

- Tirer - Pousser
- Manutention manuelle
- TMS

► *Kévin DESBROSSES, Jean-Pierre MEYER, Gérard DIDRY, INRS, département Homme au travail*

LES EFFORTS DE TIRER-POUSSER

POINTS DE REPÈRE

La manutention manuelle de mobiles (chariots, containers, transpalettes...) engendre des efforts physiques importants et peut, sous certaines conditions, présenter des risques d'accidents du travail et de maladies professionnelles. Des normes recommandent des valeurs maximales de forces de tirer-pousser. La mesure de ces forces requière toutefois un équipement spécifique et une méthodologie adaptée. La description de trois interventions menées dans différents secteurs permet d'apprécier le protocole de mesure à mettre en place, les résultats pouvant être obtenus en termes de forces mais également de répercussions physiologiques, et l'influence de certains facteurs physiques sur les efforts de tirer-pousser. L'ensemble des données obtenues dans ces interventions montrent par ailleurs que les forces mesurées sont souvent supérieures aux recommandations normatives. Des améliorations techniques du mobile peuvent réduire ces efforts. Toutefois, la problématique des efforts de tirer-pousser devrait être discutée dès la conception du mobile, de l'environnement et de l'organisation du travail.

BENCHMARKS IN PUSHING-PULLING FORCES

Manual handling of wheeled objects (trolleys, containers, pallet trucks, etc.) generates significant physical exertion and may create risks of occupational accidents and diseases under certain conditions. Standards recommend maxima for pushing and pulling forces. However, special equipment and appropriate methodology is required to measure such forces. A description of three operations in different sectors allows us to assess the measurement procedure that needs to be set up, potential results in terms of both forces and physiological effects, and the influence of certain physical factors on pushing-pulling forces. The combined data obtained during these operations also show that measured forces frequently exceed normative recommendations. Technical improvements in wheeled objects can reduce physical exertion, but the problem of pushing-pulling forces should be discussed upstream, when designing equipment, working environment and work organisation.

- Pushing-pulling
- Manual handling
- MSD

Malgré les progrès réalisés en termes d'automatisation et d'amélioration des conditions de travail, la manutention de charges lourdes reste une contrainte importante et concerne un nombre croissant de salariés. Ce phénomène s'illustre notamment à travers les résultats des enquêtes Conditions de travail menées par la DARES qui rapportent que le fait de « devoir porter ou déplacer des charges lourdes » concernait 21,5 % des salariés interrogés en 1984, 31,4 % en 1991, 37,6 % en 1998 et 39 % en 2005 [1]. Si le port de charge et les risques associés sont plutôt bien connus des préventeurs, il n'en est pas de même pour la manutention manuelle de mobiles (chariots, lits d'hôpitaux, containers, transpalettes...). En effet, même si aujourd'hui des mobiles équi-

pés d'un moteur électrique existent (ex. transpalette électrique urbain), il est encore très fréquent d'observer, soit pour des raisons financières ou techniques, des salariés qui déplacent de façon répétée ces mobiles en les poussant et/ou en les tirant à la simple force du corps. Or, ceux-ci peuvent, une fois chargés, atteindre des poids supérieurs à la tonne. Les forces mises en jeu par le manutentionnaire peuvent alors devenir très élevées. Par ailleurs, cette manutention de mobiles est quasiment toujours associée à d'autres formes de manutention, notamment lors du chargement et déchargement. Si l'utilisation de mobiles manuels épargne beaucoup d'efforts au manutentionnaire par rapport à un déplacement sans auxiliaire, il n'en demeure pas moins que les actions de tirer-pousser (T/P) peuvent induire de

fortes contraintes musculaires et présenter des risques d'accidents du travail et de maladies professionnelles (AT/MP).

Les formes d'accidents du travail les plus fréquemment décrites concernent les collisions et les accidents de plain-pied par glissade [2, 3]. Ces accidents peuvent occasionner des dommages physiques localisés au niveau des membres inférieurs et supérieurs (contusions, entorses, plaies, fractures...). Toutefois, la conséquence principale de ces accidents (glissades, trébuchements, chutes...) est la survenue de lombalgies. Il apparaît par ailleurs que le risque d'accidents lié à la manutention de mobiles est plus important lors d'un tiré par rapport à une poussée car, d'une part, l'opérateur peut se coincer les pieds sous le mobile et, d'autre part, il n'a pas une vision correcte de sa trajectoire (du fait qu'il évolue en marche arrière).

Concernant les maladies professionnelles, liées à la sur-sollicitation du système musculo-squelettique, il a été démontré de forts liens entre les actions de T/P et le développement de lombalgies [4, 5]. Le risque relatif d'incapacités au niveau du dos est de 2,15 pour des opérateurs fortement exposés à de la manutention manuelle de mobiles par rapport à une population non-exposée [5]. En effet, les contraintes musculaires et les forces compressives au niveau des disques intervertébraux augmentent avec l'effort nécessaire au déplacement du mobile. Il semble aussi que les forces compressives soient plus élevées lors d'un tiré que lors d'une poussée [6]. Pour pousser, le manutentionnaire utiliserait le poids de son corps (en l'inclinant vers l'avant) tout en conservant un certain alignement du dos, alors que pour tirer, la flexion du tronc engendrerait une sollicitation plus forte des muscles lombaires et, par conséquent, une élévation des forces de compression sur les disques intervertébraux. De plus, le fait de reculer oblige souvent le manutentionnaire à se retourner pour contrôler sa trajectoire et créer, de ce fait, une torsion du tronc pouvant aggraver ces contraintes dorsales. Mais les lombalgies ne sont pas les seules conséquences des actions de T/P. Il a été démontré que les membres supérieurs, et plus particulièrement l'épaule, étaient aussi fortement sollicités et susceptibles de développer des pathologies musculo-squelettiques [4, 5]. Par exemple, le risque relatif de présenter des incapacités au niveau des épaules est de 3,70 pour des opéra-

teurs fortement exposés à de la manutention manuelle de mobiles par rapport à une population non-exposée [5]. Par ailleurs, les efforts liés aux actions de T/P induisent également une élévation de la consommation énergétique, de la ventilation pulmonaire et de la fréquence cardiaque (FC) [7]. Un poids trop important à manutentionner de façon répétée pourrait aussi sur-solliciter l'appareil cardio-respiratoire et induire, sous certaines conditions, un risque d'accident cardiaque.

Ces risques d'AT/MP sont dépendants de nombreux facteurs physiques influençant les efforts de T/P [8]. Sans être exhaustifs, ils peuvent être liés :

■ au mobile : son poids total (facteur prépondérant), la hauteur de la poignée de préhension, ses dimensions, la typologie et l'état des roues...

■ à la tâche : la vitesse de déplacement (liée à la cadence de travail), la distance de déplacement, la répétition des efforts, la direction des actions (tirer, pousser, virages)...

■ à l'environnement : la pente, l'état du sol, l'encombrement...

■ et de manière moins importante aux caractéristiques individuelles (genre, taille, poids...).

Le présent article se propose, dans un premier temps, de décrire les principes de mesure des efforts de T/P et la mise en relation de ces mesures avec les valeurs limites recommandées par les référentiels normatifs.

Trois situations de travail permettent, dans un deuxième temps, d'illustrer les effets de certaines caractéristiques liées à la charge, à la conception du mobile ou à l'environnement de travail sur les forces de T/P, les astreintes physiologiques associées et les efforts perçus par les manutentionnaires.

MESURE DES EFFORTS DE TIRER-POUSSER ET VALEURS LIMITES

La mesure des efforts de T/P repose sur l'analyse de la force, exprimée en déca-Newtons (daN), mise en jeu lors de la manipulation d'un mobile. Cette force, principalement orientée dans le sens du déplacement, en avant ou en

arrière, selon que l'action est une poussée ou un tiré, est toujours divisée en deux composantes : une force horizontale et une force verticale (cf. Figure 1). Pour évaluer les efforts de T/P, il est donc nécessaire de prendre en considération ces deux composantes en réalisant les mesures avec du matériel intégrant les deux axes d'effort [9]. Ceci pose le problème de la mesure avec un peson, un dynamomètre ou un capteur de force mono-axe. En effet, avec ce type de matériel, la mesure n'est que partielle puisqu'elle n'intègre pas les 2 composantes ce qui engendre une sous-estimation des efforts réellement produits.

Lors d'une action de T/P, la force mise en jeu se décompose également en deux phases temporelles : la force initiale et la force de maintien [10]. La force initiale correspond à la force nécessaire pour mettre en mouvement le mobile à partir d'une position initiale statique. La force de maintien permet quant à elle de maintenir une vitesse constante du mobile lors du roulement. La force initiale est supérieure à la force de maintien puisqu'il faut créer un mouvement alors que, par la suite, il s'agit uniquement de conserver ce mouvement (cf. Figure 2). A noter que, dans le cas de changements de direction, il y a une augmentation de la force de maintien du fait de la création d'une force permettant de donner une nouvelle trajectoire au mobile. L'évaluation des efforts de T/P nécessite donc d'utiliser un système de mesure prenant en compte la somme des composantes horizontale et verticale pour la force initiale et pour la force de maintien.

Après considération de ces caractéristiques techniques il est possible de comparer les valeurs de force recueillies à des valeurs de référence présentes dans les normes sur lesquelles les préventeurs peuvent s'appuyer dans leur démarche de prévention [11, 12]. La norme française la plus récente, NF X35-109 [12] qui est une adaptation simplifiée de la norme ISO 11228-2 [11] présente des valeurs limites pour les deux types de force : initiale et de maintien. Ces valeurs limites (exprimées en daN) correspondent à différents niveaux de risques : contrainte à risque minimum, valeur maximale acceptable et valeur maximale sous condition (cf. Figure 3). Ces valeurs sont données pour des conditions de référence. Elles sont ensuite pondérées par des coefficients de correction variant selon différents

FIGURE 1

Représentation schématique, lors d'un effort de pousser (A) ou de tirer (B), de la force totale (F, en rouge) se divisant en une composante horizontale (Fx, en vert), dirigée dans le sens du déplacement, et verticale (Fy, en bleu). Pour évaluer précisément la force mise en jeu lors d'une action de T/P, il est nécessaire de procéder aux mesures avec du matériel pouvant évaluer simultanément Fx et Fy

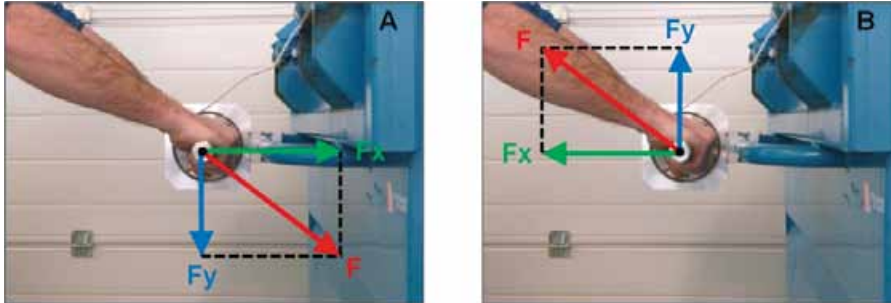


FIGURE 2

Tracé représentant l'évolution temporelle de la force (en déca-Newtons, daN) au cours d'un effort de pousser d'un chariot repas (poids total = 450 kg). La force initiale, nécessaire à la mise en mouvement du chariot, atteint 29 daN et la force de maintien, permettant la conservation de la vitesse du mobile, se stabilise à 9 daN. La force présentée est la force totale, somme des composantes horizontale et verticale

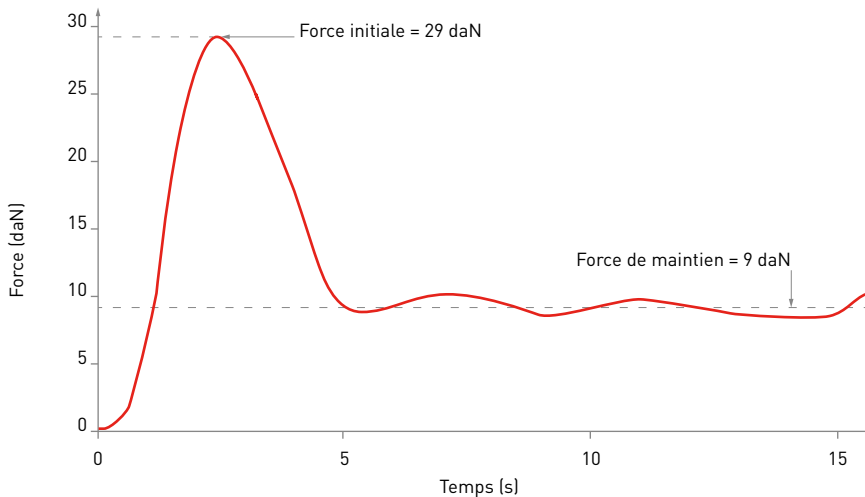


FIGURE 3

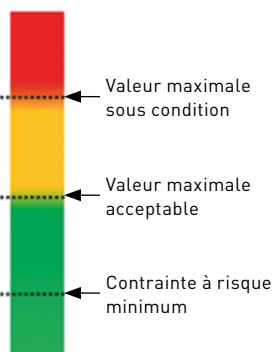
Niveaux de risque et valeurs de force de référence (en daN) pour les forces initiale et de maintien d'après la norme NF X35-109. A ces valeurs, il convient d'appliquer des coefficients de correction liés entre autres à la fréquence des actions, à la distance de déplacement ou encore à la hauteur d'application de l'effort. Cette figure est adaptée de la norme NF X35-109

Zone inacceptable
Zone d'activité délétère imposant une réduction urgent des contraintes

Zone sous conditions
Zone d'activité dans laquelle le risque est accru, nécessitant une analyse approfondie

Zone acceptable
Zone d'activité dans laquelle le risque est réduit pour le plus grand nombre d'opérateurs

Zone d'activité dans laquelle le risque est réduit pour tous les opérateurs



Valeurs de référence	
Force initiale (daN)	Force de maintien (daN)
24	15
19	9
10	6

facteurs de contrainte : la fréquence des actions, la hauteur d'application de l'effort, la distance de déplacement, l'environnement de la tâche (contraintes thermiques, sols dégradés, obstacles...), l'organisation de la tâche (contraintes de temps, marges de manœuvre réduites, exigences qualité...) et d'autres facteurs d'exécution de la tâche (poignée inadaptee, charge instable, roues inadaptées...). La mesure des forces exercées par les manutentionnaires lors des actions de T/P et leurs comparaisons aux valeurs de référence normatives permettent de connaître le niveau de risque et d'entreprendre, si nécessaire, des démarches correctives pour prévenir les contraintes excessives. Cependant, la mesure des forces de T/P n'est pas simple : elle nécessite du matériel (voir plus haut) et un savoir-faire spécifique. Ainsi, pour faciliter l'évaluation de ces forces, il est donné, en annexe de la norme NF X35-109, des correspondances entre le poids total à manutentionner (mobile et chargement) et les forces de T/P généralement observées, et ce pour différents mobiles (lits, transpalettes et chariots à 4 roues). Une première analyse avec ces correspondances permet d'obtenir rapidement une idée générale du niveau de risque encouru. Des mesures plus précises pourront, si besoin, être réalisées dans le cas d'une expertise approfondie par une personne compétente.

QUELQUES EXEMPLES D'INTERVENTIONS

Les exemples présentés ci-après sont issus d'interventions en entreprise conduites dans le cadre d'actions d'assistance. Ils ont été sélectionnés pour leur représentativité des conditions qu'il est possible d'observer en situation réelle de travail (poids à manutentionner, pente, état du sol...). A travers ces interventions, il s'agissait également d'enrichir les connaissances scientifiques en validant certains aspects méthodologiques de mesure des efforts de T/P et en évaluant les répercussions physiologiques de ces sollicitations.

FIGURE 4

Manutention d'un chariot repas dans le secteur hospitalier. Le chariot est équipé d'une poignée additionnelle fixée à un capteur de force deux axes. La poignée additionnelle est fixée, en hauteur, au libre choix des ASH puisque dans les conditions habituelles celles-ci manipulent le chariot avec des barres verticales sans hauteur de préhension imposée. L'ASH est équipée d'un cardio-fréquence-mètre et d'électrodes EMG reliées par câbles à une centrale d'acquisition



Ainsi, et comme cela devrait être fait pour toute évaluation des efforts de T/P, il a été mis en œuvre un protocole de mesure adapté répondant à des grands principes :

- tout d'abord, des mesures répétées et moyennées avec plusieurs salariés (un minimum de 10 est recommandé¹), habitués aux actions de T/P, sont nécessaires ;

- pour obtenir une relation entre le poids du mobile et les forces mises en jeu, il est essentiel de réaliser ces mesures avec différents poids de chargement ;

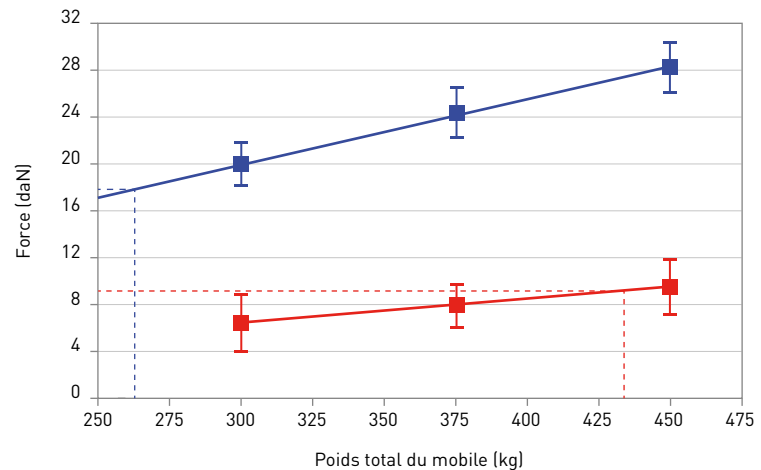
- comme exposé précédemment, l'utilisation d'un capteur de force 2 axes est indispensable ;

- enfin, pour évaluer les efforts de T/P fournis habituellement par les manutentionnaires, il est impératif de rester dans des conditions d'évaluation similaires à la situation réelle de travail (même vitesse de déplacement, même sol, même mobile...).

Dans chacun des exemples présentés, les valeurs de force que nous avons mesurées ont été comparées aux valeurs limites (valeurs maximales acceptables) données par les normes, en particulier la norme NF X35-109. En complément à ces mesures de force, indicateur principal des efforts de T/P, et selon la question initiale de la demande, d'autres

FIGURE 5

Relations entre le poids total du mobile (en kg) et les forces initiales (en bleu) et de maintien (en rouge) nécessaires à sa manutention. Les valeurs présentées sont des moyennes (\pm l'erreur-standard) des 12 ASH. Une relation linéaire (trait plein) a été tracée pour les trois conditions de poids. En pointillés, sont représentées les valeurs maximales acceptables données par les normes, qui sont, pour cette situation, de 18 daN pour la force initiale et de 9 daN pour la force de maintien. L'intersection de la relation linéaire et des valeurs normatives permet de donner un poids de mobile maximal à ne pas dépasser



outils ont également été utilisés : l'électromyographie de surface (EMG) afin d'évaluer la sollicitation de certains muscles du dos et des membres supérieurs, la fréquence cardiaque (FC) afin de quantifier l'astreinte globale consécutive aux actions de T/P et, enfin, l'échelle de Borg pour évaluer l'effort perçu par les manutentionnaires. Dans les 3 exemples ci-après et pour l'ensemble des paramètres analysés, les valeurs présentées sont des moyennes (\pm l'écart-type) de l'ensemble des salariés ayant participé à chaque intervention.

MÉTHODOLOGIE

Douze ASH, toutes des femmes, ont pris part à l'étude. Le chariot repas qui a été utilisé dans le cadre de cette intervention pesait 285 kg à vide ; ce poids élevé est lié au système de maintien en température des aliments. Le contenu de ce chariot est habituellement composé de 30 plateaux repas pesant 3 kg chacun et de quelques extras comme des carafes d'eau ou de café, pour un poids total variant de 285 (vide) à 385 kg (chargé à 100 %). Trois chargements différents, permettant d'obtenir des poids totaux de 300, 375 et 450 kg, ont été considérés dans le cadre de cette intervention. Les ASH devaient réaliser, pour chaque chargement, trois poussées de 10 mètres en ligne droite à la vitesse habituellement utilisée lors des services de repas. Les ASH étaient également équipées d'un cardio-fréquence-mètre et d'électrodes EMG placées au niveau des lombaires, trapèzes et deltoïdes. L'utilisation de l'échelle RPE (*Rating of Perceived Exertion* [13]), a par ailleurs permis d'éva-

MANUTENTION DE CHARIOTS REPAS DANS LE SECTEUR HOSPITALIER

OBJECTIF

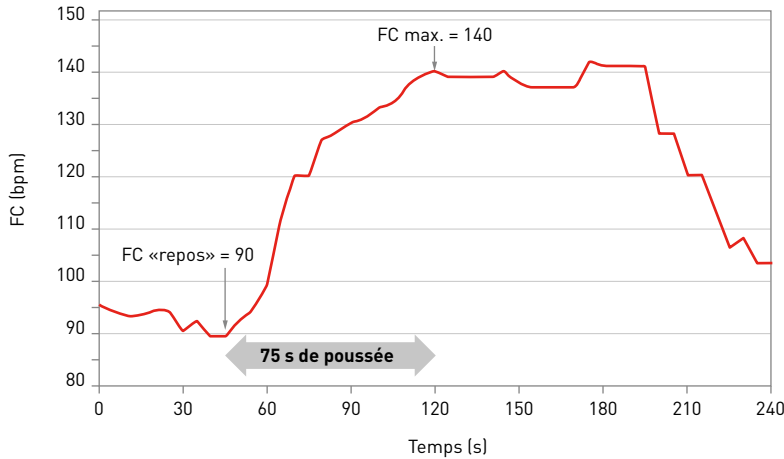
Cette intervention, conduite dans le secteur hospitalier, visait à évaluer les efforts de T/P ainsi que certaines astreintes physiologiques et biomécaniques lors du déplacement de chariots repas utilisés par les agents des services hospitaliers² (ASH) lors du transport des plateaux repas auprès des patients (cf. Figure 4).

¹ Ce nombre minimal de salariés, permettant de tenir compte de la variabilité interindividuelle, a été calculé par un test de puissance statistique

² En France, en 2009, on comptait un peu plus de 120 000 ASH (Source : DREES). Une de leurs missions principales est la distribution des repas quotidiens, le plus souvent à l'aide d'un chariot

FIGURE 6

Exemple de tracé représentant l'évolution de la fréquence cardiaque (FC) au cours d'un effort de pousser d'un chariot repas (poids total = 375 kg). La fréquence de repos avant l'effort est de 90 bpm. La fréquence maximale atteint 140 bpm après 75 s d'effort puis se stabilise à cette valeur jusqu'à la fin de la manutention



luer le niveau d'effort perçu par les ASH. Cette échelle subjective s'étend de 6 (pas d'effort du tout) à 20 (épuisant) (cf. Figure 8 de l'exemple suivant).

RÉSULTATS

Les moyennes des forces de T/P correspondant aux trois conditions de chargement sont présentées sur la Figure 5 : en bleu pour les valeurs de forces initiales et en rouge pour les valeurs de forces de maintien. Des valeurs de 20 ± 6 , 24 ± 7 et 28 ± 7 daN sont nécessaires pour mettre en mouvement, respectivement, les mobiles de 300, 375 et 450 kg. Ainsi, plus le poids total du mobile est élevé, plus la force initiale mise en jeu est importante. Le poids, élément principal qui conditionne les valeurs de force de démarrage, est donc le facteur sur lequel il faut travailler dans un premier temps pour réduire les efforts de T/P. En se référant aux normes³, la valeur limite pour l'effort initial, au regard des caractéristiques de la situation (distance de déplacement, fréquence...), correspondait à 18 daN. Cela signifie qu'au-delà de cette valeur, il faut considérer qu'il existe un risque pour la santé dans des conditions d'utilisation régulière. La relation obtenue avec nos mesures montre qu'au-delà de 265 kg (en pointillés bleus sur la Figure 5), les forces nécessaires à la mise en mouvement du mobile sont supérieures à 18 daN. Ce poids correspond à 20 kg de moins que le poids du chariot

repas vide. Le mobile utilisé pour transporter les plateaux repas n'était donc pas adapté à la situation de travail. Concernant la force de maintien, les valeurs usuelles du poids du chariot (entre 285 et 385 kg) présentaient des valeurs inférieures du seuil normatif de 9 daN dans ces conditions (en pointillés rouges sur la Figure 5). Ces résultats montrent, et c'est vrai dans beaucoup d'autres situations de travail, que le risque lié aux efforts de T/P est essentiellement induit par la phase de mise en mouvement et qu'une fois lancé, l'effort nécessaire au déplacement du chariot ne présente pas en lui-même un risque particulier. Mais la phase de mise en mouvement, de par son caractère violent (court en durée avec des forces élevées) est celle qui peut générer le plus de dommages au niveau du système musculo-squelettique, ce que confirment les mesures EMG présentées ci-dessous.

En parallèle aux mesures de force, la fréquence cardiaque (FC) et l'activité musculaire (EMG) des lombaires et des membres supérieurs ont également été recueillies. Lors des phases de démarrage, il a été observé, pour les muscles lombaires, des valeurs moyennes d'EMG égales à 53 ± 18 % de celles recueillies lors de contractions maximales volontaires (CMV). Pendant les phases de roulage, ces muscles étaient sollicités en moyenne à 29 ± 11 % des CMV. Ces valeurs élevées contribuent à expliquer les relations entre les actions de T/P et le

risque de lombalgies. L'activité EMG moyenne des deltoïdes, de 43 ± 20 % au démarrage et 18 ± 11 % pendant le roulage, ainsi que celle des trapèzes, de 43 ± 17 % au démarrage et 18 ± 8 % pendant le roulage, peuvent également contribuer à la survenue de TMS des membres supérieurs.

Les mesures de FC montrent par ailleurs un incrément moyen, toutes charges confondues, de 45 ± 8 bpm lors des efforts de manutention du chariot repas. L'exemple donné dans la Figure 6 illustre parfaitement ce résultat avec une augmentation de la FC de 50 bpm en un peu plus d'une minute d'effort lors de la manutention d'un chariot repas de 375 kg. Cette élévation rapide traduit une forte intensité de l'effort.

Concernant la perception de l'effort, au moyen de l'échelle RPE, les ASH ont rapporté des valeurs moyennes de 10 ± 3 (entre léger et très léger), 15 ± 3 (difficile) et 17 ± 2 (très difficile) respectivement pour les chariots repas de 300, 375 et 450 kg. Ces valeurs subjectives présentent de fortes corrélations avec les valeurs de force mesurées. Ainsi, en l'absence de possibilités d'évaluation des forces, ou pour apporter un complément à celles-ci, l'utilisation de l'échelle RPE permet d'obtenir des informations fiables concernant les efforts de T/P.

CONCLUSION

Au-delà du poids excessif du chariot repas qui induit des valeurs de force supérieures aux recommandations des normes et engendre en parallèle une élévation de certains indicateurs physiologiques, il existe également d'autres contraintes influençant l'activité des ASH. Sans être exhaustif, l'encombrement des couloirs (nécessitant des virages répétés), les seuils d'ascenseurs (où les roues se bloquent), le gabarit du chariot (imposant de se pencher sur le côté pour voir son cheminement) ou encore les sollicitations constantes des patients et du personnel hospitalier sont rapportés par les ASH. Ainsi, l'allègement du mobile est l'une des actions de prévention possible parmi d'autres qui doivent être prises en compte dans un plan de prévention global.

³ Normes ISO 11228-2 et NF X35-109

MANUTENTION DE CUVES À PÉTRIN DANS UNE BOULANGERIE INDUSTRIELLE

OBJECTIF

Cette intervention dans le secteur de la boulangerie/pâtisserie avait pour objectif d'étudier l'intérêt de proposer certaines modifications relatives à la hauteur de la poignée et au type de roues des cuves à pétrin.

MÉTHODOLOGIE

Les mesures ont été réalisées auprès de 12 opérateurs (7 hommes et 5 femmes). Seuls les efforts initiaux de mise en mouvement ont été analysés car les déplacements s'effectuaient sur de trop courtes distances pour permettre l'étude des forces de maintien. Le poids à vide des cuves à pétrin sur lesquels les efforts de T/P ont été mesurés était de 140 kg. Les chargements habituels de ce mobile présentaient un poids n'excédant pas 250 kg. De ce fait, trois configurations de chargement ont été retenues dans cette étude : 0 kg (cuve à vide), 125 kg et 250 kg (charge maximale). Afin de répondre au double objectif énoncé ci-dessus, trois cuves différentes ont été testées : une cuve d'origine, une cuve avec une poignée rehaussée et une cuve avec des roues en nylon (polyamide). La cuve à pétrin habituellement utilisée (cuve d'origine) dispose d'une poignée dont la hauteur par rapport au sol était jugée basse (90 cm) et de roues qui n'étaient probablement pas les plus appropriées au type de sol (lisse et farineux). Une cuve avec une poignée rehaussée de 20 cm et une autre cuve avec d'autres roues (en nylon) ont donc été expérimentées. Pour des raisons techniques et temporelles, la combinaison des deux modifications (poignée rehaussée + roues blanches) n'a pu être testée lors de cette intervention. Chaque opérateur devait réaliser, pour chaque cuve et chaque chargement, 3 poussées et 3 tirés de 5 m en ligne droite à la vitesse habituellement employée. Il a également été demandé aux opérateurs d'évaluer subjectivement, à l'aide de l'échelle RPE, les efforts perçus lors de la mise en mouvement de chacune des cuves à pétrin.

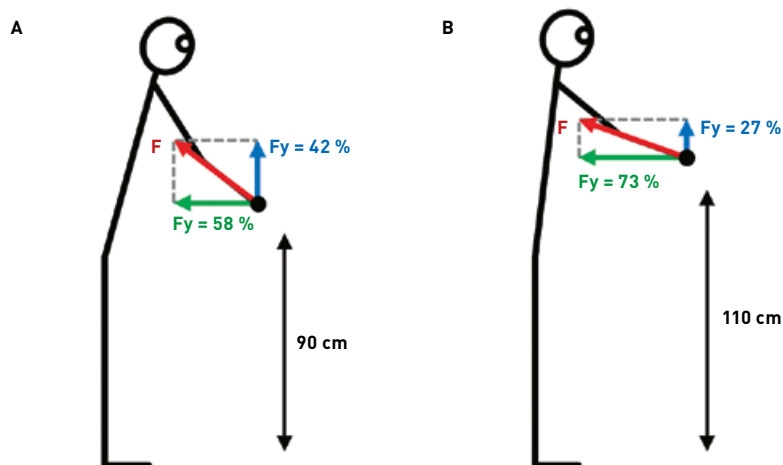
TABLEAU I

Moyennes (\pm l'écart-type) des forces initiales (en daN) de poussées et de tirés de différentes cuves à pétrin (cuve d'origine, avec poignée rehaussée ou avec des roues en nylon) ayant un poids total de 140, 265 ou 390 kg.

Poids total (kg)	Forces initiales en poussée (daN)			Forces initiales en tiré (daN)		
	Cuve d'origine	Poignée rehaussée	Roues nylon	Cuve d'origine	Poignée rehaussée	Roues nylon
140	35 \pm 10	28 \pm 7	28 \pm 8	40 \pm 10	30 \pm 10	34 \pm 10
265	39 \pm 10	32 \pm 6	31 \pm 6	45 \pm 10	34 \pm 11	37 \pm 10
390	44 \pm 8	37 \pm 5	34 \pm 7	53 \pm 12	36 \pm 8	39 \pm 9

FIGURE 7

Représentation schématique des composantes horizontales (F_x , en vert) et verticales (F_y , en bleu) de la force totale (F , en rouge) mise en jeu lors d'un tiré d'une cuve à pétrin d'origine (A, poignée à 90 cm de hauteur) et d'une cuve à pétrin avec une poignée rehaussée de 20 cm (B). Les forces sont exprimées en pourcentage de la force totale



RÉSULTATS

Les résultats montrent tout d'abord, comme pour l'intervention sur les chariots repas, que les forces de T/P sont très fortement dépendantes du poids total du mobile, que ce soit avec la cuve d'origine, la cuve avec poignée rehaussée ou la cuve avec des roues nylon (cf. Tableau I). Toutes les forces enregistrées se situent au-delà du seuil normatif qui, avec les paramètres de cette situation, a été calculé à 24 daN. Cependant, il est important de constater que le fait de rehausser la poignée ou d'adapter les roues a permis de réduire les efforts par rapport à la cuve d'origine : des gains de force compris entre 17 et 32 % ont été observés. Même si cette amélioration ne permet pas de réduire les forces initiales en dessous du seuil recommandé de 24 daN, il n'en demeure pas moins que la contrainte a été diminuée.

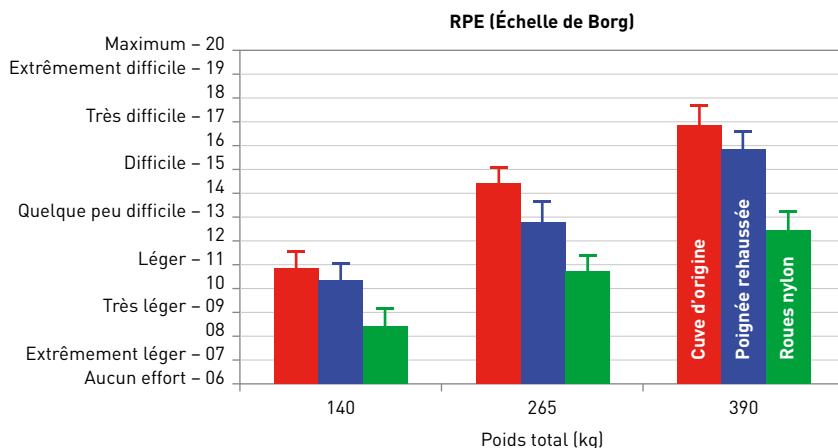
Comme décrit dans le paragraphe Mesure des forces de T/P, la force exercée sur la poignée d'un mobile se décompose en une force horizontale et une

force verticale. Dans le cas présent, la force horizontale représentait 58 \pm 8 % de la force totale pour la cuve d'origine alors qu'elle en représentait 73 \pm 9 % pour la cuve avec poignée rehaussée (cf. Figure 7). Ce transfert de force sur l'axe horizontal (axe de déplacement du mobile) engendre une meilleure configuration des efforts de T/P et permet donc de réduire la force totale déployée (cf. Tableau I). Toutefois, une extrapolation de ce principe à son extrême ne peut être avancée. Rehausser la poignée jusqu'à hauteur des épaules pour n'obtenir qu'une composante horizontale n'est en effet pas souhaitable car la modélisation des forces mises en jeu est également liée à des contraintes biomécaniques de transmission de force entre le corps et le mobile. Et une poignée trop haute, à l'instar d'une poignée trop basse, peut nuire à la production et à la transmission de force au mobile.

Concernant les roues en nylon le gain de force obtenu proviendrait d'un plus faible coefficient de friction avec le sol (lié à la dureté de la bande de roule-

FIGURE 8

Moyennes (\pm l'erreur-standard) des efforts perçus par les opérateurs en fonction du poids total de la cuve (en kg) et du type de cuve : cuve d'origine (en rouge), cuve avec une poignée rehaussée (en bleu) et cuve avec des roues nylon (en vert). Les valeurs (de 6 à 20) sont des valeurs arbitraires de l'échelle RPE de Borg. Les qualificatifs correspondant aux valeurs numériques sont donnés sur la gauche du graphique.



ment), ce paramètre n'ayant toutefois pas été mesuré dans l'étude. Par rapport aux roues d'origine, ces roues apparaissent plus adaptées à la qualité du sol rencontré dans cette entreprise (lisse et farineux). Mais là encore, les résultats ne peuvent être extrapolés directement à d'autres situations. Ces roues en nylon apportent des bénéfices dans cet environnement de travail mais elles ne sont probablement pas conseillées pour d'autres secteurs industriels, notamment avec du roulage plus intense, un sol irrégulier ou des charges plus lourdes.

L'évaluation de l'effort perçu (RPE) a permis d'apporter des informations complémentaires aux mesures de force. Comme pour les efforts de T/P, il a été observé une forte corrélation entre la charge à déplacer et l'effort perçu, quelle que soit la cuve (cf. Figure 8). Par ailleurs, une réduction de l'effort perçu a été mesurée pour les deux améliorations techniques testées (une poignée rehaussée et des roues en nylon). Cependant, alors que les gains de force étaient similaires, cette réduction d'effort perçu est nettement meilleure pour la cuve avec des roues nylon par rapport à la cuve avec poignée rehaussée. Il se pourrait en fait que le rehaussement de la poignée ait perturbé la façon de manutentionner les cuves de certains opérateurs, occasionnant une gêne exprimée au niveau de l'effort perçu. Outre la mesure de force, la mesure subjective du ressenti des opérateurs prend donc ici son importance pour évaluer les améliorations techniques proposées.

CONCLUSION

Malgré la réduction notable des efforts apportée par les améliorations techniques, les valeurs de force mesurées lors de la manutention des cuves à pétrin demeurent supérieures aux limites fixées par les normes. La combinaison des deux améliorations proposées (poignée rehaussée + roues blanches) n'a pu être testée lors de notre intervention. Toutefois, au regard des résultats, nous pouvons formuler l'hypothèse que cette combinaison permettrait de réduire davantage les forces exercées et de diminuer ainsi les contraintes liées à la manutention des cuves. En dehors des aspects techniques du mobile, les valeurs excessives de forces pourraient également avoir pour origine la glissance du sol. En effet, la farine qui s'est déposée sur celui-ci réduit considérablement le coefficient de friction avec les semelles des chaussures induisant des glissades des pieds des opérateurs lors de la mise en mouvement des cuves et, subséquemment, des déperditions dans la transmission des efforts de T/P. D'autres pistes d'améliorations sont donc à envisager pour cette situation de travail.

FIGURE 9

Manutention d'un container poubelle sur un sol en pente (11°).



MANUTENTION DE CONTAINERS POUBELLES PAR DES GARDIENS D'IMMEUBLE

OBJECTIF

Cette intervention s'est déroulée auprès de gardiens d'immeuble⁴ devant manutentionner des containers poubelles. Elle a été conduite dans le but d'étudier les contraintes de cette activité et, plus spécifiquement, l'effet d'un sol non horizontal sur les efforts de T/P (cf. Figure 9). En effet, les containers poubelles sont souvent entreposés dans les sous-sols des immeubles, les gardiens devant donc emprunter des allées pentues pour disposer les containers sur les trottoirs avant le ramassage des ordures.

MÉTHODOLOGIE

Seize gardiens d'immeuble ont accepté de participer à l'étude. Ils ont manutentionné un container poubelle de 500 l, dont le poids à vide était de 55 kg, avec des charges de 85, 125 et 185 kg, correspondant à des masses classiques de chargement pour ce type de container. Afin de tester l'effet d'une pente sur les efforts de T/P, des mesures de force initiale et de maintien ont été

⁴ En France, en 2010, l'effectif des gardiens d'immeuble était de 46 450 (Source : Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie). En 2004, la première cause d'accident du travail des gardiens d'immeuble était les manutentions manuelles et les mouvements de charge (32,6 %) (Source : Ministère du Travail, de l'Emploi et de la Santé).

effectuées sur des sols présentant une pente de 0° (sol plat), 4°, 11° et 16°. Les gardiens d'immeuble étaient également équipés d'un cardio-fréquence-mètre afin d'étudier l'astreinte cardiaque selon les différentes configurations de charge et de pente.

RÉSULTATS

Les résultats montrent d'abord, comme précédemment, qu'il y a une forte relation entre les forces de T/P et le poids total du mobile, que le sol soit plat ou en pente. Une illustration de ce résultat est donnée pour une pente de 4° dans la *Figure 10A*. Par ailleurs, pour toutes les charges, il a également été démontré une forte augmentation des forces initiales et de maintien avec l'inclinaison de la pente. La *Figure 10B* donne un exemple pour un poids total de 180 kg. Il est particulièrement intéressant d'observer que la force de maintien est quasiment aussi importante que la force initiale pour les inclinaisons de pente les plus importantes (11 et 16°) : le gardien lutte ainsi en permanence contre la gravité qui s'oppose à son déplacement. Il doit alors fournir une force équivalente à la force initiale durant la totalité de son déplacement : l'astreinte est très élevée.

Au regard des conditions de réalisation de la manutention des containers poubelle (fréquence, distance de déplacement...) et des références normatives, des valeurs limites de 20 et 10 daN ont été calculées respectivement pour la force initiale et la force de maintien. A partir des données de forces mesurées et au regard de ces valeurs limites, un modèle donnant en fonction de la pente le poids de chargement maximal à ne pas dépasser a été créé (cf. *Figure 11*). Il s'avère par exemple que, pour une pente de 4°, le chargement du container poubelle ne devrait pas dépasser 85 kg, alors que sur sol plat il pourrait atteindre 135 kg. Il ressort aussi de ce modèle que des pentes supérieures à 6° sont insensées puisque la manutention des containers ne peut y être effectuée qu'avec des charges très légères, improbables dans des conditions réelles. Il y a donc, dans l'activité des gardiens d'immeuble, un travail de réflexion à mener dès la conception des projets architecturaux afin d'éviter toute pente s'il doit y avoir de la manutention manuelle de containers poubelle. Si l'implantation de pentes ne peut être évitée, le recours à des containers motorisés doit être envisagé.

FIGURE 10

A - Evolution de la force initiale (en bleu) et de maintien (en rouge) en fonction du poids total (en kg) du container poubelle pour une pente de 4°. B - Evolution de la force initiale et de maintien en fonction de la pente du sol (0, 4, 11 et 16°) pour un poids total de 180 kg. Les valeurs présentées sont des moyennes (± l'erreur-standard).

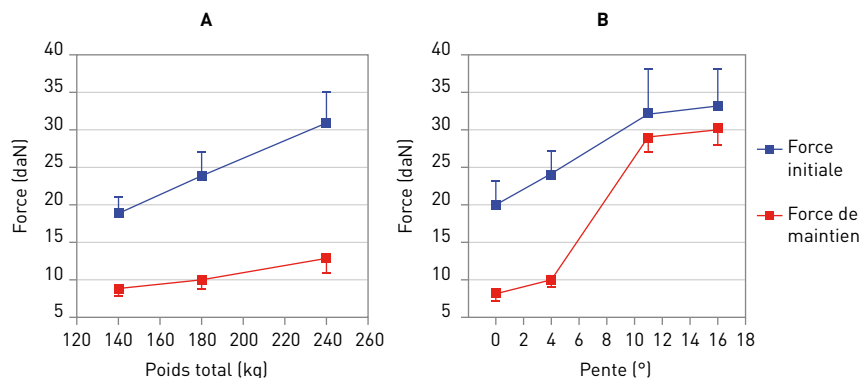
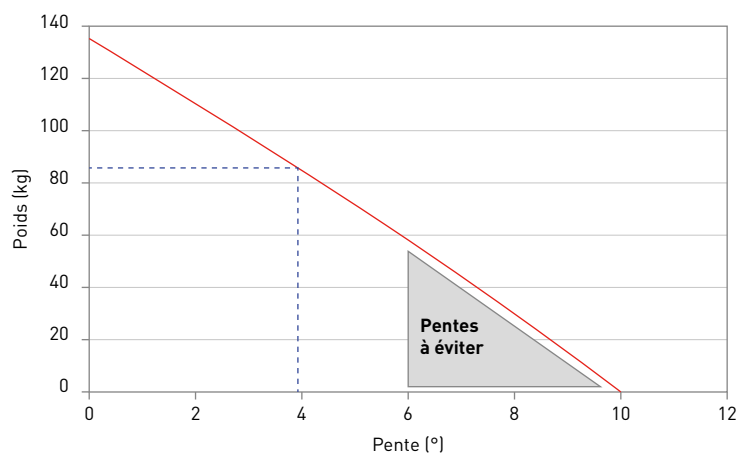


FIGURE 11

Modèle théorique (en rouge) déterminant le poids de chargement maximal (en kg) du container poubelle en fonction de la pente du sol (en degrés). A titre d'exemple, les pointillés bleus montrent que, pour une pente de 4°, il ne faut pas dépasser 85 kg de chargement pour rester dans des valeurs de forces inférieures à celles recommandées par les normes. La surface grisée montre qu'au-delà de 6°, le contenant est plus lourd que le contenu et que de telles pentes devraient donc être évitées. Ce modèle est uniquement valable pour la situation à partir de laquelle il a été construit.



Similairement aux valeurs de force, les résultats de fréquence cardiaque sont fortement corrélés à l'inclinaison de la pente. Le coût cardiaque, correspondant à la différence entre la fréquence maximale atteinte pendant l'effort et la fréquence de repos avant effort, s'accroît considérablement avec l'élévation de la pente. Ce coût, toutes charges confondues, est de 39 ± 3 , 48 ± 3 , 60 ± 3 et 74 ± 5 bpm respectivement pour les pentes de 0°, 4°, 11° et 16°. Pour les deux plus fortes inclinaisons, 11 et 16°, les valeurs sont critiques. Pour certains opérateurs, elles se rapprochent de leur fréquence cardiaque maximale théorique. C'est-à-dire qu'avec des efforts plus longs et/ou réalisés dans une ambiance thermique chaude, il pourrait y avoir un réel risque d'accident cardiaque.

CONCLUSION

Cette intervention a permis de mettre en avant l'influence d'un facteur environnemental, la pente du sol, sur la production des efforts de T/P. Il s'avère que de fortes pentes sont problématiques. Non seulement les forces sont élevées et supérieures aux références normatives mais, à cause de l'influence de la gravité liée à la pente, la force de maintien, censée être une force de conservation de la vitesse du mobile, se transforme en une force initiale, constante durant l'intégralité de la manutention. Les répercussions physiologiques de ces efforts sont donc plus importantes : la fréquence cardiaque peut atteindre sous certaines

conditions, des valeurs pouvant présenter un risque d'accident cardiaque. Pour toutes les situations de travail présentant de la manutention manuelle de mobiles, il est donc conseillé d'exclure toute pente ou alors d'avoir recours à une assistance mécanique.

CONCLUSION

Au travers des trois interventions proposées, nous avons pu constater que les actions de T/P sont des manutentions manuelles difficiles et que les forces mises en jeu, répétées, sont contraignantes pour le système musculo-squelettique et peuvent induire un risque d'AT/MP. L'astreinte cardiaque peut également se révéler élevée sous certaines situations, notamment dans le cas de pentes ou de chargements importants du mobile. Il est donc nécessaire, dans une démarche d'amélioration des conditions de travail, de trouver des solutions organisationnelles et techniques permettant de réduire ces efforts de T/P. La motorisation des systèmes mobiles est, dans de nombreux cas (poids trop important, pente, sol dégradé...), la seule alternative possible. Les forces nécessaires pour générer du mouvement sont ainsi supprimées et l'astreinte liée à l'accompagnement du mobile motorisé est

nettement inférieure à celle nécessaire au déplacement manuel de celui-ci. Mais, comme pour toute modification de la situation de travail, il faudra évidemment veiller au fait que cette motorisation ne s'accompagne pas de nouvelles formes de contraintes ou de risques non existants avec la manutention manuelle.

Par ailleurs, il nous semble également nécessaire que cette problématique soit davantage intégrée dès la conception des mobiles. Il existe en effet des adéquations techniques au regard des contraintes de la situation de travail (typologie des roues, hauteur de la poignée, structure du mobile...). Ces paramètres devraient, lors de la phase de conception, faire l'objet de tests en situations réelles (avec les mêmes contraintes que la situation de travail) afin de trouver la configuration qui permette de réduire au maximum les efforts de T/P. Trop souvent les mobiles ne sont pensés que du point de vue de la qualité du produit transporté et sont ensuite modifiés, adaptés, lors de leur mise en place dans l'environnement de travail afin de répondre aux exigences et contraintes de leur manutention. Des marges de progrès dans la réduction des efforts de T/P sont possibles et peuvent être anticipés dès la conception des mobiles.

Enfin, les exemples présentés dans cet article le sont à titre d'illustration, pour comprendre et s'interroger sur la

problématique des efforts de T/P. Chaque situation est particulière et mérite sa propre analyse. Si la mesure des forces de T/P est complexe, du fait du matériel spécifique et de la méthodologie de mesure à mettre en place, il est cependant possible d'aborder cette problématique en se référant aux exemples présentés et aux correspondances force/poids données en annexe de la norme NF X35-109. Cette base de référence permet de se positionner par rapport aux données provenant de situations similaires. Il est également nécessaire de croiser ces données avec la perception des efforts (échelle RPE) et le regard constructif des opérateurs sur les mobiles et sur leur activité de travail. Comme nous avons pu l'observer dans le deuxième exemple, dans le cas d'une modification technique du mobile, la perception des efforts apporte des informations essentielles, complémentaires à la mesure des forces. Les améliorations proposées doivent donc s'appuyer sur le retour des opérateurs. Si des mesures de force doivent tout de même être réalisées, afin de valider le fait que celles-ci sont inférieures aux recommandations normatives, il est important de garder à l'esprit qu'elles seront précises et fiables uniquement si le protocole de test est rigoureux et respecte les principes décrits dans cet article.

Reçu le : 30/05/2012

Accepté le : 27/06/2012

POINTS À RETENIR

- La manutention manuelle de mobiles, au travers d'actions répétées de tirer-pousser, induit des efforts musculaires importants pouvant conduire au développement de troubles musculo-squelettiques (TMS).
- L'évaluation des efforts de tirer-pousser nécessite du matériel spécifique (un capteur de force 2 axes) et une méthodologie adaptée (notamment la répétition de mesures dans des conditions similaires à l'activité réelle de travail).
- Les résultats de nos différentes interventions montrent que les valeurs mesurées en entreprises dépassent fréquemment les limites fixées par les normes et exposent donc le manutentionnaire à de fortes contraintes physiques.
- Le facteur principal conditionnant les efforts de tirer-pousser est le poids total à déplacer (mobile + chargement). C'est donc, dans un premier temps, sur ce facteur qu'il faut agir pour réduire de manière efficace les contraintes physiques liées à ce type de manutention.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] DARES – *Conditions de travail : une pause dans l'intensification du travail*. Premières Informations et Premières Synthèses, 2007, n°01.2.
- [2] HASLAM R.A., BOOCOCK M., LEMON P., THORPE S. – *Maximum acceptable loads for pushing and pulling on floor surfaces with good and reduced resistance to slipping*. Safety Science, 2002, 40:625-637.
- [3] BOOCOCK M.G., HASLAM R.A., LEMON P., THORPE S. – *Initial force and postural adaptations when pushing and pulling on floor surfaces with good and reduced resistance to slipping*. Ergonomics, 2006, 49(9):801-21.
- [4] HOOZEMANS M.J., VAN DER BEEK A.J., FRINGS-DRESEN M.H., VAN DIJK F.J., VAN DER WOUDE L.H. – *Pushing and pulling in relation to musculoskeletal disorders: a review of risk factors*. Ergonomics, 1998, 41(6):757-81.
- [5] HOOZEMANS M.J., VAN DER BEEK A.J., FRINGS-DRESEN M.H., VAN DER WOUDE L.H., VAN DIJK F.J. – *Pushing and pulling in association with low back and shoulder complaints*. Occup. Environ. Med., 2002, 59(10):696-702.
- [6] KNAPIK G.G., MARRAS W.S. – *Spine loading at different lumbar levels during pushing and pulling*. Ergonomics, 2009, 52(1):60-70.
- [7] MAIKALA R.V., DEMPSEY P.G., CIRIELLO V.M., O'BRIEN N.V. – *Dynamic pushing on three frictional surfaces: maximum acceptable forces, cardiopulmonary and calf muscle metabolic responses in healthy men*. Ergonomics, 2009, 52(6):735-46.
- [8] JUNG M.C., HAIGHT J.M., FREIVALDS A. – *Pushing and pulling carts and two-wheeled hand trucks*. International Journal of Industrial Ergonomics, 2005, 35(1):79-89.
- [9] GLITSCH U., OTTERSBAACH H.J., ELLEGAST R., SCHAUB K., FRANZ G., JÄGER M. – *Physical workload of flight attendants when pushing and pulling trolleys aboard aircraft*. International Journal of Industrial Ergonomics, 2007, 37(11-12):845-854.
- [10] SNOOK S.H. – *The design of manual handling tasks*. Ergonomics, 1978, 21(12):963-85.
- [11] ISO 11228-2 – *Ergonomics – Manual handling – Part 2: Pushing and pulling*. ISO, 2007.
- [12] NF X35-109 – *Ergonomie - Manutention manuelle de charge pour soulever, déplacer et pousser/tirer. Méthodologie d'analyse et valeurs seuils*. AFNOR, 2011.
- [13] BORG G. – *Borg's perceived exertion and pain scales*. Human Kinetics, 1998, 104p.