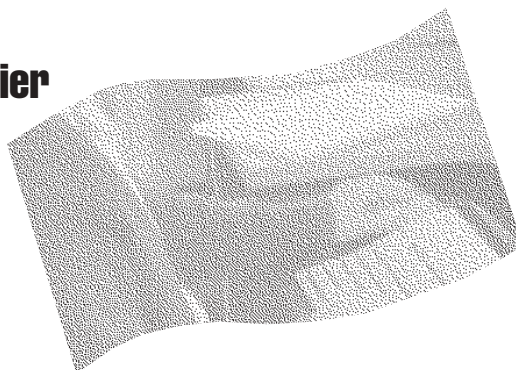


Troubles musculo-squelettiques et bureautique : impact du mobilier de bureau sur la posture et la sollicitation musculaire du membre supérieur



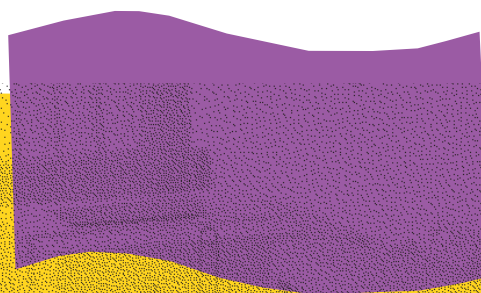
ÉTUDES ET RECHERCHES

Alain Delisle
Christian Larivière
André Plamondon
Daniel Imbeau

Février 2003

R-325

RAPPORT





Solidement implanté au Québec depuis 1980, l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) est un organisme de recherche scientifique reconnu internationalement pour la qualité de ses travaux.

NOS RECHERCHES *travaillent* pour vous !

MISSION

- ▶ Contribuer, par la recherche, à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles ainsi qu'à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes.
- ▶ Offrir les services de laboratoires et l'expertise nécessaires à l'action du réseau public de prévention en santé et en sécurité du travail.
- ▶ Assurer la diffusion des connaissances, jouer un rôle de référence scientifique et d'expert.

Doté d'un conseil d'administration paritaire où siègent en nombre égal des représentants des employeurs et des travailleurs, l'IRSST est financé par la Commission de la santé et de la sécurité du travail.

POUR EN SAVOIR PLUS...

Visitez notre site Web ! Vous y trouverez une information complète et à jour.
De plus, toutes les publications éditées par l'IRSST peuvent être téléchargées gratuitement.
www.irsst.qc.ca

Pour connaître l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine *Prévention au travail*, publié conjointement par l'Institut et la CSST.
Abonnement : 1-817-221-7046

Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec
2003

IRSST - Direction des communications
505, boul. De Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : (514) 288-1551
Télécopieur : (514) 288-7636
publications@irsst.qc.ca
www.irsst.qc.ca

© Institut de recherche Robert-Sauvé
en santé et en sécurité du travail,
février 2003.

Troubles musculo-squelettiques et bureautique : impact du mobilier de bureau sur la posture et la sollicitation musculaire du membre supérieur

Alain Delisle, Christian Larivière et André Plamondon
Sécurité-ergonomie, IRSST

Daniel Imbeau
École Polytechnique de Montréal

ÉTUDES ET
RECHERCHES

RAPPORT

Cliquez recherche
www.irsst.qc.ca



Cette publication est disponible
en version PDF
sur le site Web de l'IRSST.

Cette étude a été financée par l'IRSST. Les conclusions et recommandations sont celles des auteurs.

CONFORMÉMENT AUX POLITIQUES DE L'IRSST

Les résultats des travaux de recherche publiés dans ce document
ont fait l'objet d'une évaluation par des pairs.

SOMMAIRE

La présente étude avait pour objectif de déterminer si l'utilisation d'un mobilier de bureau ajustable en hauteur offrant un appui au niveau des avant-bras sur la surface de travail permet de réduire la sollicitation musculaire tout en minimisant l'impact sur la posture du membre supérieur. Dix-huit sujets ont effectué une tâche de travail à l'ordinateur de 20 minutes impliquant du travail alterné entre le clavier et la souris, avec trois mobiliers de bureau différents : un mobilier à surface unique avec support-écran indépendant, entièrement ajustable en hauteur, permettant l'appui des avant-bras (Bureau A); un mobilier muni d'un support-clavier indépendant, avec support-écran indépendant, entièrement ajustable en hauteur (Bureau B); et un mobilier muni d'un support-clavier non-ajustable en hauteur (Bureau C). L'électromyographie de surface de quatre muscles (trapèze non-dominant et dominant, deltoïde antérieur, extenseur commun des doigts) et la cinématique tridimensionnelle du membre supérieur dominant et de la tête ont été utilisées pour comparer les bureaux.

Le bureau possédant une surface unique ajustable et offrant la possibilité d'appuyer les avant-bras (bureau A) a entraîné (1) une réduction de la sollicitation musculaire du trapèze non-dominant, (2) une plus petite sollicitation musculaire du deltoïde antérieur lors du travail à la souris comparativement au bureau standard (bureau C), et (3) une augmentation de la sollicitation musculaire de l'extenseur commun des doigts. Au niveau de la posture du membre supérieur, le bureau A a démontré (1) une plus petite extension du poignet par rapport au bureau C lors du travail à la souris, et (2) de plus grandes flexion et abduction de l'épaule lors du travail au clavier. Aucun effet du mobilier de bureau sur la posture de la tête n'a été observé.

L'absence d'un effet du mobilier de bureau sur l'activité du trapèze dominant avec le bureau permettant un appui des avant-bras est quelque peu surprenante puisque selon plusieurs études, une diminution de la sollicitation musculaire du trapèze dominant est rapportée avec l'utilisation d'appui-bras. Cependant, une nuance importante distingue notre étude: la tâche de travail étudiée impliquait un travail alterné entre la souris et le clavier alors que pour la majorité des études antérieures, la tâche n'impliquait qu'un type d'interface de saisie à la fois (clavier ou souris).

L'augmentation de la sollicitation musculaire des extenseurs des doigts avec le bureau A combinée à une diminution de la sollicitation musculaire du deltoïde antérieur pour l'utilisation de la souris correspond en quelques sortes à un transfert d'une stratégie proximale vers une stratégie distale pour effectuer le travail à la souris. Il semble donc que l'utilisation d'un appui au niveau des avant-bras puisse être bénéfique au niveau de la région cou-épaule au détriment de la région poignet-avant-bras. Un mobilier de bureau permettant une alternance entre le travail à la souris avec l'avant-bras appuyé et non-appuyé serait donc probablement une alternative intéressante. Cela permettrait d'alterner les sollicitations musculaires les plus importantes entre les muscles de l'avant-bras et les muscles de la région cou-épaule de manière à offrir des périodes de repos de façon intermittente.

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE.....	i
1. Introduction.....	1
2. Objectifs.....	3
3. Méthodologie.....	5
3.1 Sujets.....	5
3.2 Procédures.....	5
3.3 Techniques de mesure.....	7
3.3.1 Électromyographie.....	7
3.3.2 Cinématique.....	8
3.3.3 Perception.....	10
3.4 Analyse des données.....	10
4. Résultats.....	13
4.1 Effet sur la sollicitation musculaire.....	13
4.1.1 Analyse de l'amplitude du signal (APDF).....	13
4.1.2 Analyse de la variation de l'exposition (EVA).....	14
4.1.3 Analyse des repos musculaires.....	20
4.2 Effet sur la posture.....	21
4.3 Effet sur la perception.....	22
5. Discussion.....	25
5.1 Considérations méthodologiques.....	25
5.2 Effet du mobilier de bureau.....	26
5.3 Limites de l'étude.....	28
6. Conclusion.....	29
RÉFÉRENCES.....	31

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 -	Les repères anatomiques virtuels numérisés pour chaque segment	9
Tableau 2 -	Pourcentage de temps moyen (écart-type) passé avec chaque interface pour réaliser la tâche selon le bureau et en moyenne à travers tous les bureaux.....	13
Tableau 3 -	Valeurs moyennes (écart-type) du groupe pour les APDF des différents muscles (%MVE).	14
Tableau 4 -	Valeurs moyennes (écart-types) du groupe pour les différentes classes d'intensité et de durée de l'EVA du trapèze non-dominant (% du temps total d'exposition).....	16
Tableau 5 -	Valeurs moyennes (écart-types) du groupe pour les différentes classes d'intensité et de durée de l'EVA du trapèze dominant (% du temps total d'exposition).....	17
Tableau 6 -	Valeurs moyennes (écart-types) du groupe pour les différentes classes d'intensité et de durée de l'EVA du deltoïde antérieur (% du temps total d'exposition).....	18
Tableau 7 -	Valeurs moyennes (écart-types) du groupe pour les différentes classes d'intensité et de durée de l'EVA de l'extenseur commun des doigts (% du temps total d'exposition).....	20
Tableau 8 -	Valeurs moyennes (écart-types) du groupe pour le nombre de repos et le temps relatif de repos pour l'activité EMG des trapèzes dominant et non-dominant normalisés par rapport à la contraction maximale de référence.	21

LISTE DES FIGURES

Figure 1 - Les trois mobiliers de bureau comparés : (A) un mobilier à surface unique, avec support- écran indépendant, entièrement ajustable en hauteur et permettant l'appui des avant-bras; (B) un mobilier muni d'une surface-clavier indépendante, avec support écran indépendant, entièrement ajustable en hauteur; (C) un mobilier muni d'une surface-clavier, sans support écran indépendant, non ajustable.	6
Figure 2 - Procédures pour produire les contractions musculaires de référence permettant de calibrer le signal EMG.	8
Figure 3 - Disposition des repères externes (à gauche) et définition des centres articulaires et des référentiels locaux utilisés pour définir les angles articulaires tridimensionnels (à droite).	9
Figure 4 - Analyse de variation de l'exposition (EVA). Exemple typique des résultats offerts avec ce type d'analyse. On remarquera que plus la distribution se retrouve vers les classes de basses intensités et de basses durées, moins l'exposition physique est grande.	12
Figure 5 - APDF du deltoïde antérieur pour le 50e et le 90e percentile lors de l'utilisation du clavier et de la souris selon chaque bureau.	15
Figure 6 - Pourcentage de temps passé dans les classes d'intensité (A) 0,3 - 1,0% MVE et (B) 1,0 - 3,0% MVE et dans les classes de durée (C) 0,0-0,3 s. et (D) 3-7 s pour le deltoïde antérieur pour chaque interface et selon chaque bureau.	19
Figure 7 - Le temps de repos relatif cumulé dans l'activité EMG du trapèze non-dominant pour chaque interface selon chaque bureau.	21
Figure 8 - Les valeurs d'angles d'extension (A) et de déviation B) du poignet, et les valeurs d'angles de flexion (C) et d'abduction (D) de l'épaule pour le 50e percentile lors de l'utilisation de chaque interface de saisie en fonction du bureau.	24

1. INTRODUCTION

Depuis le début des années 1990, on retrouve un nombre croissant d'utilisateurs d'ordinateurs personnels, tant dans le cadre de leur travail que pour leur utilisation personnelle. L'introduction des ordinateurs a eu des conséquences majeures sur la pratique du travail de bureau. Par exemple, il y a 20 ans, un travail de bureau typique impliquait une étendue d'activités incluant la lecture, l'écriture, la dactylographie, etc. Le changement d'activités pouvait introduire de courtes pauses naturelles et les activités elles-mêmes étaient suffisamment variées pour impliquer un changement de posture et fournir une forme de variation dans la nature de l'activité mentale, visuelle et musculaire. Aujourd'hui, plusieurs de ces activités peuvent se faire à partir d'un ordinateur sans avoir à bouger. S'ajoute à cette modification du travail, des contraintes de temps de plus en plus importantes, et l'apparition de plaintes à propos d'un nombre varié de problèmes de santé. Notamment, des troubles aux épaules, au cou ainsi qu'aux membres supérieurs sont associés au travail à l'ordinateur (Carter et Banister 1994; Grieco et al. 1998).

L'aménagement du poste de travail de même que l'organisation du travail peuvent être à la source des troubles musculo-squelettiques. L'aménagement du poste de travail peut, par exemple, forcer l'adoption de postures inadéquates, et/ou ne pas permettre d'appuis, alors que l'organisation du travail peut, par exemple, limiter les variations dans le travail et conduire à l'adoption de postures statiques prolongées. Bien que l'activation musculaire soit généralement de basse intensité pour ce genre de travail, il est reconnu que ce type de contraction musculaire peut mener à la douleur chronique lorsque maintenue sur de longues périodes de travail [voir la revue de la littérature de Sjogaard et Sogaard 1998 sur ce sujet]. En effet, il apparaît que l'obstruction partielle des vaisseaux sanguins peut mener à la fatigue et à la dégénérescence des fibres musculaires recrutées de manière statique soutenue à faible intensité et sur de longues périodes de temps (hypothèse des "fibres cendrillons", Sjogaard et Sogaard 1998). Ces observations semblent particulièrement documentées pour le trapèze, ce qui pourrait expliquer les douleurs souvent rapportées dans la région cou-épaule en association avec le travail à l'ordinateur.

Il apparaît donc important d'apporter des moyens de permettre un relâchement complet des muscles impliqués dans le travail aussi souvent que possible. D'ailleurs, plusieurs recommandent l'adoption de pauses pendant le travail pour ainsi éviter l'apparition d'inconforts (Fisher et al. 1993; Mclean et al. 2001; Sundelin et Hagberg 1989). Toutefois, l'implantation de pauses pendant le travail est difficile à instaurer, et les fréquences comme les durées optimales de ces pauses ne sont pas encore connues. Un autre moyen privilégié est de favoriser l'appui des membres supérieurs pendant le travail afin d'augmenter les chances de relâcher les muscles impliqués dans le travail. L'appui peut se faire de différente façon, soit au niveau du poignet ou au niveau de l'avant-bras (sur un appuie-bras mobile ou fixe, ou sur la surface de travail) et du coude (sur les appuie-bras de la chaise). Il existe dans la littérature des données démontrant l'efficacité de l'utilisation d'appuie-bras pour diminuer l'activité électromyographique (EMG) du muscle trapèze, et d'autres muscles du membre supérieur (Aaras et al. 1997; Schuldt et al. 1987; Feng et al. 1997; Fernstrom et Ericson 1997; Hasegawa et Kumashiro 1998; Lintula et al. 2001; Visser et al. 2000; Wells et al. 1997). Cependant, bien que cet effet bénéfique soit démontré, les conséquences de l'utilisation des appuie-bras sur les postures du poignet et de l'épaule ainsi que sur la sollicitation de différentes régions musculaires n'a pas, à notre connaissance, été documenté de façon simultanée. Selon Wells et al. (1997), l'appui au niveau de l'avant-bras ou du

coude est plus favorable pour le travail à la souris. Dans l'étude de Aaras et al., (1997) l'appui des avant-bras s'effectuait sur la surface de travail devant le clavier, en éloignant celui-ci du bord antérieur de la surface de travail. Ces auteurs ont rapporté un effet bénéfique pour les trapèzes droit et gauche pour le travail au clavier, mais n'ont pas documenté l'impact sur d'autres régions musculaires, ni pour le travail à la souris. Cette configuration offre également la possibilité de travailler en appui pour toutes les différentes activités effectuées, c'est-à-dire autant pour le travail au clavier, à la souris, que pour des tâches d'écriture. L'utilisation de l'appuie-bras d'une chaise, et même d'un appuie-bras mobile, ne permet pas d'offrir un appui pour toutes ces activités, souvent effectuées en alternance. Par ailleurs, ce type de configuration a pour effet d'éloigner le clavier, ce qui pourrait également avoir des conséquences positives sur la posture de la tête. Par exemple, pour une personne qui ne possède pas de méthode de dactylographie, le fait d'éloigner le clavier pourrait permettre de limiter les flexions du cou associées au regard des touches sur le clavier. Le choix du mobilier de bureaux et l'aménagement du poste de travail peuvent donc avoir des répercussions considérables sur la sollicitation musculaire de l'individu.

La présente étude vise donc la comparaison de trois mobiliers de bureau (l'un d'eux offrant un appui des avant-bras sur la surface de travail) quant à leur impact sur la cinématique posturale de tout le membre supérieur et sur la sollicitation musculaire de quatre muscles.

2. OBJECTIFS

L'objectif principal de cette activité est de documenter l'impact de trois types de mobilier sur la cinématique tridimensionnelle du membre supérieur dominant et l'activité EMG de quatre muscles.

La question posée est la suivante: L'utilisation d'un mobilier de bureau ajustable en hauteur offrant un appui au niveau des avant-bras sur la surface de travail permet-elle de réduire la sollicitation musculaire tout en minimisant l'impact sur la posture du membre supérieur?

3. MÉTHODOLOGIE

La démarche que nous avons suivie consistait en une évaluation expérimentale en laboratoire auprès d'employés de bureaux avec une forte composante de travail à l'ordinateur.

3.1 Sujets

Vingt sujets ont accepté de participer à l'étude. Deux sujets ont dû être éliminés pour des difficultés techniques. Des 18 sujets, il y avait 15 femmes et 3 hommes, dont l'âge moyen était de 37 ans (23 à 53 ans), la taille moyenne de 1,66 m (1,49 à 1,85 m), et la masse moyenne de 67,5 kg (54,1 à 98,0 kg). Les données anthropométriques et les caractéristiques individuelles des sujets sont données à l'annexe 1. Un seul des sujets était gaucher et il utilisait la souris de la main gauche. Neuf des sujets affirmaient détenir une méthode dactylographique, les neuf autres non. Tous les sujets effectuaient un travail utilisant l'ordinateur pour la majeure partie de leur travail.

3.2 Procédures

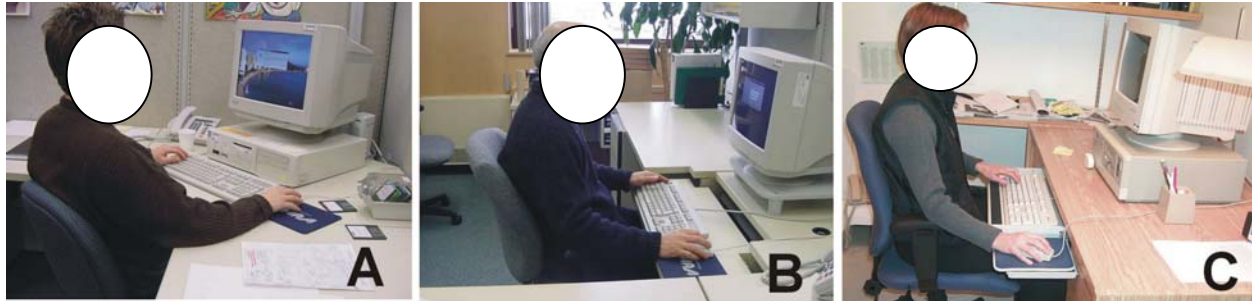
Trois mobiliers de bureau ont été comparés (Figure 1):

1. un mobilier à surface unique, avec support-écran indépendant, entièrement ajustable en hauteur, permettant l'appui des avant-bras (Bureau A, Figure 1A)
2. un mobilier muni d'un support-clavier indépendant, avec support-écran indépendant, entièrement ajustable en hauteur (Bureau B, Figure 1B)
3. un mobilier muni d'un support-clavier non-ajustable en hauteur (Bureau C, Figure 1C)

La position de l'écran était gardée constante pour les trois mobiliers afin d'isoler les effets propres aux bureaux. Contrairement à ce qui est présenté à la figure 1, la chaise était toujours la même pour les trois conditions. La composante « appuie-bras » du fauteuil était ajustée en fonction du type de bureau. L'écran était positionné dans la ligne de regard, à environ une longueur de bras devant le participant de manière à ce que les yeux se retrouvent à l'intérieur du tiers supérieur de la partie vitrée de l'écran, ce-dernier étant légèrement incliné vers l'arrière. Le dossier était ajusté en hauteur afin que l'appui soit au niveau lombaire, et avec une inclinaison entre 100° et 110°. Aucun appuie-poignets n'était utilisé.

Avec le bureau A, le clavier et la souris devaient être éloignés du rebord de la table de façon à permettre l'appui des avant-bras sur la table. Les pattes arrières du clavier devaient être abaissées, et la souris devait être maintenue le plus près possible du clavier du côté de la main dominante. Toute la surface de travail était à la même hauteur. Les appuie-bras du fauteuil devaient être abaissés de façon à permettre d'avancer le fauteuil le plus près possible de la table, et ce afin de permettre l'appui des avant-bras sur la table. La hauteur de l'assise était ajustée pour que les pieds soient à plat au sol, avec un angle des genoux de 90°. Le fauteuil était ajusté de la même façon pour les bureaux A et B, à l'exception des appuie-bras.

Figure 1. Les trois mobiliers de bureau comparés[¶]: (A) un mobilier à surface unique, avec support-écran indépendant, entièrement ajustable en hauteur et permettant l'appui des avant-bras; (B) un mobilier muni d'une surface-clavier indépendante, avec support écran indépendant, entièrement ajustable en hauteur; (C) un mobilier muni d'une surface-clavier, sans support écran indépendant, non ajustable.



[¶] Ces photos ne représentent pas le contexte expérimental.

Avec le bureau B, le clavier était aligné sur le rebord de la tablette-clavier, avec les pattes arrières abaissées et ajustées en hauteur pour qu'il se retrouve à la hauteur des coudes (coudes fléchis à 90°). Les appuie-bras du fauteuil étaient ajustés en hauteur et en largeur de façon à permettre un appui des coudes. La souris devait être maintenue le plus près possible du clavier, sur la tablette-clavier, du côté de la main dominante.

La tablette-clavier du bureau C n'était pas ajustable en hauteur, mais l'ajustement en hauteur de l'assise et des appuie-bras du fauteuil était effectué de telle sorte que les coudes se retrouvaient à la hauteur du clavier (coudes fléchis à 90°). Les appuie-bras du fauteuil étaient ajustés en hauteur et en largeur de façon à permettre un appui des coudes. La souris devait être maintenue le plus près possible du clavier, sur la tablette-clavier, du côté de la main dominante.

Pour chaque bureau, les sujets effectuaient une séquence de tâches de déplacement et de pointage d'objets, de saisie de données dans des formulaires et de traitement de texte standard, exigeant du travail au clavier et à la souris de façon alternée. Une partie de la tâche exigeait la saisie d'un texte lu sur papier, et une autre partie impliquait l'écriture sur papier d'un texte lu à l'écran. L'ordre de présentation des différentes parties était aléatoire. La durée de l'exécution des tâches était de 20 minutes, et si un sujet terminait toutes les tâches en moins de 20 minutes, d'autres tâches déjà effectuées lui étaient présentées aléatoirement. Ainsi tous les sujets n'effectuaient pas exactement le même travail à l'ordinateur, mais ils travaillaient tous 20 minutes. Cette situation est très similaire à un contexte réel de travail. Grâce au système optoélectronique utilisé, il était possible de distinguer les phases d'utilisation de la souris de celles de l'utilisation du clavier (voir section 3.3.1 plus bas). Une période de familiarisation (15 minutes) avec les différentes tâches était accordée avant la séance d'acquisition. Une pause de 10 minutes était accordée entre chaque bureau et l'ordre de présentation des bureaux était aléatoire. La durée totale de l'acquisition des données était environ de 2 h 30 (préparation du sujet: 45 minutes, familiarisation avec la tâche : 15 minutes, acquisitions : 60 minutes, repos : 20 minutes.).

3.3 Techniques de mesure

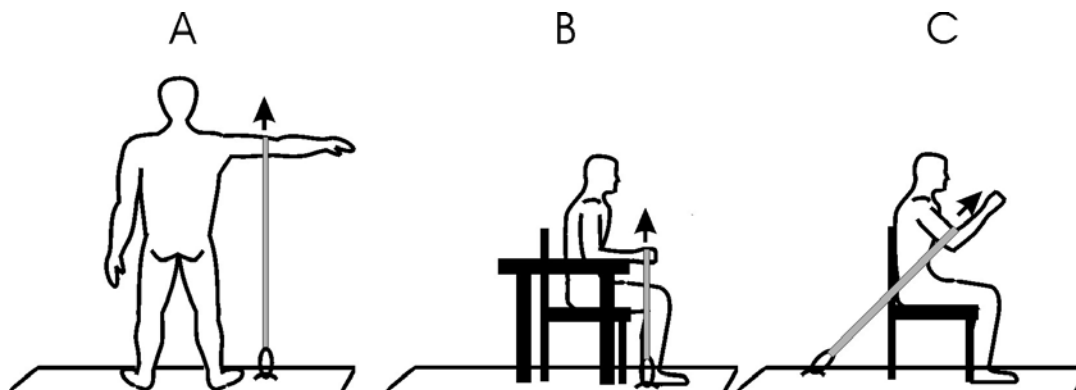
3.3.1 Électromyographie

Quatre paires d'électrodes différentielles pré-amplifiées à la source (gain : 1000) et ayant une bande passante de 20 à 500 Hz (Delsys, Boston, Ma.) ont été utilisées pour recueillir le signal EMG. Le signal était enregistré à une fréquence de 1024 Hz et numérisé par une carte d'acquisition analogue-numérique 12-bit (National Instrument, DAQ-E). Un filtre numérique passe-haut avec une fréquence de coupure à 30 Hz a été utilisé pour exclure le signal électrocardiographie, réduisant aussi l'influence possible du mouvement sur le signal (Hansson et al., 2000). L'amplitude RMS (root mean square) du signal était calculée sur des fenêtres successives de 100 ms.

L'activité EMG des muscles trapèzes droit et gauche, du deltoïde antérieur dominant et de l'extenseur commun des doigts/poignet du bras dominant a été récolté selon des méthodologies bien documentées dans la littérature. Le choix de ces muscles s'appuie sur le fait qu'un bon nombre d'études portant sur le travail à l'ordinateur ont étudié ces muscles (Bystrom et al., 2002; Jensen et al., 1998; Keller et Strasser, 1998; Laursen et Jensen 2000; Visser et al., 2002). Ainsi, pour le trapèze la position des électrodes suivait les recommandations de Jensen et al. (1993). Brièvement, le centre entre les repères osseux correspondant à C7 et à l'acromion était mesuré, et la paire d'électrodes était placée à deux centimètres latéralement à ce centre. Pour le deltoïde et l'extenseur commun des doigts, les électrodes étaient positionnées selon les recommandations de Basmajian et Blusmenstein (1983). Trois contractions de référence d'intensité maximale (durée : 5 s) pour chaque muscle (trapèze, deltoïde antérieur, extenseurs communs des doigts) ont été réalisées pour calibrer le signal EMG. Pour la seconde et la troisième contraction maximale, une rétroaction de la force maximale atteinte lors de la première contraction, augmentée de 10%, était présentée au sujet pour l'inciter à déployer un effort maximal (Baratta et al. 1998).

Pour les trapèzes, les sujets étaient debout avec le bras à 90° d'abduction, une courroie solidement fixée au sol était ajustée en passant au coude afin d'exercer une abduction de l'épaule contre une résistance statique (courroie), selon une procédure décrite par Mathiassen et al. (1995). Un seul des trapèzes était testé à la fois (Figure 2A). Pour l'extenseur commun des doigts/poignet, une procédure similaire à celle décrite par Akesson et al. (1997) a été utilisée. Le sujet était assis, avec le bras fléchi et l'avant-bras en pronation en appui sur une table, avec la main non-supportée, le poignet en position neutre et les doigts en extension. Une courroie, placée sur la surface dorsale de la main et fixée à un dynamomètre offrait une résistance statique au sujet qui exerçait un effort maximal en tentant une extension du poignet (Figure 2B). Pour le deltoïde antérieur dominant, le sujet était assis avec le coude fléchi à 90°, le bras fléchi à 45°. Une courroie passant juste au-dessus du coude placée perpendiculairement au bras et fixée à un dynamomètre offrait une résistance statique contre laquelle le sujet tentait une flexion de l'épaule (Figure 2C).

Figure 1. Procédures pour produire les contractions musculaires de référence permettant de calibrer le signal EMG.



1.1.1 Cinématique

Un système optoélectronique (Optotrak 3020, Northern Digital inc., Waterloo, Ontario) a été utilisé pour déterminer la position et l'orientation de la main, de l'avant-bras, et du bras du côté dominant du sujet. Un corps rigide muni de trois diodes électroluminescentes (DELs) était fixé sur chaque segment, permettant ainsi de déterminer leur position et leur orientation dans l'espace en tout temps (Figure 3). De plus, deux DELs séparés d'environ 0,14 m étaient placés au niveau de la septième vertèbre cervicale (Figure 3).

Des repères osseux (repères imaginaires) ont été numérisés à l'aide d'un crayon numériseur pour construire des référentiels locaux propres à chaque segment. Ces repères virtuels sont mis en relation avec le corps rigide le plus approprié (sur le même segment) de manière à permettre leur reconstruction sur tout le mouvement. Le tableau 1 donne la liste des repères imaginaires numérisés et la figure 3 illustre ces repères.

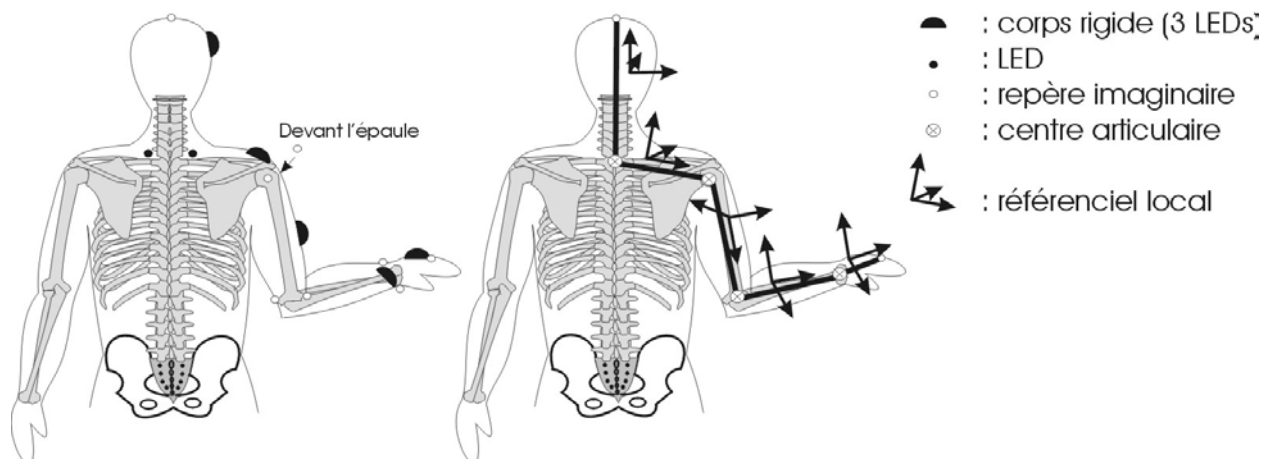
La figure 3 illustre également les référentiels locaux de chaque segment. Plus spécifiquement, l'axe longitudinal de la main était déterminé par un vecteur joignant le point milieu entre les deux apophyses styloïdes et le troisième métacarpe. L'axe transverse de la main était le même que celui de l'avant-bras, et était déterminé par un vecteur joignant l'apophyse styloïde du radius à celle du cubitus. L'axe sagittal de la main était déterminé par le produit vectoriel des axes transverse et longitudinal. L'axe longitudinal de l'avant-bras était déterminé par un vecteur joignant le point milieu entre les épicondyles latéral et médial et le point milieu entre les apophyses styloïdes. L'axe sagittal de l'avant-bras était perpendiculaire aux axes longitudinal et transverse. L'axe transverse du bras était construit à partir des épicondyles interne et externe au coude. L'axe longitudinal du bras passait par le point milieu entre les épicondyles et le point milieu entre deux points à l'avant et l'arrière de l'épaule à 0,03 m sous l'acromion. L'axe sagittal du bras était perpendiculaire aux vecteurs transverse et longitudinal. L'axe transverse du segment nommé ceinture scapulaire passait par le centre articulaire cervico-thoracique (C7/T1, déterminé selon la méthode décrite dans Chaffin et Andersson (1991) et par le point milieu entre deux points à l'avant et l'arrière de l'épaule à 0,03 m sous l'acromion. L'axe sagittal de la ceinture

scapulaire était défini par les deux points à l'avant et à l'arrière de l'épaule. L'axe longitudinal de la ceinture scapulaire était perpendiculaire aux axes sagittal et transverse. L'axe longitudinal de la tête partait du centre artriculaire cervico-thoracique (C7/T1) et allait jusqu'au sommet de la tête. Le bout du nez donnait une première estimation de l'axe sagittal de la tête, et son produit vectoriel avec l'axe longitudinal donnait l'axe transverse de la tête. Un système d'axe fut également construit sur le tronc; son axe transverse était parallèle aux Dels placés de part et d'autre de C7 et passait par le centre artriculaire de C7/T1, son axe longitudinal correspondant à la verticale, et son axe sagittal était le produit vectoriel des axes précédents.

Tableau 1 – Les repères anatomiques virtuels numérisés pour chaque segment

Segment	Repères numérisés
Main	Extrémité distale du 3 ^e métacarpe
Avant-bras	Apophyse styloïde du radius
	Apophyse styloïde du cubitus
Bras	Épicondyle interne
	Épicondyle externe
Ceinture scapulaire (nom donné à un segment entre C7 et l'articulation de l'épaule)	Un point antérieur et 0,03 m sous l'acromion
	Un point postérieur et 0,03 m sous l'acromion
Tête (segment entre C7 et le sommet de la tête)	L'apex de la tête
	Le bout du nez

Figure 1. Disposition des repères externes (à gauche) et définition des centres articulaires et des référentiels locaux utilisés pour définir les angles articulaires tridimensionnels (à droite).



Les angles articulaires ont été calculés à partir des référentiels locaux décrits ci-haut, selon l'approche décrite par Grood et Suntay (1983). Ainsi, la flexion/extension du poignet était définie par l'angle entre les axes longitudinaux de la main et de l'avant-bras autour de l'axe transverse de l'avant-bras, l'extension étant positive. La déviation radiale/cubitale était définie par l'angle entre l'axe longitudinal de la main et l'axe transverse de l'avant-bras autour d'un axe perpendiculaire aux axes longitudinal de la main et transverse de l'avant-bras, la déviation cubitale étant positive. La flexion/extension de l'épaule était définie par l'angle entre les axes longitudinaux de la ceinture scapulaire et du bras autour de l'axe transverse de ceinture scapulaire, la flexion étant positive. La rotation interne/externe du bras était définie par l'angle entre les vecteurs transverses de la ceinture scapulaire et du bras autour de l'axe longitudinal du bras (un angle de 0° correspond à la position neutre, la rotation externe étant positive). L'abduction/adduction de l'épaule correspondait à l'angle entre l'axe longitudinal du bras et l'axe transverse de la ceinture scapulaire autour d'un axe perpendiculaire aux axes longitudinal du bras et transverse de la ceinture scapulaire. L'angle de flexion/extension de la tête était définie par l'angle entre l'axe longitudinal de la tête et un l'axe longitudinal du tronc (soit la verticale), autour de l'axe transverse du tronc. La rotation de la tête correspondait à l'angle entre l'axe transverse de la tête et l'axe transverse du tronc autour de l'axe longitudinal de la tête, et l'inclinaison latérale de la tête était l'angle entre l'axe longitudinal de la tête et l'axe transverse du tronc autour d'un axe perpendiculaire aux axes longitudinal de la tête et transverse du tronc.

Finalement, pour être en mesure de déterminer à quel moment la main était sur la souris ou sur le clavier, des corps rigides munis de DELs avaient également été placés sur le clavier et la souris. Les quatre coins du clavier ont été numérisés à l'aide du crayon numériseur, de même que trois points sur la souris, aux extrémités de celles-ci. Il était donc possible de comparer la position de la main (droite ou gauche) par rapport au clavier ou à la souris.

3.3.3 Perception

Afin d'évaluer l'effet perçu du mobilier de bureau, trois questions étaient posées à chaque sujet après l'utilisation de chaque bureau, avec évaluation sur des échelles de 1 à 10. Deux questions portaient sur les tensions perçues (1= aucune tension, 10 = tension extrême), l'une dans la région cou/épaules, l'autre dans la région mains/poignets/avant-bras. La troisième question portait sur une appréciation de l'inconfort avec chaque bureau (1= très confortable, 10 = extrêmement inconfortable).

3.4 Analyse des données

Afin d'analyser et synthétiser de façon à apprécier l'effet de chaque condition expérimentale (trois bureaux) sur les différents muscles, nous avons procédé à trois types d'analyse. Les mêmes analyses ont été effectuées sur le signal EMG normalisé en fonction d'une contraction maximale de référence (MVE) indépendamment pour le travail à la souris et le travail au clavier d'ordinateur. Seules les portions de tâches réalisées avec la souris et le clavier ont pu être analysées parce que la portion de tâche impliquant l'écriture ne pouvait être dissociée des déplacements d'une interface à une autre.

Premièrement, la fonction de la distribution des probabilités des amplitudes du signal (Amplitude Probability Distribution Function (APDF), Jonsson 1978) a été utilisée pour calculer les niveaux d'activité EMG correspondant au 10^e (niveau statique), 50^e (niveau médian) et 90^e (niveau maximal) percentile (%ile). En d'autres mots, les valeurs d'amplitude correspondant à ces percentiles représentent des niveaux d'activité qui sont dépassés pour 90%, 50% et 10% du temps, respectivement.

Deuxièmement, une analyse de variation de l'exposition (Exposure Variation Analysis (EVA): Mathiassen et Winkel, 1991) a aussi été réalisée (Figure 4). Cette analyse permet de caractériser le signal en une distribution de classes d'intensité prédéterminées (amplitude du signal, axe des X) en fonction d'une distribution des durées d'activation prédéterminées (propriétés temporelles du signal, axe des Y). L'axe des Z démontre le temps cumulé dans les intervalles combinés d'intensité et de durée de contraction exprimé en pourcentage du temps total de mesure. Les classes sur les axes X et Y retenues étaient les mêmes que celles décrites par Mathiassen et Winkel (1991). Bien que la méthode EVA semble contenir une information assez complète de l'exposition, les données ne sont pas réduites en un seul indice (n = 36 pour les analyses EMG) ce qui rend difficile leur utilisation pour comparer des traitements ou pour effectuer une évaluation d'un changement à l'aide de mesures répétées dans le temps. À cette fin, nous avons utilisé une approche utilisée dans la littérature (Jensen et al., 1999) qui consiste à faire la sommation des classes d'intensité pour chaque classe de durée et la sommation des classes de durée pour chaque classe d'intensité, ce qui réduit le nombre de comparaisons à 12 dans le cas de l'EMG.

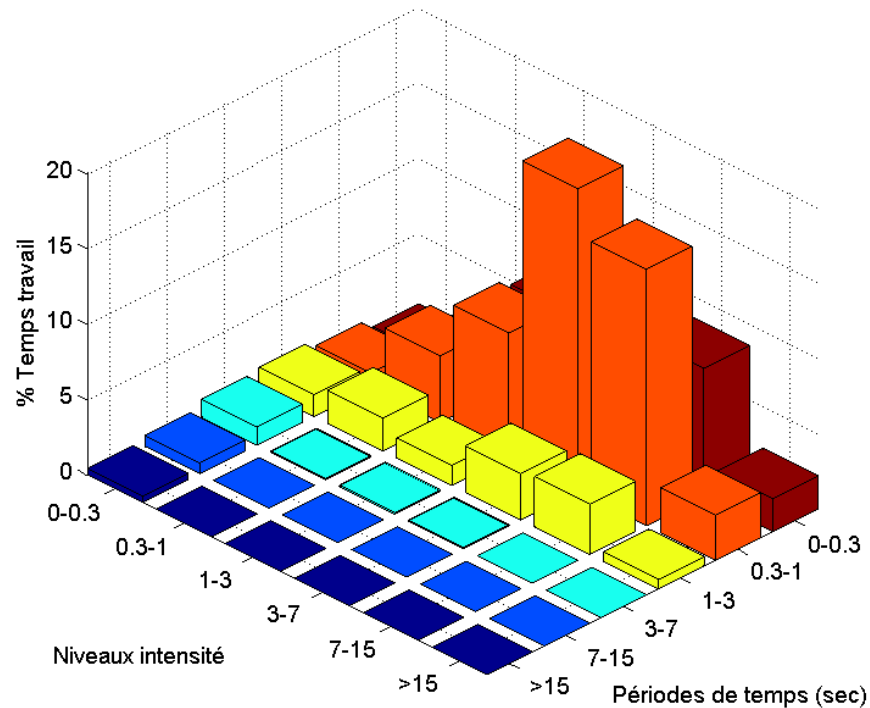
Troisièmement, des analyses du nombre de périodes silencieuses (repos musculaire) dans le patron d'activité (EMG "gaps analysis": Veiersted et al., 1990, Hansson et al., 2000), et de la portion de temps de repos musculaire (Hansson et al., 2000) ont été réalisées pour les trapèzes droit et gauche uniquement. Une période silencieuse dans le patron d'activité EMG est défini comme étant une période d'une durée égale ou supérieur à 0,2 s avec un niveau d'activation inférieur à 0,3% de la MVE. Le dénombrement de ces périodes constitue le premier indice, et la sommation des durées des périodes silencieuses constitue le second indice.

Pour l'analyse posturale, l'analyse par EVA similaire à celle décrite ci-haut, en plus des valeurs de 10^e, 50^e et 90^e %iles d'angles (APDF), ont été utilisées pour déterminer l'impact des trois conditions sur les six angles articulaires calculés. Ce type d'analyse n'a pas encore été utilisé pour caractériser la cinématique, et les classes d'intensité et de durée de maintien des postures ont du être définies. Les classes d'intensité retenues varient d'une articulation à l'autre puisque les amplitudes mesurées sont clairement différentes, mais les classes de durée de maintien des postures sont les mêmes. Tout comme pour l'EMG, chacune de ces analyses était effectuée indépendamment pour le travail sur le clavier et à la souris d'ordinateur.

Des analyses de variances pour mesures répétées ont été effectuées pour déterminer l'effet du mobilier de bureau (effet Bureau), et l'effet de l'interface de saisie (effet Interface) ainsi que leur interaction (Bureau × Interface). Pour la cinématique, les analyses ont été effectuées sur les valeurs APDF d'angle seulement. Des comparaisons multiples post-hoc avec correction de Bonferroni ont été effectuées pour identifier les différences significatives entre les différents bureaux et les interactions doubles. Un niveau de signification $p \leq 0,05$ a été utilisé. Enfin, pour

les questions de perception, des analyses de variance de rangs de Friedman ont été utilisées pour déterminer si les perceptions différaient d'un bureau à l'autre (effet Bureau).

Figure 1. Analyse de variation de l'exposition (EVA). Exemple typique des résultats offerts avec ce type d'analyse. On remarquera que plus la distribution se retrouve vers les classes de basses intensités et de basses durées, moins l'exposition physique est grande.



4. RÉSULTATS

En moyenne, la tâche exécutée a nécessité l'utilisation du clavier pour 68% du temps, la souris pour 18% du temps, et 14% du temps était employé à effectuer de l'écriture et se déplacer d'une interface à l'autre (Tableau 2). Le temps moyen passé pour chaque interface était similaire pour tous les bureaux, à l'exception du bureau C qui démontrait un peu plus de temps pour le travail au clavier (6% de plus), et un peu moins pour l'écriture et les autres déplacements (6% de moins). Bien que les moyennes et écart-types ont été calculées pour chaque interface de saisie, seulement les moyennes globales (combinant clavier et souris) pour chaque type de bureau seront présentées dans les tableaux de résultats. Cependant, les interactions Bureaux × Interface les plus révélatrices seront présentées sous forme graphique.

Tableau 2. Pourcentage de temps moyen (écart-type) passé avec chaque interface pour réaliser la tâche selon le bureau et en moyenne à travers tous les bureaux.

	Clavier	Souris	Autre
Bureau A	65.4 (10.1)	19.4 (7.2)	15.1 (10.8)
Bureau B	66.9 (15.2)	17.8 (8.5)	15.3 (10.4)
Bureau C	72.8 (12.2)	17.2 (9.1)	9.9 (9.0)
Moyenne	68.4 (12.9)	18.2 (8.2)	13.5 (10.3)

4.1 Effet sur la sollicitation musculaire

4.1.1 Analyse de l'amplitude du signal (APDF)

L'extenseur commun des doigts s'est révélé être le seul muscle dont l'amplitude du signal EMG a été affectée par le type de bureau (effet bureau, Tableau 3). Le bureau A a entraîné de plus grandes amplitudes "statique" (10^e %ile) et "médiane" (50^e %ile) d'EMG de l'extenseur de l'ordre de 1%, alors que l'amplitude "maximale" (90^e %ile) était plus faible pour le bureau B, de l'ordre de 2%. Par ailleurs, le deltoïde antérieur était affecté différemment selon la combinaison bureau - interface utilisée (interaction significative, Tableau 3). En effet, comme le révèle la Figure 5, le bureau C entraînait de plus faibles amplitudes d'activation "médiane" (50^e %ile) et "maximale" (90^e %ile) du deltoïde lors du travail au clavier, la différence la plus remarquable étant une amplitude d'activation "maximale" de 4% inférieure à celle du bureau A. Toutefois, lors du travail à la souris, le bureau A a provoqué des amplitudes "médiane" et "maximale" du deltoïde inférieures à celles du bureau C (Figure 5), d'environ 2%. Enfin, l'amplitude d'activation relative (MVE) de l'extenseur commun des doigts étaient clairement la plus importante (Tableau 3, 10^e %ile: ~ 8% MVE; 90^e %ile: ~ 24% MVE), suivie de celles du deltoïde antérieur (10^e %ile: ~ 2%

MVE; 90^e %ile: ~ 9% MVE), et de celles du trapèze dominant et du trapèze non-dominant qui avaient des niveaux semblables (10^e %ile: ~ 1,5% MVE; 90^e %ile: ~ 7% MVE).

Tableau 3. Valeurs moyennes (écart-type) pour les APDF des différents muscles (exprimées en pourcentage de la MVE).

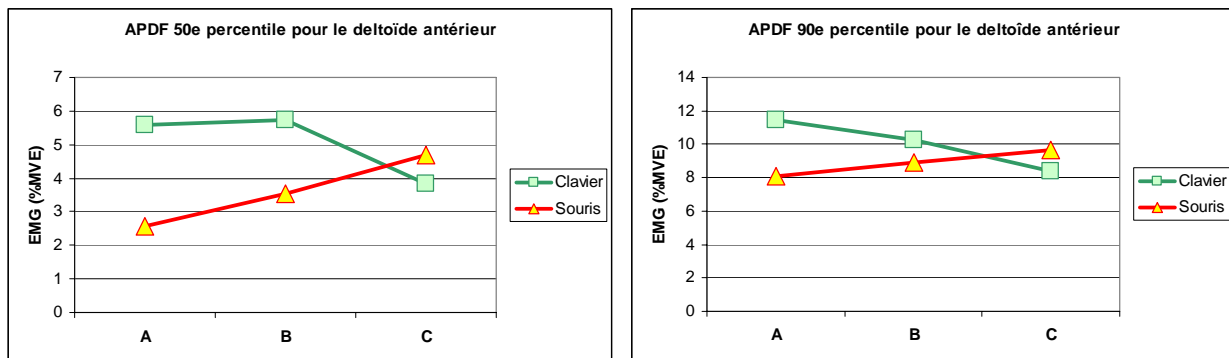
		Bureau A	Bureau B	Bureau C	Effet Bureau	A vs B	A vs C	B vs C	Effet Interface	Effet B x I
Trapèze non-dominant	10e	1 (1)	2 (1)	2 (1)	0.290				0.001	0.787
	50e	3 (3)	4 (2)	4 (2)	0.700				0.001	0.854
	90e	7 (4)	7 (3)	7 (3)	0.596				0.002	0.757
Trapèze dominant	10e	2 (2)	2 (2)	2 (1)	0.842				0.011	0.228
	50e	4 (3)	4 (3)	3 (2)	0.508				0.005	0.834
	90e	8 (4)	7 (4)	6 (3)	0.123				0.110	0.942
Deltoïde antérieur	10e	2 (3)	2 (3)	2 (3)	0.156				0.048	0.005
	50e	4 (5)	5 (5)	4 (4)	0.208				0.000	0.000
	90e	10 (8)	10 (7)	9 (7)	0.333				0.006	0.000
Extenseur des doigts	10e	9 (3)	8 (2)	8 (2)	0.001	*	*		0.157	0.436
	50e	15 (5)	14 (4)	14 (4)	0.000	*	*		0.969	0.292
	90e	24 (8)	22 (6)	24 (9)	0.009	*		*	0.113	0.277

[¶]De manière à résumer l’information dans un seul tableau, seulement les moyennes globales (combinant clavier et souris) pour chaque type de bureau sont présentées ici. Par contre, les résultats statistiques reflètent la totalité des résultats.

4.1.2 Analyse de la variation de l'exposition (EVA)

Étant donnée la nature de l’analyse EVA, il est entendu que la diminution du temps dans une classe d’intensité ou de durée donnée implique nécessairement une augmentation de temps dans une autre classe d’intensité ou de durée afin de toujours obtenir 100% du temps de travail (somme du pourcentage de travail de toutes les classes). Dans la présentation des résultats et dans la discussion, nous utiliserons le terme « transfert » pour décrire ce phénomène. Il arrive que le transfert de temps se produise d’une classe précise vers plusieurs autres classes. Il est alors évident que des différences significatives ne seront obtenues que pour les classes où les changements seront les plus importants.

Figure 5. APDF du deltoïde antérieur pour le 50e et le 90e percentile lors de l'utilisation du clavier et de la souris selon chaque bureau.



Trapèze non-dominant. L'analyse par EVA révèle que l'utilisation du bureau A était bénéfique pour le trapèze non-dominant. Ainsi, avec le bureau A, significativement moins de temps était passé dans la classe d'intensité 3-7% MVE (Tableau 4), et légèrement plus de temps (transfert) dans les classes d'intensité minimale et maximale (différence non significative). Le pourcentage de temps passé avec une durée de contraction très courte (0,0 - 0,3 s) était également plus long avec le bureau A comparativement au bureau C (Tableau 4), alors que moins de temps était passé avec des durées de contraction de 1 à 3 s.

Trapèze dominant. Le type de bureau n'a presque pas eu d'effet sur les variables d'EVA du trapèze dominant, si ce n'est que légèrement (1%) plus de temps était passé dans la classe d'intensité maximale (> 15% MVE) avec le bureau A par rapport au bureau C (Tableau 5).

Deltoïde antérieur. Le bureau A a contribué à diminuer la sollicitation musculaire du deltoïde en diminuant le pourcentage de temps passé dans la classe d'intensité de 3-7% MVE (différence significative avec le bureau B) et en augmentant le pourcentage de temps passé dans la classe d'intensité de 0.3 - 1 % MVE (différence significative avec le bureau C) (Tableau 6). Cependant, la durée des contractions semblait plus longue pour le bureau A, puisque moins de temps était passé dans la classe de durée de 0,0-0,3 s. (différences avec bureaux B et C) et que plus de temps était passé dans la classe de durée de 3-7 s. (différence avec bureau C). La Figure 6A illustre que l'augmentation du temps passé dans la classe d'intensité de 0.3-1% MVE avec le bureau A se produisait essentiellement lors du travail à la souris. De la même façon, la diminution du temps passé dans la classe de durée de 0,0-0,3 s et l'augmentation du temps dans la classe de durée 3-7 s. avec le bureau A s'effectuait surtout lors du travail à la souris (Figure 6C et D respectivement).

Extenseur des doigts. Pour l'extenseur des doigts, le bureau A a eu pour effet d'augmenter la sollicitation musculaire par rapport au bureau B puisque moins de temps était passé dans la classe d'intensité de 7-15%, et que plus de temps était passé dans la classe d'intensité maximale (>15% MVE, Tableau 7). Le bureau A a également entraîné des contractions de plus longues durées, puisque moins de temps était passé dans la classe de durée 0,3-1 s. et plus de temps était passé dans la classe de durée 3-7 s. (Tableau 7).

Tableau 4. Valeurs moyennes (écart-types) pour les différentes classes d'intensité et de durée de l'EVA du trapèze non-dominant (exprimées en pourcentage du temps total d'exposition).

	Bureau A	Bureau B	Bureau C	Effet Bureau	A vs B	A vs C	B vs C	Effet Interface	Effet B x I
Classes d'intensité (somme des classes de durée)									
0-0.3 %	6.0 (15.0)	1.5 (5.0)	0.8 (2.5)	0.079				0.047	0.043
0.3-1%	16.0 (20.6)	13.7 (21.2)	12.4 (15.7)	0.465				0.004	0.223
1-3 %	30.7 (19.4)	27.4 (20.9)	30.7 (24.0)	0.765				0.162	0.314
3-7 %	31.2 (18.4)	42.0 (23.4)	42.8 (23.7)	0.017	*	*		0.013	0.094
7-15 %	13.5 (16.6)	14.3 (20.5)	12.5 (14.8)	0.876				0.016	0.951
> 15 %	2.6 (5.0)	1.1 (2.0)	0.8 (1.7)	0.075				0.080	0.092
Classes de durée (somme des classes d'intensité)									
0-0.3 s	16.8 (7.4)	14.5 (6.6)	13.7 (4.9)	0.006		*		0.002	0.518
0.3-1 s	43.1 (12.3)	37.0 (12.8)	36.6 (11.9)	0.031				0.000	0.730
1-3 s	22.3 (7.3)	26.5 (8.6)	27.0 (7.5)	0.007	*	*		0.223	0.400
3-7 s	9.1 (6.6)	10.6 (7.4)	10.7 (7.8)	0.471				0.107	0.160
7-15 s	4.2 (6.2)	5.2 (8.6)	5.5 (6.4)	0.576				0.004	0.635
> 15 s	4.4 (11.2)	6.1 (12.9)	6.4 (10.0)	0.577				0.003	0.834

[¶] De manière à résumer l'information dans un seul tableau, seulement les moyennes globales (combinant clavier et souris) pour chaque type de bureau sont présentées ici. Par contre, les résultats statistiques reflètent la totalité des résultats.

Tableau 5. Valeurs moyennes (écart-types) pour les différentes classes d'intensité et de durée de l'EVA du trapèze dominant (exprimées en pourcentage du temps total d'exposition).

	Bureau A	Bureau B	Bureau C	Effet Bureau	A vs B	A vs C	B vs C	Effet Interface	Effet B x I
Classes d'intensité (somme des classes de durée)									
0-0.3 %	1.0 (3.3)	1.3 (4.2)	1.2 (5.3)	0.937				0.116	0.775
0.3-1%	16.1 (24.3)	16.7 (24.8)	13.7 (19.6)	0.710				0.003	0.366
1-3 %	27.5 (18.2)	26.9 (22.0)	34.3 (22.5)	0.214				0.630	0.945
3-7 %	36.1 (18.3)	35.8 (21.7)	37.5 (21.2)	0.882				0.104	0.538
7-15 %	17.4 (19.9)	18.4 (22.9)	12.7 (19.6)	0.351				0.039	0.783
> 15 %	2.0 (3.4)	0.9 (1.9)	0.6 (1.2)	0.033		*		0.122	0.723
Classes de durée (somme des classes d'intensité)									
0-0.3 s	16.5 (6.7)	16.6 (6.2)	16.0 (5.9)	0.817				0.000	0.277
0.3-1 s	42.6 (13.9)	42.4 (13.0)	41.3 (12.9)	0.892				0.000	0.187
1-3 s	23.1 (8.0)	25.4 (9.6)	25.2 (6.8)	0.407				0.271	0.130
3-7 s	8.7 (7.3)	7.3 (5.7)	9.6 (8.0)	0.370				0.054	0.132
7-15 s	4.3 (7.6)	5.1 (8.5)	4.7 (7.2)	0.877				0.000	0.212
> 15 s	4.7 (8.7)	3.2 (7.5)	3.2 (7.4)	0.605				0.012	0.272

[¶] De manière à résumer l'information dans un seul tableau, seulement les moyennes globales (combinant clavier et souris) pour chaque type de bureau sont présentées ici. Par contre, les résultats statistiques reflètent la totalité des résultats.

Tableau 6. Valeurs moyennes (écart-types) pour les différentes classes d'intensité et de durée de l'EVA du deltoïde antérieur (exprimées en pourcentage du temps total d'exposition).

	Bureau A	Bureau B	Bureau C	Effet Bureau	A vs B	A vs C	B vs C	Effet Interface	Effet B x I
Classes d'intensité (somme des classes de durée)									
0-0.3 %	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	/				/	/
0.3-1%	23.4 (31.09)	18.4 (24.53)	16.4 (21.97)	0.006		*		0.002	0.004
1-3 %	30.2 (24.08)	28.6 (24.09)	35.6 (24.93)	0.018			*	0.257	0.002
3-7 %	22.3 (16.70)	28.4 (19.58)	25.0 (15.78)	0.033	*			0.031	0.113
7-15 %	17.2 (16.72)	17.1 (17.34)	16.1 (15.65)	0.863				0.031	0.001
> 15 %	6.9 (17.60)	7.5 (20.13)	6.9 (16.72)	0.822				0.281	0.011
Classes de durée (somme des classes d'intensité)									
0-0.3 s	16.1 (8.46)	18.9 (8.44)	19.8 (9.16)	0.000	*	*		0.074	0.050
0.3-1 s	40.1 (18.00)	43.6 (16.81)	44.5 (15.37)	0.157				0.009	0.047
1-3 s	20.3 (7.87)	20.7 (7.94)	22.0 (10.04)	0.442				0.440	0.190
3-7 s	11.5 (10.24)	8.9 (10.39)	8.1 (9.31)	0.037		*		0.003	0.041
7-15 s	6.2 (9.03)	5.2 (8.50)	3.2 (6.27)	0.124				0.511	0.390
> 15 s	5.8 (12.58)	2.8 (6.58)	2.4 (9.87)	0.162				0.583	0.178

¶ De manière à résumer l'information dans un seul tableau, seulement les moyennes globales (combinant clavier et souris) pour chaque type de bureau sont présentées ici. Par contre, les résultats statistiques reflètent la totalité des résultats.

Figure 6. Pourcentage de temps passé dans les classes d'intensité (A) 0,3 - 1,0% MVE et (B) 1,0 - 3,0% MVE et dans les classes de durée (C) 0,0-0,3 s. et (D) 3-7 s pour le deltoïde antérieur pour chaque interface et selon chaque bureau.

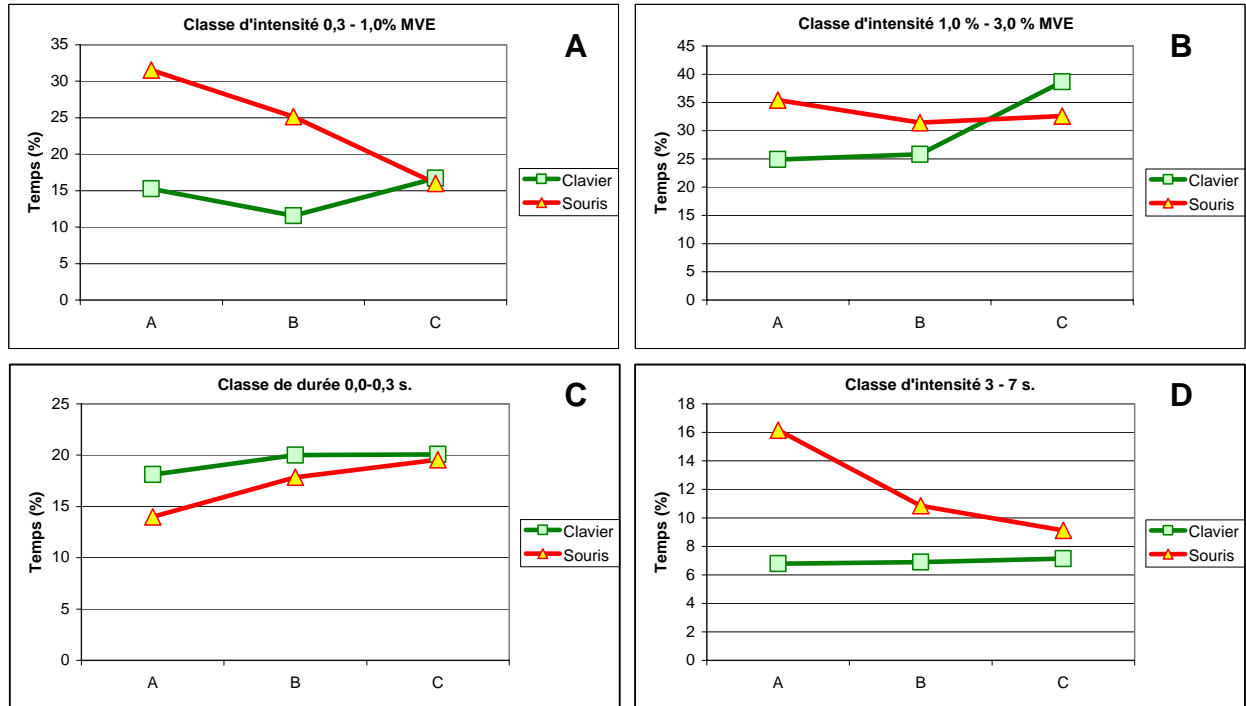


Tableau 7. Valeurs moyennes (écart-types) pour les différentes classes d'intensité et de durée de l'EVA de l'extenseur commun des doigts (exprimées en pourcentage du temps total d'exposition).

	Bureau A	Bureau B	Bureau C	Effet Bureau	A vs B	A vs C	B vs C	Effet Interface	Effet B x I
Classes d'intensité (somme des classes de durée)									
0-0.3 %	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	/				/	/
0.3-1%	0.0 (0.2)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.424				0.279	0.424
1-3 %	0.8 (3.3)	0.9 (4.1)	1.4 (4.7)	0.119				0.199	0.811
3-7 %	7.0 (10.7)	9.1 (11.7)	10.2 (14.0)	0.016		*		0.776	0.576
7-15 %	45.0 (21.1)	50.3 (19.2)	45.7 (20.2)	0.008	*		*	0.155	0.586
> 15 %	47.1 (26.8)	39.7 (24.4)	42.8 (25.6)	0.001	*	*		0.341	0.458
Classes de durée (somme des classes d'intensité)									
0-0.3 s	12.7 (4.4)	13.7 (4.0)	13.3 (3.7)	0.077				0.081	0.606
0.3-1 s	40.1 (14.4)	45.5 (13.1)	42.6 (11.7)	0.008	*			0.002	0.785
1-3 s	30.2 (7.7)	30.6 (7.5)	30.0 (6.4)	0.917				0.289	0.092
3-7 s	12.1 (10.4)	7.2 (7.5)	9.3 (9.2)	0.002	*			0.010	0.324
7-15 s	3.2 (6.3)	2.4 (5.8)	3.1 (4.3)	0.480				0.071	0.488
> 15 s	1.6 (6.5)	0.7 (3.2)	1.7 (6.1)	0.538				0.109	0.521

[¶] De manière à résumer l'information dans un seul tableau, seulement les moyennes globales (combinant clavier et souris) pour chaque type de bureau sont présentées ici. Par contre, les résultats statistiques reflètent la totalité des résultats.

4.1.3 Analyse des repos musculaires

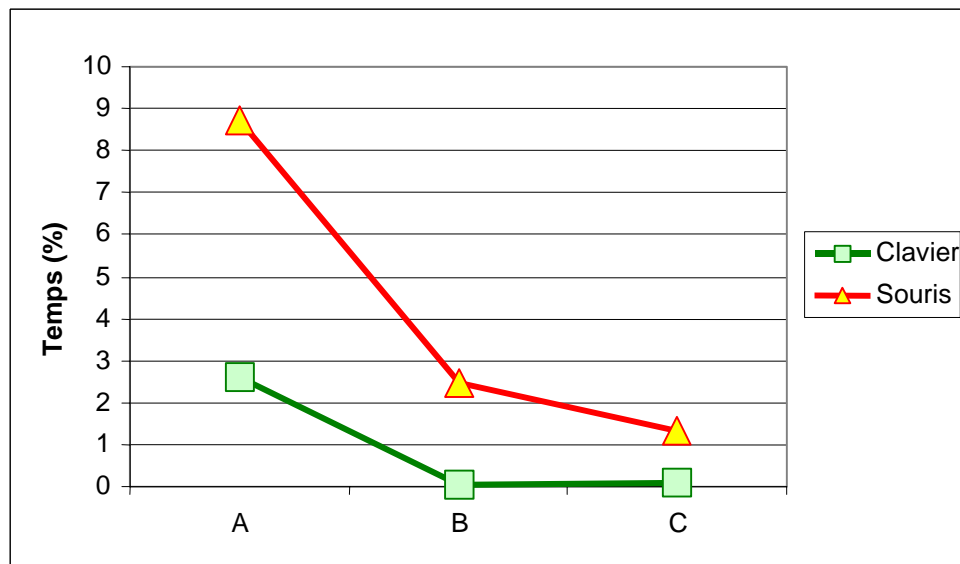
Le type de bureau n'a pas entraîné d'effet significatif sur le nombre de repos ou le temps relatif au repos pour les trapèzes (Tableau 8), à l'exception que le temps relatif de repos était plus grand pour le bureau A lors du travail à la souris pour le trapèze non-dominant seulement (Figure 7). Il est important de remarquer qu'aucun repos musculaire ne fut détecté pour le deltoïde antérieur et pour l'extenseur commun des doigts.

Tableau 8. Valeurs moyennes (écart-types) pour le nombre de repos et le temps relatif de repos pour l'activité EMG des trapèzes dominant et non-dominant normalisés par rapport à la contraction maximale de référence.

	Bureau A	Bureau B	Bureau C	Effet Bureau	A vs B	A vs C	B vs C	Effet Interface	Effet B x I
Nombre de repos/min.									
Trapèze non-dominant	2,88 (7,00)	0,94 (3,50)	0,51 (1,82)	0,097				0,065	0,277
Trapèze dominant	0,90 (2,80)	1,03 (3,50)	0,84 (3,50)	0,930				0,099	0,772
Temps au repos (%)									
Trapèze non-dominant	5,65 (14,60)	1,26 (4,49)	0,71 (2,34)	0,076				0,050	0,039
Trapèze dominant	0,77 (2,59)	0,98 (3,53)	1,03 (4,94)	0,907				0,125	0,865

¶ De manière à résumer l'information dans un seul tableau, seulement les moyennes globales (combinant clavier et souris) pour chaque type de bureau sont présentées ici. Par contre, les résultats statistiques reflètent la totalité des résultats.

Figure 7. Le temps de repos relatif cumulé dans l'activité EMG du trapèze non-dominant pour chaque interface selon chaque bureau.



4.2 Effet sur la posture

À la fois le type de bureau (effet bureau) et l'interface de saisie utilisée (effet interface) ont affecté la posture du membre supérieur, et ce différemment selon la combinaison de bureau et d'interface (interaction Bureau x Interface, Tableau 9).

Poignet. L'extension du poignet était affectée par le bureau utilisé, le bureau C entraînant l'adoption d'une plus grande extension du poignet (de 4°) comparativement au bureau A (Tableau 9, 50° et 90° %ile). L'interaction significative entre le bureau et l'interface utilisée révèle que c'est le travail à la souris avec le bureau C qui entraînait une plus grande extension du poignet que les deux autres bureaux (Figure 8A). L'analyse par EVA a démontré que le pourcentage de temps passé avec une extension entre 10° et 20° est de 46% pour le bureau A, par rapport à 29% avec le bureau C. De plus, le pourcentage de temps passé avec une extension entre 30° et 40° était de 6% pour le bureau A, comparativement à 18% pour le bureau C (données non présentées). La déviation du poignet n'a pas été affectée par le bureau utilisé mais une interaction Bureaux × Interface fût observée (Figure 8B).

Épaule. De façon générale, la flexion de l'épaule était plus grande (de 5 à 10°) lors de l'utilisation du bureau A (Tableau 9, 10° et 50° %iles), même si la flexion maximale atteinte avec le bureau C était similaire (Tableau 3, 90° %ile). L'interaction significative entre le bureau et l'interface précise que la flexion de l'épaule avec le bureau A était plus grande (d'environ 9°) qu'avec les autres bureaux uniquement pour le travail au clavier (Figure 8C). L'analyse par EVA démontre que, pour le travail au clavier, le pourcentage de temps passé avec une flexion de l'épaule supérieure à 20° était de 83% avec le bureau A, comparativement à 52% pour les bureaux B et C, soit 30% plus de temps avec un angle au-delà de 20° avec l'utilisation du bureau A (données non présentées). Globalement, l'abduction de l'épaule était légèrement (3-4°) et significativement plus faible pour le bureau B, comparativement aux bureaux A et C (Tableau 9, 10° %ile). L'interaction significative précise toutefois que lors du travail au clavier, l'abduction de l'épaule était plus grande pour le bureau A, comparativement aux deux autres bureaux (Figure 8D). L'analyse par EVA révèle que le pourcentage de temps passé avec une abduction du bras supérieure à 40° avec le bureau A était de 59%, comparativement à 37% avec le bureau B. Enfin, des angles de rotation interne du bras légèrement plus grands (valeur négative plus petite de 2-3°) étaient observés avec l'utilisation du bureau A (Tableau 9, 90° %ile).

Cou. Finalement, la flexion du cou n'a pas été affectée par le bureau utilisé, à l'exception du fait que le bureau C a entraîné à quelques reprises une flexion légèrement (2°) plus petite (Tableau 9, 90° %ile).

4.3 Effet sur la perception

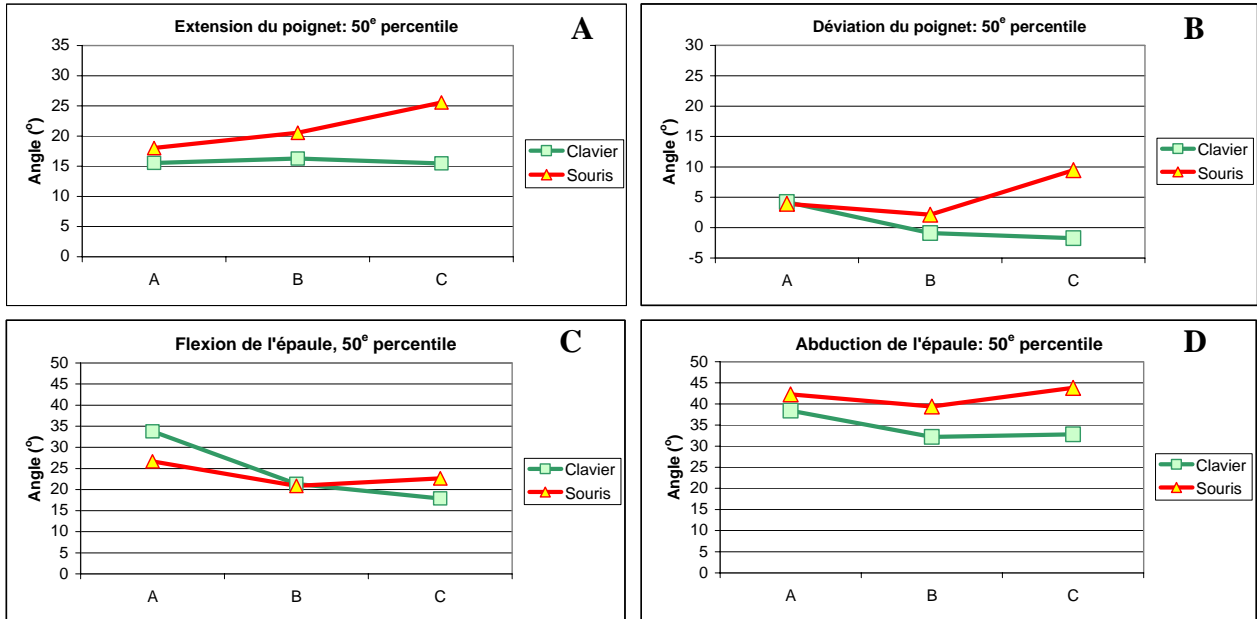
La perception des tensions dans les régions cou/épaules (en moyenne bureau A: 2,6; bureau B: 2,9; bureau C: 3,0) et mains/poignets/avant-bras (en moyenne bureau A: 2,4; B: 2,5; C: 2,7) ne différait pas entre les bureaux. Toutefois, les bureaux A (en moyenne: 2,4) et B (en moyenne: 2,9) étaient perçus significativement comme étant plus confortables que le bureau C (en moyenne: 4,3).

Tableau 9. Valeurs moyennes (écart-type) pour les angles (°) au 10e, 50e et 90e %ile (APDF) correspondant aux différentes articulations et types de bureau.

		Bureau A	Bureau B	Bureau C	Effet bureau	A vs B	A vs C	B vs C	Effet Interface	Effet B x I
Extension du poignet	10e	12 (9)	11 (11)	14 (11)	0.113				0.002	0.018
	50e	17 (9)	18 (10)	21 (11)	0.007		*		0.003	0.000
	90e	22 (8)	24 (10)	26 (10)	0.002		*		0.014	0.000
Déviation du poignet	10e	-3 (19)	-4 (9)	-4 (10)	0.894				0.718	0.026
	50e	4 (23)	1 (8)	4 (18)	0.732				0.024	0.053
	90e	11 (26)	10 (22)	9 (17)	0.941				0.004	0.068
Flexion de l'épaule	10e	25 (14)	17 (12)	16 (14)	0.000	*	*		0.339	0.002
	50e	30 (13)	21 (12)	20 (14)	0.000	*	*		0.661	0.001
	90e	35 (13)	25 (12)	34 (19)	0.001	*		*	0.009	0.013
Abduction de l'épaule	10e	37 (12)	33 (10)	36 (11)	0.002	*		*	0.000	0.002
	50e	40 (11)	36 (11)	38 (11)	0.001	*			0.000	0.008
	90e	44 (11)	40 (11)	47 (13)	0.016			*	0.003	0.017
Rotation de l'épaule	10e	-30 (18)	-27 (17)	-28 (20)	0.195				0.000	0.001
	50e	-25 (17)	-23 (17)	-20 (18)	0.000			*	0.000	0.107
	90e	-20 (18)	-18 (18)	-16 (18)	0.001	*	*		0.000	0.269
Extension/flexion du cou	10e	-14 (10)	-16 (12)	-15 (11)	0.194				0.000	0.024
	50e	-9 (11)	-10 (12)	-9 (11)	0.258				0.000	0.132
	90e	-4 (10)	-4 (11)	-2 (9)	0.016			*	0.000	0.239

[¶] De manière à résumer l'information dans un seul tableau, seulement les moyennes globales (combinant clavier et souris) pour chaque type de bureau sont présentées ici. Par contre, les résultats statistiques reflètent la totalité des résultats.

Figure 8. Les valeurs d'angles d'extension (A) et de déviation B) du poignet, et les valeurs d'angles de flexion (C) et d'abduction (D) de l'épaule pour le 50e percentile lors de l'utilisation de chaque interface de saisie en fonction du bureau.



5. DISCUSSION

5.1 Considérations méthodologiques

Il est difficile d'établir des comparaisons avec les résultats rapportés dans la littérature au niveau de l'EMG à cause des différences dans les tâches (saisie de donnée, traitement de texte, dessin assisté, pointer-cliquer), dans les conditions expérimentales (souris uniquement, clavier uniquement, ou travail alterné souris-clavier) de même que dans les différences méthodologiques au niveau de la normalisation du signal EMG. De grandes différences dans les valeurs rapportées sont observables pour le travail à l'ordinateur. Par exemple, pour le trapèze dominant, Keller et Strasser (1998) rapportent des valeurs de 25% MVE comparativement à des valeurs de 7% MVE dans la présente étude et celles de Bystrom et al. (2002) et de Jensen et al. (1998). Pour le deltoïde antérieur, les niveaux d'activation de la présente étude sont grossièrement similaires à ceux rapportés par Keller et Strasser (1998), soit de 5 à 10% MVE. Enfin, le niveau d'activation de l'extenseur commun des doigts évalué dans la présente étude est plus élevé que ce qui est rapporté dans certaines études (Bystrom et al., 2002; Jensen et al., 1998; Keller et Strasser, 1998; Laursen et Jensen 2000), mais similaire à celui rapporté dans une récente étude sur le travail à la souris (Visser et al., 2002)

La comparaison des résultats de la présente étude avec ceux de la littérature au niveau de la posture est également difficile, car très peu d'études ont rapporté des angles calculés de façon tridimensionnelle. Cependant, il est intéressant de remarquer la très grande similitude des angles de flexion de la tête, d'extension et de déviation du poignet de la présente étude à ceux de (Bystrom et al. 2002), et ce même s'il s'agissait d'une tâche de dessin assisté par ordinateur. De plus, dans cette dernière étude, un angle d'élévation de l'épaule était rapporté. Cet angle obtenu par inclinomètre représentait l'élévation du bras par rapport à la gravité, et ne permettait pas de dissocier la flexion de l'abduction du bras. Cependant, si l'on considère la résultante des angles de flexion et d'abduction de la présente étude, elle est très similaire à ce qui est rapporté par Bystrom et al. (2002). Dans les deux études, le fait que les avant-bras étaient appuyés explique probablement en partie les plus grandes valeurs rapportées comparativement à d'autres études (Jensen et al. 1998; Karlqvist et al. 1994; Karlqvist et al. 1998). Toutefois, les différences importantes dans les méthodes utilisées pour déterminer les angles de l'épaule peuvent également contribuer à expliquer une partie de la divergence des résultats. L'étude de Jensen et al. (1998) et Karlqvist et al. (1994) s'appuyaient sur l'observation à partir de vues vidéo planaires, et celle de Bystrom et al. (2002) sur la mesure directe (inclinomètre). Tout comme la présente étude, Karlqvist et al. (1998) s'appuyaient sur la cinématique tridimensionnelle, mais avec des définitions d'angle différentes.

Il est évident que les analyses EVA, qui sont plus raffinées que les analyses APDF, sont aussi plus sensibles à la détection des changements au niveau de l'exposition physique. Les APDF n'ont permis de détecter que les différences les plus prononcées qui ont été observées au niveau de l'extenseur des doigts, alors que les analyses EVA ont permis de détecter des changements beaucoup plus subtiles pour d'autres muscles. Par exemple, à partir de l'analyse APDF du deltoïde antérieur, une sollicitation moins importante (en amplitude) était observée pour le bureau A lors du travail à la souris (Figure 5). L'analyse EVA a cependant révélé que cette diminution de l'amplitude de l'activation du deltoïde était accompagnée d'un allongement des

durées de contraction, résultant en une variation de l'exposition plus complexe que prévue. Par ailleurs, l'analyse du nombre de repos et des temps de repos musculaire a révélé qu'aucun repos n'était observé pour le deltoïde antérieur et l'extenseur commun des doigts. C'est ce que confirme l'analyse par EVA, puisque rien ne se retrouvait dans les classes d'intensités de 0,0 à 0,3 % MVE (Tableaux 6 et 7). Les analyses EVA semblent donc très appropriées surtout pour ce type de comparaison (entre bureaux) où les changements d'exposition physique sont relativement petits (2 à 5%). En accord avec l'hypothèse des fibres musculaires cendrillons (Sjogaard et Sogaard 1998) ces changements qui apparaissent négligeables ont une importance physiologique. En effet, une diminution de l'activation musculaire d'aussi peu que 2% MVE peut être bénéfique à long terme (Finsen et al. 2001).

5.2 Effet du mobilier de bureau

Le mobilier de bureau utilisé s'est avéré avoir des effets tant sur la posture que sur la sollicitation musculaire du membre supérieur pour une tâche de travail à l'ordinateur simulée en laboratoire. Le bureau possédant une surface unique ajustable et offrant la possibilité d'appuyer les avant-bras (bureau A) a entraîné (1) une réduction de la sollicitation musculaire du trapèze non-dominant, (2) une plus petite sollicitation musculaire du deltoïde antérieur lors du travail à la souris que pour le bureau standard (bureau C), et (3) une augmentation de la sollicitation musculaire de l'extenseur commun des doigts. Au niveau de la posture du membre supérieur, le bureau A a démontré (1) une plus petite extension du poignet par rapport au bureau C lors du travail à la souris, et (2) de plus grandes flexion et abduction de l'épaule lors du travail au clavier. Aucun effet du mobilier de bureau sur la posture de la tête n'a été observé.

L'absence d'un effet du mobilier de bureau sur l'activité du trapèze dominant avec le bureau permettant un appui des avant-bras est quelque peu surprenante puisque selon plusieurs études, une diminution de la sollicitation musculaire du trapèze dominant est rapportée avec l'utilisation d'appui-bras (Aaras et al. 1997; Feng et al. 1997; Wahlstrom et al. 2000; Wells et al. 1997). Cependant, une nuance importante distingue notre étude: la tâche de travail étudiée impliquait un travail alterné entre le travail à la souris et au clavier alors que pour toutes les études mentionnées ci-haut, la tâche à l'étude n'impliquait qu'un type d'interface de saisie à la fois (clavier ou souris). D'ailleurs, une autre étude a porté sur une tâche impliquant un travail au clavier et à la souris (traitement de texte), sans effectuer une analyse pour chaque type de travail, et l'utilisation d'un appui-bras n'a pas eu d'effet sur le trapèze dominant (Fernstrom et Ericson 1997). Différentes explications sont possibles: d'une part, dans les trois conditions les sujets pouvaient s'appuyer, ce qui pourrait diminuer la sollicitation du trapèze; d'autre part, le fait de devoir fréquemment passer de la souris au clavier (et vice-versa) peut également expliquer l'absence d'un effet sur la sollicitation du muscle du trapèze dominant, puisque le sujet doit toujours être prêt à déplacer son bras. La tâche réalisée pourrait ainsi grandement affecter les résultats. La proportion de temps passée à utiliser la souris pour la réalisation de la tâche simulée dans la présente étude était de 18%. Cette proportion de temps est légèrement inférieure à celle rapportée dans une étude où l'utilisation de la souris était documentée de manière précise en situation réelle de travail, dans laquelle la proportion de temps passée à la souris était de 24% (Johnson et al. 2000), et correspond donc assez bien à celle observé pour du travail réel à l'ordinateur. Les résultats semblent donc s'appliquer à un travail nécessitant l'utilisation de la souris et du clavier en alternance. Enfin, il est également possible que la hauteur de l'ajustement du mobilier de bureau A n'était pas optimale pour favoriser une baisse de la sollicitation

musculaire du trapèze dominant. Plutôt que de l'ajuster à la même hauteur que le bureau B, il aurait probablement été préférable de le surélevé sensiblement. En effet, les interfaces de saisie étant plus loin, une flexion de l'épaule était nécessaire pour les atteindre, ce qui avait comme effet d'élever les avant-bras.

La réduction de l'extension du poignet lors du travail à la souris avec le bureau offrant la possibilité d'appuyer les avant-bras (bureau A) pourrait être considérée avantageuse. Cependant, l'augmentation de la sollicitation musculaire des extenseurs des doigts avec ce bureau démontre plutôt le contraire, et corrobore les résultats de Fernstrom et Ericson (1997). Cette augmentation de la sollicitation musculaire des extenseurs des doigts combinée à une diminution de la sollicitation musculaire du deltoïde antérieur pour l'utilisation de la souris correspond en quelques sortes à un transfert d'une stratégie proximale vers une stratégie distale pour effectuer le travail à la souris, auxquelles certains auteurs font référence. En effet, le travail à la souris sans appui de l'avant-bras peut s'initier à partir de l'épaule, alors que le travail à la souris avec l'avant-bras appuyé s'effectue davantage à partir du poignet. Dans une étude comparant ces deux méthodes de travail, le travail à la souris avec l'avant-bras appuyé a démontré la plus faible sollicitation des muscles du trapèze, alors que le travail à la souris sans l'avant-bras appuyé a démontré la plus forte sollicitation des muscles du trapèze (Wahlstrom et al. 2000). Aucune différence entre ces deux méthodes de travail sur la sollicitation de l'extenseur des doigts n'a cependant été observée dans cette étude, même si une plus grande force était exercée sur les côtés de la souris avec la méthode offrant un appui des avant-bras. Il est important de remarquer que l'activation musculaire de l'extenseur des doigts était élevée comparativement à d'autres études, et elle était continue, c'est-à-dire sans aucun repos musculaire, tel que défini ici. Une sollicitation avec peu de repos musculaire pour ce muscle a également été rapportée par Bystrom et al. (2002) et Laursen et al. (2001). Par ailleurs, une récente étude de suivi sur 6 ans d'une intervention proposant l'exploitation d'un appui des avant-bras sur la surface de travail rapporte une diminution des douleurs dans la région cou-épaule, mais une augmentation des douleurs au niveau des avant-bras (Aaras et al. 2001). Il semble donc que l'utilisation d'un appui au niveau des avant-bras puisse être bénéfique au niveau de la région cou-épaule au détriment de la région poignet-avant-bras. Un mobilier de bureau permettant une alternance entre le travail à la souris avec l'avant-bras appuyé et non-appuyé serait donc probablement une alternative intéressante. Cela permettrait d'alterner les sollicitations musculaires les plus importantes entre les muscles de l'avant-bras et les muscles de la région cou-épaule de manière à offrir des périodes de repos de façon intermittente. Ce constat confirme le fait qu'une simple modification technique du mobilier de bureau ne peut être suffisante pour enrayer complètement les risques associés au travail à l'ordinateur. Un constat similaire a déjà été avancé pour d'autres types de travail (e.g.: Attebrant et al. 1997). Par contre, pour un utilisateur d'ordinateur qui démontre des inconforts dans la région cou-épaule, le mobilier A pourrait contribuer à diminuer ces inconforts. À l'inverse, ce mobilier n'est pas à conseiller pour quelqu'un qui a des inconforts au niveau de la région poignet-avant-bras. Il semble également qu'une souris de type « joystick » contribue à diminuer la sollicitation des muscles de l'avant-bras (Aaras et Ro, 1997), et à diminuer les symptômes musculo-squelettiques (Aaras et al., 2002).

L'augmentation de la flexion et de l'abduction de l'épaule pour le travail au clavier avec le bureau A pourrait être considéré comme un facteur de risque important pour l'épaule (Hagberg et al. 1995). Toutefois, le fait que les niveaux d'activation du muscle du trapèze dominant et du deltoïde antérieur n'étaient pas plus élevés avec ce bureau confirme qu'un appui était partiellement utilisé au niveau des avant-bras, puisque ces niveaux d'activation n'étaient pas diminués non plus.

Finalement, il n'est pas surprenant que les tensions perçues n'aient pas été affectées par le type de bureau, compte tenu de la faible sollicitation musculaire généralement nécessaire pour le travail à l'ordinateur. Quant à la perception du confort avec chaque mobilier, le bureau C s'est avéré clairement le plus inconfortable des trois, les bureaux A et B n'étant pas perçus différemment l'un de l'autre.

5.3 Limites de l'étude

Les sujets avaient peu de temps pour se familiariser avec le type de bureau, ce qui pourrait avoir atténué les effets associés aux différents bureaux. Une période d'adaptation plus longue de travail, avec le bureau A particulièrement, pourrait possiblement favoriser l'exploitation de l'appui des avant-bras sur la surface de travail et permettre une diminution de la sollicitation musculaire à long terme. De plus, il est possible qu'un ajustement différent des mobiliers de bureau puisse entraîner des résultats différents. Par exemple, augmenter sensiblement la hauteur de la surface de travail du bureau A, par rapport au bureau B, pourrait favoriser une diminution de la sollicitation musculaire du trapèze droit. Par ailleurs, la tâche simulée impliquait une variété d'actions au clavier et à la souris en alternance. Les résultats peuvent donc être difficilement généralisables à des contextes de travail où l'alternance clavier - souris est peu fréquente. Il s'agissait bien entendu d'une simulation en laboratoire, et d'autres facteurs organisationnels ou sociaux qui peuvent aussi affecter la sollicitation musculaire pourraient affecter les résultats.

6. CONCLUSION

En comparaison avec des conditions offrant la possibilité de prendre appui sur les appuie-bras de la chaise, l'utilisation du bureau offrant la possibilité d'appuyer les avant-bras sur la surface de travail (bureau A) a produit des effets différents selon les muscles impliqués. Le bureau A a provoqué une réduction de la sollicitation musculaire au niveau du trapèze non-dominant alors que les résultats concernant le trapèze dominant se sont révélés non significatifs. Cependant, il y a lieu de croire que l'habitation à ce type d'aménagement puisse aider à exploiter les avantages offerts par l'appui des avant-bras sur la surface de travail. Seule une étude conduite dans ce sens pourra faire la lumière sur ce point. Au niveau de la région poignet – main, une augmentation de la sollicitation musculaire fût observée pour l'extenseur des doigts. L'alternance d'un travail avec les avant-bras appuyés et non-appuyé pourrait être intéressante pour introduire une variation de la sollicitation musculaire entre les régions cou - épaule et poignet - main.

RÉFÉRENCES

- Aaras, A., Dainoft, M., Ro, O. & Thoresen, M. (2002) Can a more neutral position of the forearm when operating a computer mouse reduce the pain level for VDU operators? *International Journal of Industrial Ergonomics*, **30**, 307-324.
- Aaras, A., Fostervold, K. I., Ro, O., Thoresen, M. & Larsen, S. (1997) Postural Load during VDU Work: A Comparison between Various Work Postures. *Ergonomics*, **40**, 1255-1268.
- Aaras, A. & Ro, O. (1997) Workload when using a mouse as an input device. *International Journal of Human-Computer Interaction*, **9**, 105-118.
- Aaras, A., Horgen, G., Bjorset, H. H., Ro, O. & Walsoe, H. (2001) Musculoskeletal, visual and psychosocial stress in VDU operators before and after multidisciplinary ergonomic interventions. A 6 years prospective study--Part II. *Applied Ergonomics*, **32**, 559-571.
- Akesson, I., Hansson, G. A., Balogh, I., Moritz, U. & Skerfving, S. (1997) Quantifying work load in neck, shoulders and wrists in female dentists. *International Archives of Occupational Environment and Health*, **69**, 461-474.
- Attebrant, M., Winkel, J., Mathiassen, S. E. & Kjellberg, A. (1997) Shoulder-arm muscle load and performance during control operation in forestry machines. Effect of changing to a new arm rest, lever and boom control system. *Applied Ergonomics*, **28**, 85-97.
- Baratta, R. V., Solomonow, M., Zhou, B. H. & Zhu, M. (1998) Methods to reduce the variability of EMG power spectrum estimates. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, **8**, 279-285.
- Basmajian, J. V. & Blusmenstein, R. (1983) Electrode placement in electromyographic biofeedback. In Basmajian, J. V. (ed), *Biofeedback. Principles and practice for clinicians*. Williams & Wilkins, Baltimore, pp. 363-378.
- Bystrom, J. U., Hansson, G. A., Rylander, L., Ohlsson, K., Kallrot, G. & Skerfving, S. (2002) Physical workload on neck and upper limb using two CAD applications. *Applied Ergonomics*, **33**, 63-74.
- Carter, J. B. & Banister, E. W. (1994) Musculoskeletal Problems in VDT Work: A Review. *Ergonomics*, **37**, 1623-1648.
- Chaffin, D. B. & Andersson, G. B. J. (1991) *Occupational Biomechanics*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Feng, Y., Grooten, W., Wretenberg, P. & Arborelius, U. P. (1997) Effects of arm support on shoulder and arm muscle activity during sedentary work. *Ergonomics*, **40**, 834-848.

- Fernstrom, E. & Ericson, M. O. (1997) Computer Mouse or Trackpoint - Effects on Muscular Load and Operator Experience. *Applied Ergonomics*, **28**, 347-354.
- Finsen, L., Sogaard, K. & Christensen, H. (2001) Influence of memory demand and contra lateral activity on muscle activity. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, **11**, 373-380.
- Fisher, D. L., Andres, R. O., Airth, D. & Smith, S. S. (1993) Repetitive Motion Disorders: The Design of Optimal Rate-Rest Profiles. *Human Factors*, **35**, 283-304.
- Grieco, A., Molteni, G., De Vito, G. & Sias, N. (1998) Epidemiology of musculoskeletal disorders due to biomechanical overload. *Ergonomics*, **41**, 1253-1260.
- Good, E. S. & Suntay, W. J. (1983) A joint coordinate system for the clinical description of three-dimensional motions: application to the knee. *Journal of Biomechanical Engineering*, **105**, 136-144.
- Hagberg, M., Silverstein, B., Wells, R., Smith, M. J., Hendrick, H. W., Carayon, P. & Pérusse, M. (1995) Work related musculoskeletal disorders (WMSDs) : a reference book for prevention. In Kuorinka, I. & Forcier, L. (eds), Taylor and Francis, London.
- Hansson, G. A., Nordander, C., Asterland, P., Ohlsson, K., Stromberg, U., Skerfving, S. & Rempel, D. (2000) Sensitivity of trapezius electromyography to differences between work tasks - influence of gap definition and normalisation methods. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, **10**, 103-115.
- Hasegawa, T. & Kumashiro, M. (1998) Effects of Armrests on Workload with Ten-Key Operation. *Applied Human Science*, **17**, 123-129.
- Jensen, C., Borg, V., Finsen, L., Hansen, K., Juul-Kristensen, B. & Christensen, H. (1998) Job demands, muscle activity and musculoskeletal symptoms in relation to work with the computer mouse. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, **24**, 418-424.
- Jensen, C., Finsen, L., Hansen, K. & Christensen, H. (1999) Upper trapezius muscle activity patterns during repetitive manual material handling and work with with a computer mouse. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, **9**, 317-325.
- Jensen, C., Vasseljen, O. & Westgaard, R. H. (1993) The influence of electrode position on bipolar surface electromyogram recordings of the upper trapezius muscle. *European Journal of Applied Physiology*, **67**, 266-273.
- Johnson, P. W., Hagberg, M., Hjelm, E. W. & Rempel, D. (2000) Measuring and characterizing force exposures during computer mouse use. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, **26**, 398-405.
- Jonsson, B. (1978) Quantitative electromyographic evaluation of muscular load during work. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*, **S6**, 69-74.

- Karlqvist, L. K., Bernmark, E., Ekenvall, L., Hagberg, M., Isaksson, A. & Rosto, T. (1998) Computer mouse position as a determinant of posture, muscular load and perceived exertion. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, **24**, 62-73.
- Karlqvist, L., Hagberg, M. & Selin, K. (1994) Variation in upper limb posture and movement during word processing with and without mouse use. *Ergonomics*, **37**, 1261-1267.
- Keller, E. & Strasser, H. (1998) Electromyographic and subjective evaluation of a wrist rest for VDT operators. *Occupational Ergonomics*, **1**, 239-257.
- Laursen, B. & Jensen, B. R. (2000) Shoulder muscle activity in young and older people during a computer mouse task. *Clinical Biomechanics*, **15**, S30-S33.
- Laursen, B., Jensen, B. R. & Ratkevicius, A. (2001) Performance and muscle activity during computer mouse tasks in young and elderly adults. *European Journal of Applied Physiology*, **84**, 329-336.
- Lintula, M., Nevala-Puranen, N. & Louhevaara, V. (2001) Effects of Ergorest arm supports on muscle strain and wrist positions during the use of the mouse and keyboard in work with visual display units: a work site intervention. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, **7**, 103-116.
- Mathiassen, S. E. & Winkel, J. (1991) Quantifying variation in physical load using exposure-vs-time data. *Ergonomics*, **34**, 1455-1468.
- Mathiassen, S. E., Winkel, J. & Hagg, G. M. (1995) Normalization of surface EMG amplitude from the upper trapezius muscle in ergonomic studies - A review. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, **5**, 197-226.
- McLean, L., Tingley, M., Scott, R. N. & Rickards, J. (2001) Computer terminal work and the benefit of microbreaks. *Applied Ergonomics*, **32**, 225-237.
- Schuldt, K., Ekholm, J., Harms-Ringdhal, K., Németh, G. & Arborelius, U. P. (1987) Effects of arm support or suspension on neck and shoulder muscle activity during sedentary work. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, **19**, 77-84.
- Sjogaard, G. & Sogaard, K. (1998) Muscle injury in repetitive motion disorders. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, **351**, 21-31.
- Sundelin, G. & Hagberg, M. (1989) The effects of different pause types on neck and shoulder EMG activity during VDU work. *Ergonomics*, **32**, 527-537.
- Veiersted, K. B., Westgaard, R. H. & Andersen, P. (1990) Pattern of muscle activity during stereotyped work and its relation to muscle pain. *International Archives of Occupational Environment and Health*, **62**, 31-41.

- Visser, B., de Korte, E., van der Kraan, I. & Kuijer, P. (2000) The effect of arm and wrist supports on the load of the upper extremity during VDU work. *Clinical Biomechanics*, **15**, S34-S38.
- Visser, B., van Dieën, J.H., & de Looze, M.P. (2002) The effects of positioning precision and mental pressure on muscle activation during tracking and aiming with a computer mouse. *Comptes-Rendus du XIVth Congress of the International Society of Electrophysiology and Kinesiology*. Vienne, Autriche, 22-25 juin, 2002. pp. 86-87.
- Wahlstrom, B. J., Svensson, J., Hagberg, M. & Johnson, P. W. (2000) Differences between work methods and gender in computer mouse use. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, **26**, 390-397.
- Wells, R., Lee, I. H. & Bao, S. (1997) Investigations of upper limb support conditions for mouse use. *Proceedings of the 29th Annual Conference of the Human Factors Association of Canada*, 1-6.