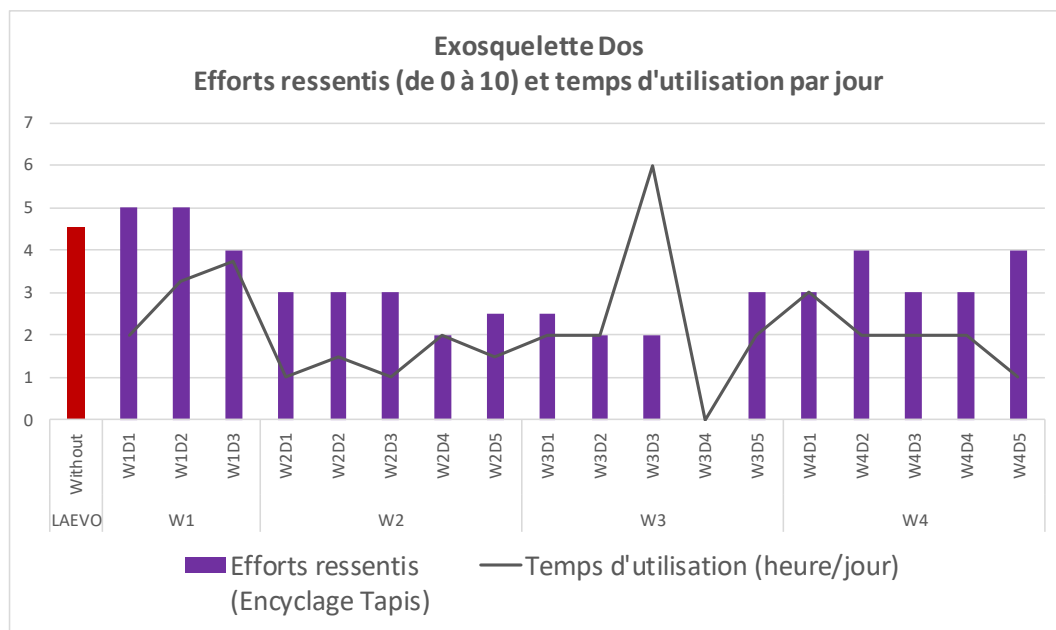


Figure 22: Efforts ressentis des opérateurs - Sans et avec exosquelette du dos

7.4.3 La santé musculosquelettiques des opérateurs testeurs

Pour dresser le portrait des opérateurs testeurs, les opérateurs ont rempli un questionnaire sur leur santé musculosquelettique (annexe G). La passation de ce questionnaire a été réalisé avant et après l'expérimentation des exosquelettes. Sur les 12 derniers mois, les opérateurs déclarent avoir ressenti des douleurs ou gênes au niveau de la nuque/cou, des épaules, du haut du dos et du bas du dos. Après 5 semaines d'expérimentations, nous constatons la disparition des douleurs ou gênes correspondants aux épaules et haut du dos (cf. Figure 23).

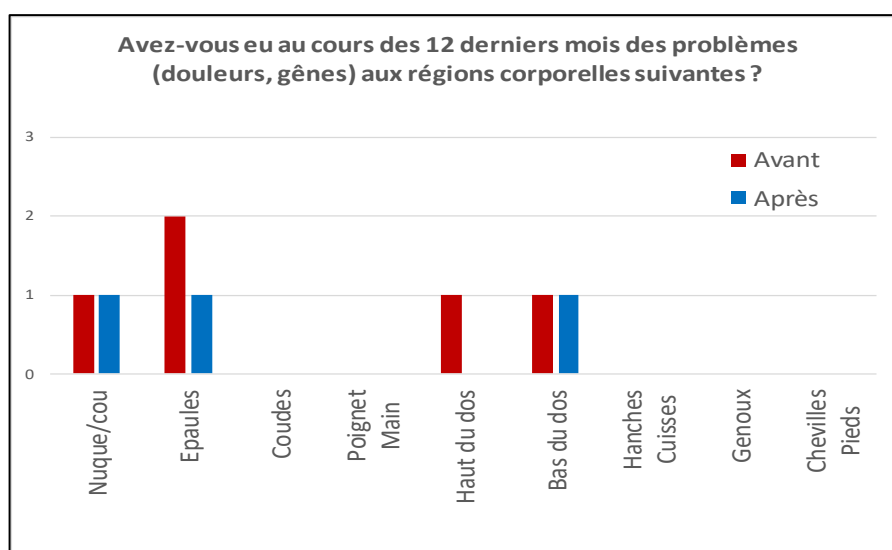


Figure 23: Résultat questionnaire Santé musculosquelettique sur les 12 derniers mois, avant et après les 5 semaines de test exosquelettes.

En groupe de travail, les opérateurs nous indiquent que la fatigue engendrée par l'activité est toujours présente en fin de journée mais que les douleurs concernant les épaules et le bas du dos sont très diminuées voire même disparues.

Sur les 7 derniers jours, autrement lors de la dernière semaine de notre expérimentation, seul un opérateur a déclaré ne plus avoir de douleurs ni de gêne à la nuque/cou.

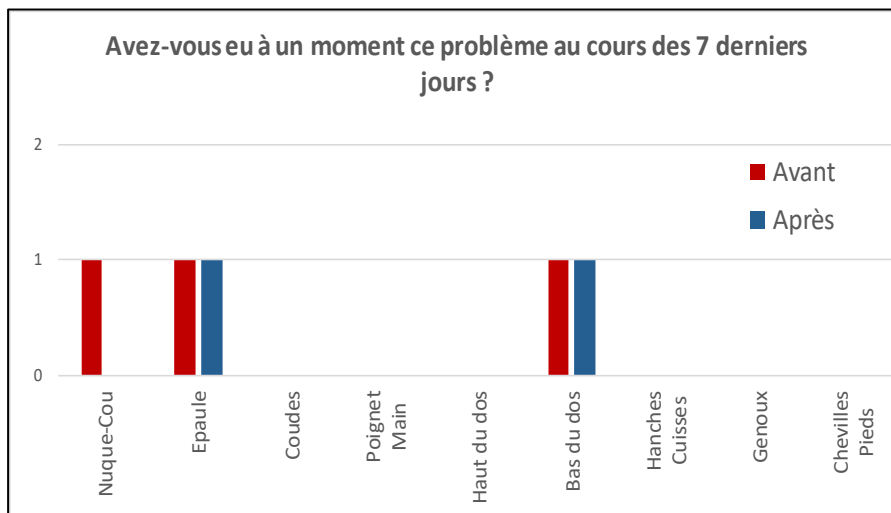


Figure 24: Résultat questionnaire Santé musculosquelettique sur les 7 derniers jours, avant et après les 5 semaines de test exosquelettes

7.4.4 Evolution de l'activité cardiaque des utilisateurs

Nos différentes recherches nous ont permis de comprendre qu'un des effets possibles du port de l'exosquelette est l'augmentation des sollicitations cardiaques. Afin d'évaluer et de mesurer si les exosquelettes que nous avons sélectionnés pouvait influencer l'activité cardiaque des opérateurs, nous avons enregistré durant la semaine 2, 3 et 4 de notre expérimentation la fréquence cardiaque des opérateurs testeurs avec et sans exosquelette. Les figures ci-dessous nous montrent les résultats.

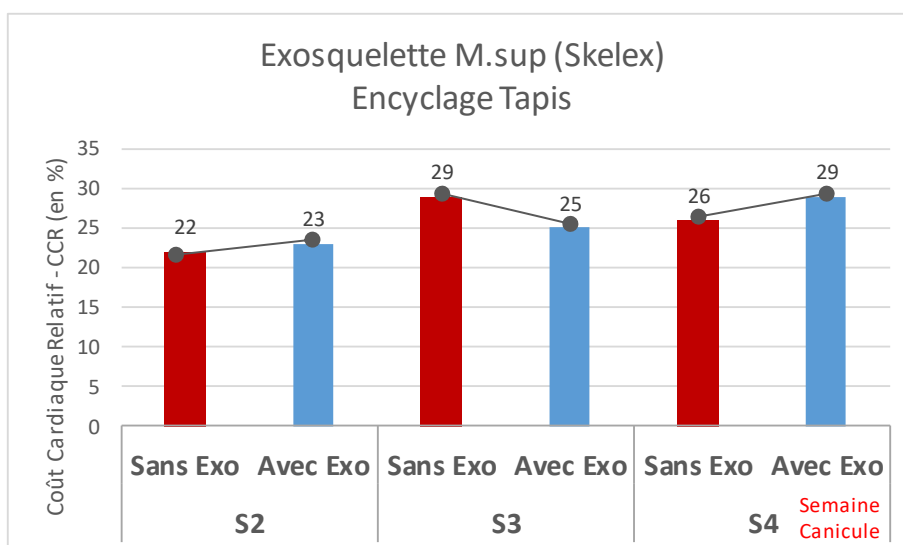


Figure 25: Coût cardiaque relatif des opérateurs avec et sans exosquelette membres supérieurs - poste encyclage tapis.

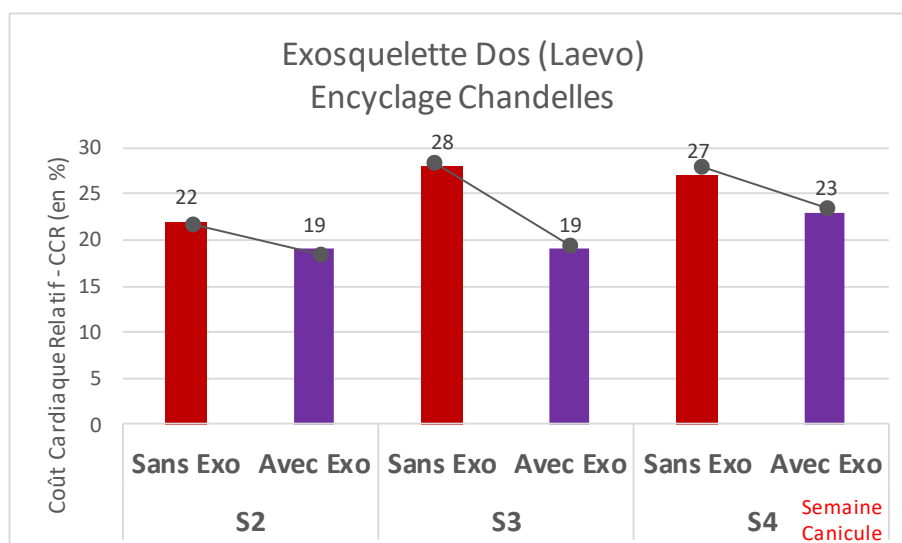


Figure 26: Coût cardiaque relatif des opérateurs avec et sans exosquelette du dos - poste encyclage chandelles.

Pour caractériser et évaluer la charge de travail individuelle le coût cardiaque relatif (CCR) est un des indicateurs utilisables. En accord avec le médecin du site, nous avons donc réalisé l'enregistrement des fréquences cardiaque des opérateurs en situation de travail avec un cardio fréquencemètre de poignet, la montre M200 de Polar®. Pour avoir une bonne représentativité de la fréquence cardiaque avec et sans exosquelette en fonction de la production, nous avons réalisé toutes les mesures le matin pendant 1h30 à 2h.

Tableau 9 : Coût Cardiaque Relatif avec et sans exosquelette.

Cout cardiaque relatif Exosquelette SKELEX (Membres supérieurs)			Cout Cardiaque relatif Exosquelette LAEVO (Dos)		
Sur 3 semaines de tests	Sans Exo	Avec Exo	Sur 3 semaines de tests	Sans Exo	Avec Exo
CCR (%)	29%	25%	CCR (%)	28%	19%

L'analyse et le calcul des coûts cardiaques relatif (cf. Tableau 9) n'indiquent pas d'augmentation de l'astreinte cardiaque avec le port d'exosquelette, mais plutôt une tendance (non significative) à une diminution du CCR. Au regard de la grille de Chamoux et de Frimat, les deux activités de travail sans exosquelette sont classées dans des activités à effort modéré. Le coût cardiaque relatif diminue de 29% à 25% pour l'exosquelette des membres supérieurs ; et de 28% à 19% pour l'exosquelette du dos.

Inférieur à 3kg pour les deux exosquelettes, le poids des exosquelettes peut être une explication à l'absence d'augmentation du coût cardiaque relatif.

7.4.5 Retour d'expériences en groupe de travail.

Afin d'évaluer au mieux l'interaction entre les opérateurs et les exosquelettes, nous avons utilisé les critères d'évaluation intégrés dans le démarche d'intégration d'un exosquelette. Après avoir bien défini chaque critère, les opérateurs étaient amenés à échanger en fonction de l'expérience de chacun avec les exosquelettes. Le Tableau 10 ci-dessous, construit et validé par les opérateurs en groupe de travail est une synthèse de nos échanges.

Tableau 10: Synthèse opérateurs sur les différents critères d'évaluation d'un exosquelette.

Exosquelettes		
Critères	Epaules	Dos
Appropriation	<ul style="list-style-type: none"> - Temps : Moins d'une semaine - Pas de contraintes particulières du mouvement des bras - Bien reçu par la majorité de l'équipe - Réelle assistance physique et "morale". Même non porté le fait de l'avoir rassure si on a un coup de mou. 	<ul style="list-style-type: none"> - Temps : Plus d'une semaine - Contrainte pour les mouvements en rotation du buste - Réelle assistance physique et "morale". Même non porté le fait de l'avoir rassure si on a un coup de mou.
Utilité	<p>Forte (7/10): pour Tapis CP/Coins ronds (8/10); Tapis tunnel (6/10)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Respect de la qualité et du temps de cycle. - Incite aux bonnes postures (Si retard, pas d'utilisation « on prends beaucoup moins les positions ergonomiques ») 	<p>Chandelles :7/10 ; Béquilles : 1/10</p> <ul style="list-style-type: none"> - Respect de la qualité et du temps de cycle - Incite aux bonnes postures (Si retard, pas d'utilisation « on prends beaucoup moins les positions ergonomiques »)
Utilisabilité	<ul style="list-style-type: none"> - Très facile à mettre et à enlever (environ 30sec) « Comme un sac à dos ». Facile à régler, mais plus compliqué lorsqu'ils souhaitent le régler tout en le portant - Non gênants pour les autres activités : Coins Ronds, coffres, Tapis rallonge. - Moment d'utilisation : plutôt après les pauses du matin et de l'après-midi - Effets bénéfiques (moins d'efforts : 5/10 sans exo à 1,5/10 avec exo) 	<ul style="list-style-type: none"> - Très facile à mettre et à enlever (environ 30sec) « Comme un sac à dos ». Réglage plus difficile (boutons trop petits) - Non gênants pour les autres activités : béquille, conduite d'engin, - Moment d'utilisation : plutôt après les pauses du matin et de l'après-midi - Effets bénéfiques (moins d'efforts : 5/10 sans exo à 3/10 avec exo)
Impacts	<p>Effets sur l'utilisateur : diminue l'effort et les douleurs au niveau musculaire lors des prises et déposes tapis. Aide aussi au coins ronds</p> <p>Apporte plus de chaleur; notamment quand les températures extérieures augmentent</p> <p>Equipe : Moins de polyvalence</p>	<p>Les utilisateurs portent l'exosquelette même si moins utile (fonction verrouillage/déverrouillage). Pas de gênes spécifiques à la conduite de l'engin.</p> <p>Apporte plus de chaleur; notamment quand les températures extérieures augmentent.</p> <p>Equipe : Moins de polyvalence</p>
Sécurité	<p>Evaluation des risques (douleurs) :</p> <p>Passage d'un Risque C sans exo à un Risque B avec exo</p>	<p>Evaluation des risques (douleurs) :</p> <p>Passage d'un Risque C sans exo à un Risque B avec exo</p>

Pour rappel, les définitions des différents critères d'évaluation d'un exosquelette :

- L'appropriation : *Comment j'intègre ce nouvel outil dans mon environnement de travail et mes modes opératoires ?*
- L'utilité : *Quelle est l'utilité pour mes différentes activités ?*
- L'utilisabilité : *Comment je revêts, je règle l'exosquelette ?*
- Impacts : *Quels effets sur moi et sur mon équipe*
- Sécurité : *Suis-je en sécurité lorsque j'utilise un exosquelette ? Suis-je dangereux pour mes collègues ?*

Avec ces groupes de travail, les retours à retenir sont :

- L'appropriation est d'autant plus facilitée par l'absence de contraintes des mouvements des opérateurs en situation de travail. Après des moqueries, puis de la curiosité, l'équipe a intégré l'exosquelette.
- L'utilité est forte pour les activités principales du poste et ne gêne pas pendant les activités annexes (coins ronds, sièges/banquettes et coffre) tout en respectant les temps de cycle.
- L'effort et les douleurs sont diminués, mais apporte plus de chaleur lors de températures extérieures élevées,
- Les opérateurs déclarent que l'exosquelette incite même aux bonnes postures lorsque les opérateurs ont une activité « normale », et dans le même temps indiquent ne pas utiliser l'exosquelette lorsqu'ils doivent rattraper un retard : « on prend beaucoup moins les positions ergonomiques, on sait qu'on se fait mal. »
- Les opérateurs déclarent une facilité à régler l'exosquelette (sauf quand il est porté), et une rapidité à le revêtir (moins de 30 secondes), ce qui augmente d'autant plus l'utilisabilité et l'appropriation de l'exosquelette ;
- Le collectif apprécie moins l'absence de polyvalence aux postes, la rotation des opérateurs aux postes étant figée pendant toute la durée des tests.

Lors d'un groupe de travail avant l'expérimentation, une réunion avec les responsables d'UEP et responsables d'équipe a permis de relever les craintes de départ qui étaient que les opérateurs seraient gênés par l'exosquelette, seraient moins rapides, auraient plus de difficultés à tenir le poste après un effet « waouh ». Suite à l'expérimentation de 5 semaines des exosquelettes, les responsables dégagent plusieurs points :

Points positifs :

- L'exosquelette joue sur le moral des utilisateurs : « même sans l'utiliser, le fait de savoir qu'ils peuvent mettre l'exosquelette quand ils le veulent, les opérateurs se sentaient rassurés. L'exosquelette est devenu un besoin, et essentiellement utilisé après les pauses. »
- Réelle autonomie des opérateurs avec l'exosquelette. Importance de la formation, de l'accompagnement et de la familiarisation des opérateurs avec l'exosquelette
- Favorise les échanges avec d'autres opérateurs concernant l'ergonomie d'autres postes.

Points négatifs :

- Désorganisation de la rotation des opérateurs aux postes durant l'expérimentation
- Demande de la ressource en terme de temps concernant les heures de formation, les heures pour support par un collègue lors de la semaine de familiarisation, les heures de réunions hebdomadaires en groupes de travail.

L'introduction de la dimension participative a favorisé les échanges entre les opérateurs entre-eux mais aussi entre les opérateurs et leur encadrement. Elle a permis de confronter chacun aux difficultés rencontrées par les autres et d'en prendre connaissance et conscience, et de discuter de l'amélioration des conditions de travail sur d'autres postes que celui concerné par les tests exosquelettes. Elle incite également l'échange des pratiques avec l'objectif d'apprendre de l'autre de nouvelles stratégies (opératoires, gestuelles) et de développer ses compétences. Dans notre intervention, la difficulté à été de pouvoir avoir en même temps les opérateurs testeurs d'exosquelettes pour échanger en groupe de travail. L'encadrement a dû se réorganiser pour faire face à l'absence des opérateurs à leurs postes durant ces groupes de travail.

Une semaine après notre période d'expérimentation des exosquelettes, une restitution des résultats obtenus a été faite auprès des opérateurs et de l'encadrement. Au moment de l'écriture de ce mémoire, la date de restitution en comité de pilotage n'était pas encore définie.

DISCUSSION

Notre intervention ne s'est pas seulement attaché à limiter les effets négatifs du travail en pilotant des tests et en proposant des exosquelettes, mais également d'essayer de faire comprendre que le travail est un facteur de construction de la santé lorsqu'il est judicieusement adapté et régulièrement mis en débat avec la prise en compte de toutes les dimensions de l'opérateur. Aussi, un travail de transformation des représentations des exosquelettes a été nécessaire pour que toutes les personnes concernées confrontent leurs idées préconçues à la réalité.

L'enjeu de l'ergonomie est de transformer le travail pour l'adapter à l'homme, de développer les marges de manœuvre qui caractérisent l'opérateur et celles du milieu dans lequel il se trouve (Coutarel et Petit, 2013) et qui favorisent les ressources de la situation de travail. Par conséquent le pouvoir d'agir de l'opérateur. C'est aussi transformer le travail pour diminuer l'exposition aux facteurs de risques, et pour notre cas des exosquelettes, une partie des risques TMS. Or aujourd'hui, plusieurs études ont montré les bénéfices mesurés de leur usage, mais aussi, pour quelques-unes concernant les exosquelettes des membres supérieurs, des effets biomécaniques potentiellement délétères pour l'articulation de l'épaule. De fait, les risques inhérents à l'usage de l'exosquelette sont multiples. En l'absence de prise en compte de ces risques, ce serait alors les opérateurs qui seraient transformés pour s'adapter au travail. Il s'agit de ne pas rajouter des contraintes supplémentaires lors de l'usage de l'exosquelette, ou du moins que les bénéfices de son usage soient plus importants que les contraintes.

Ces risques couplés aux contraintes de l'activité peuvent devenir fortement défavorables pour les opérateurs. Le déploiement des exosquelettes ne dépend pas que de l'activité réalisée, des mouvements à répéter, des pièces à porter : il dépend aussi des opérateurs et de l'acceptation qu'ils vont en avoir.

Des opérateurs au Brésil et en France sont différents des opérateurs au Japon ne serait-ce que par leur culture. Les ressentis de chacun sont différents et multiples et le travail est vécu différemment. Il ne faut pas oublier que les opérateurs sont avant tout des individus avec leur histoire, leur sensibilité, leur psychologie. Il est alors nécessaire de prendre en compte le rapport subjectif de l'opérateur à son travail (Clot, 1999). Cette dimension subjective légitime encore plus l'utilisation d'un cadre telle qu'une démarche participative d'intégration d'un exosquelette. Il s'agit d'établir des connaissances fines et fiables à la fois sur les tâches pour lesquelles les opérateurs pourraient être assistés et celles pour lesquelles l'exosquelette empêche ou gêne toute réalisation du geste professionnel de l'opérateur, et à la fois sur les dimensions physio-psychologiques qu'entraîne le port et l'usage de l'exosquelette.

Dans l'intégration de cette nouvelle technologie, la formation et l'accompagnement sont également capitaux. L'exemple de l'arrêt des tests au centre Mastic pour des raisons de cadences, de formation et d'absence d'accompagnement à la familiarisation de l'exosquelette le prouve bien. Comme tout nouvel apprentissage de l'usage d'un outil, cela demande du temps pour se l'approprier, savoir l'utiliser et pour quelle utilité. La construction de ces nouveaux savoir-faire dans des conditions qui le permettent favorise l'utilisation de ce nouvel outil comme cela a pu se passer durant notre intervention à l'encyclage.

L'amélioration des conditions de travail, entre autres, ne peut se faire sans une compréhension de l'activité du point de vue de ceux qui la réalisent et avec ceux qui la réalisent, apportée légitimement par l'ergonome. Au-delà de l'analyse fine de l'activité réelle de l'opérateur en situation, l'intervention ergonomique, par sa dimension participative, répond ainsi à ce double objectif : la production de connaissances sur les situations de travail et la mise en débat de celles-ci entre les opérateurs et leurs encadrants dans le but d'améliorer conjointement la santé et la performance des salariés et de l'organisation.

CONCLUSION

La demande initiale qui nous a été faite pour cette intervention était l'élaboration d'une démarche d'intégration d'un exosquelette et le pilotage de tests exosquelettes. Proposer d'introduire une dimension participative à ce double projet a favorisé l'apport de connaissances issues du terrain et accentuer le rôle des opérateurs en tant qu'acteur et préventeur de leur propre santé et sécurité au travail.

Aujourd'hui, ne plus revenir d'une journée de travail cassé, usé par les efforts physiques, cognitifs et psychologiques indissociables de l'activité imposée par les organisations est un signe de qualité de vie au travail. Traiter les symptômes des troubles engendrés par l'activité est aussi devenu un des facteurs sur lesquels les entreprises cherchent à en diminuer les coûts. L'exosquelette pourrait être une des réponses préventives à certaines maladies professionnelles telles que les TMS à condition qu'il rentre dans un processus de recherche de déterminants le plus exhaustif possible. En assistant l'opérateur dans ses gestes, l'exosquelette prends d'une certaine manière une fonction de préservation de la santé de l'opérateur. Avec des contraintes diminuées, l'opérateur pourrait être plus actif dans la production de solutions gestuelles et répondre aux exigences de la tâche (Lémonie et Chassaing, 2013). Pressentis d'abord comme solution miracle contre les TMS, nous avons pu voir que les exosquelettes répondent que partiellement aux contraintes subies par les opérateurs de par son caractère intrusif.

L'exosquelette doit d'abord passer par l'épreuve du réel pour évaluer ce qu'il apporte, ce qu'il ne permet pas ou plus de faire, ou ce qu'il dégrade dans la mise en œuvre du travail et de ses conditions (Bobillier Chaumon, 2016). Tout comme une intervention ergonomique, l'usage d'un exosquelette sera validé par les opérateurs si sa finalité montre des effets favorables et potentiellement durables sur les individus.

« La clé d'une belle réussite technologique n'est pas la technologie elle-même, mais son harmonisation avec ceux qu'elle est censée aider ».

Jacques Leplat.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABDOLI E.M. et STEVENSON J.M. – The effect of on-body lift assistive device on the lumbar 3D dynamic moments and EMG during asymmetric freestyle lifting. *Clin Biomech* (Bristol, Avon), 2008, 23(3): pp 372-80.
- BALTRUSCH S.J, VAN DIEËN J.H., VAN BENNEKOM C.A.M., HOUDIJK H. – The effect of passive trunk exoskeleton on functional performance in healthy individuals. *Appl Ergon*, 2018, 72: pp. 94-106.
- BEY M.J., BROCK S.K., BEIERWALTES W .N, ZAUDEL R., KOLOWICH P.A., et LOCK T.R – In vivo measurement of subacromial space width during shoulder elevation : technique and preliminary results in patients following unilateral rotator cuff repair. *Clin Biomech* (Bristol, Avon), 2007, 22(7): pp767-73.
- BOBILLIER CHAUMON M-E. ET CLOT Y., « Clinique de l’usage : Les artefacts technologiques comme développement de l’activité », *Activités* [En ligne], 13-2 | 2016, mis en ligne le 15 octobre 2016, consulté le 27 février 2017. URL: <http://activites.revues.org/2897> ; DOI : 10.4000/activites.2897.
- BOSCH T., VAN ECK J., KNITEL K., et DE LOOZE M. - The effects of a passive exoskeleton on muscle activity, discomfort and endurance time in forward bending work. *Appl Ergon*, 2016, 54: pp. 212-217
- CLOT, Yves. *Bien faire son travail, une condition au bien-être au travail et à la santé. Colloque Management et Bien-être au travail. Saint Etienne, Cité du Design. 22 Octobre 2014.* Saint Etienne, 2014, 10 p.
- COUTAREL F. ET PETIT J. (2013). Dynamiques d’action, dynamiques de développement. In P. Falzon (Ed.), *Ergonomie Constructive* (pp.175-190). Paris : Puf.
- DE LOOZE, M.P., BOSCH, T., KRAUSE, F., STADLER, K.S., O’SULLIVAN, L.W., 2016. Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load. *Ergonomics* 59 (5), 671–681.
- DUGUE, B., PETIT, J et DANIELLOU F, « L’intervention ergonomique comme acte pédagogique », *Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé*[En ligne], 12-3 | 2010, mis en ligne le 01 novembre 2010, consulté le 3 juillet 2019. URL : <http://journals.openedition.org/pistes/2767> ; DOI : 10.4000/pistes.2767
- FORZY J.F. (1999), “Assessment of a driver guidance system: a multi-level evaluation”, *Transportation Human Factors*, 1 (3), 273-287.
- HEBERT L.J., MOFFET H., MCFADYEN B.J., et DIONNE C.E. – Scapular behavior in shoulder impingement syndrome. *Arch Phys Med Rehabil*, 2002, 83(1) : pp.60-9.
- HUYSAMEN K., DE LOOZE M., BOSCH T., ORTIZ J., TOXIRI S. et O’SULLIVAN LW – Assessment of an active industrial exoskeleton to aid dynamic lifting and lowering manual handling tasks. *Appl Ergon*, 2018, 68. pp. 125-131.

KING G.F, LUNENFELD, H. (1971). – Development of information requirements and transmission techniques for highway users, HRB.

LEMONIE Yannick. et CHASSAING Karine. De l'adaptation du mouvement au développement du geste. In : Ergonomie Constructive. Paris : PUF, 2013, pp.61-74.

LEPLAT JACQUES, « Le facteur humain. Réinventer notre rapport à la technologie de Vicente », *Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé* [En ligne], 7-3 | 2005, mis en ligne le 01 novembre 2005, consulté le 13 mars 2019. URL : <http://journals.openedition.org/pistes/3137>

MOYON Aurélie, Etude de terrain lors de l'implantation d'un exosquelette par un intégrateur : Méthodologie et premiers résultats sur un cas d'usage de finitions sur coques de bateau. In : 53^{ème} Congrès Internationale de Société d'Ergonomie de Langue Française. 3 au 5 octobre 2018, Bordeaux, pp. 110-117.

PICCHIOTTI M.T., WESTON E.B., KNAPIK G.G., DUFOUR J.S., MARRAS W.S. – Impact of two postural assist exoskeletons on biomechanical loading of the lumbar spine. *Appl Ergon*, 2019, 75: pp. 1-7.

RABARDEL, P., & PASTRE, P. (2005). *Modèles du sujet pour la conception*. Toulouse: Octarès.

RASHEDI E., KIM S., NUSSBAUM M.A., ET AGNEW M.J. – Ergonomic evaluation of a wearable assistive device for overhead work. *Ergonomics*, 2014, 57(12): pp. 1864-1874.

SPADA S., GHIBAUDO L., GILOTTA S., GASTALLI L. ET CAVATORTA M.P. – Investigation into the applicability of a passive upper-limb exoskeleton in automotive industry. 27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing. FAIM2017, 27-30 June 2017, Modena, Italy. *Procedia Manufacturing*, 2017, 11: pp. 1255-1262.

SYLLA N., BONNET V., COLLEDANI F. ET FRAISSE P. – Ergonomic contribution of ABLE exoskeleton in automotive industry. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2014, 44(4) : pp. 475-481.

THEUREL J., DESBROSSES K., ROUX T., SAVESCU A. Physiological consequences of using an upper limb exoskeleton during manual handling task. *Appl Ergon*, 2018, 67, pp:211-217

VITECKOVA, S., KUTILEK, P., JIRINA, M., 2013. Wearable lower limb robotics: a review. *Biocybern. Biomed. Eng.* 33 (2), 96–105.

WULFF J.J, BERRY P.C. (1966) – Aids to job performance, in R.M. Gagne, *Psychological principles in system development* Holt, Rinehart & Winston, NY.

TABLE DES ILLUSTRATIONS

TABLE DES FIGURES

Figure 1: Exemple de véhicules Renault Trucks de la gamme distribution	10
Figure 2: : Chaîne cinématique d'un véhicule industriel type poids lourd	10
Figure 3: Face avant d'un véhicule industriel	10
Figure 4: Organigramme; exemple ligne hiérarchique du directeur à un opérateur logistique encyclage	11
Figure 5:Pyramide des âges globale Renault Trucks Blainville au 31 déc. 2018.	14
Figure 6: Histogramme du nombre de salariés selon leur année d'ancienneté	14
Figure 7:Nombre de salariés selon leur statut et leur contrat au 31 décembre 2018.....	15
Figure 8: Répartition des maladies professionnelles déclarées et reconnues de 2012 à 2018.	16
Figure 9: Nombre d'accidents de travail avec arrêts de 2012 à 2018.	16
Figure 10: Répartition des jours perdus selon ATAA/MP57 de 2012 à 2018.	17
Figure 11: Répartition du coût des maladies professionnelles Tableau 57 de 2008 à 2018.....	18
Figure 12: Répartition du coût des MP57 de 2008 à 2018.	18
Figure 13: Echelle de fatigue selon les parties du corps.	29
Figure 14: Démarche préalable à l'intégration d'un exosquelette.....	32
Figure 15: Poste Encyclage tapis - Chronique d'activité.....	56
Figure 16: Répartition des activités Poste encyclage tapis sur une journée de travail.	56
Figure 17 : Tapis CP - Chronique d'activités	58
Figure 18: Pourcentage des activités durant un cycle d'encyclage tapis CP.	59
Figure 19: Chronogramme Tapis Tunnel	61
Figure 20: Répartition des postures de l'épaule sur l'activité Tapis tunnel	61
Figure 21: Efforts ressentis des opérateurs - Sans et avec exosquelette membres supérieurs .	67
Figure 22: Efforts ressentis des opérateurs - Sans et avec exosquelette du dos	68
Figure 23: Résultat questionnaire Santé musculosquelettique sur les 12 derniers mois, , avant et après les 5 semaines de test exosquelettes.....	69
Figure 24: Résultat questionnaire Santé musculosquelettique sur les 7 derniers jours, avant et après les 5 semaines de test exosquelettes.....	70
Figure 25: Cout cardiaque relatif des opérateurs avec et sans exosquelette membres supérieurs - poste encyclage tapis.....	70
Figure 26: Cout cardiaque relatif des opérateurs avec et sans exosquelette du dos - poste encyclage chandelles.	71

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1: Proportion des Maladies Professionnelles (Tab.57) et leur coût moyen de 2008 à 2018.....	19
Tableau 2: Résultats des tests de 2 exosquelettes effectués à Volvo Curitiba - Brésil	27
Tableau 3: Postes à charge physique et/ou risques TMS importants selon les centres et la potentielle assistance physique.....	38
Tableau 4: Critères d'évaluation caractérisant l'usage d'un exosquelette	39
Tableau 5: Résultat de la sélection des postes pour l'usage probable d'un exosquelette.....	44
Tableau 6: Catégories d'observables pour chronique d'activités	57
Tableau 7: Données population des tests exosquelettes	66
Tableau 8: Temps de port des exosquelettes durant les 4 semaines de tests.....	66
Tableau 9 : Coût Cardiaque Relatif avec et sans exosquelette.....	71
Tableau 10: Synthèse opérateurs sur les différents critères d'évaluation d'un exosquelette. ...	72

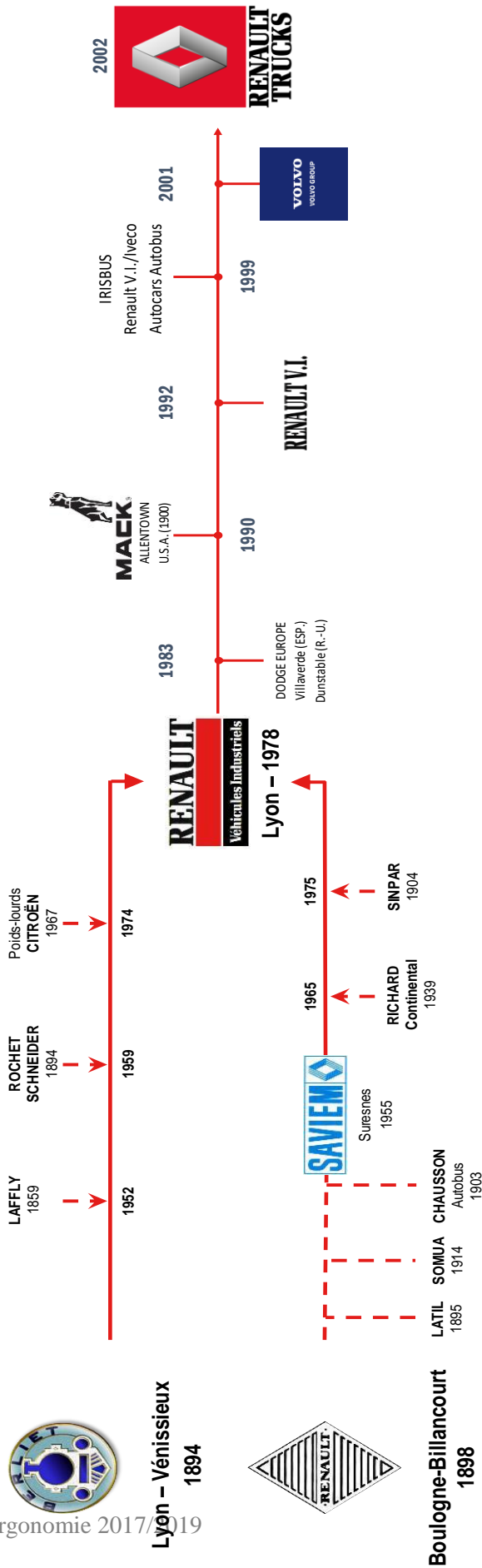
TABLE DES PHOTOS

Photo 1: Exemple d'exosquelette actif port de charge/support dos.....	20
Photo 2: Exemple d'exosquelette passif pour les membres supérieurs.....	21
Photo 3: Exosquelette Laevo (dos).....	24
Photo 4: Opérateur avec exosquelette M. Sup. - Nettoyage des matrices de presse.....	26
Photo 5: Exosquelettes SuitX. A gauche ShoulderX (Epaules), à droite BackX (Dos).....	26
Photo 6 : Opérateur sur poste Dépollution d'emballage VEMB vide.	30
Photo 7: Opérateur au poste de montage de pare-soleil et barre de toit.....	30
Photo 8 : Opérateurs (à droite) au poste de cheminement des faisceaux.	41
Photo 9: Opératrice revêtue d'un exosquelette au poste de cheminement des faisceaux	42
Photo 10: Opératrice au poste d'encyclage tapis CP. Prise de tapis dans un picking (à g.) - Dépose des tapis sur chariot d'encyclage (à dr.).....	43
Photo 11: Système de séquencing pour la prise des pièces au picking.	47
Photo 12: Prise tapis (à g.); Dépose sur base roulante tapis CP (au centre); Dépose sur base roulante tapis tunnel (à dr.).	49
Photo 13: Base roulante encyclage coins ronds	50
Photo 14: Encyclage siège.....	51
Photo 15: Encyclage Coins ronds. à g. : Prise coins ronds caisse au sol. au centre : Prise coins ronds en meuble pré-encyclage. à dr. : Dépose coin rond dans base roulante.	52
Photo 16: Prise (à dr.) et dépose (à g.) tapis CP sur base roulante.....	52
Photo 17 : Encyclage tapis tunnel (à g: prise tapis en picking ; au centre et à dr. : Prise tapis pré-encyclés)	53
Photo 18: Dépose de tapis tunnel en base roulante (à g.: stratégie de port des tapis tunnel; au centre: dépose en partie haute; à dr.:dépose en partie basse)	54

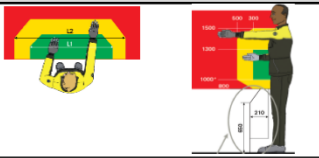
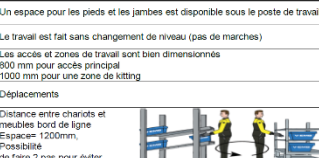
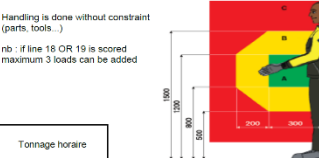
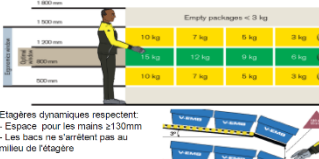
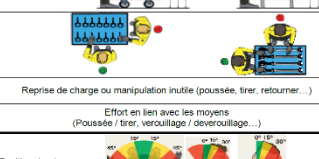
ANNEXES

Annexe A: Historique de Renault Trucks.....	83
Annexe B: Outils de cotation – Logistic & Manufacturing Ergonomics Checklist.....	84
Annexe C: Outil Expert : Ergonomics Expert Assessment Tool.....	86
Annexe D: Exosquelettes au travail : 6 points de vigilance – INRS.....	90
Annexe E: Modèles exosquelettes pré-testés.....	91
Annexe F: Outils d'évaluation tests exosquelettes.....	93
Annexe G: Démarche Intégration d'Exosquelettes - Exoskeleton. Guideline for implementation. Volvo.....	98

Annexe A: Historique de Renault Trucks



Annexe B: Outils de cotation – Logistic & Manufacturing Ergonomics Checklist

VOLVO		LEC - Checklist Ergonomie Logistique			Date	/ / 2018		
Cadence:		Poste / zone :			Evaluation faite par:			
Contraintes spécifiques identifiées:								
CHAPITRE	N°	Items	NA	A Accord	C-A Accord sous conditions	H-P Points Jaunes	Salon type Nbr de pts. par cycle Nbr de pts. par opérateur	DETAILS DES POINTS ROUGES ET JAUNES
ACCES	1			ZONE JAUNE Freq ≤ 30 / h	ZONE JAUNE Freq > 30 / h ou Static > 8 min/h	ZONE JAUNE Freq > 120 / h ou Static > 15 min / h		
	2			ZONE ROUGE Freq ≤ 15 / h	ZONE ROUGE Freq > 15 / h ou Static > 4 min / h	ZONE ROUGE Freq > 60 / h ou Static > 8 min / h		
	3	Un espace pour les pieds et les jambes est disponible sous le poste de travail	X	> 95% des zones respectent la règle	> 80% des zones respectent la règle	< 80% des zones respectent la règle		
	4	Le travail est fait sans changement de niveau (pas de marches)	X	Oui	Oui mais pas à chaque tps de cycle < 10 / jour	Non		
	5	Les accès et zones de travail sont bien dimensionnés 900 mm pour accès principal 1000 mm pour une zone de kitting	X	> 95% des accès respectent la règle	> 80% des accès respectent la règle	< 80% des accès respectent la règle		
	6	Déplacements	X	Marche < 10 m/min & marche en avant	Marche 10 à 20 m/min ou marche latérale	Marche > 20 m/min ou marche en AR		
7	Distance entre chariots et meubles bord de ligne Espaces: 1200mm, Possibilité de faire 2 pas pour éviter les torsions du tronc	X	> 95% des zones respectent la règle	Torsion < 90° pour moins de 50% des mouvements ou torsion > 90° pour moins de 10%	Torsion < 90° pour plus de 50% des mouvements ou torsion > 90° pour plus de 10%			
8	Ecran de visualisation (Moniteur, HMI ...) sont dans le champs de vision. Pick to light inclus	X	Visible à tout moment	Visible avec déplacement court et n'impactant pas l'activité	Pas visible ou visible avec un long déplacement ou impactant l'activité			
MANUTENTION	9	Handling is done without constraint (parts, tools...) nb : if line 18 OR 19 is scored maximum 3 loads can be added						
	10							
	11							
	12							
	13	Tonnage horaire						
	14			> 95% des petits emballages respectent les recommandations	85 à 95% des petits emballages respectent les recommandations	< 85% des petits emballages respectent les recommandations		
	15	Etagères dynamiques respectent: - Espace pour les mains ≥ 130mm - Les bacs ne s'arrêtent pas au milieu de l'étagère	X	> 95% des bacs respectent la règle	> 80% des bacs respectent la règle	< 80% des bacs respectent la règle		
	16	Retour des vides	X	> 95% des bacs respectent la règle	> 80% des bacs respectent la règle	< 80% des bacs respectent la règle		
	17	Déplacement avec port de charge sur une distance > 5m	X	Non	Oui et poids ≤ 6 kg	Oui et poids > 6 kg		
	18	Effort de pilage / dépiilage des grands contenants spécifiques	X	Pilage / dépiilage correct		Pilage / dépiilage difficile		
	19	Manipulation et ouverture des Vemb (rehausse, couvercle...)	X	Pas de manipulation	Manipulation d'intercalaire, couvercle, autre (sac plastique...)	Manipulation de palette et/ou rehausse...		
	20	Hauteur de prise de pièce dans vemb avec 2 ou 3 rehausse	X	> 95% des Vemb respectent la règle	> 80% des Vemb respectent la règle	< 80% des Vemb respectent la règle OU Vemb à > 4 rehausse		
	21			> 95% des emballages respectent la règle	> 80% des emballages respectent la règle	< 80% des emballages respectent la règle		
22	Reprise de charge ou manipulation inutile (poussée, tirer, retourner...)	X	Pas de reprise de charge ni manipulation	Poussée tirer retourner pièce dans l'emballage	Reprise de charge			
23	Effort en lien avec les moyens (Poussée / tirer, verrouillage / deverrouillage...)	X	Ok et adapté	Légèrement contraignant	Difficile ou pas adapté			
VEHICULES	24	Position dos / nuque	X	position rouge < 10% OU position jaune ≤ 20%	position rouge > 10% à 50% OU position jaune > 20% à 50%	position rouge > 30% OU position jaune > 50%		
	25	Etat des sols	X	Etats des sols correct	sols irréguliers	Mauvais états (trous, ...)		
EQUIPEMENT	26	NOMBRE DE CHARIOTS A POUSSER / TIRER PAR HEURE	X	< 10/h	10h < ET < 60h	> 60h		
	27	Frequence < 10 / h	X	Effort au démarrage < 15 kg	effort de 1 ou 2 chariots > 150N	starforce = 2 trolleys is > 150N		
	28	évaluer l'une des 3 lignes ci-contre en fonction de la fréquence choisie	X	Effort au démarrage < 12 kg	starforce of 1 or 2 trolleys is > 120N	starforce = 2 trolleys is > 120N or 1 trolley is > 150N		
	29	Frequence > 60 / h	X	Effort au démarrage < 8 kg	starforce of 1 or 2 trolleys is > 80N	starforce = 2 trolleys is > 80N or 1 trolley is > 120N		
30	Charge maximum sur chariots, bases roulantes	X	Charge < 400 Kg pour > 95% des chariots	Charge < 400 Kg pour > 80% des chariots	Charge < 400 Kg pour < 80% des chariots			
AMBIANCES	31	Vibrations (outils à mains et corps entier)	X	Acceptable	inconfortable	Excessif		
	32	Eclairage des allées, zone picking / kitting	X	Acceptable	Ne peut pas voir correctement	Insuffisant		
	33	Bruit (pic...)	X	Ambiance calme	Besoin de parler fort	Incompréhensible		
	34	Gloceat (chauffage, air conditionnée...) courant d'air froide des portes extérieures	X	Acceptable	Inconfortable	Excessif		
	35	Hygiène Atmosphérique	X	Acceptable	Inconfortable	Excessif		
SECRETES / POUBELLES	36	Nbre de poubelle suffisant, et acces facile (en terme de posture et de sécurité)	X	Oui		Non		
ORGANISATION DU TRAVAIL	37	Coactivité	X	Pas de coactivité OU flux séparés	Croisement de flux occasionnel	Croisement de flux permanent		
	38	Charge mentale et complexité (outils / assemblage ...), diversité produit (variantes...)	X	Pas de complexité, pas de diversité	Complexe / diversité produit, mais facile à gérer	Complexe / diversité produit et difficile à gérer		
	39	Il n'est possible de gérer les problèmes de production dans mon temps de cycle	X	Oui	Oui, mais avec des contraintes / risques	Non		
	40	Y a-t-il de la polyvalence dans l'équipe	X	Oui au moins une fois par jours	Oui au moins une fois par semaine	Non		
	41	Est-ce que les outils sont utilisés (Aide à la manut...)	X	Oui	De temps en temps	Non		
42	Y a-t-il un standard opératoire	X	Oui	Oui mais il n'est pas respecté	Non			
Total points évalués		points verts	points jaunes	points rouges	Score final			
0		0	0	0	0			
X								

VOLVO MEC - Checklist Ergonomie Manufacturing

Date

Cadence: Poste / machine / sous ensemble:

Evaluation faite par:

Contraintes spécifiques identifiées:

CHAPITRE	N°	Items	NA	A Accord	C-A Accord sous conditions	N-P Point dur	Batonnage	DETAILS DES POINTS ROUGES ET JAUNES	
CONCEPTION DES POSTES DE TRAVAIL	1		X	ZONE JAUNE Freq ≤ 30 / h	ZONE JAUNE Freq > 30 / h ou Static > 8 min/h	ZONE JAUNE Freq > 120 / h ou Static > 15 min / h	Nbr de pas jaune / cycle		
	2		X	ZONE ROUGE Freq ≤ 15 / h	ZONE ROUGE Freq > 15 / h ou Static > 4 min / h	ZONE ROUGE Freq > 60 / h ou Static > 8 min / h	Nbr de pas rouge / cycle		
	3	Postures inacceptables 	X	Non	<10 fois par jour	>10 fois par jour			
	4	Un espace pour les pieds et les jambes est disponible sous le poste de travail	X	Oui et > 150 mm	Oui, entre 100 et 150 mm	Non ou < 100 mm			
	5	Les accès au poste de travail sont conformes (activité principale, maintenance, changement d'outil, appro)	X	Bon	Constrignant	Mauvais			
	6	Le travail est fait sans changement de niveau (pas de marches)	X	Oui	Oui mais pas à tous les cycles <10 fois par jours	Non			
	7	Les déplacements sont dans le sens du flux (Ligne tractée)	X	Marche avant 	Marche latérale ou static 	Marche arrière 			
MEMBRES SUPERIEURS	8	Est-ce que les efforts sont sollicitants pour les doigts et les mains ? 	X	Freq ≤ 30 / h ou Static ≤ 8 min/h	Freq > 30 / h ou Static > 8 min/h	Freq > 120 / h ou Static > 15 min / h	Nbr / pas de cycle		
	9	Est-ce que les épaules, coude ou les poignets sont dans les zones rouges ? 	X	Freq ≤ 30 / h ou Static ≤ 8 min/h	Freq > 30 / h ou Static > 8 min/h	Freq > 120 / h ou Static > 15 min / h	Nbr / pas de cycle		
	10	Est-ce que le dos est dans les zones rouges (torsion, flexion) ? 	X	Freq ≤ 30 / h ou Static ≤ 8 min/h	Freq > 30 / h ou Static > 8 min/h	Freq > 120 / h ou Static > 15 min / h	Nbr / pas de cycle		
	11	Est-ce que la nuque est dans les zones rouges ? 	X	Freq ≤ 30 / h ou Static ≤ 8 min/h	Freq > 30 / h ou Static > 8 min/h	Freq > 120 / h ou Static > 15 min / h	Nbr / pas de cycle		
EFFORT	12	Les manutentions sont faites dans de bonnes conditions (pièces, outils...) 		CHARGE / PIECE	POIDS (Kg)	ZONE A,B,C	FREQUENCE (fois/hour)	Voir tableau (indiquer Ok/Nok dans la colonne résultats si le poids est au dessus de la valeur)	RESULTATS
	13								
	14								
	15								
	16			Tonnage horaire	Poids moyen	Poids total révisé	Coeff posture	Total freq	Resultats
	17	Marche avec port de charge sur une distance > 5m	X	Non	Oui et poids ≤ 6 kg	Oui et poids > 6 kg			
	18	Risque pour les mains / poignets / doigts (torsion, coincer, cogner...)	X	Pas de risque		Risque			
	19	Manutention des pièces et outils Effort pour assembler les pièces, utiliser les outils...	X	Pas d'effort	Effort acceptable	Effort trop important			
	20	Positionnement (ajustement, ...) pour prendre et déposer pièces/outils	X	Facile ou avec une aide (guides...)		Difficile ou en "avaugle" ou sans aide			
	21	Changement d'orientation de la pièce / reprise de charge	X	Non		Oui			
22	Couple de serrage / visseuse pneumatique	X	Renvoi d'angle < 10 Nm Pistolet < 2 Nm Ou toc de réaction	Sans toc de réaction renvoi d'angle > 10 to <45 Nm Pistolet > 2 to < 6 Nm	Sans toc de réaction renvoi d'angle> 45 Nm Pistolet > 6 Nm				
23	Effort pour pousser / tirer équipements (aide à la manut.outils...)	X	Ok	Effort important et < 10/h	Effort important et > 10/h				
LOGISTIQUE / BORDS DE LIGNE	24	Appro bord de ligne respecte la Strike Zone HAUTEUR / PROF DE LA MAIN	X	Hauteur 1200 ≥ H ≥ 800 mm	500 - 1500 mm	< 500 mm ou > 1500 mm			
	25		X	Profondeur (distance d'atteinte) 300 mm <	500 mm <	> 500 mm			
	26	Chariots et Bases roulantes	X	Effort de manipulation	Pas de difficultés au démarrage et roulage	Effort au démarrage et / ou roulage contraignant et < 10 / h	Effort au démarrage et / ou roulage contraignant et > 10 / h		
AMBIANCES DE TRAVAIL	27	Eclairage	X	Adéquat	Ne peut pas voir correctement	Inadéquat			
	28	Bruit	X	Ambiance calme	Besoin de parler fort	Incompréhensible			
	29	Température (generer par le poste ou à proximité)	X	Acceptable	Inconfort	Excessif			
	30	Vibrations (outils à mains ou corps entier)	X	Acceptable	Inconfort	Excessif			
ORGANISATION DU TRAVAIL	31	Charge mentale et complexité (outils/assemblage ...), diversité produit (variantes, ...)	X	Pas de complexité, pas de diversité	Complexe /diversité produit mais facile à gérer	Complexe /diversité produit et difficile à gérer			
	32	Il m'est possible de gérer les problèmes de production dans mon temps de cycle	X	Oui	Oui, mais avec des contraintes / risques	Non			
	33	Y a-t-il de la polyvalence dans l'équipe	X	Oui au moins une fois par jours	Oui au moins une fois par semaine	Non			
	34	Est-ce que les outils sont utilisés (Aide à la manut ...)	X	Oui	De temps en temps	Non			
	35	Y a-t-il un standard opératoire	X	Oui	Oui mais il n'est pas respecté	Non			
		Total points évalués		Points verts	Points jaunes	points rouges	Score final		
		0		0	0	0	0		
		X							

Version 30/06/2017

VOLVO

Annexe C : Outil Expert : Ergonomics Expert Assessment Tool

2EAT
VOLVO

ERGONOMICS EXPERT ASSESSMENT TOOL

Coté par

Date

CARACTERISTIQUES POSTE

Le site		Remarques sur la sécurité
Ligne /secteur		
UEP		
Poste		
Taille opérateur		
Préparation	<input type="checkbox"/> Assis <input type="checkbox"/> Debout <input type="checkbox"/> Assis/debout	Autonomie / Marge de manœuvre
Ligne	<input type="checkbox"/> Continue <input type="checkbox"/> Pas à pas <input type="checkbox"/> Embarqué	
Sexe	<input checked="" type="checkbox"/> H <input type="checkbox"/> F	Remarques sur les ambiances physiques
Freq. Horaire	10	Remarques sur les vibrations

EVALUATION GLOBALE

A	SECURITE	
B	AMBIANCES	
C	ORGANISATION	
D	MOYENS	
E = A + B + C + D =		20
Cotation :		5

POSTURE/EFFORT

Opérations prioritaires:	Note

Cotation charge Physique	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cotation risque TMS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

CHARGE MENTALE

A	MODE OPERATOIRE	
B	MONTAGE	
C	INFORMATION	
D = A + B + C =		15

FICHE D'EVALUATION GLOBALE

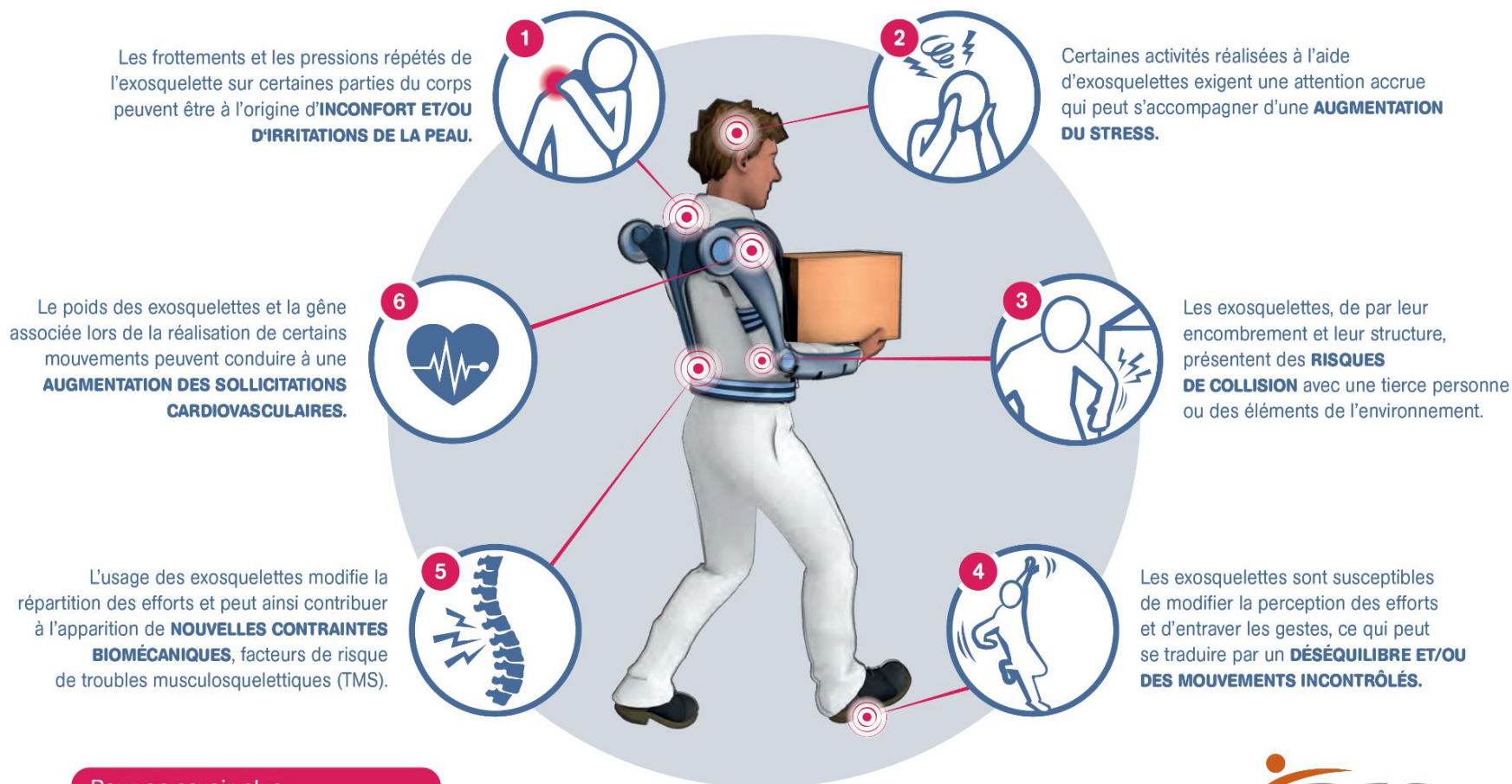
						Opérateur 1	
		TRES SATISFAISANT	SATISFAISANT	INSATISFAISANT	TRES INSATISFAISANT	N O T E	REMARQUES
		3	5	15	45		
S E C U R I T E	1	CIRCULATION	Absence d'obstacles	Aisée	Difficile (encombrement, obstacles)	Très difficile Risques de chutes, de heurts	
	2	MOYENS DE MANUTENTIONS	Inexistants ou bien adaptés et efficaces	Adaptés	Adaptés mais contraignants	Inadaptés, Risques potentiels	
	3	MANIPULATIONS	Inexistante ou Aisée	Standard	Difficile et pénible	Risque potentiel (risque de coupure, heurt ou chute)	
	4	PROTECTIONS INDIVIDUELLES	Pas nécessaire Absence de risque	Adaptée efficace	Contraignante Inconfortable	Absente/Inadaptée Risque potentiel	
	5	FICHE DE POSTE	Mise en valeur Bonne présentation	Compréhensive et complète	Incomplète ou difficile à comprendre	Inaccessible ou inexploitable	
A M B I A N C E S	6	BRUIT	Ambiance calme < 75 dB (A)	Expression à voix normale < 80 dB (A)	Expression à voix forte < 85 dB (A)	Insupportable voix créée ≥ 85 dB(A)	
	7	ECLAIRAGE	Eclairage bien adapté à l'activité	Eclairage général / au poste satisfaisant	Insuffisant ou non homogène	Inadapté à l'activité (sombre, éblouissant)	
	8	CHAUFFAGE-CLIMATISATION	Réglable et ajustable	Tempéré	Soumis aux variations saisonnières	Contraignant Variations importantes	
	9	HYGIENE ATMOSPHERIQUE	Absence de risque Captage à la source efficace	Absence de risque Captage incomplet dilution générale	Absence de risque Captage insuffisant (odeurs, gêne)	Risque potentiel	
	10	ASPECT DU POSTE	Très ordonné esthétique	Propre, rangé	Vétuste, Inesthétique	Désordonné, sale	
O R G A N I S A T I O N	11	CHARGE PHYSIQUE	Légère	Normale	Lourde	Très lourde	
	12	CHARGE MENTALE	Pas de facteur de complexité, pas d'illogisme, info requises présentes	Peu de diversité, tps d'apprentissage court, attention requise acceptable	Sollicitations sensorielles multiples, dextérité particulière, risque erreurs	Forte diversité, info complexes ou difficile à trouver, apprentissage long	
	13	CONTENU DU TRAVAIL	Varié Forte autonomie	Varié malgré quelques tâches répétitives	Répétitif Autonomie faible	Très répétitif Monotone, Pas d'autonomie	
	14	DEPLACEMENTS	Pas de déplacements	Déplacements < 10 m/min ou < 4200 m/jour	Déplacements de 10 à 20 m/min ou de 4200 à 8400 m/jour	Déplacements supérieurs à 20 m/min ou 8400 m/jour	
	15	CONDUITE EN MARCHÉ AR	Pas de conduite d'engin	Conduite occasionnelle pas de marche AR	Conduite en continu, conduite en marche AR sur - de 100 mètres	Conduite en marche AR sur des distances sup. à 100 mètres	
	16	COACTIVITE	Inexistante ou facteur de souplesse et de regulation	Existence et Non contraignante	Contraignante mais partielle	Forte synchronisation Risque potentiel	
	17	TEMPS OPERATOIRE	Stable, peu d'incidents	Incidents maîtrisables dans le temps de cycle	Incidents difficilement maîtrisables	Débordement si incident	
	18	COMMUNICATION	Toujours possible, spontanée	Normale	Difficile Distance/Attention	Impossible (isolement, bruit)	
M O Y E N S	19	FICHES D'INSTRUCTION	Mise en valeur Bonne présentation	Compréhensive et complète	Incomplète ou difficile à comprendre	Inexistantes ou inexploitable	
	20	OUTILLAGE-EQUIPEMENT	Défini et optimisé	Correct, Adapté	Improvisé, Mal adapté	Inadapté ou inexistant	
	21	ETAT DES MOYENS	Très bon état Entretien régulier Pas de panne	Standard pour ce type d'équipement	Peu de préventif Pannes fréquentes	Nombreux aléas Maintenance curative	
	22	CONDITIONNEMENT-STOCKAGE	Défini et bien adapté	Correct Optimisable	Mal défini Inadapté	Absent, Non organisé	
COTATION EVALUATION GLOBALE						EG = 0	<i>Somme des notes de chaque critère</i>

CHARGE MENTALE




		TRES SATISFAISANT 3	SATISFAISANT 5	INSATISFAISANT 15	TRES INSATISFAISANT 45	N O T E	REMARQUES	
M O D E O P E R A T O I R E	Cotation des elements liés au mode opératoire qui sollicitent d'avantage la reflexion et l'attention; ces elements contribuent à augmenter le temps d'apprentissage ou d'adaptation au poste							
	1	OUTILLAGE	Peu d'outillage (<5) ou plus nbx et facilement identifiable	Outillage >5 mais facilement identifiable	Outillage > 5 et difficilement identifiable			
	2	COMPLEXITE DE L'UTILISATION DES OUTILLAGES	Outillage simple d'utilisation et adapté		Outillage complexe d'utilisation et / ou non adaptés			
	3	COMPLEXITE DES REGLAGES DES PARAMETRES	Peu de parametre. de réglage ou facilité des réglages		Nbx parametres de réglages ou complexité des réglages			
	4	STOCKAGE CONDITIONNEMENT	Stockage et conditionnements adaptés et définis	Stockage au poste correct	Stockage mal defini ou pas à la bonne hauteur		Stockage ou conditionnement pas prévu ou mal organisé	
	5	ILLOGISME ENTRE MODE OPERATOIRE ET AMENAGEMENT DU POSTE	Amenagement respect logique de montage, déplacements faibles	Amenagement respecte logique de montage sauf pour variantes rares	Pour 1 ou plusieurs variantes la logique de montage n'est pas respectée		Amenagement du poste ne respecte pas la logique de montage	
	6	COMPLEXITE DES INSTALLATIONS	Pas de formation particulière pour installations (vissage perçage,...)	Moins d'1 jour de formation (riveteuse, palan,...)	Besoin de plus d'1 jour (machine outil, chariot automateur,)			
	7	FORMATION	Faible apprentissage (1 à 2h)	1 journée	2 journée		Les variantes spécifiques rendent la formation insuffisante	
SOMME A						0		
M O N T A G E	8	NIVEAU D'ATTENTION	Pas d'attention particulière	Attention requise de courte durée pour une variante occasionnelle	Attention soutenue pour variante répétitive		Attention soutenue, impossibilité de répondre à une question sans interrompre son activité	
	9	MEP PIECES	La zone de montage facilement accessible, bonne visibilité	Visibilité bonne, zone de montage difficile d'accès pour variante occasionnelle	Zone de montage difficile d'accès et visibilité bonne ou moyenne pour variante répétitive		Positionnement en aveugle	
	10	DEXTERITE PARTICULIERE	Pas d'apprentissage	Facilement assimilable	Courte période d'adaptation		Longue période d'adaptation	
	11	DIVERSITE DES COMBINAISONS DE PIECES	1 à 3	4 à 6	7 à 9		> 10	
	12	IDENTIFICATION DES PIECES	Facilement identifiable (forme, couleurs,...)	Identifiable (faible risque de confusion)	Difficilement identifiable (risque d'erreur)		Moyen de control gabarit	
	13	SENS DE POSITIONNEMENT	Pas de repérage particulier, pas de risque d'erreur ou présence de détrompeurs	Repérage aisé ou aide visuelle	Repérage aisé de part la forme des elements		Elements similaires, pas de détrompage	
	14	COACTIVITE	pas de coactivité ou non contraignante		coactivité contraignante (engendre des perturbations en terme de travail, repartition de taches, contraintes matérielles)			
	SOMME B						0	
I N F O R M A T I O N	Cotation de la qualité, de la quantité et de la fiabilité des infos au poste de travail ; le terme information designe l'ensembles des indications ou signaux utilisés au poste; il peut s'agir de documentation, de repérage, des indications							
	Le "COMMENT MONTER"							
	15	FREQUENCE D'APPARITION DES VARIANTES MONTAGE (la rareté est source d'erreur)	Sur la periode etudiée, Fq d'apparition des variantes >40%	Sur la periode etudiée, Fq d'apparition des variantes compris entre 20 et 40%	Sur la periode etudiée, Fq d'apparition des variantes compris entre 15 et 20 %	Sur la periode etudiée, Fq d'apparition des variantes ≤15%		
	16	FICHE D'INSTRUCTION OU AIDE AU MONTAGE	Clair et lisible ou inutile	Comprehensible et accessible	Inaccessible	Inexploitable ou info indispensable inexistante		
	Le "QUOI MONTER"							
	17	PRESENCE INFO AU POINT D'UTILISATION (fiche multicritère, fiche tronçon, manuel pédagogique,...)	Info presente au point d'utilisation	Info à proximité du point d'utilisation (<2,50 m)	Absence d'info (nécessite un long déplacement pour y accéder)	Absence d'info (nécessite un long déplacement pour y accéder et recherche)		
	18	FIABILITE DES INFORMATIONS (fiche multicritère, fiche tronçon, manuel pédagogique,...)	Info Généralement bonne, si erreur, detection imediate	Info parfois erronée, le detection se fait au poste	Info parfois erronée, detection aux postes avais	Info souvent erronées ou non disponible, verification necessaire à chaque cycle)		
	19	INTERPRETATION DES DONNEES	Pas necessaire	Rapide	Info pas utilisable directement, interpretation requiert une correlation			
SOMME C						0		

Exosquelettes au travail : 6 points de vigilance

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



Annexe E : Modèles exosquelettes essayés.

	<p>Skelex 360 - Skelex</p> 
<p><i>Membres supérieurs</i></p>	<p>Mate - COMAU</p> 
	<p>Airframe – LEVITATE</p> 

<p><i>Membres inférieurs</i></p>	<p>NOONEE Chairless Chair</p> 
<p><i>Dos</i></p>	<p>LAEVO</p> 
<p><i>Main</i></p>	<p>Iron Hand – Bioservo Technologies</p> 

Questionnaire sur la santé musculo-squelettique

Dans le cadre des tests exosquelettes, ce questionnaire cherche à dresser le portrait de votre santé musculo-squelettique avant et après leur utilisation.

Dans le questionnaire ci-après, ce qu'on entend par problèmes sont les courbatures, les douleurs ou les gênes ressenties à des endroits particuliers du corps.

Ce questionnaire est confidentiel, c'est-à-dire que les réponses individuelles de chaque répondant ne seront jamais utilisées. Seules les données regroupées pour un ensemble de répondants et ne permettant pas d'identifier les individus pourront être utilisées.

INSTRUCTIONS GÉNÉRALES

Dans les pages qui suivent, répondez en cochant la case appropriée (une seule réponse par question). En cas d'hésitation, choisissez la réponse qui se rapproche le plus de votre cas.

Pour les parties à remplir, merci d'écrire lisiblement.

Nous vous remercions d'avance.

Questions générales

Nom :

Prénom :

1/ Date d'aujourd'hui (jj/mm/aaaa) :

...../...../.....

2/ Sexe :

1. Féminin 2. Masculin

3/ En quelle année êtes-vous né(e) ?

.....

4/ Quel emploi occupez-vous actuellement dans l'entreprise ?

.....

5/ Dans quel secteur de l'entreprise travaillez-vous ?

.....

6/ Depuis combien d'années et de mois faites-vous le travail que vous effectuez actuellement ?

..... Années Mois

7/ Depuis combien d'années et de mois travaillez-vous dans cette entreprise ?

..... Années Mois

8/ Quel statut avez-vous au sein de l'entreprise ?

1. Salarié(e) 2. Intérimaire

9/ Travaillez-vous à temps complet ou à temps partiel ?

1. Complet 2. Partiel

10/ Etes-vous en travail...

1. postés (matin ou après-midi)
2. de journée

12/ En moyenne, combien d'heures travaillez-vous par semaine ?

.....
Heures/Semaine

13/ En moyenne, combien de jours travaillez-vous par semaine ? (Encerclez la réponse)

1 2 3 4 5

14/ Vous arrive-t-il régulièrement (1 fois ou plus par semaine) de faire des heures supplémentaires ?

1. Non 2. Oui
Si oui, combien ?.....

15/ Quelle est votre taille ?

..... Centimètres

16/ Quel est votre poids ?

..... Kilogrammes

17/ Etes-vous droitier ou gaucher ?

1. Droitiers 2. Gaucher
3. les deux

Votre Santé musculo-squelettique

<i>Complétez cette colonne en entier, même si vous n'avez pas eu de problèmes</i>	<i>Complétez ces 2 colonnes pour les régions corporelles où vous avez eu des problèmes.</i>	
Avez-vous eu au cours des <u>12 derniers mois</u>, des problèmes (courbatures, douleurs, gênes) aux régions corporelles suivantes :	Est-ce que ce problème vous a empêché, <u>au cours des 12 derniers mois</u>, d'effectuer votre travail habituel ?	Avez-vous eu à un moment ce problème <u>au cours des 7 derniers jours</u> ?
Nuque - Cou		
1. Non <input type="checkbox"/> 2. Oui <input type="checkbox"/>	1. Non <input type="checkbox"/> 2. Oui <input type="checkbox"/>	1. Non <input type="checkbox"/> 2. Oui <input type="checkbox"/>
Epaule		
1. Non <input type="checkbox"/> 2. Oui, à l'épaule droite <input type="checkbox"/> 3. Oui, à l'épaule gauche <input type="checkbox"/> 4. Oui, aux deux épaules <input type="checkbox"/>	1. Non <input type="checkbox"/> 2. Oui <input type="checkbox"/>	1. Non <input type="checkbox"/> 2. Oui <input type="checkbox"/>
Coudes		
1. Non <input type="checkbox"/> 2. Oui, au coude droit <input type="checkbox"/> 3. Oui, au coude gauche <input type="checkbox"/> 4. Oui, aux deux coudes <input type="checkbox"/>	1. Non <input type="checkbox"/> 2. Oui <input type="checkbox"/>	1. Non <input type="checkbox"/> 2. Oui <input type="checkbox"/>
Poignet/Main		
1. Non <input type="checkbox"/> 2. Oui, Poignet/Main droite <input type="checkbox"/> 3. Oui, Poignet/Main gauche <input type="checkbox"/> 4. Oui, aux deux Poignets/Mains <input type="checkbox"/>	1. Non <input type="checkbox"/> 2. Oui <input type="checkbox"/>	1. Non <input type="checkbox"/> 2. Oui <input type="checkbox"/>
Haut du dos (région dorsale)		
1. Non <input type="checkbox"/> 2. Oui <input type="checkbox"/>	1. Non <input type="checkbox"/> 2. Oui <input type="checkbox"/>	1. Non <input type="checkbox"/> 2. Oui <input type="checkbox"/>
Bas du dos (région lombaire)		
1. Non <input type="checkbox"/> 2. Oui <input type="checkbox"/>	1. Non <input type="checkbox"/> 2. Oui <input type="checkbox"/>	1. Non <input type="checkbox"/> 2. Oui <input type="checkbox"/>
Hanches/Cuisses (D'un ou des deux côtés)		
1. Non <input type="checkbox"/> 2. Oui <input type="checkbox"/>	1. Non <input type="checkbox"/> 2. Oui <input type="checkbox"/>	1. Non <input type="checkbox"/> 2. Oui <input type="checkbox"/>
Genoux (D'un ou des deux côtés)		
1. Non <input type="checkbox"/> 2. Oui <input type="checkbox"/>	1. Non <input type="checkbox"/> 2. Oui <input type="checkbox"/>	1. Non <input type="checkbox"/> 2. Oui <input type="checkbox"/>
Chevilles/pieds (D'un ou des deux côtés)		
1. Non <input type="checkbox"/> 2. Oui <input type="checkbox"/>	1. Non <input type="checkbox"/> 2. Oui <input type="checkbox"/>	1. Non <input type="checkbox"/> 2. Oui <input type="checkbox"/>
Avez-vous été arrêté à cause de ce(s) problème(s) ?		
1. Non <input type="checkbox"/> 2. Oui <input type="checkbox"/>	Au cours des 12 derniers mois ? 1. Non <input type="checkbox"/> 2. Oui <input type="checkbox"/>	Au cours des 7 derniers jours ? 1. Non <input type="checkbox"/> 2. Oui <input type="checkbox"/>

Questionnaire Ressenti Opérateur

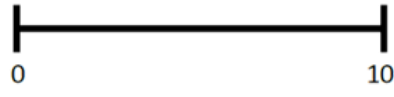
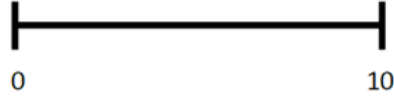
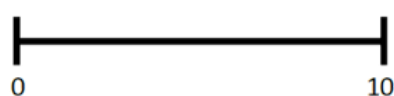
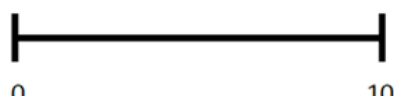
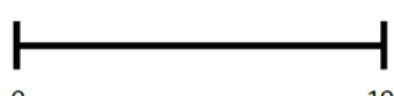
Nom – Prénom : Secteur : Date : / /

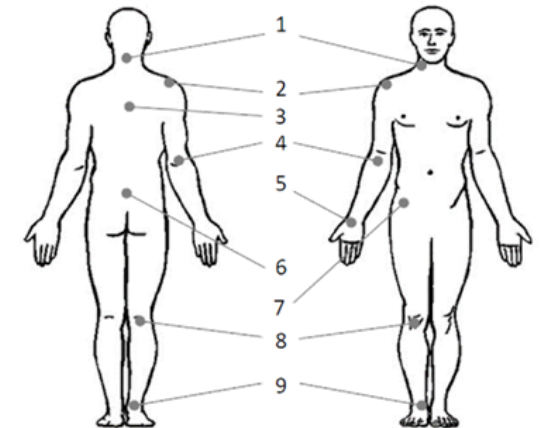
Exosquelette utilisé : Bras Jambes Dos Main

Evaluation: Pré
S1 S2 S3
S4 Post

A votre poste de travail, comment évaluez-vous l'effort ressenti sur vos différentes opérations ?



Ordre	Opérations	Durée	Zones douloureuses	Effort ressenti (de 0 à 10)
1				
2				
3				
4				
5				



- 1 - Cou
- 2 - Epaules
- 3 - Dos
- 4 - Coudes
- 5 - Poignets/Mains
- 6 - Lombaires
- 7 - Hanche
- 8 - Genoux
- 9 - Chevilles/pieds





FICHE DE SUIVI – EXOSQUELETTE « SKELEX IP12 »



Merci de remplir cette fiche à chaque utilisation de l'exosquelette SKELEX IP12. **ATTENTION** : Le temps maximum d'utilisation est limité à 2 heures.

	Nom	Prénom	Date	Heure de début d'utilisation	Temps d'utilisation	Bon état de l'exosquelette		Sentez-vous une évolution dans la prise en main de l'exosquelette ?			Problème(s) constaté(s) pendant l'utilisation
						Oui	Non	Oui	Non	Si oui, laquelle ?	
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											

Annexe G : Démarche d'intégration d'un exosquelette – Exoskeleton. Guideline for implementation. Volvo.

RESUME

Cette intervention se déroule dans une entreprise de construction de véhicules industriels et de solutions de transports. Avec l'arrivée des exosquelettes, cette entreprise souhaite encadrer cette nouvelle technologie par l'élaboration d'une démarche d'intégration. L'enjeu est multiple : d'un côté, l'amélioration potentielle de la santé des opérateurs avec la possible réduction de l'apparition des TMS; de l'autre la réduction des coûts liés aux maladies professionnelles et à l'absentéisme. Répondre à ces enjeux améliorerait conjointement la performance des salariées et de l'entreprise.

Pour l'élaboration de la méthode d'intégration d'un exosquelette ainsi que pour l'expérimentation de l'usage de deux exosquelettes, une démarche structurée a été proposée avec l'introduction de la dimension participative qui caractérise une intervention ergonomique.

Sur une durée de 5 semaines, nous avons pu évaluer l'usage de deux exosquelettes par le temps de port, les ressentis des opérateurs et par l'évaluation de la sollicitation cardiaque. Nos résultats montrent une plus-value à leur utilisation lorsque les conditions le permettent, et selon les modèles testés, ils n'indiquent pas d'augmentation significative de l'astreinte cardiaque lors de leur usage. Ils indiquent également que les effets sur les opérateurs sont déterminés par de multiples facteurs : les opérateurs eux-mêmes, les temps de production, l'environnement de travail, la formation et l'accompagnement à l'usage d'un exosquelette, l'engagement du personnel encadrant et le volontarisme de tous les acteurs concernés.

Mots clés : ergonomie, exosquelette, méthode d'intégration, TMS, dimension participative.