Institut National de Recherche et de Sécurité

note scientifique & technique

Effets sur les sollicitations musculaires et posturales, sur la performance et le ressenti des utilisateurs de différentes souris informatiques et de leur positionnement sur le bureau

NS 345 NOTE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

Effets sur les sollicitations musculaires et posturales, sur la performance et le ressenti des utilisateurs de différentes souris informatiques et de leur positionnement sur le bureau

Clarisse Gaudez - François Cail

Département Homme au travail
Laboratoire Physiologie - Mouvement - Travail

NS 345
septembre 2016

Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles
Siège social : 65, boulevard Richard-Lenoir 75011 Paris • Tél. 01 40 44 30 00
Centre de Lorraine : 1, rue du Morvan CS 60027 54519 Vandœuvre-les-Nancy cedex • Tél. 03 83 50 20 00

Résumé
L’ordinateur est communément utilisé au travail. En 2013, 71% des travailleurs français utilisaient un ordinateur pour des besoins professionnels avec une proportion de femmes plus élevée que celle des hommes. Si l’ordinateur est couramment utilisé, il en est de même pour l’utilisation de la souris, périphérique d’entrée indispensable dans la plupart des tâches. Plusieurs études ont mis en évidence un lien entre l’utilisation de la souris et l’apparition de douleurs, voire de troubles musculosquelettiques au niveau du cou et du membre supérieur. Selon la norme ISO 9241-410, « la position neutre ou la plus relâchée de l'avant-bras correspond à la main en pronation à 30° par rapport à la verticale » (60° par rapport à l’horizontale). Or, la souris traditionnelle impose une pronation complète (paume de la main tournée vers le plan de travail). Afin de réduire la pronation de l’avant-bras, par rapport à la souris traditionnelle, des souris verticales et des souris inclinées présentant respectivement une inclinaison de 60 à 70° et de 30 à 40° par rapport à l’horizontale sont aujourd’hui commercialisées. Ces nouvelles souris font l'objet de demandes fréquentes de renseignements de la part de préventeurs à la recherche de solutions pour des salariés présentant des douleurs ou des TMS.
Par ailleurs, la souris est habituellement placée à côté du clavier. Or, certains chercheurs recommandent de placer la souris traditionnelle devant le clavier si celui-ci est peu utilisé.
Les souris verticales et inclinées ont fait l'objet de peu études jusqu'à présent et aucune ne concerne leur emplacement sur le plan de travail.
Cette étude a pour objectif de comparer les sollicitations musculaires et posturales, la performance et le ressenti lors de l’utilisation de 3 souris informatiques (une souris traditionnelle, une souris verticale et une souris inclinée) à 3 emplacements différents sur le plan de travail (à côté du clavier, devant le clavier et en position libre sans contrainte).

Dix-huit femmes droitières âgées de 18 à 40 ans ont participé à cette étude de laboratoire. Chacune a réalisé 7 tâches (pointage, cliquage avec l’index, cliquage avec le majeur, double cliquage avec l’index, cliquage avec l’index puis le majeur, déplacement d’une cible et reprise en main de la souris après frappe sur le clavier) dans les neuf conditions (3 souris X 3 emplacements). L’activité de six muscles du membre supérieur utilisant la souris a été enregistrée ainsi que les amplitudes articulaires de l’index, du poignet et de l’épaule. La performance a été évaluée au moyen de la durée de réalisation de chacune des tâches. Le ressenti des personnes a été évalué à l’aide d’échelles d’autoévaluation ; les questions concernaient la difficulté à réaliser les tâches, le confort et la facilité d’utilisation de chacune des trois souris à chacun des trois emplacements.

Il ressort de cette étude que :
- La souris inclinée apparait comme un bon compromis entre sollicitations musculaires et posturales, performance et ressenti des personnes par rapport aux deux autres souris.
- Le placement de la souris devant le clavier réduit les sollicitations par rapport au placement à côté du clavier. La performance et le confort sont meilleurs quand la souris est placée librement par rapport aux deux autres emplacements. Toutefois, cet emplacement nécessite l’absence du clavier, ce qui se rencontre peu dans la pratique quotidienne. Comparé au placement de la souris à côté du clavier, le placement de la souris devant le clavier réduit la charge physique.
- L’action de reprise de la souris après frappe sur le clavier est la plus sollicitante des sept tâches étudiées. Elle est donc à éviter au maximum au cours de l’activité de travail.

1 - INTRODUCTION

Le travail sur ordinateur a fortement progressé en France. En 1998, 2005 et 2013, respectivement 51%, 60% puis 71% des travailleurs utilisaient un ordinateur pour des besoins professionnels (Dares 2015). Cette proportion varie selon les catégories socio-professionnelles : 99% des cadres et professions intellectuelles supérieurs et 92% des professions intermédiaires utilisaient un ordinateur en 2013. A âge, situation familiale, qualification, niveau d'études, ancienneté dans l'entreprise et secteur d'activité équivalents, les femmes ont une probabilité d'utiliser l'informatique supérieure de 18% à celle des hommes (Dares 2010). En 2013, la proportion de femmes utilisant l'ordinateur était de 74% contre 68% pour les hommes. De plus, les femmes utilisent l'informatique de façon plus intensive. Trente-neuf pour cent d'entre elles passaient six heures ou plus par jour devant leur écran contre 24% des hommes (Dares 2010). Soixante-huit pour cent d'entre elles utilisaient un ordinateur fixe et une souris informatique contre 55% des hommes (Dares 2010). La prévalence de troubles musculosquelettiques (TMS) du membre supérieur liés au travail sur ordinateur est plus élevée chez les femmes (Won et coll. 2009; Lassen et coll. 2005).

Cependant l'existence d'une relation causale évidente entre le travail sur ordinateur et la survenue de TMS du membre supérieur ne peut être formellement affirmée au vu des données actuelles de la littérature (Andersen et coll., 2011 ; Mediouni et coll., 2014). Cette relation ne pourra être confirmée qu'à l'aide d'études longitudinales effectuées sur des cohortes importantes de personnes travaillant sur ordinateur. Néanmoins, plusieurs études, non épidémiologiques, ont mentionné l'association entre l'utilisation de l'ordinateur et la présence de douleurs des membres supérieurs et du cou, voire de pathologies telles que la myalgie du trapèze, l'épicondylite latérale et surtout le syndrome du canal carpien (Gerr et coll., 1996, 2000, 2002 a et b, 2004, 2006 ; Blatter et Bongers, 2002 ; Jensen et coll., 2002 ; Hernández et coll., 2003 ; Juul-Kristensen et coll., 2004 ; Wahlstrom et coll., 2004 ; Village et coll., 2005 ; Cail et Aptel, 2006 ; IJmker et coll., 2007 ; Thorn et coll., 2007 ; Andersen et coll., 2008 ; Haynes, 2009 ; Waersted et coll., 2010 ; Bruno Garza et coll., 2012 ; Tomatis et coll., 2012 ; Madeleine et coll., 2013). Par ailleurs, l'étude de Madeleine et coll. (2013) rapportait que parmi les opérateurs signalant des douleurs, celles-ci sont plus intenses, plus longues et plus fréquentes chez les femmes que chez les hommes. Le développement de TMS parmi les utilisateurs d'ordinateur est lié à des facteurs individuels, physiques, psychologiques et organisationnels (Madeleine et coll., 2013) qui interagissent de manière complexe (Waersted et coll., 2010). Les facteurs physiques sont la force, l'effort musculaire, la posture ainsi que la vitesse et l'accélération du poignet (Bruno Garza et coll., 2012). En conséquence, la plupart des pays ont mis en place des lignes directrices pour conseiller les utilisateurs d'ordinateurs sur l'aménagement du poste de travail afin de minimiser le risque d'apparition de douleurs (Directive européenne, 1990 ; Standards Council of Canada, 1991 ; National Institute for Working Life, 1997 ; Workers' Compensation Board, 1999 ; Code du travail, 2008).

Si l'ordinateur est communément utilisé au travail, il en est de même pour l'utilisation de la souris, périphérique d'entrée indispensable dans la plupart des tâches et le plus fréquemment utilisé (Lee et Su, 2008 ; Cook et Kothiyal, 1998 ; Jensen et coll., 2002 ; Müller et coll., 2010). L'évolution des logiciels tend à augmenter le temps d'utilisation de la souris par rapport à celui du clavier (Jensen et coll., 1998). Selon le logiciel utilisé et la tâche effectuée, la souris peut être utilisée jusqu'à deux tiers du temps total de travail sur ordinateur (Karlqvist et coll., 1994 ; Cook et coll., 2000). Cette proportion est plus élevée dans certaines professions comme la radiologie (Goyal et coll., 2009). L'utilisation intensive

de la souris d'ordinateur est caractérisée par des mouvements répétitifs, une pronation de la main et de l'avant-bras en posture statique ainsi qu'une sollicitation musculaire de faible intensité et continue (Jensen et coll., 1998). Sa manipulation nécessite une psychomotricité fine avec un contrôle de la précision, une stabilité bras-main, une dextérité de la main et des doigts ainsi qu'un contrôle de la vitesse poignet-doigt (Cheong et coll., 2013). Plusieurs études ont mis en évidence une relation dose-effet entre la durée d'utilisation de la souris et l'apparition de douleurs, voire de TMS au niveau du cou et du membre supérieur (Jensen et coll., 1998, 1999, 2002 ; Palmer et coll., 2001 ; Blatter et Bongers, 2002 ; Gerr et coll., 2002 a et b ; Jensen, 2003 ; Kryger et coll., 2003 ; Atkinson et coll., 2004 ; Brandt et coll., 2004 ; Lassen et coll., 2004 ; Walhström, 2005 ; Cail et Aptel, 2006 ; Ijmker et coll., 2007 ; Andersen et coll., 2008). Atkinson et coll. (2004) ont rapporté que 45% des utilisateurs de souris se plaignaient de douleurs musculo-squelettiques et d'inconfort au niveau de la main et du poignet. Le design d'une souris traditionnelle engendre des facteurs de risque biomécaniques tels que le maintien de l'avant-bras en pronation, la déviation ulnaire et l'extension extrême du poignet, la flexion, l'abduction et la rotation externe de l'épaule associées au maintien continu de l'activité musculaire en particulier des muscles trapèze et des extenseurs du poignet (Zipp et coll., 1983 ; Karlqvist et coll., 1994 ; Fogleman et Brogmus, 1995 ; Hales et Bernard, 1996 ; Hagberg, 1997 ; Cook et Kothiyal, 1998 ; Jensen et coll., 1998 ; Karlqvist et coll., 1998 ; Burgess-Limerick et coll., 1999 ; Keir et coll., 1999 ; Liao et Drury, 2000 ; Gustafsson et Hagberg, 2003 ; Valachi et Valachi, 2003 ; Finsen et coll., 2005 ; Bower et coll., 2006 ; Crenshaw et coll., 2007 ; Oude Hengel et coll., 2008 ; Houwink et coll., 2009 ; Hedge et coll., 2010 ; Müller et coll., 2010). Les mouvements répétitifs associés à ces facteurs augmentent le risque de survenue de TMS (Kilbom, 1994 a et b ; Jensen 1999 ; Keir et coll., 1999). L'effet de ces facteurs peut être exacerbé lors de la réalisation d'activités précises ou à rythme élevé (Visser et coll., 2004).

Depuis la fin des années 90, de nouvelles formes de souris ont été développées dans le but de réduire les effets négatifs de la souris traditionnelle en termes de posture et d'activité musculaire du membre supérieur. Plusieurs équipes de chercheurs ont comparé les sollicitations entre l'utilisation de la souris traditionnelle et de souris présentant des designs différents, en forme de joystick ou avec une inclinaison plus ou moins importante. Aaràs et Ro (1997) ont montré que la souris Anir ® en forme de joystick réduisait les sollicitations des muscles extenseurs des doigts et du poignet par rapport à la souris traditionnelle. En revanche, son utilisation augmentait l'extension du poignet (Brown et coll., 2007). Elle était jugée moins confortable par ses utilisateurs qu'une souris traditionnelle (Gustafsson et Hagberg, 2003 ; Woods et coll., 2003). Quemelo et Vieira (2013) ont montré que l'utilisation d'une souris en forme de stylet pivotant sur une base réduisait la pronation du poignet et diminuait l'activité des muscles extenseurs des doigts et du poignet par rapport à l'emploi d'une souris traditionnelle. Les utilisateurs paraissaient satisfaits de cette souris. Chen et Leung (2007) se sont intéressés à l'impact de souris expérimentales présentant des inclinaisons allant de 0° à 30° par rapport à l'horizontale sur l'activité musculaire du membre supérieur lors du déplacement de zones de texte. Ils ont constaté que l'activité des muscles extensor carpi ulnaris, pronator teres et trapezius diminuait avec l'augmentation de l'inclinaison de la souris alors que l'activité de l'extensor digitorum augmentait et que l'extension du poignet était plus élevée.

Selon la norme ISO 9241-410 (2008), « la position neutre ou la plus relâchée de l'avant-bras correspond à la main en pronation à 30° par rapport à la verticale » (60° par rapport à l'horizontale). Or la souris traditionnelle nécessite une pronation complète de l'avant-bras (de l'ordre de 90° par rapport à la verticale / 0° par rapport à l'horizontale). Dans cette optique, de nombreuses souris visant à réduire la pronation de l'avant-bras sont aujourd'hui commercialisées. Les arguments de vente mis en avant sont l'amélioration de la posture et donc la réduction de TMS. Ces souris peuvent être classées selon 2 typologies : les souris verticales présentant une inclinaison de l'ordre de 70° par rapport à l'horizontale comme

Evoluent Vertical Mouse ® et les souris inclinées d'environ 30° par rapport à l'horizontale comme Microsoft Natural Mouse 6000 ®. La comparaison de ces différentes souris a fait l'objet de relativement peu d'études dans la littérature. Les sollicitations liées aux souris verticales ont été plus souvent étudiées que celles des souris inclinées. Ces études montrent que l'utilisation d'une souris inclinée ou verticale génère une activité des muscles extenseurs du poignet plus faible qu'avec la souris traditionnelle (Houwink et coll., 2009; Gustafsson et Hagberg, 2003 ; Chen et Leung, 2007). La comparaison de l'angle d'extension du poignet pour différentes souris donne des résultats contradictoires d'une étude à l'autre (Houwink et coll. 2009 ; Gustafsson et Hagberg, 2003 ; Hedge et coll. 2010). Gustafsson et Hagberg (2003) et Jung (2014) ont montré que la performance et le confort sont meilleurs avec la souris traditionnelle qu'avec la souris verticale. Cependant, il est à noter la difficulté de comparer différentes études. En effet le design des souris, les tâches effectuées même si elles sont pour la plupart habituellement retrouvées lors de travaux avec la souris, la position de la souris sur le plan de travail, la posture adoptée par les sujets comme la présence ou non de support de la main et/ou de l'avant-bras, le temps de familiarisation avec la souris, les méthodes de mesure biomécaniques ou physiologiques utilisées ainsi que les descripteurs choisis diffèrent souvent d'une étude à l'autre (Houwink et coll., 2009 ; Müller et coll., 2010 ; King et coll., 2012 ; Onyebeke et coll., 2014).

Tout comme son inclinaison, la position de la souris sur le plan de travail a un impact sur les sollicitations du membre supérieur. En effet, plus ce dispositif d'entrée se trouve éloigné du plan sagittal médian du corps, plus l'abduction de l'épaule est importante (Cook et Kothiyal, 1998 ; Cook et coll., 2000 ; Dennerlein et Johnson, 2006). La souris étant communément placée à côté du clavier, son éloignement du plan sagittal médian du corps peut être accru par la présence d'un pavé numérique associé au clavier. Pour une utilisation intensive de la souris, Dennerlein et coll. (2003) suggèrent de la placer entre le clavier et la personne afin de réduire les postures inconfortables. Cet agencement, qui fournit une alternative au positionnement de la souris sur le côté du clavier, permettrait une position du poignet et de l'épaule plus neutre due à une réduction significative de la déviation ulnaire et à une réduction de la rotation externe et de la flexion de l'épaule. Cette recommandation a été proposée avec la souris traditionnelle ; sa pertinence, lors de l'utilisation d'une souris verticale, est à ce jour inconnue.

Ces dernières années, les souris verticales ont fait l'objet de demandes d'information croissantes adressées à l'INRS, surtout de la part des services de santé au travail. Ce sujet fait également l'objet de nombreuses discussions dans les forums dédiés à l'ergonomie. Ces demandes concernent généralement la réduction des sollicitations liées à l'utilisation de ces souris pour des salariés présentant des douleurs et/ou souffrant de TMS, à la recherche de solutions. Or, peu de travaux concernent les sollicitations biomécaniques liées à l'utilisation de souris autres que la souris traditionnelle. La partie distale du membre dominant y est souvent la seule étudiée. La posture, l'activité musculaire du membre supérieur utilisant la souris, le confort et la performance ont rarement été analysés ensemble. Enfin, aucune étude n'analyse l'effet de la position de l'avant-bras sur le plan de travail lors de l'utilisation d'une souris verticale.

Cette étude avait pour objectif de comparer 3 souris, une souris traditionnelle, une souris verticale et une souris inclinée, placées à 3 endroits différents sur le plan de travail, à côté du clavier, devant le clavier et librement, sans contrainte, sur le bureau. Dans le but d'obtenir une évaluation globale, objective et subjective de la part de l'utilisateur, l'activité de plusieurs muscles, les angles du l'épaule et du poignet du membre supérieur sollicité par la souris, les performances et le ressenti des utilisateurs ont été évalués. Sept tâches de travail habituellement effectuées en situation de travail ont été analysées. Cette étude a été réalisée chez les femmes âgées de 18 à 40 ans.

2 - METHODOLOGIE

2.1 Participants

Dix-huit femmes droitières volontaires ont participé à l'expérimentation. Le genre féminin a été retenu du fait de la proportion plus élevée de femmes utilisant un ordinateur au travail par rapport à celle des hommes.
L'âge moyen de ces femmes était de 28,4 ans +/- 4,8, leur taille moyenne de 164,2 cm +/- 6,7 et leur poids moyen de 59,9 kg +/- 6,6 avec un indice de masse corporel de 22,2 kg/m² +/- 2,3. Leur acuité visuelle de près, avec correction si nécessaire, a été mesurée à l'aide de l'échelle de lecture de Parinaud laquelle est constituée d'un texte dont les paragraphes sont écrits avec des caractères de tailles décroissantes. Elle est chiffrée de Parinaud 14 (P14), taille des plus grands caractères, à Parinaud 1,5 (P1,5), taille des plus petits caractères. La vision de près normale correspondant à P2. Toutes les participantes présentaient un Parinaud ≤ à 2.
Les sujets devaient avoir utilisé une souris d'ordinateur au moins 20 heures par semaine l'année précédant la participation à cette étude. Les critères d'exclusion étaient la présence de douleurs de l'appareil locomoteur au cours du mois précédant l'expérimentation, un âge inférieur à 18 ans et supérieur à 40 ans, afin d'éliminer des problèmes de posture liés au port de verres progressifs, ainsi qu'une acuité visuelle > à 2 selon l'échelle de Parinaud.
Tous les sujets ont donné leur consentement à l'expérimentation, laquelle avait été approuvée par le comité de protection des personnes Est III.

2.2 Caractéristiques des souris

Trois modèles de souris présentant des inclinaisons différentes ont été étudiés (Photo 1 et tableau 1).

souris traditionnelle | souris inclinée | souris verticale

Photo 1 : les 3 souris utilisées dans l'expérimentation

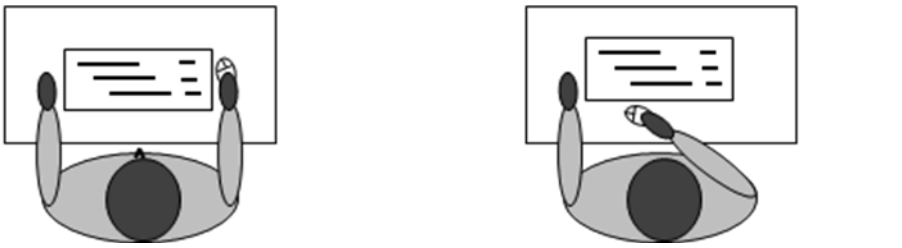
La souris traditionnelle était la laser Mouse LX8 Cordless Logitech ®. La souris verticale était la souris Evoluent ® Vertical Mouse 3^{TM} Wireless qui présente une inclinaison de 65° environ par rapport à l'horizontale. Un prototype de souris inclinée a été développé à partir de cette souris verticale ; il présente un angle de 35° par rapport à l'horizontale. Ces trois souris sont sans fil. Les fonctionnalités des boutons en regard de l'index et du majeur sont identiques pour les trois souris.

Modèle de souris	Angle d'inclinaison par rapport à l'horizontale (°)	Taille (cm)				Poids (g)
		Largeur	Longueur	Hauteur	Largeur des touches	
souris traditionnelle	0	68	12,0	4,1	2,6	132
souris inclinée	35	82	11,0	6,2	2,7	110
souris verticale	65	79	11,4	8,0	2,7	194

Tableau 1 : Caractéristiques des souris

2.3 Poste de travail

L'étude a été conduite en laboratoire. Trois positions de la souris sur le plan de travail ont été examinées : à côté du clavier, devant le clavier et librement, sans contrainte, sur le bureau (figure 1).



Souris positionnée à côté du clavier — Souris positionnée devant le clavier

Figure 1 : Emplacement des souris sur le plan de travail

Dans les positions à côté et devant le clavier, ce dernier se trouvait à une distance de 12 cm du bord du bureau et son centre se situait dans l'axe sagittal médian du sujet, conformément aux recommandations mentionnées dans l'ED 924 (Cail, 2014). Dans la position sans contrainte, le clavier était absent du plan de travail.
Pour les 3 positions, le poste de travail incluait un ordinateur de bureau et une chaise avec dossier sans accoudoirs. La hauteur du siège et du plan de travail étaient ajustées aux mesures anthropométriques de chaque sujet. Conformément aux préconisations (Cail, 2014), leurs pieds reposaient à plat sur le sol avec les cuisses à l'horizontale. Le plan de travail était à hauteur de leur coude. Les avant-bras des sujets reposaient sur la table. Face à eux était posé un moniteur dont la taille de l'écran était de 19 pouces (taille du pixel : 0.294X0.294; résolution : 1152X864). Le haut du moniteur se situait au niveau de leurs yeux. L'écran était plat et à cristaux liquides avec dalle mate et affichage sur fond clair. L'éclairement, par éclairage indirect du plan de travail, était compris entre 300 et 500 lux. L'écran était exempt de reflet et aucune source lumineuse éblouissante n'était présente dans le champ visuel des sujets.

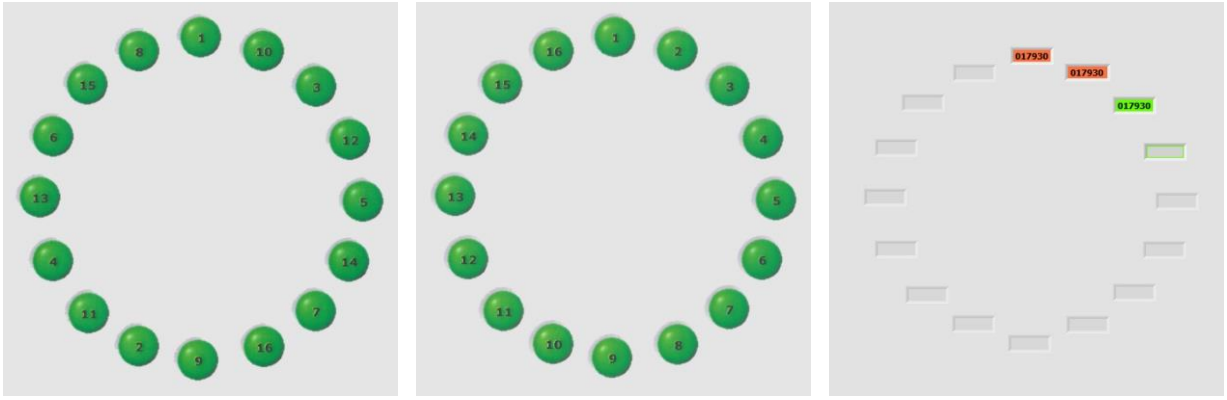
2.4 Description des tâches

Chacun des sujets a effectué 7 tâches avec chacune des 3 souris (tableau 2). Ces tâches sont habituellement présentes lors de recherche d'informations sur écran ou en conception assistée par ordinateur. Elles s'inspirent de celles effectuées dans les études de l'équipe de Johnson (Johnson et coll., 2000 ; Odell et Johnson, 2007). Toutes contiennent une action de pointage.

Pour chacune d'entre elles, les sujets ont visualisé des cibles numérotées disposées en cercle sur l'écran d'ordinateur (figure 2). Chacune des cibles avait une taille de 1.56 cm².
La consigne donnée aux sujets était d'effectuer ces tâches le plus vite possible.

Tâche 'pointage'	Pointage avec le pointeur de la souris, sans action de cliquage, sur les 16 cibles en suivant leur ordre de numérotation (figure 2)
Tâche 'cliquage index'	Pointage puis cliquage sur le bouton situé en regard de l'index en suivant l'ordre de numérotation des 16 cibles (figure 2)
Tâche 'cliquage majeur'	Pointage puis cliquage sur le bouton situé en regard du majeur en suivant l'ordre de numérotation des 16 cibles (figure 2)
Tâche 'double cliquage index'	Pointage puis double cliquage sur le bouton situé en regard de l'index en suivant l'ordre de numérotation des 16 cibles (figure 2)
Tâche 'cliquage index puis majeur'	Pointage suivi du cliquage sur le bouton situé en regard de l'index puis sur celui situé en regard du majeur en suivant l'ordre de numérotation des 16 cibles (figure 2)
Tâche 'cliquage index puis déplacement cible'	Pointage suivi du cliquage et de l'appui maintenu sur le bouton situé en regard de l'index pour sélectionner la cible puis déplacement de cette cible sur la suivante, en suivant l'ordre de numérotation des 16 cibles (figure 2)
Tâche 'reprise souris'	Pointage d'une zone de saisie suivi du cliquage sur le bouton situé en regard de l'index afin de sélectionner cette zone, puis saisie du nombre '017930' sur le pavé numérique et enfin reprise de la souris (figure 2). L'analyse n'incluait pas la frappe sur le clavier.

Tableau 2 : Description des tâches



Pour les tâches 'pointage' et 'cliquage index puis déplacement'

Pour les tâches 'cliquage index', 'cliquage majeur', double cliquage index' et 'cliquage index puis déplacement cible'

Pour la tâche 'reprise souris'

Figure 2 : Disposition des cibles

Tous les sujets se sont entraînés au laboratoire à utiliser les trois souris au minimum pendant 6 heures durant les 2 jours précédant l'expérimentation. Le 1er jour, avec chacune des trois souris, les sujets devaient effectuer une tâche associant déplacement de la souris et cliquage avec l'index. Le deuxième jour, les sujets ont réalisé chacune des 7 tâches dans les 9 conditions (3 souris x 3 positions), jusqu'à ce qu'ils déclarent se sentir à l'aise.

2.5 Protocole

Chacun des 18 sujets a effectué les 9 conditions (3 souris x 3 positions de la souris sur le plan de travail).
L'ordre de passation des souris a été randomisé selon 6 séquences (tableau 3). Chacune de ces séquences a été effectuée par 3 sujets.

Séquence	souris traditionnelle	prototype souris inclinée	Evoluent vertical mouse
1	1ère	2ème	3ème
2	1ère	3ème	2ème
3	2ème	1ère	3ème
4	3ème	1ère	2ème
5	2ème	3ème	1ère
6	3ème	2ème	1ère

Tableau 3 : Description de l'ordre de passation des souris selon 6 séquences

Pour chaque sujet avec chacune des souris, l'ordre de passation concernant les positions de la souris sur le plan de travail était identique. La souris était placée d'abord à côté du clavier puis devant celui-ci et enfin en position libre.
Dans chacune des 9 conditions (3 souris x 3 positions sur le plan de travail), les 7 tâches ont été effectuées dans le même ordre, de la tâche 1 à la tâche 'reprise souris'. En position libre, les sujets n'ont pas réalisé la tâche 'reprise souris' car le clavier était enlevé pour leur permettre de placer la souris sans contrainte sur le plan de travail.
Afin d'éviter toute fatigue, les sujets ont bénéficié d'une pause au minimum d'une minute après chaque tâche et de 5 minutes entre chaque condition au cours de laquelle ils ont pu se déplacer. Le temps de réalisation de chacune des tâches dans les 9 conditions était inférieur à 30 secondes. Ainsi, le temps total cumulé de réalisation des tâches était inférieur à 35 minutes pour un temps total de repos cumulé supérieur à 90 minutes.

2.6 Techniques utilisées

2.6.1 Electromyographie de surface

Un système d'électromyographie de surface (EMG) (Noraxon 1-08) a été utilisé pour enregistrer l'activité myoélectrique des sujets. Les signaux étaient filtrés par passe-bande dans la gamme de fréquences de 10 à 1000 Hz, échantillonnés à 2000 Hz et amplifiés 1000 fois. Tous les signaux EMG ont été traités après recueil. La valeur RMS (root mean square correspondant à l'aire sous la courbe) a été calculée pour chacun des signaux EMG sur des fenêtres glissantes de 100 ms avec un pas de 0,5 ms. L'activité musculaire de 9 muscles superficiels a été mesurée par électromyographie de surface : le flexor digitorum superficialis (FDS), l'extensor carpi ulnaris (ECU), l'extensor carpi radialis (ECR), le biceps brachii (BB), l'infraspinatus (INF) et le trapezius pars descendens (TRA) du membre supérieur droit (celui sollicité par la souris informatique) (figure 3). Des électrodes bipolaires (FIAB F3010 double électrodes bipolaires jetables 21 X 41 cm) ont été posées sur la peau, nettoyée et abrasée, alignées dans la direction des fibres musculaires. La distance inter-électrode était de 2 cm. L'impédance était inférieure à 5 kOhms. Les électrodes ont été placées selon les recommandations de Zipp (1982) et de Perotto (2011). Deux contractions maximales volontaires d'une durée de 5 secondes ont été effectuées successivement pour chaque muscle afin de recueillir leur activité maximale volontaire (MVE). Une période de repos de 3 minutes séparait les deux contractions afin d'éviter la survenue d'une fatigue musculaire. La valeur la plus élevée était retenue pour normaliser les signaux électromyographiques

enregistrés durant chacune des tâches. Lors de la réalisation des tâches, l'activité électrique de chaque muscle est exprimée en pourcentage de l'activation électrique obtenue lors de la MVE.
Pour recueillir la MVE du flexor digitorum superficialis, le sujet devait effectuer une flexion maximale des doigts et du poignet et pour celle des extensors carpi ulnaris et radialis, une extension maximale des doigts et du poignet. Pour cela, le sujet était assis, son avant-bras reposant à plat sur une table, son bras se trouvait en position verticale et sa main ne reposait pas sur un support. Le dos de sa main regardait le sol pour le recueil du FDS et regardait le plafond pour le recueil de l'ECU et l'ECR (Delisle et coll., 2006). Une sangle non élastique était placée autour de sa main au niveau des articulations métacarpo-phalangiennes permettant d'effectuer des contractions maximales contre résistance. Pour le BB, le sujet était assis, le coude fléchi à 90°, son avant-bras à l'horizontal et son poignet en position neutre. Une sangle non élastique était placée autour de son poignet perpendiculairement à son avant-bras. Le sujet devait effectuer une flexion maximale du coude contre résistance. Pour l'INF, le sujet était debout, le coude fléchi à 90°, son avant-bras à l'horizontal et son poignet en position neutre. Il devait effectuer une rotation externe à force maximale contre un mur. Pour le TRA, le sujet se tenait debout, les bras en abduction à 90°. Une sangle non élastique fixée au sol était placée autour de son bras au niveau de l'articulation du coude (Mathiassen et coll., 1995). Le sujet devait lever les deux membres supérieurs contre résistance. Chaque sujet a reçu des encouragements verbaux lors de la réalisation de ces contractions.

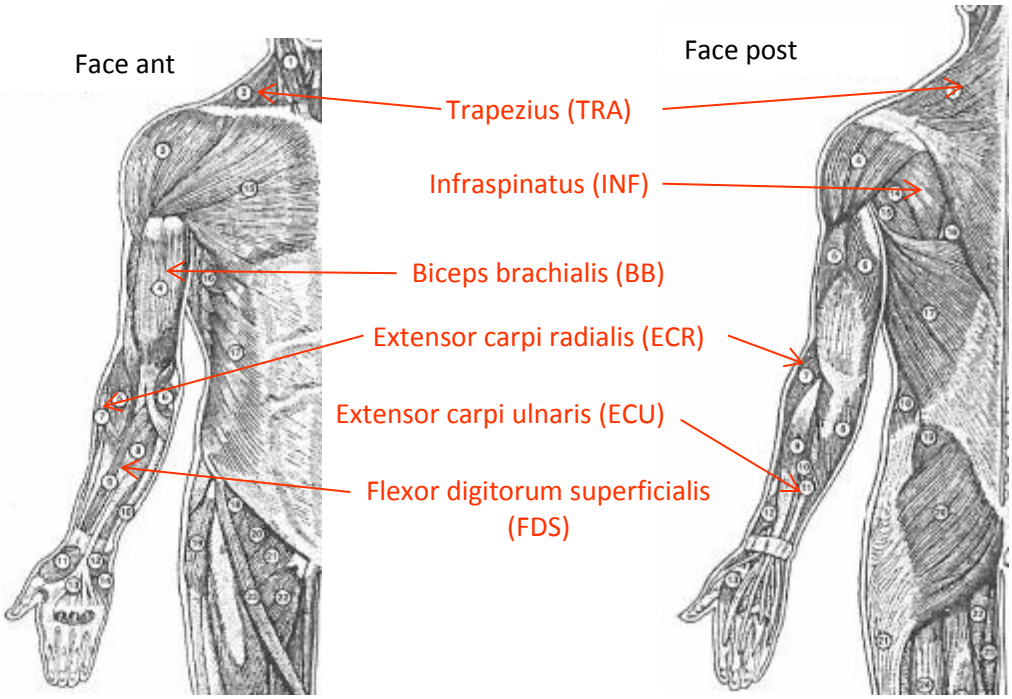


Figure 3 : muscles enregistrés par électromyographie de surface

2.6.2 Angles des articulations

Les angles de flexion-extension de l'articulation métacarpo-phalangienne de l'index de la main droite et de flexion-extension et d'abduction-adduction du poignet droit ont été mesurés à l'aide de deux goniomètres Penny & Giles ® (pour l'index modèle F35 uniaxial, pour le poignet modèle SG110 bi axial, Penny and Giles Blackwood Ltd., Gwent, UK). Ces

goniomètres sont des capteurs de type jauge de contrainte. D'après le fabricant, leur répétabilité est de 1° et leur précision de ± 2° sur un domaine de ± 90°. Chaque goniomètre a été positionné selon les recommandations du fabricant. Les deux blocs, distal et proximal, de chaque goniomètre ont été fixés à l'aide de ruban adhésif double face, de part et d'autre de l'articulation à mesurer. L'angle de flexion-extension de l'articulation métacarpo-phalangienne de l'index droit a été mesuré à l'aide d'un goniomètre uniaxial. Le bloc distal était placé sur la 1ère phalange de l'index et le bloc proximal au regard du 2e métacarpe. Les angles du poignet ont été mesurés à l'aide d'un électrogoniomètre biaxial. Le bloc distal a été fixé sur la face dorsale de la main en regard du troisième métacarpien et le bloc proximal au niveau de la face dorsale de l'avant-bras. L'amplificateur de chaque goniomètre a ensuite été étalonné à zéro. Les deux goniomètres ont été calibrés à l'aide d'un gabarit où la main du sujet se trouvait dans le prolongement de l'avant-bras. Les données ont été enregistrées en continu avec une fréquence d'échantillonnage de 200 Hz.
Deux caméras vidéo placées derrière et sur le côté droit des sujets ont filmé leur activité dans les plans frontal et sagittal. Sur la peau des sujets ont été placés des marqueurs afin de mesurer avec un goniomètre l'angle d'abduction de l'épaule droite à postériori sur des images fixes. Cet angle correspond à l'angle entre l'axe du tronc et une droite passant par deux marqueurs, l'un placé sur l'acromion et l'autre sur l'olécrane.

2.6.3 Ressenti des sujets

Afin d'évaluer les effets ressentis par les sujets concernant les souris et les positions de celles-ci sur le plan de travail, des questions ont été posées à chaque sujet après la réalisation de chacune des 9 conditions (3 souris x 3 positions de travail). Ces questions étaient inspirées des travaux de Woods et coll. (2003) et d'Oude Hengel et coll. (2008). Juste après avoir effectué une tâche, chaque sujet a évalué la difficulté à la réaliser à l'aide d'une échelle d'autoévaluation de 10 cm de longueur, allant de « pas du tout difficile » (noté 0) à « très très difficile » (noté 10). Puis, après avoir réalisé l'ensemble des tâches dans une condition, chaque sujet a répondu à 8 questions à l'aide d'échelles d'autoévaluation de 10 cm de longueur allant de "tout à fait" (noté 0) à "pas du tout" (noté 10). Elles concernaient le confort du poignet et du coude droits, le déplacement, la sensibilité et le contrôle de la souris, la taille de la souris par rapport à la main, l'effort nécessaire à son utilisation et sa vitesse de déplacement.

2.6.4 Performance

La performance a été définie au moyen du temps nécessaire à la réalisation de chacune des tâches.

2.7 Analyses des données

Pour l'activité musculaire, la fonction de distribution d'amplitude a été utilisée pour déterminer les 10ème (P10) 50ème (P50) et 90ème (P90) percentiles du signal EMG. Ils ont été comparés aux seuils proposés par Jonsson (1978) pour prévenir la survenue de la fatigue musculaire. Selon cet auteur, le 10ème percentile ne doit pas excéder 5 % et/ou le 50ème percentile 14 % et/ou le 90ème percentile 70 % du MVE.
Les moyennes des angles de flexion de l'articulation métacarpo-phalangienne de l'index, de flexion-extension et d'abduction-adduction du poignet et d'abduction de l'épaule ont été calculées. Les angles du poignet dans les plans de flexion-extension et d'abduction-adduction ont été comparés aux valeurs de la norme ISO 11228-3 (2007) qui indique que la zone de confort se situe en dessous de 45° de flexion, 45° d'extension, 20° d'adduction (inclinaison ulnaire) ou 15° d'abduction (inclinaison radiale). Le nombre de sujets étant resté 100 % du temps de réalisation de la tâche dans ces postures confortables a été comptabilisé

ainsi que le nombre de sujets ayant passé plus de 50% du temps hors de ces zones de confort.
Pour le ressenti, la moyenne des évaluations à chacune des questions a été calculée.
Pour la performance, le temps moyen de réalisation de chacune des tâches a été calculé.

Avant la modélisation statistique, les valeurs des signaux EMG, des angles articulaires et de la performance ont été transformées en log afin d'obtenir une distribution résiduelle approximativement symétrique. L'analyse statistique a été effectuée au moyen du logiciel Stata 12 avec un modèle linéaire mixte équivalent à une Anova à mesures répétées.
Les modélisations ont été réalisées séparément pour chacune des tâches. Les données ont été analysées selon le modèle de souris, sa position sur le plan de travail et les sujets ainsi que les interactions souris x position, souris x sujet et position x sujet. 'Souris' et 'position' étaient des facteurs fixes, 'sujet' constituait un facteur aléatoire. Les hypothèses concernant les modèles ont été vérifiées par inspection graphique des distributions résiduelles. La correction pour multiplicité de Bonferroni a été appliquée. Le nombre de degrés de liberté (ddl) étant de 252 (4 [ddl souris*position] x 9 [conditions] x 7 [tâches]), le seuil de significativité considéré était $p<0.05/252$ (soit $p<0.0002$).

3 - RESULTATS

3.1 Activité musculaire

3.1.1 Risque de fatigue musculaire

Quelles que soient la position des souris sur le plan de travail et la tâche effectuée, l'utilisation des souris induit un risque de fatigue musculaire des ECU et ECR (figure 4). Quelles que soient les souris et leurs positions sur le plan de travail, la réalisation de la tâche 'reprise souris' présente un risque de fatigue musculaire au niveau du trapezius pars descendens. En effet, dans toutes les conditions, la valeur du P10 de ces muscles excède 5 % de la MVE ; elle dépasse les seuils proposés par Jonsson (1978).

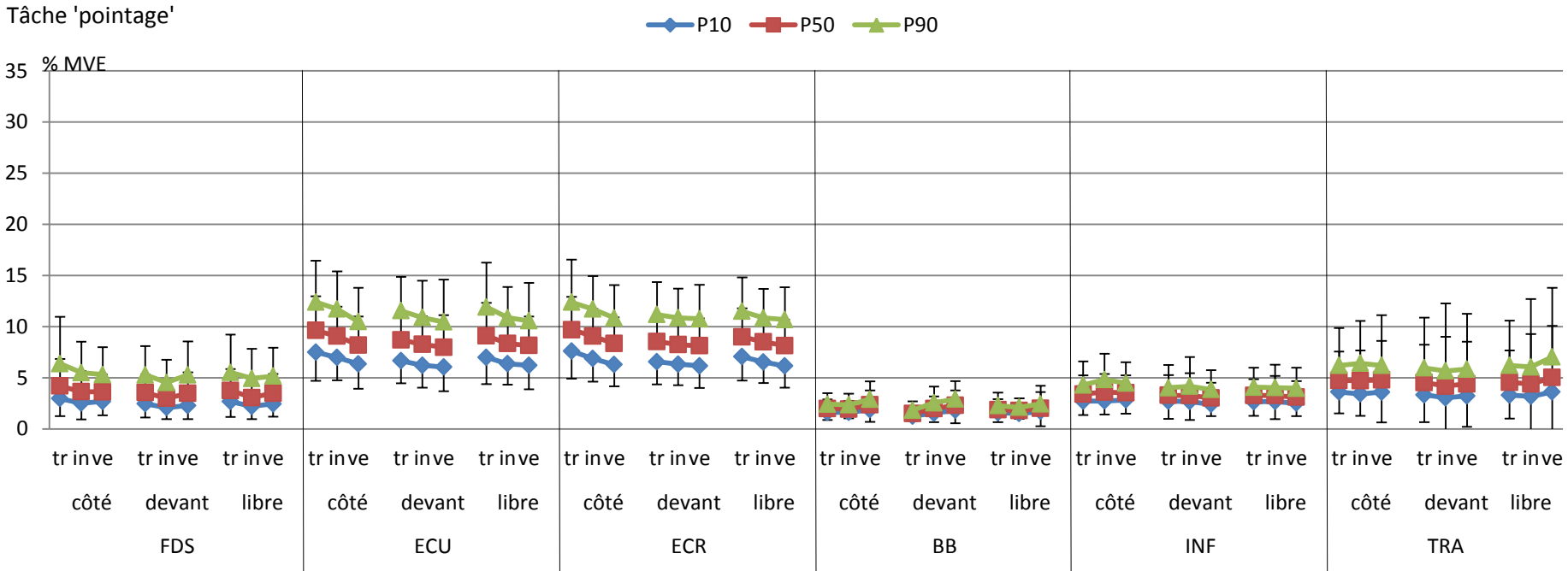
3.1.2 Interaction souris - position

Quelles que soient les tâches, les valeurs des P10, P50 et P90 des activités musculaires ne présentent pas d'interaction entre les souris et leurs positions sur le plan de travail. Les différences entre souris ne présentent pas de différences statistiques selon les positions.

3.1.3 Effet souris

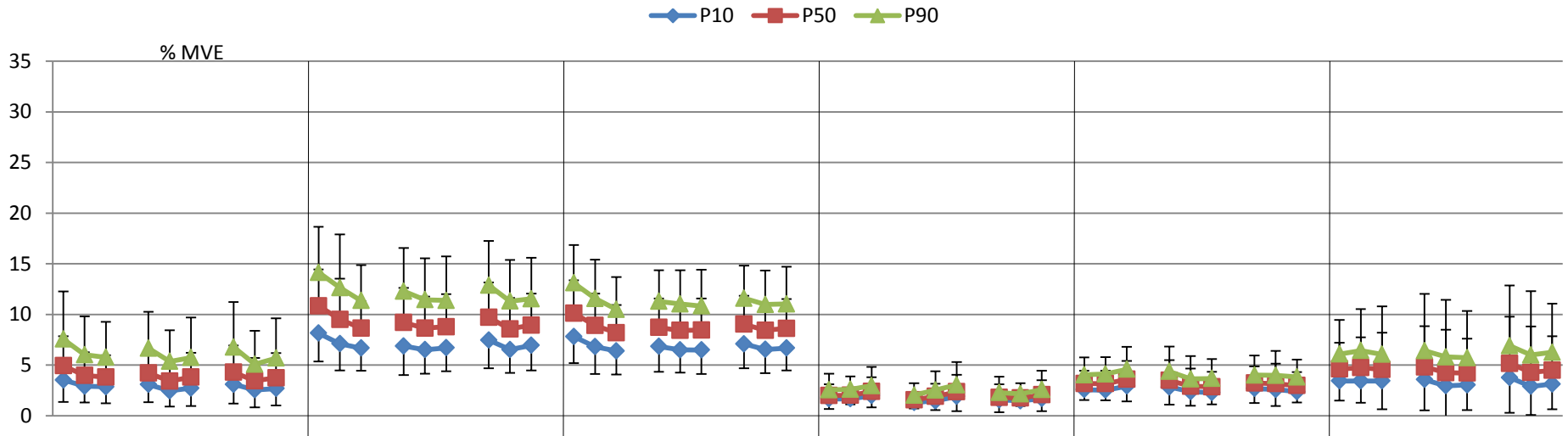
Seules les activités des muscles FDS, ECU, ECR et BB présentent des différences selon les souris (figure 4). Les activités des muscles FDS lors de la réalisation des 7 tâches, ECU pour les tâches 'pointage', 'cliquage index', 'double cliquage index' et 'cliquage index puis déplacement cible', ECR pour les tâches 'pointage' et 'cliquage index' sont plus élevées lors de l'utilisation de la souris traditionnelle que de la souris inclinée et/ou de la souris verticale. Par contre, l'activité du BB est plus élevée lors de la réalisation des tâches 'cliquage index', 'cliquage majeur', 'double cliquage index', 'cliquage index puis majeur', 'cliquage index puis déplacement cible' et 'reprise souris' avec la souris verticale qu'avec la souris traditionnelle. La souris verticale engendre une activité plus élevée du FDS lors de la réalisation des tâches 'cliquage index puis majeur' et 'cliquage index puis déplacement cible' et du BB lors de la réalisation de la tâche 'cliquage index puis majeur' qu'avec la souris inclinée.

Figure 4 : Moyennes et écart-types des P10, P50 et P90 de l'activité des muscles flexor digitorum superficialis (FDS), extensor carpi ulnaris (ECU), extensor carpi radialis (ECR), biceps brachii (BB), infraspinatus (INF) et trapezius pars descendens (TRA) du membre supérieur droit exprimé en pourcentage de la MVE pour chacune des 3 souris, des 3 positions sur le plan de travail et des 7 tâches et résultats du test statistique (modèle linéaire mixte) selon les effets souris et positions des souris sur le plan de travail.
P10 = 10ème percentile, P50 = 50ème percentile et P90 = 90ème percentile.
tr = souris traditionnelle ; in = souris inclinée ; ve = souris verticale ; co = souris positionnée sur le côté du clavier.
de = souris positionnée devant le clavier ; li = souris positionnée librement, sans contrainte, sur le plan de travail.
'-' = non significatif ; X>Y indique que la souris ou la position X engendre une activité musculaire supérieure à la souris ou la position Y.



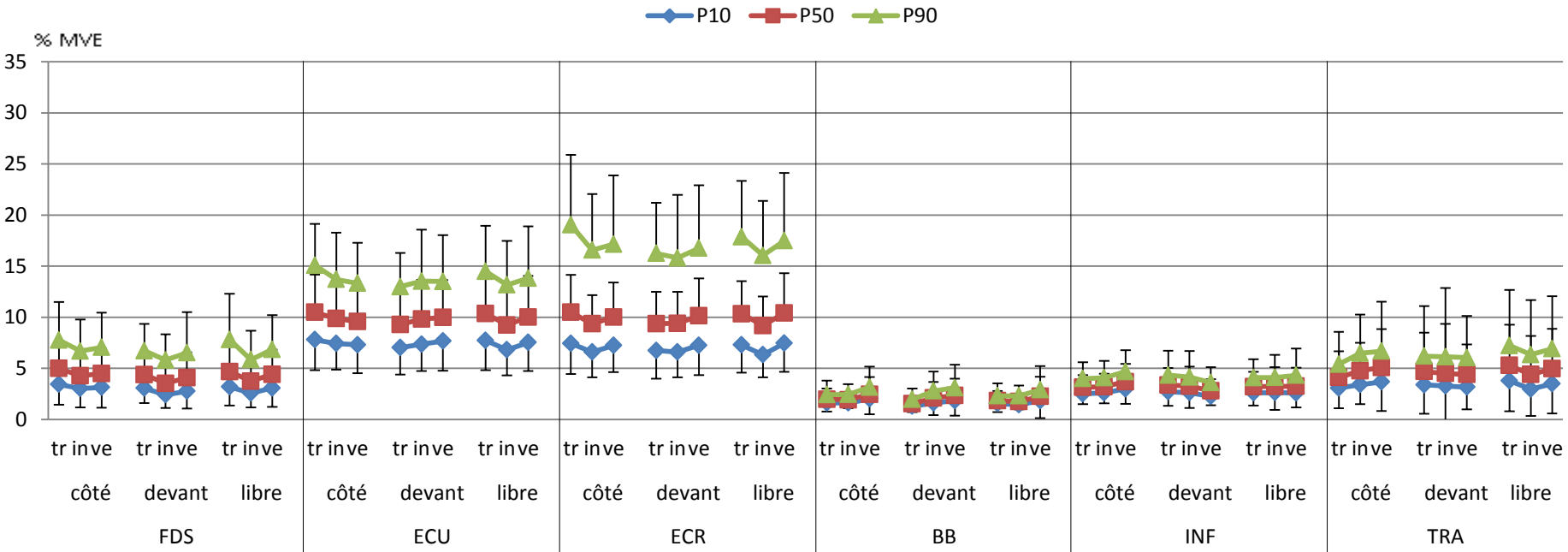
		FDS	ECU	ECR	BB	INF	TRA
Souris	P10	tr>in	tr>ve	tr>ve	-	-	-
	P50	tr>in	tr>ve	-	-	-	-
	P90	-	tr>ve	-	-	-	-
Position	P10	-	-	-	-	-	-
	P50	-	-	-	-	-	-
	P90	-	-	-	-	-	-

Tâche ‘cliquage index’



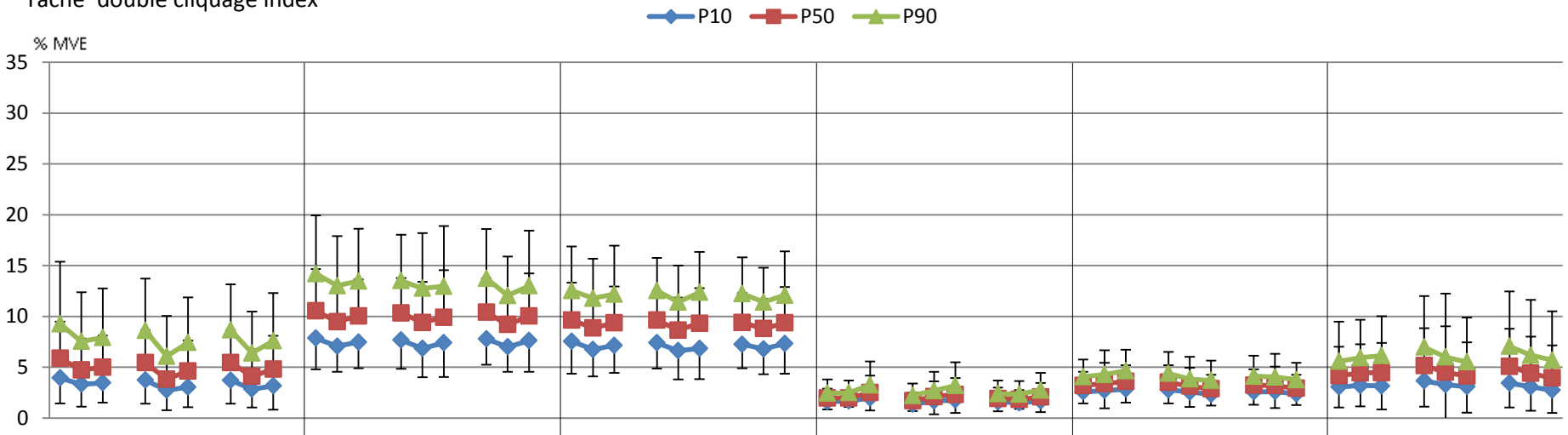
		FDS	ECU	ECR	BB	INF	TRA
Souris	P10	tr>in tr>ve	-	-	-	-	-
	P50	tr>in tr>ve	-	-	ve>tr	-	-
	P90	tr>in tr>ve	tr>in tr>ve	tr>ve	-	-	-
Position	P10	co>de	-	-	-	-	-
	P50	-	-	-	-	-	-
	P90	-	-	-	-	-	-

Tâche ‘cliquage majeur’



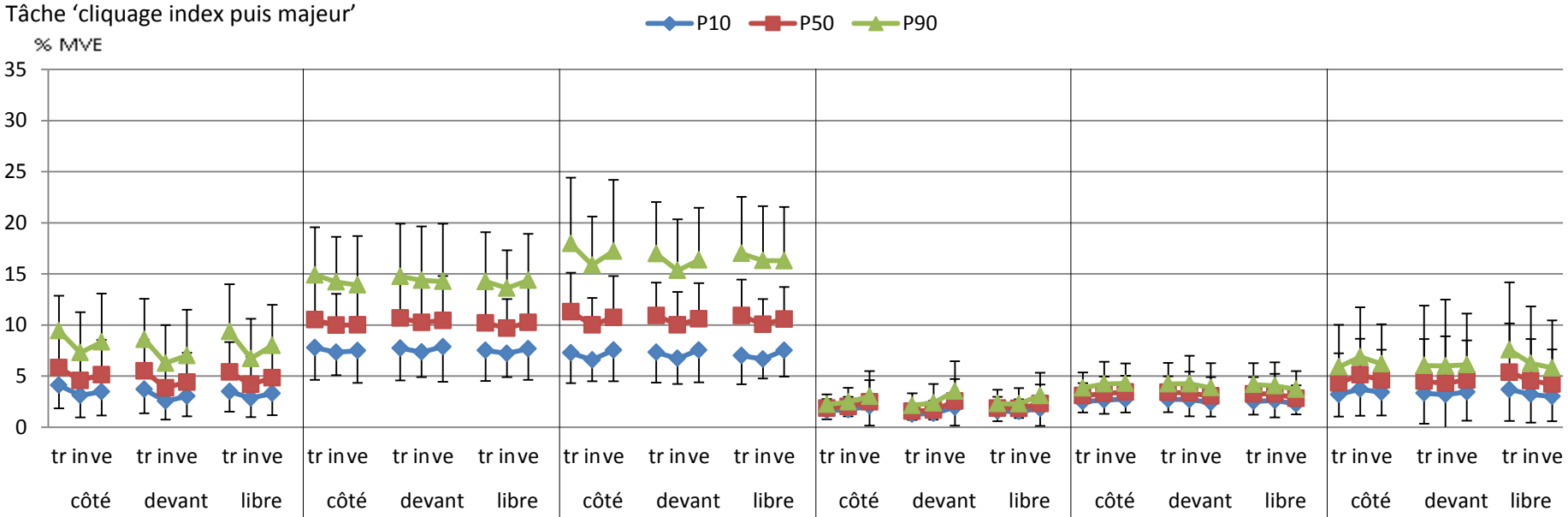
		FDS	ECU	ECR	BB	INF	TRA
Souris	P10	tr>in	-	-	-	-	-
	P50	tr>in	-	-	ve>tr	-	-
	P90	tr>in	-	-	ve>tr	-	-
Position	P10	-	-	-	-	-	-
	P50	-	-	-	-	-	-
	P90	-	-	-	-	-	-

Tâche ‘double cliquage index’

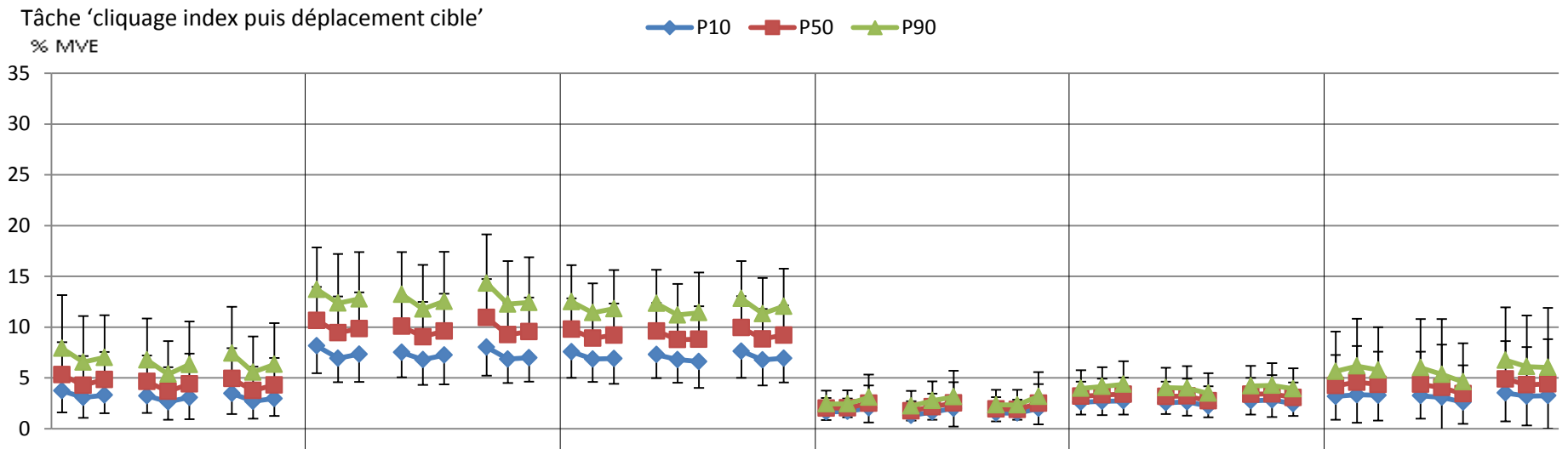


		FDS			ECU			ECR			BB			INF			TRA		
		tr inve côté	tr inve devant	tr inve libre	tr inve côté	tr inve devant	tr inve libre	tr inve côté	tr inve devant	tr inve libre	tr inve côté	tr inve devant	tr inve libre	tr inve côté	tr inve devant	tr inve libre	tr inve côté	tr inve devant	tr inve libre
Souris	P10	tr>in tr>ve			-			-			-			-			-		
	P50	tr>in tr>ve			tr>in			-			-			-			-		
	P90	tr>in			-			-			ve>tr			-			-		
Position	P10	-			-			-			-			-			-		
	P50	-			-			-			-			-			-		
	P90	-			-			-			-			-			-		

Tâche ‘cliquage index puis majeur’

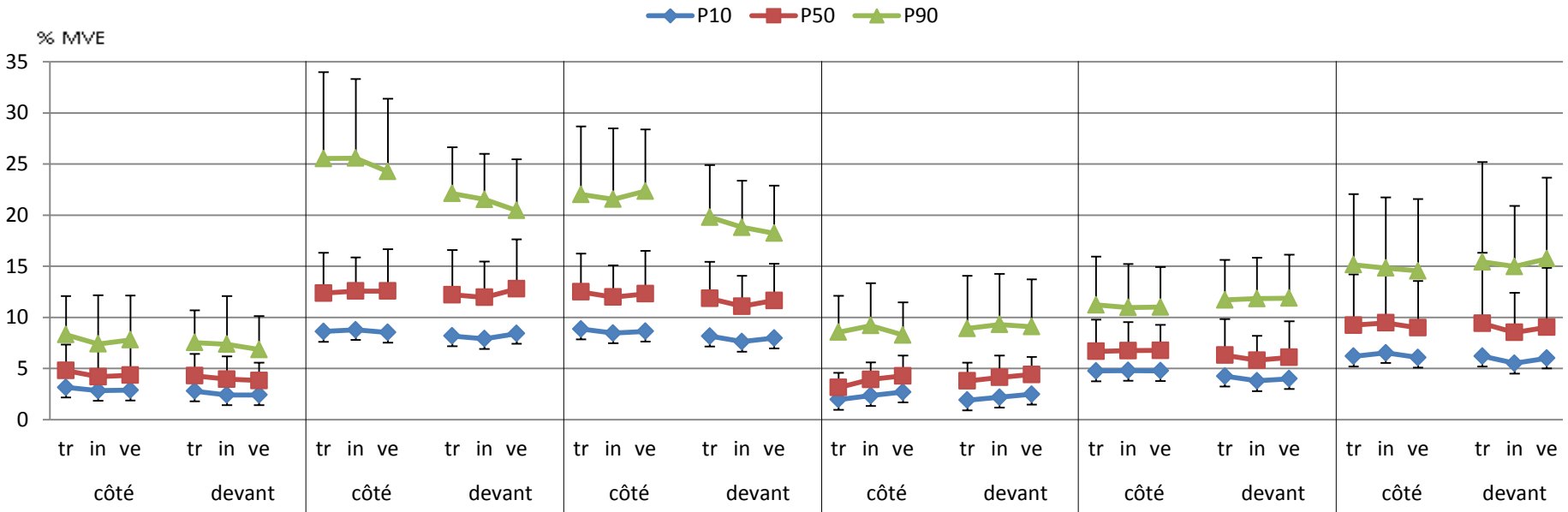


		FDS	ECU	ECR	BB	INF	TRA
Souris	P10	tr>in tr>ve ve>in	-	-	-	-	-
	P50	tr>in tr>ve	-	-	-	-	-
	P90	tr>in tr>ve	-	-	ve>tr ve>in	-	-
Position	P10	co>de	-	-	-	-	-
	P50	-	-	-	-	-	-
	P90	-	-	-	-	-	-



		FDS	ECU	ECR	BB	INF	TRA
Souris	P10	tr>in	tr>ve	-	ve>tr	-	-
	P50	tr>in ve>in	tr>in	-	ve>tr	-	-
	P90	tr>in	tr>in	-	ve>tr	-	-
Position	P10	-	-	-	-	-	-
	P50	-	-	-	-	-	-
	P90	-	-	-	-	-	-

Tâche ‘reprise souris’



		FDS	ECU	ECR	BB	INF	TRA
Souris	P10	tr>in	-	-	ve>tr	-	-
	P50	-	-	-	-	-	-
	P90	-	-	-	-	-	-
Position	P10	co>de	-	-	-	co>de	-
	P50	-	-	-	-	-	-
	P90	-	co>de	co>de	-	-	-

3.1.4 Effet position de la souris sur le plan de travail

Seules les activités des muscles FDS, ECU, ECR et INF présentent des différences selon les positions des souris sur le plan de travail (figure 4).
L'activité du FDS lors de la réalisation des tâches 'cliquage index', 'cliquage index puis majeur' et 'reprise souris', de l'ECU, de l'ECR et de l'INF lors de la réalisation de la tâche de 'reprise souris' est plus élevée lorsque la souris est positionnée sur le côté du clavier que devant celui-ci.

3.1.5. Effet tâche

Les P10, P50 et P90 des muscles ECU, ECR, BB, INF, TRA sont plus élevés lors de la réalisation de la tâche de 'reprise souris' que des 6 autres tâches.

3.2 Angles articulaires

Quelles que soient les souris, leurs positions sur le plan de travail et les tâches, l'articulation métacarpo-phalangienne de l'index se trouve en flexion, celle du poignet en extension et celle de l'épaule en abduction (figure 5). Selon les conditions et les tâches, le poignet se trouve soit en abduction soit en adduction.

3.2.1 Interaction souris - position

Quelles que soient les tâches, les moyennes des angles articulaires du poignet, de l'articulation métacarpo-phalangienne de l'index et de l'épaule ne présentent pas d'interaction entre les souris et les positions de celles-ci sur le plan de travail. Les différences entre souris ne présentent pas de différences statistiques selon les positions.

3.2.2 Effet souris

Les angles moyens de flexion de l'articulation métacarpo-phalangienne de l'index lors de la réalisation de toutes les tâches, à l'exception de la tâche 'cliquage majeur' sont plus importants lors de l'utilisation de la souris traditionnelle que de la souris inclinée (figure 5). Ils sont plus élevés lors de la réalisation de toutes les tâches, à l'exception de la tâche 'reprise souris' lors de l'utilisation de la souris verticale par rapport à la souris inclinée et de la tâche 'cliquage majeur' avec l'utilisation de la souris verticale par rapport à la souris traditionnelle.
L'angle moyen d'extension du poignet est plus important lors de l'utilisation de la souris inclinée ou de la souris verticale par rapport à la souris traditionnelle pour les tâches 'pointage' et 'cliquage index'.
L'angle du poignet se trouve davantage en adduction lors de la réalisation de toutes les tâches, à l'exception de la tâche 'reprise souris', avec la souris traditionnelle par rapport à la souris verticale et/ou la souris inclinée. L'utilisation des souris inclinées et verticales engendre une position du poignet plutôt en abduction.
L'angle moyen d'abduction de l'épaule ne présente pas de différence en fonction des souris quelle que soit la tâche.

3.2.3 Effet position de la souris sur le plan de travail

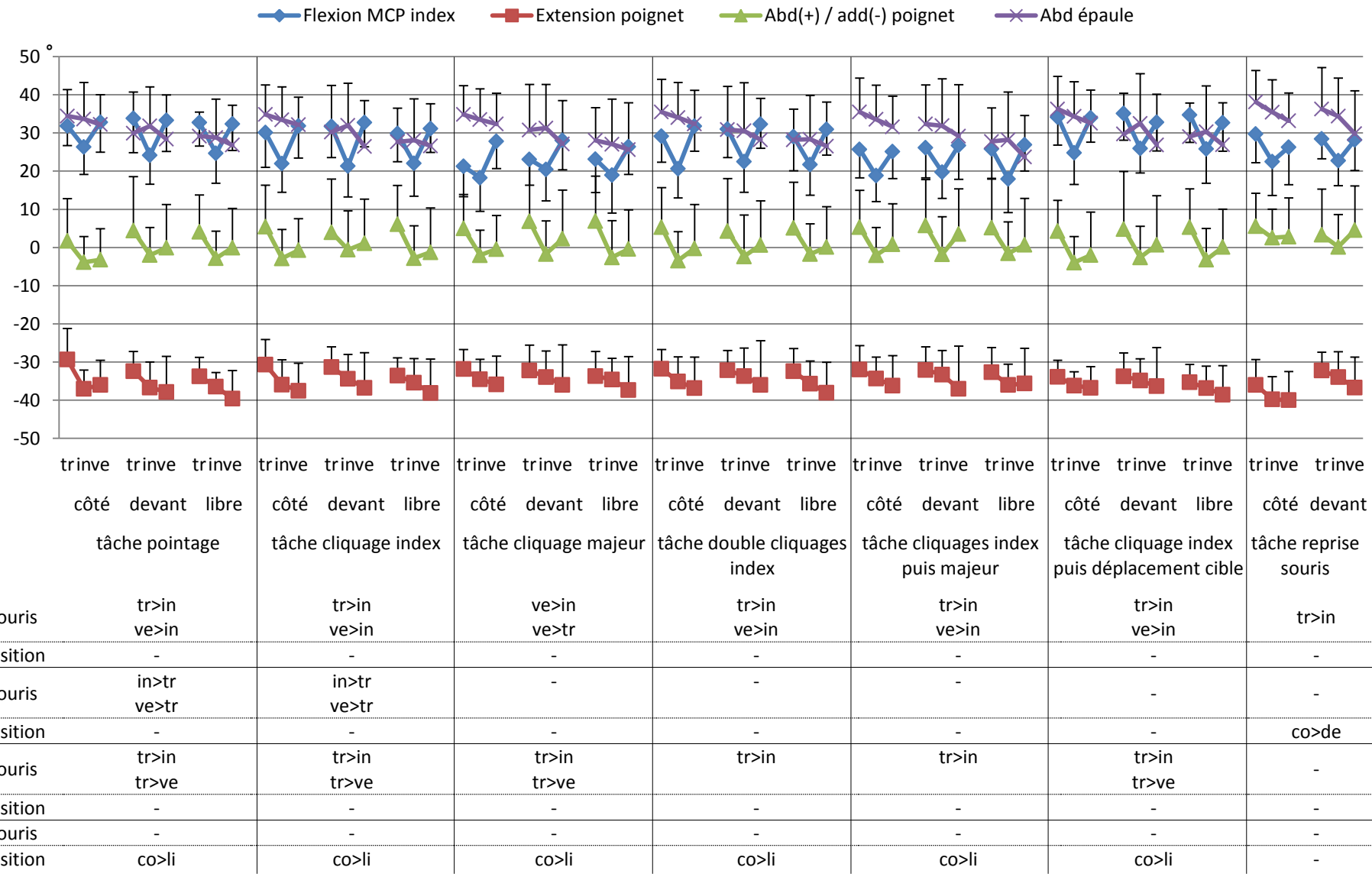
Seuls les angles moyens d'extension du poignet et d'abduction de l'épaule présentent des différences selon les positions des souris sur le plan de travail (figure 5).
L'angle moyen d'extension du poignet lors de la réalisation de la tâche de 'reprise souris' est plus élevé lors du positionnement de la souris à côté du clavier que devant le clavier. Lors de la réalisation de toutes les tâches, à l'exception de la tâche 'reprise souris', l'angle moyen d'abduction de l'épaule est plus élevé lorsque la souris est placée à côté du clavier que dans la position libre.

Figure 5 : Moyennes et écart-types des angles de flexion de l'articulation métacarpophalangienne (MCP) de l'index, d'extension du poignet, d'abduction (abd) – adduction (add) du poignet et d'abduction (abd) de l'épaule exprimés en degré (°) pour chacune des 3 souris, des 3 positions sur le plan de travail et des 7 tâches et résultats du test statistique (modèle linéaire mixte) selon les effets des souris et de leurs positions sur le plan de travail.

tr = souris traditionnelle ; in = souris inclinée ; ve = souris verticale ; co = souris positionnée sur le côté du clavier.

de = souris positionnée devant le clavier ; li = souris positionnée librement, sans contrainte, sur le plan de travail.

'-' = non significatif ; X>Y indique que la souris ou la position X engendre une activité musculaire supérieure à la souris ou la position Y.

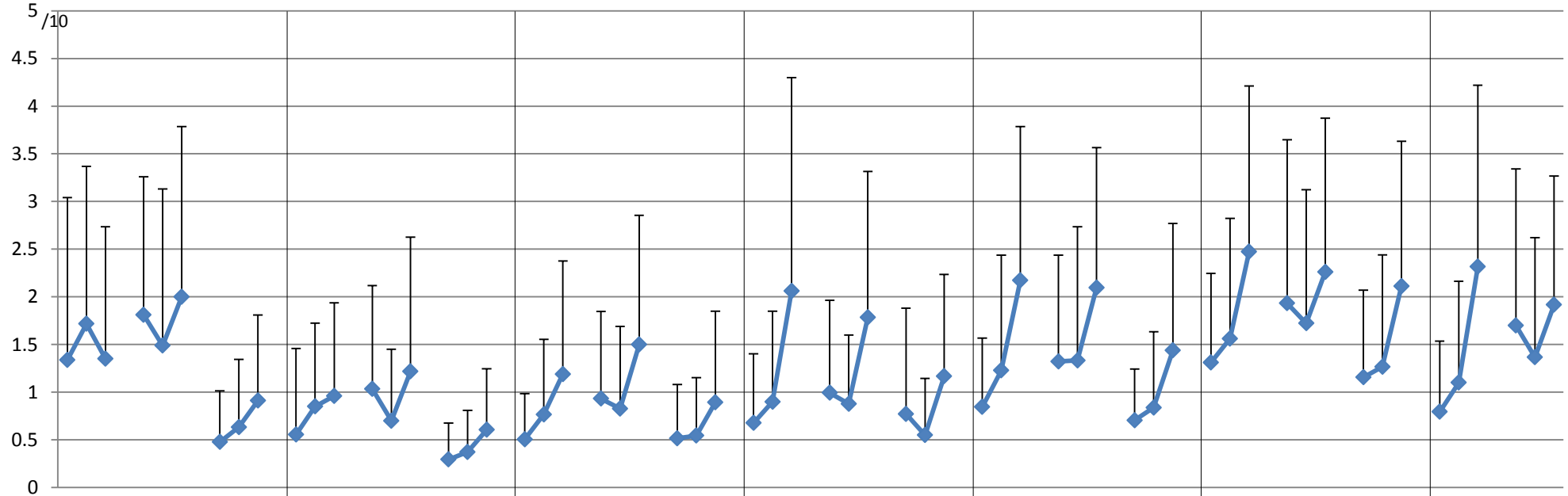


		tâche pointage	tâche cliquage index	tâche cliquage majeur	tâche double cliquages index	tâche cliquages index puis majeur	tâche cliquage index puis déplacement cible	tâche reprise souris
Flexion MCP index	Souris	tr>in ve>in	tr>in ve>in	ve>in ve>tr	tr>in ve>in	tr>in ve>in	tr>in ve>in	tr>in
	Position	-	-	-	-	-	-	-
Extension poignet	Souris	in>tr ve>tr	in>tr ve>tr	-	-	-	-	-
	Position	-	-	-	-	-	-	co>de
Abd / add poignet	Souris	tr>in tr>ve	tr>in tr>ve	tr>in tr>ve	tr>in	tr>in	tr>in tr>ve	-
	Position	-	-	-	-	-	-	-
Abduction épaule	Souris	-	-	-	-	-	-	-
	Position	co>li	co>li	co>li	co>li	co>li	co>li	-

Tableau 4 : Nombre de sujets ayant passé 100% du temps de réalisation de chacune des tâches dans la zone de confort du poignet en extension et en abduction/adduction et nombre de sujet ayant passé plus de 50% du temps de réalisation de chacune des tâches hors zone de confort du poignet en extension et en abduction/adduction pour chacune des 3 souris, des 3 positions sur le plan de travail et des 7 tâches.
tr = souris traditionnelle ; in = souris inclinée ; ve = souris verticale ; co = souris positionnée sur le côté du clavier ;
de = souris positionnée devant le clavier ; li = souris positionnée librement, sans contrainte, sur le plan de travail; NR = tâche 7 non réalisée en position libre

Position poignet		Extension									Abduction/adduction								
Modèle de souris		tr			in			ve			tr			in			ve		
Position des souris sur le plan de travail		co	de	li	co	de	li	co	de	li	co	de	li	co	de	li	co	de	li
Nombre de sujets ayant passé 100% du temps de réalisation de chacune des tâches dans la zone de confort du poignet en extension et en abduction/adduction	Tâche 'pointage'	17	17	17	14	14	17	12	11	10	13	14	15	16	16	17	16	14	14
	Tâche 'cliquage index'	18	18	18	16	15	15	13	15	13	13	13	15	17	15	16	18	15	13
	Tâche 'cliquage majeur'	18	17	17	16	16	16	14	13	12	16	11	14	18	16	14	16	12	15
	Tâche 'double cliquage index'	18	18	18	16	16	16	12	13	10	14	13	14	16	15	16	15	15	15
	Tâche 'cliquage index puis majeur'	18	18	18	16	14	14	14	13	13	15	14	13	15	16	16	16	14	14
	Tâche 'cliquage index puis déplacement cible'	18	16	17	17	15	14	15	13	10	16	13	14	16	14	14	14	12	15
	Tâche 'reprise souris'	5	10	NR	4	11	NR	4	5	NR	7	6	NR	13	6	NR	10	7	NR
Nombre de sujets ayant passé plus de 50% du temps de réalisation de chacune des tâches hors zone de confort du poignet en extension et en abduction/adduction	Tâche 'pointage'	1	0	0	1	2	0	1	4	6	4	4	1	1	1	0	0	3	2
	Tâche 'cliquage index'	0	0	0	2	2	1	4	3	3	2	4	3	1	2	1	0	2	2
	Tâche 'cliquage majeur'	0	1	0	1	2	0	2	2	3	2	5	3	0	0	2	1	4	3
	Tâche 'double cliquage index'	0	0	0	2	2	2	4	3	5	1	4	3	2	3	0	2	2	1
	Tâche 'cliquage index puis majeur'	0	0	0	2	0	1	2	4	3	3	3	4	1	1	0	1	4	3
	Tâche 'cliquage index puis déplacement cible'	0	0	0	1	1	2	1	4	3	2	5	2	0	1	1	1	3	1
	Tâche 'reprise souris'	1	0	NR	2	0	NR	3	2	NR	1	1	NR	1	0	NR	1	2	NR

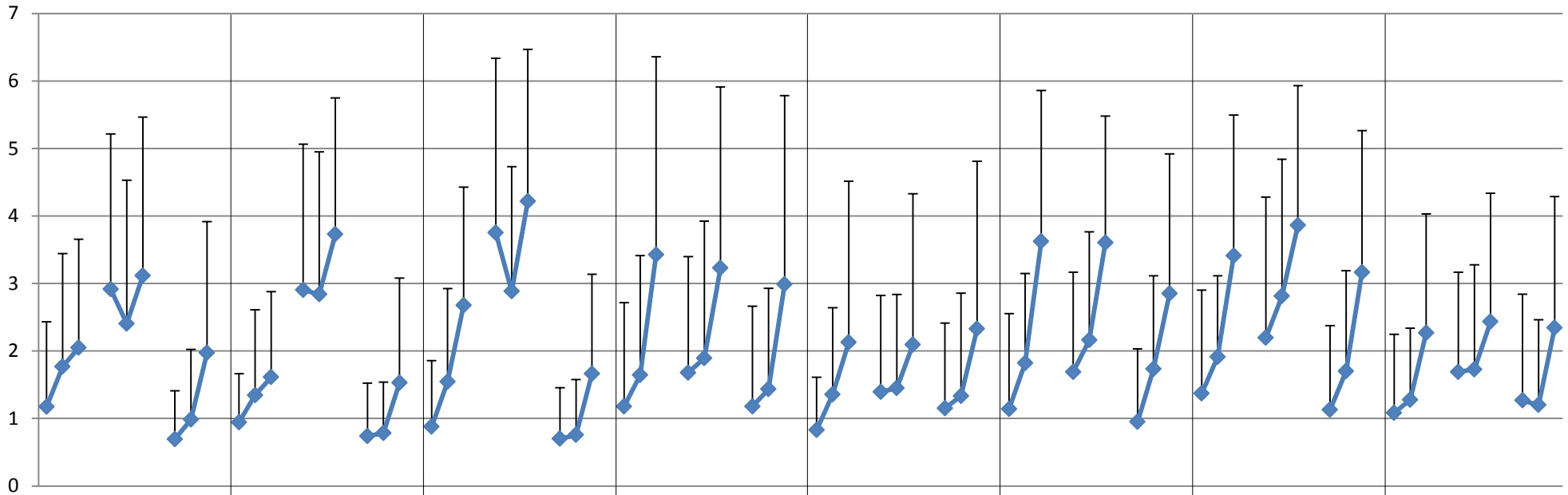
Figure 6 : Moyennes et écart-types des estimations par les sujets de la difficulté à réaliser les 7 tâches pour chacune des 3 souris et des 3 positions sur le plan de travail et résultats du test statistique (modèle linéaire mixte) selon les effets souris et de positions des souris sur le plan de travail.
tr = souris traditionnelle ; in = souris inclinée ; ve = souris verticale ; co = souris positionnée sur le côté du clavier ;
de = souris positionnée devant le clavier ; li = souris positionnée librement, sans contrainte, sur le plan de travail;
'-' = non significatif ; X>Y indique que la souris ou la position X engendre une activité musculaire supérieure à la souris ou la position Y.



	tâche pointage	tâche cliquage index	tâche cliquage majeur	tâche double cliquages index	tâche cliquages index puis majeur	tâche cliquage index puis déplacement cible	tâche reprise souris
Souris	-	-	ve>in ve>tr	ve>in ve>tr	ve>in ve>tr	ve>in ve>tr	-
Position	co>li de>li	de>li			de>li	-	-

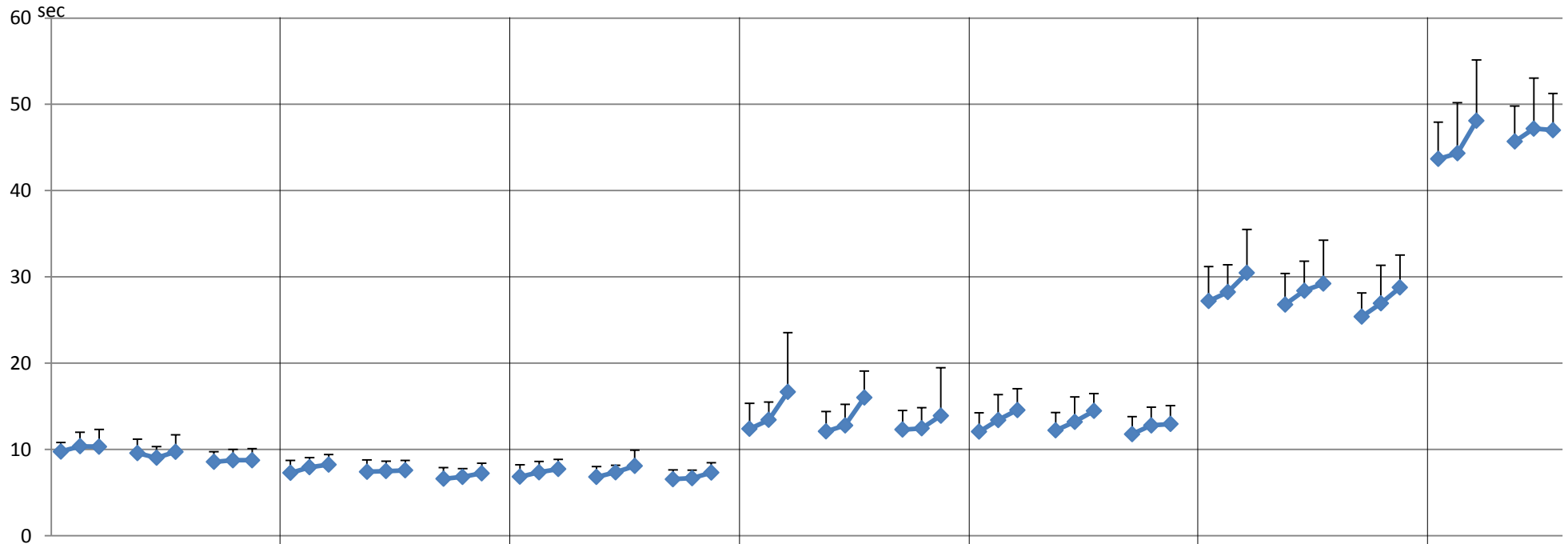
Figure 7 : moyennes et écart-types des estimations des sujets concernant le confort du poignet et du coude droits, le déplacement, la sensibilité et le contrôle de la souris, la taille de la souris par rapport à la main, l'effort nécessaire à son utilisation et sa vitesse de déplacement pour chacune des 3 souris, des 3 positions sur le plan de travail et des 7 tâches et résultats du test statistique (modèle linéaire mixte) selon les effets souris et positions des souris sur le plan de travail. Un score faible correspond à une situation favorable et un score élevé à une situation défavorable.

tr = souris traditionnelle ; in = souris inclinée ; ve = souris verticale ; co = souris positionnée sur le côté du clavier ;
de = souris positionnée devant le clavier ; li = souris positionnée librement, sans contrainte, sur le plan de travail
'-' = non significatif ; X>Y indique que la souris ou la position X engendre une activité musculaire supérieure à la souris ou la position Y.



	Confort poignet	Confort coude	Déplacement de la souris	Taille de la souris	Sensibilité et réactivité de la souris	Contrôle de la souris	Vitesse de travail	Effort nécessaire à l'utilisation de la souris
Souris	-	-	ve>in ve>tr	ve>in ve>tr	ve>tr	ve>in ve>tr	ve>in ve>tr	ve>in ve>tr
Position	de>li	de>co de>li	de>co de>li	-	-	-	-	-

Figure 8 : moyennes et écart-types de la durée, exprimée en secondes, de réalisation des 7 tâches pour chacune des 3 souris et des 3 positions sur le plan de travail et résultats du test statistique (modèle linéaire mixte) selon les effets souris et positions des souris sur le plan de travail.
tr = souris traditionnelle ; in = souris inclinée ; ve = souris verticale ; co = souris positionnée sur le côté du clavier ;
de = souris positionnée devant le clavier ; li = souris positionnée librement, sans contrainte, sur le plan de travail
'-' = non significatif ; X>Y indique que la souris ou la position X engendre une activité musculaire supérieure à la souris ou la position Y.



	tâche pointage	tâche cliquage index	tâche cliquage majeur	tâche double cliquages index	tâche cliquages index puis majeur	tâche cliquage index puis déplacement cible	tâche reprise souris
Souris	-	ve>tr	ve>in ve>tr	-	in>tr ve>tr	ve>tr	-
Position	co>de co>li de>li	co>li de>li	de>li	-	-	-	-

3.2.4 Temps passé en zone de confort

Quelles que soient les souris et leurs positions sur le plan de travail, plus de la moitié des sujets restent 100% du temps dans les zones de confort du poignet lors de la réalisation des tâches 'pointage', 'cliquage index', 'cliquage majeur', 'double cliquage index', 'cliquage index puis majeur' et 'cliquage index puis déplacement cible' (tableau 4). Par ailleurs, quelles que soient les tâches, le nombre de sujets passant 100% du temps dans la zone de confort en flexion/extension ou en abduction/adduction du poignet ne présente pas de différences significatives selon les souris et leur position sur le plan de travail. En revanche, le nombre de sujets passant 100% du temps dans les zones de confort du poignet est plus faible lors de la réalisation de la tâche 'reprise souris' que des 6 autres tâches.
Le nombre de sujets passant plus de 50% du temps hors zone de confort du poignet varie de 0 à 6 selon les souris et leur position sur le plan de travail. Ce nombre n'est pas significativement différent selon les souris et leurs positions sur le plan de travail.

3.3 Ressenti des sujets

Quelles que soient les souris, leurs positions sur le plan de travail et les tâches, le ressenti des sujets est évalué comme bon puisque les valeurs moyennes des scores correspondant à la difficulté de réaliser la tâche ne dépassent pas 4/10, 0 étant la condition la plus favorable et 10 la plus péjorative (figures 6 et 7).

3.3.1 Interaction souris - position

Aucun ressenti exprimé par les sujets concernant la difficulté de réaliser chacune des 7 tâches, le confort du poignet et du coude, le déplacement, la taille, le contrôle, la sensibilité et la réactivité de la souris, la vitesse de travail ou encore l'effort nécessaire à l'utilisation de la souris ne présente une interaction entre les souris et leurs positions sur le plan de travail. Les différences entre souris ne sont pas statistiquement différentes. Elles sont les mêmes selon les positions.

3.3.2 Effet souris

Les tâches 'cliquage majeur', 'double cliquage index', 'cliquage index puis majeur' et 'cliquage index puis déplacement cible' sont considérées par les sujets comme plus difficiles à réaliser avec la souris verticale qu'avec la souris traditionnelle et la souris inclinée (figures 6 et 7). L'évaluation de la difficulté à réaliser les tâches 'pointage', 'cliquage index' et 'reprise souris' ne présente pas de différence selon les souris. D'après les sujets, les 3 souris présentent un confort similaire pour le poignet et le coude. Le déplacement de la souris verticale est ressenti comme plus difficile par rapport aux deux autres souris et sa taille moins adaptée à la main que les deux autres souris. La sensibilité et la réactivité sont ressenties comme meilleures avec la souris traditionnelle qu'avec la souris verticale. Le contrôle, la vitesse de travail et l'effort nécessaire à l'utilisation de la souris sont considérés comme moins satisfaisants par les sujets lors de l'utilisation de la souris verticale que durant l'utilisation de la souris traditionnelle et de la souris inclinée.

3.3.3 Effet position de la souris sur le plan de travail

La réalisation des tâches 'pointage', 'cliquage index' et 'cliquage index puis majeur' apparait plus difficile aux sujets lorsque la souris est placée devant le clavier que librement sur le bureau (figures 6 et 7). La tâche 'pointage' leur est plus difficile à réaliser lorsque la souris est placée à côté du clavier que de façon libre. L'évaluation de la difficulté à réaliser les tâches 'cliquage majeur', 'double cliquage index', 'cliquage index puis déplacement cible' et 'reprise souris' ne présente pas de différence selon les différentes positions de la souris sur

le plan de travail. Les positions du poignet et du coude apparaissent moins confortables aux sujets lorsque la souris est placée devant le clavier par rapport à la position sur le côté du clavier et/ou sans contrainte sur le bureau. Le déplacement de la souris sur le plan de travail est évalué par les sujets comme plus difficile lorsque la souris se trouve sur le côté du clavier que devant le clavier ou placée sans contrainte sur le bureau. La taille, le contrôle, la sensibilité et la réactivité de la souris ainsi que l'effort nécessaire à son utilisation ne présentent pas une évaluation différente selon la position de la souris sur le plan de travail.

3.4 Performance

3.4.1 Interaction souris - position

La durée de réalisation de chacune des 7 tâches ne présente pas d'interaction entre les souris et leurs positions sur le plan de travail. Les différences entre souris ne sont pas statistiquement différentes. Elles sont les mêmes selon les positions.

3.4.2 Effet souris

La durée de réalisation des tâches 'cliquage index', 'cliquage majeur', 'cliquage index puis majeur' et 'cliquage index puis déplacement cible' est plus courte avec la souris traditionnelle qu'avec la souris verticale (figure 8). Celle de la tâche de 'cliquage index puis majeur' est plus courte avec la souris traditionnelle qu'avec la souris inclinée et celle de la tâche de 'cliquage majeur' plus courte avec la souris inclinée qu'avec la souris verticale. La durée de réalisation des tâches 'pointage', 'double cliquage index' et 'reprise souris' ne présente pas de différence selon les souris.

3.4.3 Effet position de la souris sur le plan de travail

La durée de réalisation des tâches 'pointage', 'cliquage index' et 'cliquage majeur' est plus courte lorsque la souris est placée sans contrainte sur le plan de travail que devant et/ou sur le côté du clavier (figure 8). La réalisation de la tâche 'pointage' est plus courte lorsque la souris est placée devant le clavier qu'à côté de celui-ci.

4 - DISCUSSION

L'objectif de cette étude était de comparer les sollicitations, en termes d'activités musculaires et de posture, la performance et le ressenti des utilisateurs lors de la réalisation de différentes tâches avec une souris traditionnelle, une souris verticale et une souris inclinée, pour trois emplacements sur le plan de travail.
Par rapport aux études publiées dans la littérature, cette étude présente l'originalité:

- de comparer à la fois des souris présentant des inclinaisons différentes et plusieurs emplacements sur le plan de travail,
- d'analyser à la fois les sollicitations musculaires et posturales, la performance et le ressenti des utilisateurs,
- d'évaluer les sollicitations musculaires et posturales de la partie distale et de la partie proximale du membre concerné par l'utilisation de la souris,
- d'étudier différentes tâches habituellement présentes lors de recherche d'informations sur écran ou en conception assistée par ordinateur.

De façon synthétique, les résultats mettent en évidence que :

- l'activité des muscles distaux du membre supérieur utilisant la souris est plus élevée avec la souris traditionnelle qu'avec les deux autres souris.
- la souris verticale est moins confortable, plus difficile à utiliser et moins performante que les deux autres souris.
- les sollicitations articulaires et musculaires sont plus élevées lorsque la souris est placée à côté du clavier.
- la performance et le confort sont meilleurs quand la souris est placée librement sur le bureau versus à côté du clavier, et quand elle est placée à côté du clavier versus devant le clavier.

4.1 Effet souris

4.1.1 Activité musculaire

Les 3 souris étudiées ont un effet sur l'activité des muscles distaux du membre supérieur droit, à savoir FDS, ECU et ECR. L'activité de ces trois muscles est plus élevée avec la souris traditionnelle qu'avec la souris verticale et/ou inclinée lors de la réalisation des sept tâches. Ces résultats concordent avec ceux obtenus dans d'autres études lors de la réalisation d'autres tâches. Ainsi, lors d'une tâche combinant surlignage de texte et frappe d'une touche du clavier avec la main utilisant la souris, Gustafsson et Hagberg (2003) ont observé une activité plus élevée de l'ECU avec une souris traditionnelle qu'avec une souris verticale. De même, lors d'une tâche associant surlignage, copiage et collage de texte, Chen et Leung (2007) ont mis en évidence une activité plus élevée de l'ECU avec une souris horizontale (proche de la souris traditionnelle) qu'avec une souris inclinée à 30° par rapport à l'horizontale. Lors de la réalisation d'une tâche de pointage, Houwink et coll. (2009) ont constaté que l'activité de l'ECU et de l'ECR était plus élevée avec une souris traditionnelle qu'avec une souris inclinée. Dans notre étude, l'ECU et l'ECR présentent quasiment la même intensité d'activité électrique. Ainsi, l'activité majeure de ces 2 muscles serait due à l'extension du poignet et non à leurs fonctions secondaires de déviation du poignet. Dans notre étude, l'activité de l'ECR et de l'ECU étaient plus faibles avec les souris verticale et/ou inclinée qu'avec la souris traditionnelle. Avec la souris traditionnelle, l'activité des muscles extenseurs permet l'extension du poignet et le maintien de la main, alors qu'avec une souris verticale, l'extension du poignet est due à un mécanisme passif lié à la position de la souris dans la main ; le poids de la main ne doit pas être supporté.

L'activité du FDS peut être liée à la force nécessaire pour appuyer sur les touches de la souris, plus faible avec la souris inclinée et la souris verticale qu'avec la souris traditionnelle. La longueur de la touche, l'emplacement du bouton poussoir sous la touche mais aussi l'endroit où le sujet appuie pourraient avoir une influence sur la force de cliquage.

L'activité du BB est plus élevée lors de la réalisation des sept tâches avec la souris verticale qu'avec la souris traditionnelle. Ce résultat peut s'expliquer par la position de l'avant-bras en supination, une des fonctions secondaires de ce muscle, plus importante lors de l'utilisation de la souris verticale que durant celle de la souris traditionnelle (Van Hoecke et coll., 1978).

Nos résultats ne montrent pas de différences de l'activité des muscles proximaux, INF et TRA, ni de l'abduction de l'épaule en fonction des trois souris. Ainsi, l'utilisation des trois souris sollicite de façon équivalente la partie proximale du membre supérieur, rejetant ainsi l'hypothèse d'Aaràs et Ro (1997). Ces auteurs suggéraient que la souris verticale était déplacée au moyen de mouvements de l'ensemble du membre supérieur alors que la souris traditionnelle serait mobilisée plutôt par la partie distale. Comme dans notre étude, Gustafsson et Hagberg (2003), Kotani et Horii (2003), Müller et coll. (2010) et Aaràs et Ro (1997) n'avaient pas mis en évidence de différences de l'activité du trapezius selon différents dispositifs de pointage avec divers degrés de pronation de l'avant-bras.

4.1.2 Angles articulaires

Nos résultats montrent que l'utilisation de la souris verticale et de la souris inclinée engendrent une extension plus élevée du poignet qu'avec la souris traditionnelle lors de la réalisation des tâches 'pointage' et 'cliquage index'. Houwink et coll. (2009) ont également observé une extension du poignet plus importante avec une souris inclinée qu'avec une souris traditionnelle. Par contre Gustafsson et Hagberg (2003) ont mis en évidence une extension du poignet plus élevée avec la souris traditionnelle par rapport à la souris verticale. Enfin, Hedge et coll. (2010) ont constaté que l'extension du poignet était plus importante lors de l'utilisation de souris verticales qu'avec la souris traditionnelle mais plus faible avec des souris inclinées qu'avec la souris traditionnelle.

Cependant, nos résultats montrent que l'adduction du poignet est plus élevée avec la souris traditionnelle qu'avec la souris verticale et/ou la souris inclinée lors de la réalisation des tâches de pointage, de cliquage simple ou double avec l'index et/ou le majeur associé ou non au déplacement de cibles. Ils peuvent s'expliquer par la position de la partie distale du membre supérieur. En effet, lors de l'utilisation de la souris verticale et de la souris inclinée, l'auriculaire et le bord ulnaire du poignet reposent sur le plan de travail ou sur le rebord de la souris (photo 1) limitant ainsi l'adduction du poignet. Hedge et coll. (2010) avaient également relevé que l'adduction du poignet était plus élevée avec les souris inclinée ou traditionnelle qu'avec les souris verticales. Houwink et coll. (2009) avaient observé chez les sujets entrainés une position du poignet davantage en abduction lors de l'utilisation de la souris inclinée et principalement en adduction lors de l'utilisation de la souris traditionnelle. Enfin, Gustafsson et Hagberg (2003) avaient également mis en évidence une position du poignet plus en abduction avec la souris verticale par rapport à la souris traditionnelle.

Pour plus de la moitié des sujets, leur poignet restait dans les zones de confort en extension et abduction/adduction lors de la réalisation des sept quelles que soient les souris utilisées.

4.1.3 Ressenti

Les sujets ont indiqué que les tâches 'cliquage majeur', 'double cliquage index, 'cliquage index puis majeur' ainsi que 'cliquage index puis déplacement cible' étaient plus difficiles à effectuer avec la souris verticale qu'avec la souris traditionnelle et/ou la souris inclinée. L'utilisation de la souris verticale apparait plus contraignante en ce qui concerne son déplacement, sa taille, sa sensibilité et sa réactivité, son contrôle, la vitesse de travail et l'effort nécessaire à son utilisation que celle de la souris traditionnelle et/ou de la souris inclinée. La différence de ressenti entre la souris traditionnelle et la souris verticale pourrait s'expliquer par l'habitude qu'ont les sujets à utiliser la souris traditionnelle par rapport à la souris verticale. Toutefois, les sujets semblaient apprécier autant la souris traditionnelle que la souris inclinée alors qu'ils n'étaient pas non plus accoutumés à utiliser cette dernière. La différence de ressenti vis-à-vis de la souris verticale par rapport aux deux autres souris peut aussi être liée à son poids plus élevé. Il n'a pas été mis en évidence de différence entre les souris concernant le confort du poignet et du coude. Gustafsson et Hagberg (2003) ont rapporté aussi une préférence des sujets à travailler avec une souris traditionnelle par rapport à une souris verticale. Enfin, Jung et coll. (2014) ont signalé également que les sujets étaient globalement plus satisfaits avec la souris traditionnelle qu'avec les deux autres souris et plus avec la souris inclinée qu'avec la souris verticale.

4.1.4 Performance

Nos résultats montrent que la durée de réalisation des tâches 'cliquage index', 'cliquage majeur', 'cliquage index puis majeur' et 'cliquage index puis déplacement cible' est plus élevée avec la souris verticale qu'avec la souris traditionnelle. Elle est aussi plus longue avec la souris verticale qu'avec la souris inclinée pour la tâche 'cliquage majeur' et avec la souris inclinée par rapport à la souris traditionnelle pour la tâche 'cliquage index puis majeur'. Ainsi, la performance liée à l'utilisation de la souris verticale apparait plus faible qu'avec la

souris traditionnelle. La performance avec la souris inclinée ne diffère pas clairement de celle de la souris traditionnelle ou de la souris verticale. La différence de performance entre la souris traditionnelle et la souris verticale peut s'expliquer par l'habitude qu'avaient les sujets à utiliser la souris traditionnelle. Gustafsson et Hagberg (2003) ont rapporté que la souris verticale diminuait la productivité de 24 % par rapport à une souris traditionnelle. Scarlett et coll. (2005) ont révélé que l'utilisation de la souris verticale engendrait un temps d'exécution plus long de 10 % et un taux d'erreur plus élevé de 20 % que la souris traditionnelle. De même, Odell et Johnson (2007) ont constaté que les sujets accomplissaient leurs tâches plus lentement avec une souris verticale qu'avec une souris traditionnelle. Jung (2014) a également montré que le temps de réalisation de la tâche était plus élevé avec la souris verticale qu'avec la souris inclinée ; elle-même plus élevée avec la souris inclinée qu'avec la souris traditionnelle. Cet auteur a également montré que le taux d'erreur était plus élevé avec la souris verticale par rapport à la souris traditionnelle et à la souris inclinée. Enfin, Dehghan et coll. (2013) ont aussi observé une meilleure performance avec la souris traditionnelle versus une souris présentant un nouveau design. Seuls Hedge et coll. (2010) ont observé un temps de réalisation des tâches plus faible avec des souris verticales qu'avec une souris traditionnelle ou des souris inclinées.

4.2 Effet position de la souris sur le plan de travail

4.2.1 Activité musculaire

La position de la souris devant le clavier engendre une activité du FDS plus faible que lorsqu'elle se trouve à côté du clavier, lors de la réalisation des tâches 'cliquage index', 'cliquage index puis majeur' et 'reprise souris'. L'activité de l'ECR, de l'ECU et de l'INF est plus faible lorsque la souris est positionnée devant le clavier qu'à côté de celui-ci pour la tâche 'reprise souris'. La position libre n'engendre pas de différence d'activité des muscles étudiés par rapport aux deux autres positions de la souris sur le plan de travail.
Dennerlein et coll. (2003) n'avaient pas mis en évidence de différence de l'activité des muscles ECR et ECU selon la position de la souris devant ou à côté du clavier. Par contre ces auteurs avaient observé une différence au niveau de l'activité du TRA. Elle était plus élevée lorsque la souris se trouvait devant qu'à côté du clavier. Notre étude ne montre pas d'effet des positions des souris sur le plan de travail sur l'activité du TRA.
Les valeurs observées des P10, P50 et P90 de l'ECR lorsque la souris est placée à côté du clavier présentent des ordres de grandeurs proches de ceux obtenus dans l'étude de Dennerlein et coll. (2003). Il en est de même pour le TRA lorsque la souris est placée à côté du clavier. Par contre, l'activité de l'ECU pour les positions des souris devant et à côté du clavier et l'activité du TRA pour la position des souris devant le clavier sont plus élevées dans l'étude conduite par Dennerlein et coll. (2003) que dans la nôtre.

4.2.2 Angles articulaires

Le placement de la souris à côté du clavier génère une abduction de l'épaule droite plus importante que le placement libre sur le plan de travail lors de la réalisation des tâches 'pointage', de simple ou double cliquage index et/ou majeur associé ou non au déplacement de cibles. Plusieurs études corroborent ce résultat. Elles ont montré que plus la souris se trouve éloignée du plan sagittal médian du corps, plus l'abduction de l'épaule est importante (Cook et Kothiyal, 1998; Karlqvist et coll., 1998 ; Cook et coll., 2000 ; Dennerlein et Johnson, 2006). Comme proposé par Won et coll. (2009), pour les utilisateurs qui utilisent peu ou pas le pavé numérique, il pourrait être intéressant de le rendre amovible voire de le supprimer afin de rapprocher la souris du plan sagittal médian du corps.
Dans leur étude, Dennerlein et coll. (2003) ont observé une réduction de l'extension du poignet lorsque la souris est placée devant versus à côté du clavier. Ils ont aussi mis en évidence une réduction de l'adduction lorsque la souris est placée devant versus à côté du clavier, laquelle n'a pas été retrouvée dans notre étude. Cette divergence avec nos résultats

pourrait s'expliquer par les différentes tâches analysées. En effet, l'étude de Dennerlein et coll. (2003) combinait plusieurs actions (pointage, cliquage, sélection avec la souris, saisie de texte puis reprise de la souris après frappe sur le clavier) qui varient de celles de notre étude.
La reprise de la souris après frappe sur le clavier engendre une extension du poignet droit plus élevée lors du positionnement de la souris à côté que devant le clavier.

4.2.3 Ressenti

Positionner la souris devant le clavier apparait moins confortable aux sujets pour le poignet et le coude que placer la souris à côté du clavier ou sans contrainte sur le bureau. Les tâches 'pointage', 'cliquage index' et 'cliquage index puis majeur' apparaissent moins difficiles à réaliser lorsque la souris est positionnée sans contrainte sur le plan de travail que devant et/ou à côté du clavier. Le déplacement de la souris semble plus difficile aux sujets lorsqu'elle est devant le clavier qu'à côté ou positionnée sans contrainte sur le plan de travail. Ces résultats pourraient être liés à l'absence d'habitude de positionnement de la souris devant le clavier bien que les sujets aient bénéficié de 2 journées d'entrainement où les consignes de positionnement de la souris sur le plan de travail ont été données. Lorsque la souris est placée à côté du clavier, le déplacement horizontal du curseur sur l'écran est le fait de mouvements du poignet et le déplacement vertical de mouvements des doigts (Lee et Bang 2013). Par contre, lorsque la souris est placée devant le clavier, les mouvements des doigts ou ceux du poignet engendrent des déplacements du curseur davantage dans la diagonale de l'écran. La souris est positionnée communément à côté du clavier. Ainsi, ces différences de mouvements du membre supérieur pour déplacer le curseur peuvent expliquer le fait que les sujets aient exprimé plus de difficultés dans la manipulation de la souris, même s'ils se sentaient à l'aise au terme de la phase d'entrainement avec la souris placée devant le clavier.

4.2.4 Performance

La durée de réalisation des tâches 'pointage', 'cliquage index' et 'cliquage majeur' est plus courte lorsque la souris est positionnée librement, sans contrainte, sur le plan de travail qu'à côté ou devant le clavier.

4.3 Effet tâche

Dans cette étude, les tâches étaient variées et en nombre important. Les tâches de simple et double cliquage avec index et/ou majeur, de pointage, de déplacement de cibles et de reprise de la souris après frappe sur le clavier se rencontrent dans les activités de recherche d'informations sur écran ou en conception assistée par ordinateur. Elles sont réalisées en plus ou moins grande quantité suivant les activités. Cette étude n'avait pas pour objectif de comparer les tâches. Leur ordre de réalisation, au cours de l'expérimentation, était toujours le même, de la tâche 'pointage' à la tâche 'reprise souris'. Cependant, les résultats mettent en évidence des différences entre elles. Ainsi, la tâche 'reprise souris' nécessite une activité des muscles nettement plus élevée que pour les autres tâches. L'effet lié à la position de la souris sur le plan de travail est souvent significatif lors de la réalisation de cette tâche où les sollicitations musculaires et articulaires sont plus importantes avec la souris placée à côté que devant le clavier. Keir et coll. (1999) ont aussi mis en évidence des différences de sollicitations selon la tâche réalisée. Ils ont montré une tendance à l'augmentation de la pression dans le canal carpien lors de la réalisation d'une tâche de déplacement de cibles par rapport à une tâche de pointage similaire. Müller et coll. (2010) ont indiqué que la complexité de la tâche pouvait avoir une influence plus importante sur la performance que la distinction de deux périphériques d'entrée.

4.4. Effets sur la survenue de troubles musculosquelettiques

Les résultats de notre étude montrent que, pour les trois souris étudiées et les trois positions de celles-ci sur le plan de travail, la valeur moyenne P10 des muscles extenseurs du poignet (ECR et ECU) est élevée et dépasse les seuils proposés par Jonsson (1978). Ces deux muscles ont pour fonction l'extension, les déviations (ulnaire ou cubitale) et la stabilisation du poignet. Les muscles fléchisseurs du poignet ayant un bras de levier plus grand que celui des extenseurs, une activité plus importante des extenseurs est nécessaire pour maintenir la posture du poignet (Keir et coll., 1996). C'est pourquoi ces muscles sont exposés à une charge statique élevée (Faragasanu et coll., 2004). Le syndrome myofascial douloureux des extenseurs de l'avant-bras est un des troubles musculosquelettiques les plus courants lors de l'utilisation de la souris (Bleecker et coll., 2011). Ainsi, il apparait important de réduire l'activité des muscles extenseurs du poignet. Quemelo et Vieira (2013) ont proposé que les utilisateurs prennent la souris en alternance avec la main droite et la main gauche afin de varier le membre supérieur sollicité. Cette proposition semble difficile à mettre en place avec les souris inclinées ou verticales du fait de leur design et/ou de leur inclinaison, des différentes fonctionnalités des boutons droit et gauche ainsi que de la dextérité moindre de la main non dominante. L'association d'autres tâches peu sollicitantes, en particulier pour les extenseurs du poignet, à l'utilisation de la souris et/ou l'instauration de pauses pourrait être introduite dans l'activité de travail pour assurer des temps de récupération musculaires suffisants.

4.5 Limites et perspectives de l'étude

4.5.1. Pour une généralisation des résultats

Les résultats de cette étude sont valables pour les modèles de souris utilisés, les tâches effectuées, les positions des souris sur le bureau analysées et la population étudiée. Nos résultats ont été obtenus lors d'une simulation de différentes tâches informatiques en laboratoire, les sujets ont effectué des tâches dans des conditions expérimentales contrôlées. Les participants à cette étude étaient des sujets droitiers féminins sains, ne présentant pas de douleurs musculosquelettiques, et ayant moins de 40 ans, afin d'éviter des biais liés à la présence d'une presbytie même corrigée qui nécessite un positionnement de l'écran d'ordinateur différent de celui d'une personne sans presbytie (Cail, 2014). Or, l'activité musculaire dépend entre autres du genre, de la présence ou non de douleurs et de l'âge des sujets (Laursen et Jensen, 2000 ; Andersen et coll., 2007 ; Kallenberg et coll., 2006). Les conditions de laboratoire diffèrent de celles rencontrées dans un véritable contexte professionnel (Moriguchi et coll., 2012). Pour être généralisés, nos résultats devront être confirmés par des études avec des sujets masculins, des sujets gauchers, des sujets ayant une presbytie et/ou des sujets présentant des douleurs musculosquelettiques. Une étude longitudinale sur une population importante pourrait également être menée pour déterminer si l'utilisation d'une souris inclinée plutôt qu'une souris traditionnelle limite l'apparition de douleurs du membre supérieur, voire des TMS.
Cependant, malgré ces études complémentaires nécessaires à la généralisation de ces conclusions, la plupart de nos résultats sont corroborés par ceux présents dans la littérature, issus de simulation en laboratoire où les participants (hommes et/ou femmes, âgés de moins et/ou de plus de 40 ans) ont effectué différentes tâches dans des conditions expérimentales contrôlées. De ce fait, des recommandations peuvent être proposées.

4.5.2. Evaluation d'autres périphériques d'entrée de pointage

Cette étude compare trois souris présentant des inclinaisons différentes. Ces trois souris engendrent un risque de fatigue musculaire des ECR et ECU. L'absence de risque de fatigue

musculaire lors de l'utilisation d'autres périphériques de pointage, tels que roller mouse, touchpad ou trackball, pourrait aussi être étudiée.

4.5.3. Considération autour du temps d'entrainement à l'utilisation de nouvelles souris

Les divergences de résultats entre le ressenti des sujets et l'évaluation des sollicitations musculaires et posturales interrogent sur le temps d'entrainement nécessaire aux sujets, aussi bien en ce qui concerne l'utilisation des souris que leurs positions sur le plan de travail. Tous les sujets se sont entraînés à utiliser les trois souris au minimum pendant six heures les deux jours précédant l'expérimentation mais aussi à effectuer chacune des sept tâches dans les neuf conditions (3 souris x 3 positions) le jour précédant l'expérimentation. Bien que tous aient déclaré effectuer avec aisance les sept tâches dans ces neuf conditions, les résultats concourent à mettre en évidence une préférence vers la condition habituellement utilisée c'est-à-dire la souris traditionnelle placée à côté du clavier. Quemelo et Vieira (2013), Houwink (2009), Müller et coll. (2010) et Jung (2014) se sont interrogés sur le temps d'entrainement optimal pour se familiariser avec de nouveaux périphériques d'entrée informatiques. Quemelo et Vieira (2013) avaient demandé aux sujets d'en utiliser un nouveau huit heures par semaine pendant deux semaines ; au terme de leur étude ce temps n'apparaissait pas suffisant. Jung (2014) avait observé chez un sujet que même après trois mois d'utilisation, la performance restait meilleure avec une souris traditionnelle qu'avec une souris inclinée. Ainsi, l'évaluation de la performance lors des premières utilisations des souris permettrait de définir le temps d'entrainement optimum de chacune des souris. L'analyse se porterait sur le nombre de répétitions de tâche minimales nécessaires n'entrainant plus d'amélioration de la performance (atteinte d'un plateau).

5 - CONCLUSION

Par rapport aux études publiées dans la littérature, cette étude présente l'originalité

- de comparer à la fois des souris présentant des inclinaisons différentes et plusieurs emplacements sur le plan de travail,
- d'évaluer à la fois les sollicitations musculaires et posturales de la partie distale et de la partie proximale du membre supérieur utilisant la souris, la performance et le ressenti des utilisateurs,
- d'étudier plusieurs tâches habituellement présentes lors de recherche d'informations sur écran ou en conception assistée par ordinateur.

Les résultats de cette étude sont corroborés par la plupart de ceux obtenus dans d'autres études effectuées dans le cadre de simulation en laboratoire. Même si une étude longitudinale en situation réelle de travail sur une population importante permettrait de conforter avec certitude les résultats de cette étude, les recommandations suivantes peuvent être proposées :

- La souris inclinée apparait comme un bon compromis en termes de sollicitations entre la souris traditionnelle et la souris verticale. Cependant, toutes présentent une activité élevée des extenseurs du poignet, quelles que soient les tâches effectuées, risquant d'engendrer à terme une fatigue musculaire voire des TMS. De ce fait, le travail sur ordinateur avec une souris doit être combiné avec une ou des autres tâches moins sollicitantes surtout pour les extenseurs du poignet et/ou des pauses dans l'activité de travail permettant des temps de récupérations suffisants.
- Quelle que soit la souris utilisée, les sollicitations musculaires et posturales sont les plus élevées lorsqu'elle est placée à côté du clavier. Par contre, le placement libre de la souris sur le plan de travail entraine une meilleure performance et est plus apprécié par les utilisateurs mais ce positionnement nécessite l'absence du clavier, ce qui se rencontre peu dans la pratique quotidienne. Ainsi, inciter les opérateurs à placer leur souris devant le clavier constitue une alternative utile pour réduire les

sollicitations musculosquelettiques par rapport au placement de la souris à côté du clavier.

- Les sollicitations musculaires et posturales, le ressenti des sujets et la performance varient selon les tâches réalisées. La tâche de reprise de la souris après frappe sur le clavier est la plus sollicitante. Elle est donc à réduire au maximum au cours de l'activité de travail.

6 - REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient Olivier Morel et Gilles Reno pour leurs contributions techniques et Pascal Wild pour son aide à l'analyse statistique.

7 - BIBLIOGRAPHIE

Aaràs A., Ro O. - Workload When Using a Mouse as an Input Device. International Journal of Human-Computer Interaction, 1997, 9, 2, pp.105-118.

Andersen J.H., Fallentin N., Thomsen J.F., Mikkelsen S. - Risk Factors for Neck and Upper Extremity Disorders among Computers Users and the Effect of Interventions: An Overview of Systematic Reviews. Plos one, 2011, 6.

Andersen J.H., Harhoff M., Grimstrup S., Vilstrup I., Lassen C.F., Brandt L.P., Kryger A.I., Overgaard E., Hansen K.D., Mikkelsen S. - Computer mouse use predicts acute pain but not prolonged or chronic pain in the neck and shoulder. Occupational and Environmental Medicine, 2008, 65, 2, pp. 126-131.

Andersen L.L., Kjær M., Søgaard K., Sjøgaard G. - Maximal muscle strength and EMG activity of the shoulder/neck muscles in females with work-related neck muscle pain. Journal of Biomechanics, 2007, 40, Supplement 2, S72.

Atkinson S., Woods V., Haslam R.A., Buckle P. - Using non keyboard input devices: interviews with users in the workplace. International Journal of Industrial Ergonomics, 2004, 33, pp. 571–579.

Blatter B.M., Bongers P.M. - Duration of computer use and mouse use in relation to musculoskeletal disorders of neck or upper limb. International Journal of Industrial Ergonomics, 2002, 30, pp. 295-306.

Bleecker M.L., Celio M.A., Barnes S.K. - A medical-ergonomic program for symptomatic keyboard/mouse users. Journal of Occupational and Environmental Medicine, 2011, 53, pp. 562-568.

Bower J.A., Stanisz G.J., Keir P.J. - An MRI evaluation of carpal tunnel dimensions in healthy wrists: Implications for carpal tunnel syndrome. Clinical Biomechanics, 2006, 21(8), pp. 816-825.

Brandt L.P., Andersen J.H., Lassen C.F., Kryger A., Overgaard E., Vilstrup I., Mikkelsen S. - Neck and shoulder symptoms and disorders among Danish computer

workers. Scandinavian Journal of Work, Environment & Health, 2004, 30, 5, pp. 399-409.

Brown J., Albert W., Croll J. - A new input device: comparison to three commercially available mouses. Ergonomics, 2007, 50, 2, pp. 208-227.

Bruno Garza J.L., Eijckelhof B.H., Johnson P.W., Raina S.M., Rynell P.W., Huysmans M.A., Van Dieën J.H., Van der Beek A.J., Blatter B.M., Dennerlein J.T. - Observed differences in upper extremity forces, muscle efforts, postures, velocities and accelerations across computer activities in a field study of office workers. Ergonomics, 2012, 55, 6, pp. 670-681.

Burgess-Limerick R., Shemmell J., Scadden R., Plooy A. - Wrist posture during computer pointing device use. Clinical Biomechanics, 1999, 14, 4, pp. 280-286.

Cail F. - Ecrans de visualisation. Santé et ergonomie. INRS, ED 924, 2014, 86 p.

Cail F., Aptel M. - Facteurs de risque pour le membre supérieur dans le travail sur écran : synthèse bibliographique. Le Travail Humain, 2006, 69, 3, pp. 229-268.

Chen H.M., Leung C.H. - The effect on forearm and shoulder muscle activity in using different slanted computer mice. Clinical Biomechanics, 2007, 22, pp. 518-523.

Cheong Y, Shehab RL, Ling C. - Effects of age and psychomotor ability on kinematics of mouse-mediated aiming movement. Ergonomics, 2013, 56, 6, pp.1006-1020.

Code du travail - 4ème partie : santé et sécurité au travail - Livre 5 : Prévention des risques liés à certaines activités ou opérations - Titre IV : Autres activités et opérations - Chapitre II : Utilisation d'écrans de visualisation, articles R.4542-1 à R.4542-19, 2008.

Cook C.J, Kothiyal K. - Influence of mouse position on muscular activity in the neck, shoulder and arm in computer users. Applied Ergonomics, 1998, 29, 6, pp. 439-443.

Cook K., Burgess-Limerick R., Chang S. - The prevalence of neck and upper extremity musculoskeletal symptoms in computer mouse users. International Journal of Industrial Ergonomics, 2000, 26, pp. 347-356.

Crenshaw A.G., Lyskov E., Heiden M., Flodgren G., Hellström F. - Impact of time pressure and pauses on physiological responses to standardized computer mouse use - a review of three papers focusing on mechanisms behind computer-related disorders. Scandinavian Journal of work, Environment & Health, 2007, supplement, 3, pp. 68-75.

DARES – Synthèse stat'. Intensité du travail et usages des technologies de l'information et de la communication, 2015, n°14, 271 p. http://travail-emploi.gouv.fr/IMG/pdf/Synthese-Stat_no_14_-_Conditions_de_travail_Vol-3_.pdf

DARES. - Les femmes occupent des emplois où le travail semble moins épanouissant. Analyses n°082, 2010. 10 p. http://travail-emploi.gouv.fr/IMG/pdf/2010-082.pdf

Dehghan, N., Choobineh, A., Razeghi, M., Hasanzadeh, J., Irandoost, M. - Designing a New Computer Mouse and Evaluating Some of Its Functional Parameters. Journal of Research in Health Sciences, 2014, 14, 2, pp. 132-135.

Delisle A., Larivière C., Plamondon A., Imbeau D. - Comparison of three computer office workstations offering forearm support: impact on upper limb posture and muscle activation. Ergonomics, 2006, 49, pp. 139-160.

Dennerlein J., Won E., Barrrero L., Becker T., Ibbotson J., Johnson P. - Computer mouse location affects upper extremity posture, EMG, and force. In: Ergonomics Society of Korea, eds. Proceedings of XVth Congress of International Ergonomics Association, Seoul, 2003, 4 p.

Dennerlein J.T., Johnson P.W. - Changes in upper extremity biomechanics across different mouse positions in a computer workstation. Ergonomics, 2006, 49, 14, pp. 1456-1469.

Directive européenne n° 90-270 du 29 mai 1990 - Prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives au travail sur des équipements à écran de visualisation (5ème directive particulière au sens de l'art.16 paragraphe 1 de la directive 89391 CEE).

Fagarasanu M., Kumar S., Narayan Y. - Measurement of angular wrist neutral zone and forearm muscle activity. Clinical Biomechanics, 2004, 19, pp. 671-677.

Finsen L., Søgaard K., Graven-Nielsen T., Christensen H. - Activity patterns of wrist extensor muscles during wrist extensions and deviations. Muscle Nerve, 2005, 31, 2, pp. 242-251.

Fogleman M., Brogmus G. - Computer mouse use and cumulative trauma disorders of the upper extremities. Ergonomics, 1995, 38, 12, pp. 2465-2475.

Gerr F., Marcus M., Ensor C., Kleinbaum D., Cohen S., Edwards A. - A prospective study of computer users : I. Study design and incidence of musculoskeletal symptoms and disorders. American Journal of Industrial Medicine, 2002a, 41, pp. 221–235.

Gerr F., Marcus M., Monteilh C. - Epidemiology of musculoskeletal disorders among computer users: lesson learned from the role of posture and keyboard use Journal of Electromyography and Kinesiology, 2004, 14, 1, p. 25

Gerr F., Marcus M., Monteilh C., Ortiz D.J., Gentry E., Cohen S., Edwards A., Ensor C., Kleinbaum D.A. - Prospective study of computer users : II. Postural risk factors for musculoskeletal symptoms and disorders. American Journal of Industrial Medicine, 2002b, 41, 4, pp. 236-249.

Gerr F., Marcus M., Ortiz D., White B., Jones W., Cohen S. - Computer users' postures and associations with workstation characteristics. AIHA Journal, 2000, 61, pp. 223–230.

Gerr F., Marcus M., Ortiz D.J. - Methodological limitations in the study of video display terminal use and upper extremity musculoskeletal disorders. American Journal of Industrial Medicine, 1996, 29, pp. 649–656.

Gerr F., Monteilh C.P., Marcus M. - Keyboard use and musculoskeletal outcomes among computer users. Journal of Occupational Rehabilitation, 2006, 16, pp. 259–271.

Goyal N., Jain N., Rachapalli V. - Ergonomics in radiology. Clinical Rehabilitation, 2009, 64, 2, pp. 119-126.

Gustafsson E., Hagberg M. - Computer mouse use in two different hand positions: exposure, comfort, exertion and productivity. Applied Ergonomics, 2003, 34, 6, pp. 107-113.

Hagberg M. - ABC of work related disorders: neck and arm disorders. British Medical Journal, 1997, 313, pp. 419-422.

Hales T.R., Bernard B.P. - Epidemiology of work-related musculoskeletal disorders. Orthopedic Clinics of North America, 1996, 27, pp. 679-709.

Haynes S. - Effects of positioning optimization in an alternative computer workstation for people with and without low back pain. International Journal of Industrial Ergonomics, 2009, 39, 5, pp. 719-727.

Hedge A., Feathers D., Rollings K. - Ergonomic comparison of slanted and vertical computer mouse designs. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society, 54th annual meeting, San Francisco, 2010, pp. 561-565.

Houwink A., Hengel K., Odell D., Dennerlein J. - Providing training enhances the biomechanical improvements of an alternative computer mouse design. Human Factors, 2009, 51, 1, pp. 46-55.

Ijmker S., Huysmans M.A., Blatter B.M., Van der Beek A.J., Van Mechelen W., Bongers P.M. - Should office workers spend fewer hours at their computer ? A systematic review of the literature. Occupational and Environmental Medicine, 2007, 64, pp. 211-222.

ISO 11228-3 - Ergonomie - Manutention manuelle - Partie 3 : Manipulation de charges faibles à fréquence de répétition élevée. Genève, 2007, 87 p.

ISO 9241-410 - Ergonomie de l'interaction homme - système : critères de conception des dispositifs d'entrée physiques. Bruxelles, 2008, 107 p.

Jensen C. - Development of neck and hand-wrist symptoms in relation to duration of computer use at work. Scandinavian Journal of Work, Environment & Health, 2003, 29, 3, pp. 197-205.

Jensen C., Borg V., Finsen L., Hansen K., Juul-Kristensen B., Christensen H. - Job demands, muscle activity and musculoskeletal symptoms in relation to work with the computer mouse. Scandinavian Journal of Work, Environment & Health, 1998, 24, 5, pp. 418-424.

Jensen C., Finsen L., Hansen K., Christensen H. - Upper trapezius muscle activity patterns during repetitive manual material handling and work with a computer mouse. Journal of Electromyography and Kinesiology, 1999, 9, pp. 317-325.

Jensen C., Finsen L., Sogaard K., Christensen H. - Musculoskeletal symptoms and duration of computer and mouse use. International Journal of Industrial Ergonomics, 2002, 30, pp. 265-275.

Jonsson B. - Quantitative electromyographic evaluation of muscular load during work. Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine Supplement, 1978, 6, pp. 69-74.

Jung K. - Effects of slanted ergonomic mice on task performance and subjective responses. Applied Ergonomics, 2014, 45, pp. 450-455.

Kallenberg, L., Hermens, H., Vollenbroek-Hutten, M. - P18.2 Distinction between cases with chronic neck–shoulder pain and healthy controls with parameters derived from surface array EMG measurements. Clin. Neurophysiol., 2006, 117, Supplement 1, 209-210.

Karlqvist L., Bernmark E., Ekenvall L., Hagberg M., Isaksson A., Rostö T. - Computer mouse position as a determinant of posture, muscular load and perceived exertion. Scandinavian Journal of Work, Environment & Health. 1998, 24, 1, pp. 62-73.

Karlqvist L., Hagberg M., Selin K. - Variation in upper limb posture and movement during word processing with and without mouse use. Ergonomics, 1994, 37, 7, pp. 1261-1267.

Keir P.J., Bach J.M., Rempel D. - Effects of computer mouse design and task on carpal tunnel pressure. Ergonomics,1999, 42, 10, pp. 1350-1360.

Keir P.J., Wells R.P., Ranney D.A. - Passive properties of the forearm musculature with reference to hand and finger postures. Clinical Biomechanics, 1996, 11, pp. 401-409.

Kilbom Å. - Repetitive work of the upper extremity: Part I- Guidelines for the practitioner. International Journal of Industrial Ergonomics, 1994a, 14, pp. 51-57.

Kilbom Å. - Repetitive work of the upper extremity: Part II – The scientific basis (knowledge base) for the guide. International Journal of Industrial Ergonomics, 1994b, 14, pp. 59-86.

King T.K., Severin C.N., Van Eerd D., Ibrahim S., Cole D., Amick B., Steenstra I.A. - A pilot randomised control trial of the effectiveness of a biofeedback mouse in reducing self-reported pain among office workers. Ergonomics, 2012, 56, pp. 59-68.

Kotani K., Horii K. - An Analysis of Muscular Load and Performance in Using a Pen-tablet System. Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science, 2003, 22, pp. 89-95.

Kryger A.I., Andersen J.H., Lassen C.F., Brandt L.P., Vilstrup I., Overgaard E., Thomsen J.F., Mikkelsen S. - Does computer use pose an occupational hazard for

forearm pain: from the NUDATA study. Occupational and Environmental Medicine, 2003, 60, 11, 9 p.

Lassen C.F., Mikkelsen S., Kryger A.I., Andersen J. H. - Risk factors for persistent elbow, forearm and hand pain among computer workers. Scandinavian Journal of Work, Environment & Health, 2005, 31, 2, pp 122-131.

Lassen C.F., Mikkelsen S., Kryger A.I., Brandt L.P., Overgaard E., Thomsen J.F., Vilstrup I., Andersen J.H. - Elbow and wrist/hand symptoms among 6,943 computer operators: a 1-year follow-up study (the NUDATA study). American Journal of Industrial Medicine, 2004, 46, 5, pp. 521-533.

Laursen, B., Jensen, B.R. - Shoulder muscle activity in young and older people during a computer mouse task. Clinical Biomechanics, 2000, 15, Supplement 1, S30-S33.

Lee Y.H., Su M.C. - Design and validation of a desk-free and posture-independent input device. Applied Ergonomics, 2008, 39, 3, pp. 399-406.

Lee, B., Bang H. - A kinematic analysis of directional effects on mouse control. Ergonomics, 2013, 56, 11, pp.1754-1765.

Liao M.H., Drury C.G. - Posture, discomfort and performance in a VDT task. Ergonomics, 2000, 43, 3, pp. 345-359.

Madeleine P., Vangsgaard S., Andersen J. H., Ge H.-Y., Arendt-Nielsen L. - Computer work and self-reported variables on anthropometrics, computer usage, work ability, productivity, pain and physical activity. BMC Musculoskeletal Disorders, 2013, 14: 226, 10 p.

Mathiassen S.E., Winkel J., Hägg G. - Normalization of surface EMG amplitude from the upper trapezius muscle in ergonomic studies - A review. Journal of Electromyography and Kinesiology, 1995, 5, pp. 197-226.

Mediouni Z., de Roquemaurel A., Dumontier C., Becour B., Garrabe H., Roquelaure Y., Descatha A. - Is carpal tunnel syndrome related to computer exposure at work? A review and meta-analysis. Journal of Occupational & Environmental Medicine, 2014, 56, pp: 119-233.

Moriguchi C.S., Carnaz L., Júnior L.C.M., Marklin R.W., Coury H.C.C.G. - Are posture data from simulated tasks representative of field conditions? Case study for overhead electric utility workers. Ergonomics, 2012, 55, 11, pp. 1382-1394.

Müller C., Tomatis L., Läubli T. - Muscular load and performance compared between a pen and a computer mouse as input devices. International Journal of Industrial Ergonomics, 2010, 40, 6, pp. 607-617.

National Institute for Working Life - Department for work and Health - Department for Work. Key to ergonomic checklist-computer work, Stockholm, 1997.

Odell D., Johnson P. - Evaluation of a mouse designed to improve posture and comfort. Proceedings of the Work with Computing Systems Conference, International Ergonomics Association, Stockholm, 2007, 115, 5 p.

Onyebeke L.C., Young J.G., Trudeau M.B., Dennerlein J.T. - Effects of forearm and palm supports on the upper extremity during computer mouse use. Applied Ergonomics, 2014, 45, pp. 64-70.

Oude Hengel K.M., Houwink A., Odell D., Van Dieën J.H, Dennerlein J.T. - Smaller external notebook mice have different effects on posture and muscle activity. Clinical Biomechanics, 2008, 23, pp. 727-734.

Palmer K.T., Cooper C., Walker-Bone K., Syddall H., Coggon D. - Use of keyboards and symptoms in the neck and arm: evidence from a national survey. Occupational Medicine, 2001, 51, 6, pp. 392-395.

Perroto A. - Anatomical guide for the electromyographer, fifth edition. Charles C Thomas Publisher, USA, 2011, 377 p.

Quemello P., Vieira E. - Biomechanics and performance when using a standard and a vertical computer mouse. Ergonomics, 2013, 56, 8, pp. 1336-1344.

Scarlett D. - Ergonomic mice: comparison of performance and perceived exertion. Usability News, 2005, 7 (1). Accessed Sept 2014. http://psychology.wichita.edu/surl/usabilitynews/71/pdf/Usability%20News%2071%20-%20Scarlett.pdf

Standards Council of Canada - TBITS-13: a guideline on office ergonomics - implementation criteria. Report Number: Standards Council of Canada, Ottawa: Ontario, 1991.

Thorn S., Sogaard K., Kallenberg L., Sandsjo L., Sjogaard G., Hermens H. et al. - Trapezius muscle rest time during stndardised computer work - a comparison of female computer users with and without self-reported neck/shoulder complaints. Journal of Electromyography and Kinesiology, 2007, 17, pp. 420-427.

Tomatis L., Müller C., Nakaseko M., Läubli T. - Evidence for repetitive load in the trapezius muscle during a taping task. European Journal of Applied Physiology, 2012, 112, 8, pp. 3053-3059.

Valachi B., Valachi K. - Mechanisms leading to musculoskeletal disorders in dentistry. Journal of the American Dental Association, 2003, 134, 10, pp. 1344-1350.

Van Hoecke J., Pérot C., Goubel F. - Contribution des muscles biceps brachii et pronator teres à l'effort de prono-supination. European Journal of Applied Physiology, 1978, 38, pp. 83-91.

Village J., Rempel D., Teschke K. - Musculoskeletal disorders of the upper extremity associated with computer work: a systematic review. Occupational Ergonomics, 2005, 5, 4, pp. 205-218.

Visser B., De Looze M.P., De Graaff M.P., Van Dien J.H. - Effects of precision demands and mental pressure on muscle activation and hand force in computer mouse tasks. Ergonomics, 2004, 47, pp. 202–217.

Wærsted M., Hanvold T.N., Veiersted K.B. - Computer work and musculoskeletal disorders of the neck and upper extremity: a systematic review. BMC Musculoskeletal Disorders, 2010, 11:79, 15 p.

Wahlström J. - Ergonomics, musculoskeletal disorders and computer work. Occupational Medicine, 2005, 55, 3, pp. 168-176.

Won E.J., Johnson P.W., Punnett L., Dennerlein J.T. - Upper extremity biomechanics in computer tasks differ by gender. Journal of Electromyography and Kinesiology 2009, 19, 3, pp. 428-436.

Woods V., Hastings S., Buckle P., Haslam R. - Development of non-keyboard input device checklists through assessments. Applied Ergonomics, 2003, 34, 6, pp. 511-519.

Workers' Compensation Board Alberta - WCB Office Ergonomics: Remembering the basics, 1999, 36 p.

Zipp P. - Recommendations for the standardization of lead positions in surface electromyography. European. Journal of Applied Physiology, 1982, 50, pp. 41-54.

Zipp P., Haider E., Halpern N., Rohmert W. - Keyboard design through physiological strain measurements. Applied Ergonomics, 1983, 14, pp. 117-122.