



HAL
open science

Interaction avec un smartphone : Effets de la lumière sur la biomécanique posturale et l'apparition de troubles musculo-squelettiques

Johan Merbah

► To cite this version:

Johan Merbah. Interaction avec un smartphone : Effets de la lumière sur la biomécanique posturale et l'apparition de troubles musculo-squelettiques. Biomécanique [physics.med-ph]. Université de Toulon, 2020. Français. NNT : 2020TOUL0020 . tel-04198050

HAL Id: tel-04198050

<https://theses.hal.science/tel-04198050v1>

Submitted on 6 Sep 2023

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

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

ÉCOLE DOCTORALE Mer et Sciences (ED 548)

Laboratoire HandiBio

THÈSE

présentée par **Johan MERBAH**

soutenue le : **XX décembre 2020**

pour obtenir le grade de Docteur en **Sciences du Mouvement Humain**

Spécialité : **Biomécanique**

Interaction avec un smartphone : Effets de la lumière sur la biomécanique posturale et l'apparition de troubles musculosquelettiques

Thèse dirigée par Monsieur Philippe GORCE, Université de Toulon

JURY :

M. MITTON David	Professeur, Université Gustave Eiffel, Rapporteur
M. PRINCE François	Professeur, Université de Montréal (Canada), Rapporteur
M. SAURET Christophe	Maître de conférences, CERAH-ENSAM, Examineur
Mme. VIGOUROUX Nadine	Chargée de recherche, IRIT-Université Paul Sabatier, Examinatrice
M. GORCE Philippe	Professeur, Université de Toulon, Directeur
M. JACQUIER-BRET Julien	Maître de conférences, Université de Toulon, Co-encadrant

ÉCOLE DOCTORALE Mer et Sciences (ED 548)

Laboratoire HandiBio

THÈSE

présentée par **Johan MERBAH**

soutenue le : **XX décembre 2020**

pour obtenir le grade de Docteur en **Sciences du Mouvement Humain**

Spécialité : **Biomécanique**

Interaction avec un smartphone : Effets de la lumière sur la biomécanique posturale et l'apparition de troubles musculosquelettiques

Thèse dirigée par Monsieur Philippe GORCE, Université de Toulon

JURY :

M. MITTON David	Professeur, Université Gustave Eiffel, Rapporteur
M. PRINCE François	Professeur, Université de Montréal (Canada), Rapporteur
M. SAURET Christophe	Maître de conférences, CERAH-ENSAM, Examinateur
Mme. VIGOUROUX Nadine	Chargée de recherche, IRIT-Université Paul Sabatier, Examinatrice
M. GORCE Philippe	Professeur, Université de Toulon, Directeur
M. JACQUIER-BRET Julien	Maître de conférences, Université de Toulon, Co-encadrant

Remerciements

« C'est toute la vie que je contemple, le soleil, les nuages, la mer, le temps qui passe et reste là. C'est aussi, parfois, cet autre monde devenu étranger, que j'ai quitté depuis des siècles. Ce monde moderne artificiel où l'homme a été transformé en machine à gagner de l'argent pour assouvir de faux besoins, de fausses joies. »

Bernard Moitessier, la longue route

Je tiens tout d'abord à remercier les aventuriers, les aèdes modernes et tous les éditeurs de littérature qui nous donnent page après page l'occasion de rêver, d'apprendre, de s'élever et de ressentir d'immenses frissons.

La thèse est une aventure, c'est certain, et pour paraphraser Christopher McCandless, le bonheur ne prend de sens que lorsqu'il est partagé. J'ai eu la chance de partager cette aventure avec de nombreuses personnes.

Je tiens en premier lieu à remercier mon directeur de thèse, le Professeur Philippe Gorce ainsi que mon co-encadrant le Docteur Julien Jacquier-Bret. Sans familiarité et avec un immense respect, je remercie ces deux compagnons de voyage de m'avoir fait confiance et de m'avoir accueilli dans leur équipe. Ils m'ont donné l'occasion d'apprendre chaque jour. J'ai eu droit à un subtil mélange d'autonomie et d'encadrement, bases nécessaires pour développer de nouvelles qualités qui m'étaient étrangères. Avec vous la science est synonyme de jeu !

Je tiens à remercier le professeur François Prince ainsi que le professeur David Mitton de leur implication dans ce travail en ayant accepté d'être rapporteurs. Merci

également à Nadine Vigouroux et Christophe Sauret d'avoir accepté d'être présents en tant qu'examineurs.

Merci à ma famille. Il fallait croire en moi pour me laisser quitter mon ancienne vie, confortable, pour une situation moins sûre, plus floue, sur le fil mais ô combien grandiose. Je n'ai aucune pudeur sur l'amour que je vous porte et que vous me rendez au centuple.

Merci à mes amis : le professeur, le zébulon, bibeth, TL, lezams, l'homme à la canne, la dame de Provence, le petit cap, le capitaine de la boîte de conserve, l'homme de la ville rose, tonton, h&f, mes amis du glaçon, le Dalton, la petite anse et tant d'autres que je ne peux nommer faute de place. Soyez sûrs que j'utiliserai chaque opportunité pour vous exprimer ma gratitude ainsi que l'affection que je vous porte.

Enfin, merci à toi Tina. Merci à ta famille qui est désormais mienne. Votre patience et votre affection m'offrent une quantité infinie de possibles. Tina j'ai tant à te dire !
Just if...

Quelle richesse d'être entouré de la sorte.

Sommaire

Sommaire

INTROCUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I. ETAT DE L'ART	13
I.1. INTRODUCTION	13
I.2. GENERALITES	14
I.3. SMARTPHONE ET POSTURE	19
I.3.1. ANALYSES QUALITATIVES	20
I.3.2. ANALYSES QUANTITATIVES	26
I.3.2.1. <i>Les goniomètres</i>	26
I.3.2.2. <i>Les IMU</i>	29
I.4. OPTOELECTRONIQUE	33
I.5. SMARTPHONE ET CHARGE ARTICULAIRE	38
I.6. SMARTPHONE ET LUMIERE	44
CHAPITRE II. METHODE ET MATERIELS	61
II.1. INTRODUCTION	61
II.2. HYPOTHESES DE RECHERCHE	61
II.3. DISPOSITIF EXPERIMENTAL ET PROTOCOLE	65
II.3.1. DISPOSITIF DE REGLAGE ET DE MESURE DE LA LUMIERE ENVIRONNANTE	67
II.3.2. LES APPAREILS MOBILES A ECRAN TACTILES : SMARTPHONES	69
II.3.2.1. <i>Choix des smartphones</i>	69
II.3.2.2. <i>Les systèmes d'exploitation des smartphones</i>	70
II.3.3. DISPOSITIFS DE CONTROLE DES CONDITIONS DE POSITION	72
II.3.4. LES TACHES ANALYSEES	74
II.3.4.1. <i>Le message</i>	74
II.3.4.2. <i>La recherche internet</i>	74
II.3.5. SYNTHESE DES VARIABLES INDEPENDANTES	75
II.4. LE SYSTEME DE MESURE OPTOELECTRONIQUE QUALISYS®	77
II.4.1. PRESENTATION	77

II.4.1. CALIBRATION	78
II.4.2. POSITIONNEMENT DES MARQUEURS	79
II.4.2.1. <i>Sujet</i>	79
II.4.2.2. <i>Smartphone</i>	81
II.4.3. ACQUISITION	83
II.5. ANALYSE DES DONNEES	83
II.5.1. PROCEDURE DE RECONSTRUCTION	84
II.5.1.1. <i>Les enregistrements Qualysis</i>	84
II.5.1.1. <i>Utilisation des marqueurs techniques</i>	86
II.5.1.2. <i>Smartphone</i>	87
II.5.2. FILTRAGE	88
II.5.3. EXTRACTION DE LA PHASE D'INTERACTION.....	88
II.5.4. CALCUL DES ANGLES ARTICULAIRES	89
II.5.5. OUTIL D'IDENTIFICATION DES RISQUES DES TROUBLES MUSCULOSQUELETTIQUES.....	93
II.5.6. CLASSIFICATION ASCENDANTE HIERARCHIQUE	94
II.5.7. ANALYSE STATISTIQUE.....	95
II.6. PROTOCOLE EXPERIMENTAL	96
II.6.1. LES SUJETS	96
II.6.2. PROCEDURE.....	96
II.7. CONCLUSION	98
CHAPITRE III. TRAVAUX DE RECHERCHE.....	103
III.1. INTRODUCTION.....	103
III.2. EFFECTS OF ENVIRONMENTAL ILLUMINATION AND SCREEN BRIGHTNESS ON UPPER LIMB AND AXIAL SKELETON PARAMETERS: HOW DO USERS ADAPT POSTURES?.....	105
III.2.1. SYNTHÈSE DE L'ARTICLE I « EFFECT OF ENVIRONMENTAL ILLUMINATION AND SCREEN BRIGHTNESS SETTINGS ON UPPER LIMB AND AXIAL SKELETON PARAMETERS: HOW DO USERS ADAPT POSTURE ? ».....	107
III.2.2. PUBLICATION	109
III.3. INTERACTION WITH A SMARTPHONE UNDER DIFFERENT TASK AND ENVIRONMENTAL CONDITIONS: EMERGENCE OF USERS' POSTURAL STRATEGIES.....	121

III.3.1. SYNTHÈSE DE L'ARTICLE II « INTERACTION WITH A SMARTPHONE UNDER TASK AND ENVIRONMENTAL CONDITIONS: EMERGENCE OF USERS' POSTURAL STRATEGIES »	123
III.3.2. PUBLICATION	125
III.4. EFFECT OF THE PRESENCE OR ABSENCE OF UPPER LIMB SUPPORT POSTURE WHEN A SMARTPHONE USER IS IN SEATED POSITION UNDER AMBIENT LIGHT CONDITIONS	135
III.4.1. SYNTHÈSE DE L'ARTICLE III « EFFECT OF THE PRESENCE OR ABSENCE OF UPPER LIMB SUPPORT ON POSTURE WHEN A SMARTPHONE USER IS IN SEATED POSITION UNDER AMBIENT LIGHT CONDITION »	137
III.4.2. PUBLICATION	139
III.5. UPPER LIMB AXIAL SKELETON 3D KINEMATICS ANALYSIS WHEN TEXTING USING A SMARTPHONE IN STANDING AND SITTING POSITIONS.....	145
III.5.1. SYNTHÈSE DE L'ARTICLE IV « UPPER LIMB AND AXIAL SKELETON 3D KINEMATICS ANALYSIS WHEN TEXTING USING A SMARTPHONE IN STANDING AND SITTING POSITIONS »	147
III.5.2. PUBLICATION	149
III.6. TOWARD A SIMPLE POSTURAL INDEX OF A BIOMECHANICAL INTERACTION EVALUATION WHILE USING A SMARTPHONE.....	171
III.6.1. SYNTHÈSE DE L'ARTICLE V « TOWARD A SIMPLE POSTURAL INDEX OF A BIOMECHANICAL INTERACTION EVALUATION WHILE USING A SMARTPHONE »	173
III.6.2. PUBLICATION	175
III.7. LIGHT EFFECTS ON POSTURE WHILE USING A TOUCHSCREEN DEVICE, A SYSTEMATIC REVIEW.....	193
III.7.1. SYNTHÈSE DE L'ARTICLE VI « LIGHT EFFECTS ON POSTURE WHILE USING A TOUCHSCREEN DEVICE: A SYSTEMATIC REVIEW »	195
III.7.2. PUBLICATION	197
CONCLUSION GENERALE	219
ANNEXE.....	229
BIBLIOGRAPHIE	239
PUBLICATIONS PERSONNELLES	255

L'individualité s'exprime magnifiquement dans le mouvement.

Sylvain Tesson

Introduction générale

Introduction générale

Avec l'avènement des technologies de l'information, les interfaces tactiles deviennent, de manière croissante, des objets incontournables de la vie quotidienne dans les pays industrialisés. En 2018, il y avait environ 5 milliards de téléphones mobiles en circulation dans le monde (Ericsson, 2018). Lors du deuxième semestre 2019 le site spécialisé Bankmycell affirme que presque 3 milliards de smartphones et 1,28 milliards de tablettes (Bankmycell, 2019; IDC, 2019) sont en fonctionnement. Cet état de fait, touche toutes les couches sociales et un très large public (jeune, adulte et sénior). Ce constat est toutefois nuancé par une étude menée par la société CREDOC en 2016. Cette dernière montre que l'âge est un indicateur de l'équipement des foyers en objets tactiles. Si la part des personnes possédant un smartphone atteint plus de 80% chez les « Moins de 40 ans », elle est « seulement » de 50% pour les « Plus de 50 ans », et descend même jusqu'à 20% pour les « Plus de 70 ans » (Apostoli *et al.*, 2012; CREDOC, 2016). Par ailleurs, une étude du cabinet de conseil international Deloitte montre qu'en 2016, 77% des Français(es) possédaient un téléphone à écran tactile et que leur utilisation progressait fortement. A cette époque, 49% des Français(es) reconnaissaient utiliser leurs téléphones dans les transports en commun (Deloitte, 2016). A cette démocratisation de l'objet, il semble également essentiel de mentionner le nombre de tâches effectuées ainsi que le temps d'utilisation de celui-ci. En 2014, l'institut de sondage Tecmark dénombre, sur

une base de 2000 utilisateurs(trice) anglais(es), une moyenne de 221 tâches quotidiennes effectuées sur une interface tactile (Tecmark, 2014). De plus, 2,2 heures par jour ont été passées sur les smartphones par des Français(es) âgé(e)s de 16 à 30 ans (TNS Sofres, 2015). Entre 2015 et 2019, ce temps d'utilisation a augmenté de 63 % pour atteindre 3h36 (Appannie, 2020). Ce temps d'interaction est réparti tout au long de la journée, et implique donc une utilisation du smartphone dans différents environnements, tels que la maison, le transport, le travail, etc... Toutes ces conditions d'utilisation peuvent conduire à des positions d'utilisation diverses plus ou moins adaptées, qu'elles soient debout ou assises, avec ou sans support.

Dans ce contexte, l'usage de plus en plus intense des technologies à écran tactile dans des situations diverses, représentatives de la vie quotidienne et professionnelle, conduit à l'apparition de troubles musculosquelettiques (TMS) qui peuvent avoir de lourdes conséquences. Ce constat a été mis en évidence dans de nombreux travaux internationaux. Les auteurs ont mis en exergue qu'avec l'utilisation de téléphones portables, des TMS apparaissaient et persistaient dès les premières années sur des utilisatrices(eurs) jeunes et conduisait à la survenue de douleurs et de pathologies chroniques notamment du dos (Berolo *et al.*, 2011; Cha *et al.*, 2015; Chang *et al.*, 2015; Chang *et al.*, 2017; Namwongsa *et al.*, 2018a).

Afin de mieux appréhender les interactions entre l'être humain et ces nouvelles technologies, des études ont été réalisées avec comme objectifs de définir

précisément les postures observées (Berolo et al. 2011, Gold et al. 2012, Bachynskiy et al. 2015). Ces dernières sont caractérisées par les variables angulaires des différents segments corporels. Parmi les postures observées, il est fréquent de retrouver des valeurs angulaires qui s'éloignent du neutre articulaire, principalement en ce qui concerne la flexion du cou et du tronc en position assise ou encore la flexion du poignet et du coude. A cet inconfort postural s'ajoute l'aspect répétitif de la tâche. L'hypothèse d'une relation directe entre l'utilisation intensive du téléphone mobile et les TMS des membres supérieurs et du squelette axial est ainsi évoquée dans les travaux de Berolo (Berolo et al. 2011). Toutefois, ces résultats restent qualitatifs et fondés sur des observations ou sur des analyses cinématiques simples (focalisées sur un nombre réduit d'articulations). Dans le domaine de l'interface homme-machine (IHM), la littérature scientifique propose également des valeurs angulaires mais issues de l'utilisation de tablettes. Ainsi, Young observe une flexion du cou de 50° à 55° lors de l'interaction avec une tablette (Young et al. 2012). Toutefois, les valeurs proposées par cette communauté sont généralement relatives à une seule articulation et ne reflètent donc pas le comportement général et/ou postural de l'utilisateur(trice). Enfin, si l'interface tactile conduit à un changement de comportement, notamment dans les « ajustements posturaux » effectués lors de la tâche (Davis *et al.*, 2015), aucune unification des comportements n'apparaît. C'est ce qu'illustre l'article de Bachynskiy et de ses collaborateurs qui soulignent la diversité des postures prises par les individus lorsqu'ils utilisent un smartphone (Bachynskiy *et al.*, 2015).

Un autre paramètre essentiel et pourtant très peu étudié vient modifier et favoriser l'apparition de TMS consécutivement à des changements posturaux : il s'agit de la lumière et de ses conséquences (reflets, intensités lumineuses, contrastes...). Dans ce contexte, il semble fondamental d'affirmer que les conditions visuelles lors de l'utilisation d'un écran tactile (téléphone intelligent, tablettes numériques, ordinateurs, panneaux publicitaires industriels) changent en permanence en fonction de la luminance de l'écran, de l'éclairage ambiant (intérieur ou extérieur), de l'orientation de la lumière sur l'écran, de la perturbation visuelle, des tâches à accomplir et des conditions d'utilisation (assis, debout).

Des études se sont penchées sur les effets de la lumière lors de la réalisation de certaines actions telles que la lecture d'un document. Ainsi le concept de « readability », que l'on pourrait traduire par « lisibilité », apparaît dans des travaux qui cherchent à comprendre quels aspects de la lumière influencent cette capacité à « bien lire » un document. Il apparaît que la couleur de l'arrière-plan, le contraste, les nuances de couleurs de la police d'écriture sont autant de paramètres qui influencent la lisibilité (Seetzen *et al.*, 2006; Albin and McLoone, 2014; Debernardis *et al.*, 2014; Glimne *et al.*, 2015). La notion de performance face à une tâche de lecture apparaît également dans plusieurs travaux (Colombini and Occhipinti, 2006; Buchner *et al.*, 2009; Askaripoor *et al.*, 2018). Enfin, des équipes ont montré que les problématiques liées à la lumière, telles que les reflets, la police de caractères optimale, ou les temps de réponse de l'adaptation active de l'écran, ont des répercussions sur la sensation de confort voir sur des douleurs qui pourraient apparaître lors de la lecture d'un

document sur un écran (Gowrisankaran and Sheedy, 2015; Gringras *et al.*, 2015; Mork *et al.*, 2016; Antona *et al.*, 2018). Certaines de ces études mettent en avant des troubles pouvant apparaître sous forme d'inconforts ou de douleurs mais la littérature en ce qui concerne le lien entre lumière et risques de TMS, en se basant sur une objectivation et une quantification via les outils de modélisation cinématique 3D ou une qualification ergonomique de la tâche, semble non exhaustive.

Ainsi, nos travaux proposent d'investiguer, de la manière la plus globale possible, les effets liés à l'utilisation de téléphones portables dits « smartphones », notamment en créant des conditions expérimentales proches de la vie quotidienne en termes de tâches (envoi de message et navigation internet) et de conditions d'utilisation (assis sans support, assis avec support et debout). De plus, toujours dans le but de coller à la réalité, des conditions de lumières ont été incluses au protocole afin de simuler l'environnement lumineux changeant au cours d'une journée ou en fonction du lieu dans lequel se trouve un utilisateur. Pour répondre aux objectifs, il semble important de mener une étude globale sur le membre supérieur et le squelette axial afin de caractériser les postures adoptées en fonctions de paramètres environnementaux d'une part, (variations de lumière) et situationnels d'autre part (lieu et position dans lesquels le sujet se trouve lors de l'interaction). Cette quantification biomécanique confrontée à la qualification ergonomique (RULA) pourrait permettre d'établir des recommandations afin de minimiser l'apparition des troubles musculosquelettiques.

Le travail présenté dans ce mémoire est décomposé en trois chapitres abordant chacun une partie spécifique de l'étude. Le **chapitre I** est une analyse bibliographique qui a pour but de préciser les notions utilisées telles que les conditions d'utilisation (position d'utilisation, environnement, tâche à accomplir), les postures adoptées, les stratégies mises en place, les variables articulaires, la charge articulaire ainsi que les risques de troubles musculo squelettiques (TMS). La dernière partie de ce chapitre, consacrée à la présentation des divers effets de la lumière lors de l'interaction avec un smartphone, a fait l'objet d'un article soumis qui sera présenté dans le troisième chapitre. Fort de cette revue de littérature, le **chapitre II** présentera les hypothèses de recherche, la méthode ainsi que le protocole expérimental. Le troisième chapitre (**chapitre III**) sera composé de l'ensemble des articles écrits pendant ce travail de thèse. Le premier article présenté (**Article I**) est centré sur le cœur de ce travail, la lumière. Cet article publié permet de mettre en lien les modifications d'environnement lumineux, les réglages de la luminosité de l'écran et les adaptations posturales mises en place par des individus. En quoi les modifications de l'environnement lumineux ainsi que les réglages de luminosité de l'écran influencent-ils les ajustements posturaux ? Le deuxième article (**Article II**), également publié, montre que des individus, qui utilisent leur smartphone dans des conditions similaires, peuvent être classés par stratégies d'utilisation. Cette caractérisation de l'interaction avec le smartphone a été effectuée par classification ascendante hiérarchique des données cinématiques. Cela permet de répondre à une question clef dans la compréhension de l'interaction individu-écran tactile : existe-t-il

diverses stratégies d'utilisation d'un smartphone ? La troisième publication (**Article III**) fait le lien entre les conditions de lumières et l'effet du support des membres supérieurs sur les ajustements posturaux. Dans quelles proportions un support pour les membres supérieurs peut-il modifier les variables articulaires de personnes qui interagissent avec un téléphone mobile à écran tactile ? Le travail suivant (**Article IV**) sera l'occasion de présenter la quantification de l'ensemble des variables articulaires du squelette axial et des membres supérieurs dans différentes conditions d'utilisation. Quelles articulations semblent s'éloigner davantage du neutre articulaire lors de l'interaction avec un smartphone ? Le cinquième article (**Article V**) permet de quantifier les variables articulaires du squelette axial et de mettre en place une notion nouvelle de synergie entre le rachis cervical et le tronc. Est-il possible d'identifier une chaîne d'interaction des différentes parties composant le squelette axial lorsqu'un individu utilise son smartphone sous différentes conditions environnementales ? Le sixième article (**Article VI**) est une revue de littérature qui a pour but de montrer le manque de données scientifiques concernant le lien entre l'environnement lumineux, la luminosité de l'écran et les postures adoptées par les utilisateurs(trices) de smartphone. Enfin, la **conclusion générale** présentera une synthèse des travaux réalisés ainsi que les perspectives futures.

Chapitre I

Chapitre I

Etat de l'art

I.1. Introduction

Ce chapitre présente une étude bibliographique de l'ensemble des données issues de la littérature scientifique relative à l'utilisation des smartphones et aux effets éventuels qu'elle pourrait induire sur la posture des utilisateurs(trices) dans des contextes lumineux et environnementaux variables. La première partie de cette recherche bibliographique se focalisera sur la relation entre les postures adoptées par un/une utilisateur(trice) de smartphone en fonction de la position induite par les conditions environnementales (plus précisément décrite par Young (2013) comme des « conditions d'utilisation ») et les effets traumatologiques que cela peut engendrer. En effet, une analyse globale de la littérature permettra de faire apparaître les nombreuses conditions d'utilisation ainsi que la grande diversité des études menées. Dans un deuxième temps l'analyse s'attachera à étudier les effets de l'interface homme machine « IHM » et les conséquences ergonomiques qui en découlent. Ces caractérisations, tant en termes de risque d'apparition de troubles musculosquelettiques qu'en qualification ergonomique, sont issues de recherches fondées sur différents types d'appareils de mesure. Dans ce contexte, notre synthèse

bibliographique exploitera de manière conjointe les effets, de la luminosité de l'écran de l'appareil, et de la lumière extérieure, sur les postures adoptées au cours de l'interaction. Pour l'ensemble des travaux sélectionnés, une attention particulière sera également portée sur les risques d'apparition de TMS.

I.2. Généralités

De nos jours, les "smartphones" (considérés comme la catégorie des appareils de poche) sont des objets essentiels dans notre vie quotidienne (Park and Han, 2010). Que ce soit par le nombre de propriétaires ou par le nombre de tâches effectuées chaque année, l'utilisation de ces appareils est en constante augmentation (Ericsson 2018, IDC 2019). Une étude de Deloitte explique qu'en 2016, 77% des Français disposaient d'un smartphone et que leur utilisation en mouvement (en marchant ou dans les transports par exemple) augmentait sensiblement. Ainsi, 49% des Français reconnaissent utiliser leur téléphone dans les transports publics (Deloitte, 2016). En raison de la grande diversité des situations dans lesquelles ces appareils de poche peuvent être utilisés, plusieurs études ont porté sur les différentes postures que les utilisateurs peuvent adopter (Wobbrock *et al.*, 2008; Caneiro *et al.*, 2010; Young, 2012; Kim and Kim, 2015). Au regard de la variété des tâches étudiées et du grand nombre conditions d'utilisation, il est conventionnel de caractériser les tâches par des positions génériques d'études. Nous différencions ici la position et la posture. La position est situationnelle et liée à l'environnement. C'est une appellation générique qui va définir si les sujets étudiés sont assis (avec ou sans support) ou debout. La

posture relève davantage de stratégies, d'ajustements articulaires dans une position donnée.

Le premier tableau (**Tableau I.1**) permet de montrer la grande diversité de conditions d'utilisations ainsi que les disparités dans le type d'études menées sur ce sujet.

Tableau I.1 : smartphone et postures : généralités.

Auteur	Description		
Agostini <i>et al.</i> (2015)	Objectif : L'envoi de SMS en marchant affecte-t-il vraiment les paramètres de marche des jeunes adultes ?	Participants : n = 18 (20-30 ans).	Paramètres : Variables angulaires des paramètres classiques de marche (membres inférieurs).
	Synthèse : Le patron de marche classique est légèrement affecté lors de l'envoi de messages texte. L'envoi de message a pour conséquence de réduire la vitesse de marche de 0.13 m/s et la cadence de 2.5 pas /min.		
Ailneni <i>et al.</i> (2019)	Objectif : Influence d'un capteur de correction de la posture sur les variables angulaires de la tête et du cou : postes de travail assis et debout.	Participants : n = 19 ; Age 24.4+/- 5.3 ans.	Paramètres : Tâche d'écriture sur un poste de travail classique, évaluation des effets de l'utilisation de capteurs sur la posture adoptée.
	Synthèse : Un système de monitoring de la posture pourrait prévenir les mauvaises postures du cou. Dans le cas d'une tâche d'écriture au clavier, une réduction de 8% de la flexion du cou peut être atteinte. Importance de « feedback » afin d'éviter l'apparition de TMS.		
Cha <i>et al.</i> (2015)	Objectif : Effets de la tâche (sms et jeux vidéo) sur la marche lors d'un parcours avec obstacles sous différents niveaux d'éclairage lors de l'utilisation de téléphones portables.	Participants : n = 12 ; Age 23.5 ans (20-35 ans).	Paramètres : 6 conditions de lumière extérieure et de marche avec ou sans obstacles ont été testées. Des paramètres d'analyse de la marche (longueur de pas, vitesse...) ont été enregistrés et discutés.
	Synthèse : Le fait d'utiliser un smartphone sous un faible éclairage réduit la qualité de la marche avec obstructions. La marche normale diffère de la marche en écrivant et de la marche en jouant sur un smartphone pour l'ensemble des paramètres. Les mêmes effets apparaissent pour la condition de marche sous un éclairage normal vs un environnement lumineux sombre. Dans tous les cas, diminution des vitesses (marche normale+lumière : 1.19 m/s vs marche texto+sombre : 0.88 m/s), des longueurs de pas (71.57cm vs 59.38 cm ainsi que des cadences (98.39 vs .90.55 pas/s).		
Eitivipart (2019)	Objectif : Troubles musculosquelettiques et douleurs associées à l'utilisation de smartphones : Une revue systématique de preuves biomécaniques.	Participants : Revue de littérature avec 12 études retenues.	Paramètres : Distingue spécifiquement les articles qui traitent des troubles musculosquelettiques ainsi que des douleurs liées à l'utilisation du smartphone.
	Synthèse : Les paramètres essentiels pour déterminer les risques de TMS sont les amplitudes articulaires (lorsqu'une articulation s'éloigne du neutre articulaire), les données issues des échographies ainsi que des EMG. Utilisation avec membres supérieurs en appuis sur les genoux vs utilisation de référence : modification d'amplitude du cou de 44°. L'utilisation de smartphone augmentent les activations musculaires des extenseurs du cou et des élévateurs de la scapula.		

Jin (2019)	Objectif : Comparaison de la charge de travail biomécanique entre un smartphone et une « Smart Watch » en position assise et debout.	Participants : n = 14 ; (26.7+/-4.7 ans).	Paramètres : Mesure des variations angulaires du cou et des épaules en fonction de la tâche. Position assise (sur tabouret).
	Synthèse : Plus grande flexion (12°) et rotation (6°) de la tête, et plus grande abduction de l'épaule coté montre connectée (20°- 40°) lors de l'utilisation d'une montre connectée vs smartphone. Les deux équipements semblent présenter des risques de survenues de TMS.		
Kang <i>et al.</i> (2016)	Objectif : Effet de la posture assise sur la fonction respiratoire lors de l'utilisation d'un smartphone.	Participants : n = 50 ; (25 en groupe contrôle).	Paramètres : Comparaison de paramètres de la fonction respiratoire entre le groupe utilisant le smartphone comme ils le désirent vs le groupe utilisant le smartphone en position assise.
	Synthèse : La capacité de force vitale et la capacité expiratoire semblaient meilleures pour le groupe contrôle que pour le groupe utilisateur de smartphone. Pour la CFV (3.2 vs 3.0) et pour la CE (3.0 vs 2.7). La position assise entraînerait également une baisse des capacités respiratoires.		
Motti <i>et al.</i> (2014)	Objectif : Effet de la taille de l'écran sur la capacité à effectuer une tâche de glisser-déposer.	Participants : n = 24 ; (74.25 +/- 5.8 ans).	Paramètres : Evaluation au moyen d'un score IHM appelé le SNA (Supplementary Number of Attempts).
	Synthèse : Le SNA pour la tâche nécessitant le plus de précision (95% de correspondance en surface) est plus important sur le smartphone (21.13) que sur la tablette (18.04, effet de la taille de l'écran).		
Park <i>et al.</i> (2017)	Objectif : Les effets de la durée de jeux sur smartphones sur l'activation musculaire et la posture de la colonne vertébrale : étude pilote.	Participants : n = 18 (male) ; Age 21.18 +/- 1.9 ans.	Paramètres : Les paramètres posturaux ont été obtenus au moyen de caméras numériques. L'activation musculaire a été obtenue au moyen d'EMG.
	Synthèse : L'utilisation des smartphones a induit des flexions plus importantes du cou et du tronc que celle d'autres appareils. Après seulement 5 minutes d'interaction avec un smartphone les flexions étaient davantage prononcées (66.01° vs 79.19°). Au bout de 15 minutes les flexions atteignaient 90.34°. La douleur est apparue au bout de 16 minutes d'interaction.		

Xie <i>et al.</i> (2018)	<p>Objectif : Cinématique de la colonne vertébrale lors de l'envoi de SMS par smartphone : comparaison entre jeunes adultes avec et sans douleur chronique de la nuque et des épaules en fonction d'une interaction à une ou deux mains.</p>	<p>Participants : Groupe « case » (avec des douleurs) n = 19 (24.4+/- 3.1 ans). Groupe contrôle n = 18 (23.2+/-3.3 ans).</p>	<p>Paramètres : Variables articulaires du rachis cervical, du thorax et des lombaires.</p>
	<p>Synthèse : L'augmentation des flexions articulaires, surtout en ce qui concerne le rachis cervical semble entrainer une apparition de douleurs et potentiellement de TMS. L'interaction à une main entraine une flexion de cou moins importante que l'interaction à deux mains (25° vs 28°). Lors d'une interaction avec un laptop la flexion du cou est bien moindre : <5°.</p>		
Yoon <i>et al.</i> (2020)	<p>Objectif : Variation angulaire du cou lors de l'utilisation d'un smartphone en position assise, debout et en marchant.</p>	<p>Participants : n = 21 (10 femmes et 11 hommes) ; (23±1.8 ans).</p>	<p>Paramètres : Comparaison de la tâche et de la technique (une main vs deux mains) sur la flexion du rachis cervical.</p>
	<p>Synthèse : Le niveau d'activation musculaire lors de l'utilisation à deux mains d'un téléphone pendant la marche était en moyenne de 21,2% et 41,7% supérieur à celui de la position assise et debout.</p>		
Young (2012)	<p>Objectif : Les conditions d'utilisation (position d'utilisation) de tablettes à écran tactile et l'inclinaison des écrans affectent les angles de flexion de la tête et du cou.</p>	<p>Participants : n = 15 Age 29 +/- 5 ans.</p>	<p>Paramètres : Tests effectués dans 4 conditions différentes de positionnement de l'écran tactile. Obtention de variations angulaires du cou, de la tête. Paramètres de distance et angles liés au regard.</p>
	<p>Synthèse : Les flexions de la tête et du cou varient en fonction des conditions (article faisant une différence entre ces angles) et de la tablette. La condition avec support donne les meilleurs résultats en termes de flexion du cou. Pour les autres conditions les flexions se situent entre 15° et 25° au-delà des valeurs « neutres ». Eloignement du neutre articulaire.</p>		
Young (2013)	<p>Objectif : Posture des poignets et des épaules et activité musculaire pendant l'utilisation d'une tablette à écran tactile : effets de la configuration d'utilisation, du type de tablette et de la main d'interaction.</p>	<p>Participants : n = 15 Age 29 +/- 5 ans.</p>	<p>Paramètres : Variations angulaires de l'épaule et du poignet.</p>
	<p>Synthèse : Pour le poignet : - extension plus grande (10°) pour la main dominante (sauf lorsque la tablette est tenue à deux mains) ; - à une main, déviation radiale plus importante pour la main non dominante ; - extension du poignet plus importante lorsque tablette sur les cuisses (>27°) ; - le fait d'écrire des emails conduit à une déviation ulnaire plus importante.</p>		

Les études présentées ici (**Tableau I.1**) montrent la diversité des situations à tester lors de l'utilisation d'un smartphone. Quels sont les aspects posturaux lorsqu'un individu marche tout en utilisant son smartphone ? Quelles différences posturales peut-on retrouver sur les paramètres angulaires des membres supérieurs entre une utilisation à une main ou une utilisation à deux mains ? On observe dans chacune de ces études une volonté de quantifier la posture adoptée en fonction des conditions d'utilisation. Cette quantification est plus ou moins précise en fonction de la métrologie utilisée. En effet, une capture vidéo dans le plan sagittal peut certes proposer une quantification posturale mais certainement pas de manière précise et rigoureuse. L'extraction d'informations angulaires à partir de capture vidéo a déjà montré dans la littérature qu'elle ne permettait pas de caractériser la complexité d'un mouvement (redondance articulaire ; mouvements complexes dans l'espace...). Ce tableau permet également de prendre conscience de la grande quantité de conditions d'utilisation lors de l'interaction avec un smartphone. Cela permet aussi de mettre en évidence que la plupart des études portent sur le rachis cervical ou le rachis de manière plus générale.

I.3. Smartphone et posture

Afin de rendre la synthèse bibliographique plus claire, nous avons fait le choix de l'utilisation de tableaux de synthèse afin de caractériser tous les points de vue par lesquels sont abordées les problématiques posturales dans le cadre de l'utilisation des smartphones. La littérature internationale est très riche et a permis d'avancer

dans la définition des postures aussi bien d'un point de vue qualitatif que quantitatif. Ces dernières sont généralement définies par les variables articulaires au moyen d'outils de mesure plus ou moins évolués. Les tableaux suivants présentent les travaux exploitant des données qualitatives (questionnaire, vidéo...), ou quantitatives issues des systèmes de mesure de type goniomètres, des unités de mesure inertielle (IMU), ainsi que des systèmes optoélectroniques, dans le but d'analyser les postures des utilisateurs.

1.3.1. Analyses qualitatives

Une grande partie des travaux porte sur des notions qualitatives ou l'objectivation métrologique n'est pas ou peu effectuée. Le tableau ci-dessous présente une sélection des études qui qualifient les postures adoptées lors de l'interaction avec un smartphone.

Tableau I.2 : smartphone et postures : analyses qualitatives, questionnaires et photos/vidéos

Auteur	Description		
Cochrane <i>et al.</i> (2019)	Objectif : Déterminer les effets à court terme de l'utilisation des smartphones sur les postures du haut du rachis.	Participants : n = 63 étudiants (22.7±0.4) dont 28 hommes et 35 femmes	Paramètres : Variable articulaire du rachis et du bassin. Moyen de mesure : questionnaire, photographie de posture.
	Synthèse : Le smartphone affecte négativement la posture et pourrait avoir des conséquences cliniques importantes à long terme, comme des douleurs chroniques au niveau du rachis cervical, thoracique et lombaire, des maux de tête ainsi qu'une baisse de la concentration. 49% des sujets reportent de l'inconfort lors de l'utilisation du smartphone.		
Gold <i>et al.</i> (2012)	Objectif : Caractériser les postures d'utilisation et les types de saisie lors de l'interaction avec un smartphone.	Participants : n = 859 dont 335 hommes et 524 femmes âgés de 18 à 20 ans	Paramètres : Variables articulaires du cou, du tronc et du membre supérieur qualifiées. Moyen de mesure : grille d'observation en milieu écologique non intrusive.
	Synthèse : Ecrire sur un smartphone induit une flexion du cou (flexion >10° dans plus de 90% des utilisateurs(trices)) ainsi qu'une position non neutre du poignet (91.1 % des hommes et 92.8% des femmes) quelle que soit la condition d'utilisation. Il existe également des différences entre les hommes et les femmes au niveau de l'épaule et du coude.		
Kim and Kim (2015)	Objectif : Etude de l'utilisation des smartphones, des symptômes musculosquelettiques et des risques associés.	Participants : n = 292 (21.4±1.6)	Paramètres : Conditions d'utilisation du smartphone, caractéristiques de l'utilisateur et symptômes musculosquelettiques. Moyen de mesure : questionnaire.
	Synthèse : Les régions articulaires les plus douloureuses chez les utilisateurs de smartphones sont les épaules et le cou avec plus de 50% de sujets qui se sentent en situation inconfortable et ressentent des douleurs. La taille de l'écran est corrélée aux douleurs du dos et les douleurs dans les jambes sont négativement corrélées à la durée d'utilisation. Il est important d'améliorer la manière d'utiliser les smartphones et de développer des programmes de prévention afin d'éviter les TMS.		

<p>Lee et al. (2016)</p>	<p>Objectif : Effets du type de tâche, de la géométrie de l'interface et de la morphologie de la main sur la préhension. Quelles sont les zones de l'écran couvertes par l'index et quelle activation musculaire est sollicitée lors d'interaction avec un smartphone.</p>	<p>Participants : n = 90 jeunes dont 53 hommes et 37 femmes (22,6±2,1 ans). n = 30 personnes plus jeunes, dont 11 hommes et 19 femmes (22,3±1,1 ans).</p>	<p>Paramètres : Longueur de la main, EMG des muscles associés aux mouvements de l'index, inconfort perçu. Moyen de mesure : EMG, Analyse de photographies, échelle d'inconfort.</p>
<p>Synthèse : Parmi les mouvements neutres, confortables, maximums, horizontaux et verticaux de l'index sur les surfaces arrière des smartphones, les mouvements maximums par rapport aux positions neutres ont causé 43,8 % de gêne supplémentaire. Les mouvements horizontaux/verticaux s'écartaient de l'axe horizontal/vertical. L'inconfort a augmenté de 12,3 % avec les appareils de 90 mm contre 60 mm de large. Les zones d'interaction arrière de cinq smartphones commercialisés devraient être abaissées de 20 à 30 mm pour une interaction arrière plus confortable.</p>			
<p>Liang and Hwang (2016)</p>	<p>Objectif : Etude des préférences posturales et des styles de d'affichage de l'écran dans les transports.</p>	<p>Participants : n = 1230 dont 454 hommes et 776 femmes Age compris entre moins de 20 ans et plus de 60 ans.</p>	<p>Paramètres : Observation des postures en position assise ou debout, de la tenue du smartphone et des techniques d'interaction. Moyen de mesure : grille d'observation.</p>
<p>Synthèse : La majorité des tâches consistait à naviguer (84 %) avec leur téléphone en orientation portrait (93 %). La prise et la manipulation à deux mains était le plus couramment utilisé en position assise (46 %) et la prise et la manipulation avec la même main était la plus courante en position debout (46 %). La répartition des interactions était significativement différente pour les personnes assises et debout, et pour les différents sexes et groupes d'âge. Les postures les plus fréquemment observées en position assise étaient d'avoir le tronc contre un dossier, les pieds sur le sol et avec ou sans appui-bras (58 %). Quant aux utilisateurs en position debout, les deux groupes et les différents groupes de mains présentaient une proportion élevée de bras non soutenus, de pieds au sol et de tronc soutenu ou non.</p>			
<p>Namwongsa et al. (2018a)</p>	<p>Objectif : Etude des troubles musculosquelettiques (TMS) chez les utilisateurs de smartphones afin de confirmer la forte prévalence des douleurs cervicales.</p>	<p>Participants : n = 643 dont 184 hommes et 459 femmes (18.8±0.8 ans).</p>	<p>Paramètres : Auto-évaluation de l'utilisation des smartphones et des troubles musculosquelettiques. Moyen de mesure : questionnaire.</p>
<p>Synthèse : La région du corps la plus douloureuse après l'utilisation de smartphones sur une période de 12 mois est le cou (32,50 %). Les facteurs associés aux troubles de la nuque étaient une posture de cou fléchi et le fait de fumer.</p>			

Namwongsa <i>et al.</i> (2018b)	<p>Objectif : Evaluation du niveau de risque ergonomique pour les utilisateurs de smartphones ainsi que la corrélation entre TMS auto-déclaré et le niveau de risque ergonomique.</p>	<p>Participants : n = 30 dont 4 hommes et 26 femmes (21.4±1.4 ans).</p>	<p>Paramètres : Caractéristiques d'utilisation du smartphone et score RULA. Moyen de mesure : questionnaire, vidéo.</p>
	<p>Synthèse : La plupart des utilisateurs de smartphones ont obtenu une note globale de 6 pour le RULA, ce qui indique la nécessité d'une enquête plus approfondie et de changements. Aucun participant n'a obtenu un score RULA acceptable de 1 ou 2. Il y a une corrélation significative entre le score RULA et les troubles musculosquelettiques du cou. Les résultats de RULA ont identifié le risque ergonomique élevé des utilisateurs de smartphones, qui résulte de deux facteurs de risque clés : la posture et l'utilisation des muscles. Les postures du cou, du tronc et des jambes ont eu un effet combiné sur les troubles musculosquelettiques du cou.</p>		
Szucs <i>et al.</i> (2018)	<p>Objectif : Comparaison de la posture du haut du corps et des membres supérieurs entre différentes technologies mobiles (smartphone, tablette, ordinateur).</p>	<p>Participants : n = 21 dont 3 hommes et 18 femmes (21.1±1.5 ans).</p>	<p>Paramètres : Variables angulaires de la tête, de la cage thoracique et de l'épaule. Moyen de mesure : application smartphone d'analyse de posture, questionnaire.</p>
	<p>Synthèse : L'utilisation de chaque appareil modifie la posture ; cependant, l'utilisation fréquente et régulière d'une tablette peut produire des effets délétères plus importants que l'utilisation régulière d'autres appareils ou technologies portables.</p>		
Toh <i>et al.</i> (2020)	<p>Objectif : Evaluation des associations potentielles entre l'utilisation d'appareils mobiles à écran tactile (smartphones, tablettes, etc.), les modes d'utilisation, les symptômes musculosquelettiques et la santé visuelle des adolescents.</p>	<p>Participants : n = 1691 dont 829 hommes et 862 femmes âgés de 11 à 19 ans (14.3±2.0 ans).</p>	<p>Paramètres : Condition d'utilisation des dispositifs tactiles, symptômes musculosquelettiques et effets sur la santé visuelle. Moyen de mesure : questionnaires, échelle de stress.</p>
	<p>Synthèse : Aucune association n'a été observée entre la durée d'utilisation du smartphone/tablette et les symptômes. Les schémas d'utilisation initiaux (durée de l'accès, certains types d'activités, multitâches) ont été associés à des symptômes musculosquelettiques observés par la suite. L'utilisation du smartphone ou de la tablette n'était pas corrélée aux altérations visuelles (symptômes visuels, port de lunettes ou de lentilles de contact, myopie) lors du suivi. Ces résultats suggèrent que les schémas d'utilisation des smartphones/tablettes (mais pas la durée d'utilisation) peuvent présenter un risque prospectif de symptômes musculosquelettiques.</p>		

Ce second tableau (**Tableau I.2**) souligne la volonté déjà évoquée précédemment de caractériser les postures adoptées par des individus en fonction des conditions d'utilisation. Plusieurs travaux ont souhaité dresser un bilan représentatif de ces postures en ayant recours à de grandes cohortes de plusieurs centaines d'utilisateurs(trices) par l'intermédiaire d'études observationnelles et/ou de questionnaires. L'objectif de ces travaux est double :

1. Proposer une synthèse des conditions d'utilisation les plus récurrentes en y associant les positions d'interactions les plus fréquentes, y compris la manière de manipuler le smartphone ;
2. Faire le lien avec une question d'actualité qui préoccupe de plus en plus les équipes de recherche. Quels sont les effets du smartphone sur les utilisateurs(trices) ?

On retrouve principalement les positions d'utilisation assises et debout. La manipulation des appareils ne fait pas consensus et il semble que les stratégies d'interaction à une main et à deux mains dépendent de la tâche effectuée, du temps passé sur l'appareil et de la position d'interaction (Park and Han, 2010; Gold et al., 2012; Trudeau et al., 2012; Xiong and Muraki, 2014; Berolo et al., 2015). Les auteurs font ensuite le lien avec les données d'inconfort, de douleurs, et de symptômes musculosquelettiques associés à l'utilisation des smartphones, obtenues via différentes échelles. Les études s'accordent à dire que l'utilisation des smartphones a un impact négatif direct sur les postures des utilisateurs, notamment avec des

flexions de cou importantes à l'origine de TMS. Cependant, ces approches sont descriptives et les postures sont simplement qualifiées. En effet, l'état de l'articulation est simplement rapporté (tête fléchie, épaule en protraction) sans mesure véritable. Quelques travaux intègrent à leur méthodologie des analyses de photographies et de vidéo afin de compléter les descriptions des postures adoptées. Par exemple Namwongsa et al. (2018) se basent sur des analyses vidéo pour calculer un score ergonomique, le « Rapid Upper Limb Assessment » ou RULA, et ainsi qualifier les postures des utilisateurs. Les résultats montrent des scores importants traduisant le fait qu'utiliser un smartphone est une tâche à risque susceptible de générer des TMS. Là encore, les mesures restent subjectives et manquent de précision pour décrire objectivement les postures des utilisateurs. Toutefois un préliminaire de classification et de caractérisation a été proposé dans les travaux de Lee et al. (2016) eux-mêmes issus de travaux antérieurs de Choi et al. (2013). Il s'agit pour les auteurs de proposer différents contextes d'interaction avec un smartphone.

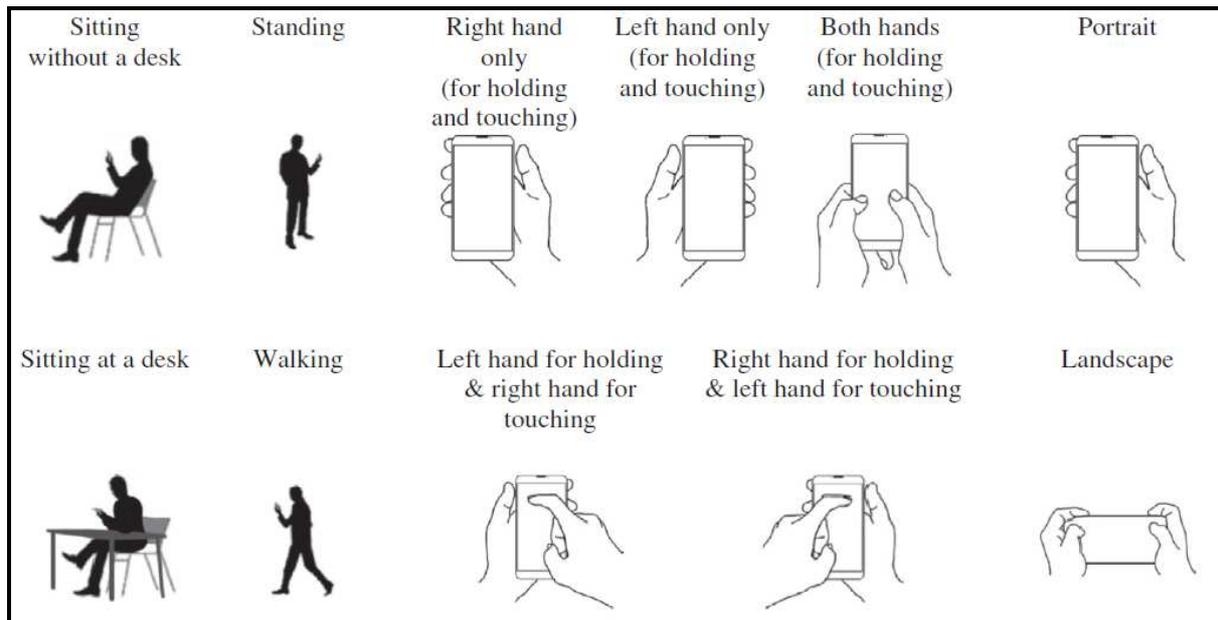


Figure I.1: Smartphone's primary functions and contexts of use (Lee et al., 2016)

1.3.2. Analyses quantitatives

D'autres études ont tenté de mesurer, l'interaction entre l'utilisateur et le smartphone. Ainsi des analyses quantifiées, au moyen d'appareils de mesure plus ou moins complexes, plus ou moins précis ont été conduites afin de créer un catalogue chiffré d'adaptations posturales relatives à certaines régions articulaires.

1.3.2.1. Les goniomètres

Tableau I.3 : smartphone et posture - goniomètres.

Auteur	Description		
Alruzayhi <i>et al.</i> (2018)	Objectif : Effet de l'utilisation du smartphone sur les performances du membre supérieur. Analyse ergonomique et biomécanique.	Participants : n = 300 Age : entre 18 et 25 ans.	Paramètres : Variations angulaires de l'épaule, du coude et du poignet. Moyen de mesure : Goniomètre, échelle d'addiction et de douleur.
	Synthèse : Le score de douleur est positivement corrélé à la majorité des mobilités de l'épaule et la flexion du coude. Ainsi, l'utilisation du smartphone affecte de manière négative le membre supérieur en causant une augmentation significative de la douleur. Il est urgent d'informer les utilisateurs l'impact de l'utilisation du smartphone sur de longues périodes.		
Ha and Sung (2020)	Objectif : La flexion du rachis cervical liée à l'utilisation de smartphone peut impacter les paramètres de proprioception du cou.	Participants : n = 22 Groupe contrôle n = 11 (21.36±1.43 ans). Groupe expérimental n = 11 (21.82±1.78 ans).	Paramètres : Flexion du rachis cervical. Moyens de mesure : Vidéo-photos, échographie.
	Synthèse : Aucune différence entre les groupes sur les paramètres de flexion entre le groupe contrôle et le groupe ayant passé 40 minutes à interagir avec un smartphone. Différence significative concernant la proprioception des cervicales (FHP).		
Kim and Kim (2015)	Objectif : Analyse de questionnaires de douleurs (auto-évaluation) de jeunes adultes avec et sans douleur cervicale lors de l'utilisation d'un smartphone.	Participants : n = 13 sujets contrôles dont 6 hommes et 7 femmes (20.6±1.6) et n = 14 sujets avec des douleurs au cou dont 6 hommes et 8 femmes (20.6±1.5).	Paramètres : Angles articulaires du rachis cervical supérieur et inférieur dans le plan sagittal. Moyen de mesure : Système d'analyse du mouvement à partir d'échographie ultrason.
	Synthèse : 42,1% ont ressenti une douleur dans les yeux, 55,8% une douleur dans le cou, 54,8% une douleur dans les épaules, 19,2% une douleur dans les bras, 19,2% une douleur dans les mains, 27,1% une douleur dans les poignets, 19,9% une douleur dans les doigts, 29,8% une douleur dans la hanche et 9,6% une douleur dans les jambes et les pieds.		

Kim and Koo (2016)	Objectif : Effet de la durée d'utilisation du smartphone sur la fatigue et la douleur des muscles du cou et des épaules.	Participants : n = 34 (26.2±5.4 ans) répartis en 3 groupes : n = 11 utilisent un smartphone pendant 10 minutes. n = 12 utilisent pendant 20 minutes et n = 11 utilisent pendant 30 minutes.	Paramètres : Signal EMG de surface provenant des muscles érecteurs cervicaux et des muscles trapèzes supérieurs. Moyen de mesure : Goniomètre, EMG, échelle visuelle.
Synthèse : La douleur et la fatigue se sont aggravées avec l'utilisation prolongée du smartphone. Cette étude a fourni des données sur la durée adéquate d'utilisation des smartphones. Une posture correcte et des pauses d'au moins 20 minutes sont recommandées lors de l'utilisation des smartphones.			
Shin and Kim (2014)	Objectif : Etude du rapport flexion-relaxation cervicale (FRR) et de l'intensité de la douleur cervicale. Identification des différences en fonction des postures adoptées lors de l'utilisation de smartphones.	Participants : n = 15 (26.1±5.7 ans).	Paramètres : Activité musculaire et flexion/extension du cou. Moyen de mesure : EMG, Instrument de mesure de l'angle cervical (inclinomètre à référence magnétique).
Synthèse : Aucune différence significative n'a été constatée dans le FRR entre la posture de bureau, la posture sur les genoux et la ligne de base, bien que l'intensité de la douleur cervicale ait augmenté dans la posture sur les genoux. Le FRR pourrait être un critère significatif de déficience neuromusculaire chez les patients souffrant de douleurs cervicales ou lombaires chroniques, mais il est impossible de distinguer la douleur cervicale qui est causée par l'exécution d'une tâche pendant une courte période. Une posture prolongée sur les genoux peut provoquer des douleurs cervicales, c'est pourquoi il faut éviter d'utiliser des smartphones pendant une longue période dans cette posture.			

Le **tableau I.3** regroupe les études dans lesquelles les variables articulaires sont déterminées de manière objective à partir de mesures. On y retrouve notamment l'utilisation des goniomètres qui permettent de mesurer des angles au niveau d'une articulation mais qui souffrent d'un manque de précision et qui ne permettent pas forcément d'interpréter le mouvement. Ce type de limitations se retrouve dans l'étude de Alruzayhi *et al.* (2018) lorsqu'ils mesurent les flexions ($133,33 \pm 19,84^\circ$) et extensions du coude ($3,76 \pm 5,12^\circ$) avec de grandes variabilités des données. Les différentes études rapportent ainsi des valeurs numériques de sollicitations articulaires qui permettent d'expliquer de manière objective mais simple la posture de l'utilisateur lorsqu'il interagit avec son smartphone. Dans ce contexte, les cohortes testées sont plus petites et les analyses se focalisent sur un nombre limité de variables articulaires, le plus souvent dans le plan sagittal. Les études portant sur le cou et sur le membre supérieur restent prépondérantes et sont réalisées pour des conditions d'utilisation bien déterminées et contrôlées. Le lien avec les douleurs et les possibles troubles sont toujours présents dans les études mais ces dernières sont le plus souvent obtenues à partir d'échelles ou de questionnaires. Les conclusions sont similaires à celles présentées précédemment, à savoir que l'utilisation des smartphones modifie la posture des utilisateurs, ce qui engendre l'apparition d'inconfort, de douleurs et/ou de TMS.

I.3.2.2. Les IMU

Tableau I.4 : smartphone et postures - IMU.

Auteur	Description		
Han <i>et al.</i> (2018)	Objectif : Etude de la variation angulaire de la flexion de tête sur une journée de travail.	Participants : n = 31 (20.6±1.4 ans) avec 16 femmes (20.4±1.0 ans) et 15 hommes (21.0±1.8 ans).	Paramètres : Temps passé sur les applications, angle de flexion de la tête.
	Synthèse : Les participants passent 125.9 minutes sur leur smartphone. La flexion de la tête est plus importante lors de l'utilisation du smartphone (>30° vs <20° lorsque les sujets n'utilisent pas leur smartphone). Il y a donc un lien entre la durée d'utilisation du smartphone et le degré de flexion de la tête.		
Han and Shin (2019)	Objectif : Quantification de la flexion de la tête lors de l'utilisation du smartphone en marchant.	Participants : n = 28 (22.8 ±1.9 ans)	Paramètres : Flexion du cou durant une marche normale, l'envoi d'un message en marchant, une recherche internet en marchant.
	Synthèse : Utiliser le smartphone en marchant implique une plus grande charge musculaire au niveau du cou par rapport à une situation de marche sans utiliser le smartphone. Cette charge musculaire est plus grande lors de l'envoi du message par rapport à une navigation. Les messages envoyés à deux mains entraînent une flexion du cou de 38.5° vs 31.1° pour une navigation internet effectuée à une main.		
Ning (2015)	Objectif : Effet de différentes conditions d'utilisation d'un smartphone et d'une tablette sur la cinématique du rachis cervical.	Participants : n = 14	Paramètres : Flexion du cou lors de l'utilisation d'un smartphone durant 3 tâches (lire, jouer et écrire) dans 2 conditions d'utilisation (tenu en main ou posé sur la table). Comparaison avec l'utilisation d'une tablette.
	Synthèse : Les flexions de cou les plus importantes ont été observées durant l'utilisation d'un smartphone (44.7°), pour une tâche d'écriture (45.6°), lorsque l'appareil était posé sur une table (46.4°).		
Prupetkaew <i>et al.</i> (2019)	Objectif : Effet des exigences cognitives, visuelles et de la motricité globale en utilisant un téléphone en marchant chez les jeunes et les adultes âgés, en laboratoire et en environnement libre.	Participants : Jeunes : n = 12 (22.7±1.8 ans) dont 8 femmes. Personnes âgées : n = 12 (73.5±5.6 ans) dont 10 femmes.	Paramètres : Paramètres de marche (vitesse, durée du pas, longueur de pas et cadence) durant plusieurs tâches (écrire un message debout, marcher en tenant un smartphone à deux mains sans s'en servir, marcher en regardant un smartphone tenu par un dispositif de portage, marcher en écrivant un message) effectuées en laboratoire et en environnement libre.
	Synthèse : Les charges cognitives et visuelles influencent fortement la marche (altération des paramètres de la marche) lorsque les sujets utilisent un smartphone, particulièrement chez les sujets âgés. Simplement tenir le smartphone ne modifie pas la marche car c'est un dispositif léger. L'environnement n'accroît pas l'altération des paramètres de la marche.		

Shin and Kim (2014)	Objectif : Effet des postures adoptées lors de l'utilisation d'un smartphone sur le rapport flexion-relaxation (FRR) et l'intensité de la douleur cervicale.	Participants : n = 15 (26.1±5.7ans)	Paramètres : Flexion du cou, FRR et intensité de la douleur au niveau du cou lors de l'utilisation d'un smartphone en position bureau, coudes sur une table, ou posé sur les genoux
	<p>Synthèse : L'intensité de la douleur au niveau du cou est plus importante lors de l'utilisation du smartphone posé sur les genoux. Cette position est à éviter. Pas de différence au niveau du FRR entre les positions.</p> <p>FRR peut être un critère pertinent pour les lésions neuromusculaire mais il ne permet de distinguer la douleur du cou qui en est la cause par la réalisation d'une tâche courte.</p>		
Szeto <i>et al.</i> (2020)	Objectif : Effet de l'utilisation d'un smartphone sur les variations de la posture de la colonne vertébrale.	Participants : n = 18 (21.5±2.6 ans) dont 10 hommes (20.9±2.1 ans) et 8 femmes (22.0±3.2 ans).	Paramètres : Variables articulaires du rachis cervical, thoracique et lombaire.
	<p>Synthèse : Plus grande flexion du rachis cervical (+10.4°) et thoracique supérieur (+5.6°) et plus grande fréquence de variation posturale de l'ensemble du rachis durant l'utilisation de smartphone.</p>		
Xie <i>et al.</i> (2018)	Objectif : Cinématique de la colonne vertébrale lors de l'envoi de SMS par smartphone - Comparaison entre jeunes adultes avec et sans douleur chronique de la nuque et des épaules.	Participants : Groupe « case » (avec des douleurs) n = 19 (24.4±/ 3.1 ans). Groupe contrôle n = 18 (23.2±/3.3 ans).	Paramètres : Variables articulaires du rachis cervical, du thorax et des lombaires.
	<p>Synthèse : Ecrire un message sur le smartphone entraine une flexion importante (+20°) du cou par rapport à l'écriture sur un ordinateur classique. L'écriture à deux mains est associée à une plus grande flexion du cou (5°) tandis que celle à une main est associée à une posture asymétrique du cou. Les deux techniques d'interaction ne sont pas recommandées. Les utilisateurs avec des douleurs chroniques au niveau des épaules et du cou doivent prêter attention à leur posture durant l'utilisation de smartphone.</p>		

L'utilisation de centrales inertielles ou parfois de simples accéléromètres 3D permet une étude posturale rapide. En effet, l'installation de ces outils de mesure est simple et l'analyse des données ne demande que peu de traitement. Cela permet de passer immédiatement à la phase d'interprétation des données. Dans ce contexte, les études menées sur l'utilisation des smartphones se concentrent généralement sur la flexion du rachis cervical, le plus souvent dans le plan sagittal. Lors de l'interaction avec un écran tactile (smartphone, tablette) il apparaît que la flexion du rachis cervical est fortement mise à contribution dans des amplitudes (plus de 27° de flexion du cou pour l'envoi de textos à deux mains et autour de 23° pour l'envoi à une main) qui alertent sur la pérennité de telles postures. En 2018, Han montre qu'il y a plus de 10° de flexion de différence entre un utilisateur de smartphone et une personne qui ne fait rien (30° vs 20°) (Han et al., 2018). Ils poursuivent leurs travaux en mettant les sujets en situation de mouvement (marche). Il apparaît qu'utiliser son smartphone en marchant (en effectuant l'envoi de messages textes) entraîne une plus grande flexion du rachis cervical que lorsqu'un individu marche sans utiliser son téléphone (38,5° vs 29,9°). Elle est encore plus importante lorsque le smartphone est utilisé à deux mains (stratégie fréquemment vue dans la littérature) (Trudeau, 2016; Han and Shin, 2019; Merbah *et al.*, 2020b). Ces travaux sont confortés par d'autres études qui montrent que la flexion du cou peut être supérieure à 40° en fonction des tâches effectuées et de la position d'utilisation (Ning, 2015). La tâche semble également impacter l'amplitude de flexion et de fait, les risques de douleurs associés (Ning, 2015; Szeto et al., 2020).

I.4. Optoélectronique

Les outils de mesure optoélectroniques sont les plus précis du marché. Cette qualité des données mesurées va de pair avec une complexité de mise en place et un temps de traitement des données plus long. Néanmoins ce type d'appareils reste la référence en ce qui concerne la quantification 3D et la biomécanique.

Tableau I.5 : smartphone et posture - systèmes optoélectroniques

Auteur	Description		
Ader <i>et al.</i> (2017)	Objectif : Evaluation biomécanique de l'interaction avec une interface tactile.	Participants : n = 15 (65-84 ans) n = 15 (18-45 ans)	Paramètres : Analyse de 2250 gestes d'interaction. Angles évalués : poignets.
	Synthèse : Le poignet présente dans 93% du temps une déviation radiale (> ou > à 5°) et 68% de la tâche d'interaction. La déviation radiale est > 30° pendant 11% du temps.		
Agostini <i>et al.</i> (2015)	Objectif : L'envoi de SMS en marchant affecte-t-il vraiment le patron de marche des jeunes adultes ?	Participants : n = 18 (20-30 ans)	Paramètres : Variables angulaires des paramètres de marche.
	Synthèse : Le patron de marche classique est légèrement affecté lors de l'envoi de messages texte. L'envoi de message a pour conséquence de réduire la vitesse de marche de 0.13 m/s et la cadence de 2.5 pas /min. Dans le contexte de cette étude, la vitesse d'écriture n'était que de 80 caractères/min vs 222 caractères/min reportés par la littérature.		
Ailneni <i>et al.</i> (2019)	Objectif : Influence du capteur de correction de la posture portable sur la posture de la tête et du cou : postes de travail assis et debout	Participants : n = 19 Age 24.4+/- 5.3 ans	Paramètres : Tâche d'écriture sur un poste de travail classique, évaluation des effets de l'utilisation de capteurs sur la posture adoptée.
	Synthèse : Un système de monitoring de la posture pourrait prévenir les mauvaises postures du cou. Dans le cas d'une tâche d'écriture au clavier, une réduction de 8% de la flexion du cou et 14% de « moment gravitationnel ». Importance de « feedback » afin d'éviter l'apparition de TMS.		
Cha <i>et al.</i> (2015)	Objectif : Effets de la tâche (sms et jeux vidéo) sur la démarche lors d'un parcours avec obstacles sous différents niveaux d'éclairage lors de l'utilisation de téléphones portables.	Participants : n = 12 Age 23.5 ans (20-35 ans)	Paramètres : 6 conditions de lumière extérieure et de marche avec ou sans obstacles ont été testées. Des paramètres d'analyse de la marche (longueur de pas, vitesse...) ont été enregistrés et discutés.
	Synthèse : Le fait d'utiliser un smartphone en cas de faible éclairage réduit la qualité de la marche avec obstructions. Dans tous les cas, diminution des vitesses (marche normale+lumière : 1.19 m/s vs marche texto+sombre : 0.88 m/s), des longueurs de pas (71.57cm vs 59.38 cm) ainsi que des cadences (98.39 vs .90.55 pas/s).		

Davis <i>et al.</i> (2015)	<p>Objectif : Analyse des différences posturales entre l'utilisation d'un clavier et celle d'un écran tactile.</p>	<p>Participants : n = 20 (10 femmes - 10hommes) ; 18-65 ans.</p>	<p>Paramètres : Evaluation de douze combinaisons spécifiques du clavier ou de l'écran tactile et de la hauteur de la surface de travail. Analyse biomécanique de l'ensemble du corps (angles et vitesse).</p>
	<p>Synthèse : La position assise est celle où les coudes sont le plus fléchis (coude droit moyen : 97,8° (18,6°) ; coude gauche moyen : 90,0° (18,5°)) et la position debout à faible hauteur est celle où les coudes sont le plus tendus (coude droit moyen : 147,4° (18,0°) ; coude gauche moyen : 123,5° (19,3°)).</p>		
Eitivipart (2019)	<p>Objectif : Troubles musculosquelettiques et douleurs associées à l'utilisation de smartphones : une revue systématique des preuves biomécaniques.</p>	<p>Participants : Revue de littérature. 12 études retenues.</p>	<p>Paramètres : Distingue spécifiquement les articles qui traitent des troubles musculosquelettiques ainsi que des douleurs liées à l'utilisation du smartphone</p>
	<p>Synthèse : Les paramètres essentiels pour déterminer les risques de TMS sont les amplitudes articulaires (lorsqu'une articulation s'éloigne du neutre articulaire), les données issues des échographies ainsi que des EMG. Concernant les amplitudes articulaires, des études rapportent un ROM moyen de 44 +- 4.31°. Les utilisateurs de smartphone présentent un indice scapulaire et un angle craniovertébral plus élevés p < 0,05 par rapport aux utilisateurs peu fréquents de smartphones.</p>		
Gustafsson (2018)	<p>Objectif : Envoyez des SMS avec des téléphones à écran tactile et à clavier : comparaison de la cinématique du pouce, de l'activité musculaire des membres supérieurs, de l'effort, de l'inconfort et des performances.</p>	<p>Participants : n = 19 Age : (21–51 ans) 12 femmes, 7 hommes.</p>	<p>Paramètres : Evaluation cinématique 3D des variables articulaires du pouce et quantification de la charge musculaire des membres supérieurs.</p>
	<p>Synthèse : Smartphone VS clavier : la rotation interne du pouce était en moyenne moins importante (p=0,02), et l'activité (50e et 90e percentile) des muscles du pouce et de l'avant-bras était plus faible (p≤0.05).</p>		
Jacquier-Bret <i>et al.</i> (2017)	<p>Objectif : Analyse biomécanique du membre supérieur lors de l'utilisation d'un écran tactile : identification des stratégies motrices.</p>	<p>Participants : n = 11 1 femme, 10 hommes.</p>	<p>Paramètres : Coordination des articulations des membres supérieurs lors de la réalisation de puzzles sur écran tactile.</p>
	<p>Synthèse : Mise en évidence de trois stratégies en fonction de l'implication angulaire de la région considérée. Stratégie poignet, stratégie coude, stratégie mixte. Distance tête-écran tactile 262.9+-57.3 mm. L'ensemble des amplitudes des épaules, des coudes et des poignets sont influencées par la taille de l'écran : F(3,30)=59.3, p<0.05.</p>		

Lee (2015a)	Objectif : Etude de l'angle de flexion de la tête lors de l'utilisation d'un smartphone.	Participants : n = 18 (20.2 ±1.48 ans).	Paramètres : Angle de flexion du cou en fonction de trois tâches récurrentes à l'utilisation du smartphone.
	Synthèse : L'angle de flexion de la tête varie entre 37,2 (10ème percentile, debout) et 46,8 (90ème percentile, assis) pour les SMS, entre 33,4 (10ème percentile, debout) et 42,5 (90ème percentile, assis) pour la navigation sur Internet et entre 30,2 (10ème percentile, debout) et 44,3 (90ème percentile, assis) pour le visionnage de vidéos.		
Yoon <i>et al.</i> (2020)	Objectif : Analyse des variations angulaires du cou lors de l'utilisation d'un smartphone en position assise, debout et en marchant.	Participants : n = 21 (10 femmes et 11 hommes) ; (23±1.8 ans).	Paramètres : Comparaison de la tâche et de la technique (une main vs deux mains) sur la flexion du rachis cervical.
	Synthèse : La tâche (texting) ainsi que le fait d'interagir à deux mains sont des conditions qui augmentent la flexion du cou (+11,7%).		
Young (2012)	Objectif : Les conditions d'utilisation (position d'utilisation) de tablettes à écran tactile et l'inclinaison des écrans affectent les angles de flexion de la tête et du cou.	Participants : n = 15 Age 29 +/- 5 ans.	Paramètres : Tests effectués dans 4 conditions différentes de positionnement de l'écran tactile. Obtention de variations angulaires du cou, de la tête. Paramètres de distance et angulaires liés au regard.
	Synthèse : Les flexions de la tête et du cou varient en fonction des conditions (ce travail dissocie ces deux repères) et de la tablette. La condition avec support donne les meilleurs résultats en termes de flexion du cou. Pour les autres conditions les flexions se situent entre 15° et 25° au-delà des valeurs "neutres". Eloignement du neutre articulaire.		
Young (2013)	Objectif : Quantification des variations angulaires des poignets et des épaules et objectivation de l'activité musculaire pendant l'utilisation d'une tablette à écran tactile : Effets de la configuration d'utilisation, du type de tablette et de la main d'interaction.	Participants : n = 15 Age 29+/- 5 ans.	Paramètres : Variations angulaires de l'épaule et du poignet.
	Synthèse : Pour le poignet : - extension plus grande pour la main dominante (sauf lorsque tablette tenu à deux mains); - à une main, déviation radiale plus importante pour la main non dominante; - extension du poignet plus important lorsque tablette sur cuisse; - le fait d'écrire des emails conduit à une déviation ulnaire plus importante.		

Ce tableau (**Tableau I.5**) présente un autre type d'approche qui consiste à exploiter des paramètres biomécaniques souvent de nature géométrique et/ou cinématique. Ces études tridimensionnelles fournissent une qualité et une quantité de données importantes qui permettent de caractériser des stratégies motrices, lors de l'utilisation d'un écran tactile. En effet, une équipe de recherche a mis en évidence trois types de stratégies lors d'une interaction avec un tablette. Il apparait que soit le poignet est fortement mis à contribution, soit le coude soit les deux (Jacquier-Bret *et al.*, 2017). Des travaux plus récents ont porté sur l'implication de la tête (flexion du rachis cervical) dans l'utilisation des smartphones dans différentes conditions de tâches (navigation internet, messages textes) et de position de départ (assis, assis sans support pour les membres supérieurs, ou encore debout) (Lee and Jung, 2015; Syamala, 2018; Merbah *et al.*, 2020b). Qu'il s'agisse de la flexion du cou, de la flexion du tronc ou de la déviation radio-ulnaire, ces études ont montré que les sujets s'éloignent fréquemment du neutre articulaire lorsqu'ils interagissent avec leur smartphone (Bachynskyi et al. 2015, Kietrys et al. 2015, Han and Shin 2019).

Afin de compléter les analyses portant sur les variables articulaires, d'autres études se sont intéressées à la quantification de la charge articulaire, principalement par l'intermédiaire de l'activité électromyographique (EMG). Ces évaluations sont présentées dans la partie suivante.

I.5. Smartphone et charge articulaire

En complément des études déjà décrites, il existe, dans la littérature, des travaux qui étudient la charge articulaire induite par l'interaction avec un smartphone ainsi que les conséquences dans l'apparition des TMS et/ou la notion de douleurs et d'inconfort. Ces analyses utilisent d'autres types d'outils de mesure tels que l'électromyographie de surface (EMG de surface) ainsi que des questionnaires (études épidémiologiques). Dans un grand nombre d'études, l'analyse EMG est couplée à de la cinématique afin de faire le lien entre le mouvement et les activations musculaires.

Tableau I.6 : smartphone et charges articulaires : analyses électromyographiques (EMG)

Auteur	Description		
Agostini <i>et al.</i> (2015)	Objectif : L'envoi de SMS en marchant affecte-t-il vraiment les paramètres de marche des jeunes adultes ?	Participants : n = 18 (20-30 ans).	Paramètres : Variables angulaires des paramètres de marche.
	Synthèse : Le patron de marche classique est légèrement affecté lors de l'envoi de messages texte. L'envoi de message a pour conséquence de réduire la vitesse de marche de 0.13 m/s et la cadence de 2.5 pas /min. Les patrons de l'activation EMG sont eux modifiés. Pendant la « F-phase », le pourcentage de cycles présentant une co-contraction a été augmenté (de 49,4 à 59,4 %, p < 0,001).		
Areeudomwong <i>et al.</i> (2018)	Objectif : Evaluation des effets du bandage des épaules sur l'inconfort du cou à l'aide d'une échelle de notation numérique, et l'activité et la fatigue des muscles du cou à l'aide d'une électromyographie de surface lors d'une tâche d'envoi de SMS sur un smartphone à écran tactile.	Participants : n = 25 (20.08+/-1.5 ans).	Paramètres : Scores d'inconfort notés de 0 à 10. Analyse des signaux EMG des muscles extenseurs du cou.
	Synthèse : Le bandage des épaules a permis de réduire considérablement l'inconfort au niveau de la nuque par rapport à l'absence de bandage. Pas de différence de l'activité et la fatigue des muscles du cou lors de l'envoi de SMS sur un smartphone à écran tactile.		
Bodin <i>et al.</i> (2019)	Objectif : Activité des muscles du cou, des épaules et des avant-bras pendant des tâches de travail sur ordinateur et sur smartphone.	Participants : n = 12 (6 femmes, 6 hommes) (25-34 ans, âge médian 31 ans).	Paramètres : Comparaison des activités musculaire issues de l'EMG du tronc et des membres supérieurs entre l'envoi d'un mail en suivant des recommandations ergonomiques depuis un poste de travail classique et un smartphone (avec une posture librement choisie).
	Synthèse : Les activations musculaires isométriques sont comparables à la littérature avec une activation de 1 à 10% de la force maximale volontaire. Les recommandations ergonomiques sur l'utilisation du smartphone n'ont pas d'effets bénéfiques sur les mesures effectuées. La position librement choisie semble meilleure d'un point de vue de l'activation musculaire : l'écart inter quartile augmente en moyenne de 103%.		

Choi <i>et al.</i> (2016)	<p>Objectif : Etude de l'effet des trois adaptations posturales les plus fréquentes sur la fatigue musculaire en position assise avec un support pour les membres supérieurs.</p>	<p>Participants : n = 15 (7 femmes, 8 hommes) (23.6 ± 2.4ans).</p>	<p>Paramètres : Analyse des signaux EMG des muscles extenseurs du cou.</p>
	<p>Synthèse : Le maintien d'une flexion maximale lors de l'utilisation d'un smartphone a entraîné des niveaux de fatigue plus élevés dans le splenius capitis droit, le splenius capitis gauche et les muscles trapèzes supérieurs gauches par rapport la posture représentant une flexion moyenne.</p>		
Gustafsson (2018)	<p>Objectif : Envoyez des SMS avec des téléphones à écran tactile et à clavier - Comparaison de la cinématique du pouce, de l'activité musculaire des membres supérieurs, de l'effort, de l'inconfort et des performances.</p>	<p>Participants : n = 19 Age : (21–51 ans) 12 femmes, 7 hommes.</p>	<p>Paramètres : Evaluation cinématique 3D des variables articulaires du pouce tout en tenant compte des répercussions sur la charge musculaire des membres supérieurs.</p>
	<p>Synthèse : Il existe des différences dans les risques de développer des troubles musculosquelettiques lors de l'utilisation de smartphones avec différents types de dispositifs à touches et différentes tailles de mains.</p>		
Jin (2019)	<p>Objectif : Une comparaison de la charge de travail biomécanique entre un smartphone et une « Smart Watch » en position assise et debout.</p>	<p>Participants : n = 14 (26.7+/-4.7 ans).</p>	<p>Paramètres : Mesure des variations angulaires du cou et des épaules en fonction de la tâche. Position assise (sur tabouret).</p>
	<p>Synthèse : Plus grande flexion (12°) et rotation (6°) de la tête, et plus grande abduction de l'épaule coté montre connectée (20°- 40°) lors de l'utilisation d'une montre connectée vs smartphone. Les deux équipements semblent présenter des risques de survenues de TMS.</p>		
Kim and Koo (2016)	<p>Objectif : Effet de la durée d'utilisation du smartphone sur la fatigue et la douleur des muscles du cou et des épaules.</p>	<p>Participants : n = 34 (26.2±5.4 ans) répartis en 3 groupes : n = 11 utilisent un smartphone pendant 10 minutes, n = 12 utilisent pendant 20 minutes et n = 11 utilisent pendant 30 minutes.</p>	<p>Paramètres : Signal EMG de surface provenant des muscles érecteurs cervicaux et des muscles trapèzes supérieurs. Moyen de mesure : Goniomètre, EMG, échelle visuelle.</p>
	<p>Synthèse : La douleur et la fatigue se sont aggravées avec l'utilisation prolongée du smartphone. Cette étude a fourni des données sur la durée adéquate d'utilisation des smartphones. Une posture correcte et des pauses d'au moins 20 minutes sont recommandées lors de l'utilisation des smartphones.</p>		

Namwongsa <i>et al.</i> (2019)	Objectif : Effet des angles de flexion du cou sur l'activité musculaire rachis cervical chez les utilisateurs de smartphones avec et sans douleur cervicale.	Participants : n = 44 (2 groupes de n=22) (18-25 ans).	Paramètres : L'activité (EMG) des muscles extenseurs du rachis cervical ainsi que le faisceau supérieur des trapèzes et la douleur dans le cou ont été mesurées à différents angles de flexion.
	Synthèse : Les utilisateurs de smartphones devraient envisager d'adopter des angles de flexion du cou compris entre 0° et 15° pendant l'utilisation du smartphone.		
Park <i>et al.</i> (2017)	Objectif : Etude comparative de la charge de travail biomécanique entre un smartphone et une « Smart Watch » en position assise et debout.	Participants : n = 14 (26.7+/-4.7 ans).	Paramètres : Mesure des variations angulaires du cou et des épaules en fonction de la tâche. Position assise (sur tabouret).
	Synthèse : Plus grande flexion et rotation de la tête, et plus grande abduction des épaules lors de l'utilisation d'une montre connectée.		
Shin and Kim (2014)	Objectif : Etude du rapport flexion-relaxation cervicale (FRR) et l'intensité de la douleur cervicale et identifier les différences en fonction des postures adoptées lors de l'utilisation de smartphones.	Participants : n = 15 (26.1±5.7 ans).	Paramètres : Activité musculaire et flexion/extension du cou. Moyen de mesure : EMG, Instrument de mesure de l'angle cervical (inclinomètre à référence magnétique).
	Synthèse : Aucune différence significative n'a été constatée dans le FRR entre la posture de bureau, la posture sur les genoux et la ligne de base, bien que l'intensité de la douleur cervicale ait augmenté dans la posture sur les genoux. Le FRR pourrait être un critère significatif de déficience neuromusculaire chez les patients souffrant de douleurs cervicales ou lombaires chroniques. Une posture prolongée sur les genoux peut provoquer des douleurs cervicales, c'est pourquoi il faut éviter d'utiliser des smartphones pendant une longue période dans cette posture.		
Syamala (2018)	Objectif : Etude de l'effet des accoudoirs et du support dorsal sur la charge biomécanique au niveau du cou et des membres supérieurs lors de l'utilisation de téléphones portables.	Participants : n = 20 (23 ± 1.9 ans; 10 femmes, 10 hommes).	Paramètres : Notion de moment gravitationnel et de l'activité musculaire.
	Synthèse : Les supports de chaise (accoudoirs et support dorsal) entraînent une réduction de la flexion tête/cou ($p < 0,001$), du moment gravitationnel ($p < 0,001$) et de l'activité musculaire ($p < 0,01$) dans les régions du cou et des épaules par rapport à l'absence de supports de chaise.		

Xie <i>et al.</i> (2016)	Objectif : Evaluation des différences d'activité musculaire entre sujets jeunes avec et sans douleur des cervicales et de la scapulohumérale.	Participants : Groupe sans douleur, n = 20 ; groupe avec douleur, n = 20	Paramètres : Textos bilatéraux VS textos unilatéraux. Comparaison entre les tâches. EMG.
	Synthèse : Les textos unilatéraux étaient associés à une charge musculaire plus élevée que les textos bilatéraux, en particulier dans les muscles de l'avant-bras. Les personnes symptomatiques avaient une activité musculaire accrue dans la région cou-épaule lorsqu'elles envoyaient des textos sur un smartphone.		
Young (2013)	Objectif : Analyse des postures des poignets et des épaules et activité musculaire lors de l'utilisation d'une tablette à écran tactile : Effets de la configuration d'utilisation, du type de tablette et de la main d'interaction.	Participants : n = 15 Age 29+/- 5 ans	Paramètres : Variations angulaires de l'épaule et du poignet.
	Synthèse : Pour le poignet : - extension plus grande pour la main dominante (sauf lorsque tablette tenu à deux mains); - à une main, déviation radiale plus importante pour la main non dominante; - extension du poignet plus important lorsque tablette sur cuisse; - le fait d'écrire des emails conduit à une déviation ulnaire plus importante.		
Xie <i>et al.</i> (2018)	Objectif : Etude cinématique de la colonne vertébrale lors de l'envoi de SMS par smartphone - Comparaison entre jeunes adultes avec et sans douleur chronique de la nuque et des épaules.	Participants : Groupe « case » (avec des douleurs) n = 19 (24.4+/- 3.1 ans), Groupe contrôle n = 18 (23.2+/-3.3 ans)	Paramètres : Variables articulaires du rachis cervical, du thorax et des lombaires.
	Synthèse : La saisie de texte à deux mains a été associée à une augmentation de la flexion cervicale tandis que la saisie de texte à une main a été corrélée à une posture asymétrique du cou. Dans les deux cas la posture adoptée n'est pas recommandée.		

La lecture des travaux (**Tableau I.6**) permet de mettre en avant un point prépondérant : la flexion du rachis cervical est considérée comme importante et la sollicitation musculaire associée semble élevée lorsqu'un individu interagit avec un smartphone. Les tables ergonomiques les plus utilisées telles que Rapid Upper Limb Assessment (RULA) ou encore la table ergonomique européenne OREGÉ mettent en garde sur l'apparition de TMS lorsque les régions articulaires s'éloignent de la position « neutre ». De plus, la position des mains, la perception de l'interface par les utilisateurs en fonction de l'appareil (tablette ou smartphone) ou de sa taille sont autant de recherches disponibles dans la littérature scientifique (Oehl et al. 2007, Park et Han 2010, Wagner et al. 2012, Lai et Wu 2014, Jacquier-Bret et al. 2017).

Notre sélection méthodique d'articles et de conférences concernant les écrans tactiles, en particulier les smartphones, faisant référence aux évaluations de charges musculaires via l'EMG nous a permis d'extraire les conclusions de 13 articles. Il apparaît que la charge musculaire la plus importante apparaît pour les muscles extenseurs du rachis cervical. En effet, la flexion parfois au-delà de 30° du rachis cervical met à forte contribution les longs de la tête, les scalènes postérieurs ainsi que les scalènes moyens pour ne citer qu'eux. Cette forte activation musculaire est corrélée avec un risque d'apparition des TMS et il est recommandé de maintenir autant que faire se

peut une flexion du cou comprise entre 0° et 15° (Choi *et al.*, 2016; Xie *et al.*, 2016; Namwongsa *et al.*, 2019). Ces résultats valident des études antérieures qui alertaient sur l'interaction avec un smartphone et qui préconisaient une utilisation à deux mains de l'appareil pour réduire les contraintes musculaires (Lee *et al.*, 2015).

I.6. Smartphone et lumière

Enfin, une large revue de la littérature concernant les différents effets de la lumière sur un individu (tant en termes de confort/inconfort qu'en termes de postures ou de capacité à effectuer une tâche) lors de l'utilisation de smartphones et les conséquences néfastes que cela peut engendrer est proposée ci-dessous. Les recherches prennent en compte des notions plus descriptives comme la notion de confort ou d'inconfort ou encore la capacité à effectuer une tâche. Souvent monitorées sous forme de questionnaires, ces recherches mettent en exergue les problématiques ergonomiques de positionnement et de réglages de l'interface (ou des applications associées).

Tableau I.7 : Confort/inconfort et risques de TMS lors de l'interaction avec un smartphone en fonction de la lumière

Auteur	Description		
Antona <i>et al.</i> (2018)	<p>Objectif : Comparaison des symptômes associés à la lecture entre un smartphone et une copie papier dans des conditions de lumière et d'obscurité.</p>	<p>Participants : n = 54 Age 23.7+/- 2.6 ans (19–35 ans)</p>	<p>Paramètres : Score obtenu par un questionnaire qualitatif basé sur 10 questions codées par une échelle. Ce score est appelé le "Score des symptômes".</p>
	<p>Synthèse : Une lecture prolongée sur un smartphone pourrait provoquer des symptômes plus graves que la lecture d'une copie papier dans des conditions de lumière similaires : score de symptômes 11.0 (6.0-23.2) vs 25.0 (16.3-42.0). Les symptômes peuvent être encore plus graves lorsque l'on lit sur un smartphone dans l'obscurité que dans des conditions éclairées : 23.0 (14.2–37.2) vs 16.0 (8.3–35.7).</p>		
Debernardis <i>et al.</i> (2014)	<p>Objectif : Une police de texte optimale pour l'affichage et pour les applications où le codage des couleurs doit être strictement suivi parce qu'il est régi par des lois ou des pratiques internes.</p>	<p>Participants : n = 15 Age 26.01 +/- 5.32 (17-36 ans).</p>	<p>Paramètres : Tests effectués dans 4 conditions différentes. Obtention de deux types de données : les valeurs quantitatives du temps de réalisation et du taux d'erreur, et les questionnaires qualitatifs des sujets.</p>
	<p>Synthèse : Pour cette étude descriptive (avec une analyse de l'interaction et des questionnaires) issue de l'IHM, la lisibilité s'est avérée plus rapide de 4% sur le dispositif optique transparent. Dans le cas du dispositif de visionnage vidéo, l'arrière-plan n'affecte la lisibilité qu'en cas de texte sans cadre d'affichage spécifique.</p>		
Glimne <i>et al.</i> (2015)	<p>Objectif : Effet de différentes conditions de reflets/gênes lumineuses sur le mouvement des yeux lors de la lecture sur un écran d'ordinateur.</p>	<p>Participants : n = 16 Age 24.4 ans, +/- 2.4 (Femmes).</p>	<p>Paramètres : 3 textes à lire sous 3 conditions. Les données sont extraites d'un eye-tracker Tobii T120. L'éblouissement direct et indirect a augmenté de façon significative les durées de fixation ($p < 0,05$).</p>
	<p>Synthèse : Même des conditions d'éblouissement modérées peuvent avoir un impact sur la lecture. Les résultats, issus d'analyses IHM, montrent qu'il est important de suivre les recommandations en matière de conception de l'éclairage dans les environnements de travail informatique afin d'éviter l'éblouissement compromettant les capacités à effectuer une tâche. En effet, les reflets augmentent les temps de fixation du texte et diminuent la vitesse de lecture.</p>		

<p>Gowrisankaran and Sheedy (2015)</p>	<p>Objectif : Revue de la littérature : « Le Syndrome de la vision informatique » / Computer vision syndrome (CVS).</p>	<p>Participants : La littérature pertinente sur les CVS publiée au cours des 65, issues de questionnaires, ont été analysée.</p>	<p>Paramètres :</p>
<p>Synthèse : Les principaux facteurs environnementaux associés au CVS (computer vision syndrome) sont les conditions d'éclairage sur le lieu de travail. Concernant les utilisateurs d'ordinateurs (6 à 9 heures par jour), 75% ont reporté souffrir d'un ou plusieurs symptômes (sensation de poussière, démangeaisons dans les yeux, douleurs, sensibilité, rougeurs, larmes en excès, sécheresse, gêne à la vue, vision trouble et décoloration des objets. Distance idéale entre les yeux et les écrans : 450 – 600 mm.</p>			
<p>Gringras <i>et al.</i> (2015)</p>	<p>Objectif : Analyse des dispositifs d'émission de lumière. Quelles sont les stratégies préventives afin d'éviter les luminosités néfastes pour le sommeil ?</p>	<p>Participants : n = 3 (appareils) iPad Air, iPhone 5s, Kindle Paperwhite 1ère génération). Données issues de International Data Corporation (IDC) et Canaccord Genuity</p>	<p>Paramètres : Profil spectral comparant un texte identique sur les trois appareils. Analyse IHM et ergonomie de l'interface.</p>
<p>Synthèse : Les dispositifs émetteurs de lumière "Light-emitting" (LE) testés étaient tous puissants et caractérisés par des émissions enrichies à courte longueur d'onde (400 – 500 nm). Ce type de lumière est susceptible de perturber le plus le sommeil. Une comparaison des longueurs d'ondes émises entre un Ipad Air, un iPhone 5s et un kindle montre que le Kindle et l'interface le moins nocif en termes de longueurs d'ondes.</p>			
<p>Lin <i>et al.</i> (2014)</p>	<p>Objectif : Evaluation de l'éblouissement inconfortable produit par les panneaux d'affichage à LED haute luminosité en fonction de quatre facteurs : fréquence de scintillement, luminance du panneau, sous-tension angulaire de visionnement et luminosité ambiante.</p>	<p>Participants : ntotal=109. n = 6 (3 hommes/3 femmes) Age 22.34 +/-3.88 ans. n = 6(3 hommes/3 femmes) , Age 43.50 +/-2.66 ans n = 16(8 hommes /8 femmes), Age 21.06 +/-34 n = 81 (44 hommes /37 femmes), Age 21.60 +/-1.41 ans</p>	<p>Paramètres : Avec la largeur de 1,6 m du panneau LED, la distance de visualisation de 5 m a été choisie pour répondre à la sous-contrainte angulaire d'environ 9°. L'échelle de notation de Boer est utilisée pour évaluer le confort visuel. Comparaisons de la fréquence de scintillement, de la luminance et de l'angle de vision, de l'indice de confort de scintillement et de l'indice de confort d'affichage global. Données issues de l'IHM et de l'ergonomie.</p>
<p>Synthèse : La fréquence de scintillement, la luminance et la sous-tension angulaire de visualisation sont des facteurs clés qui affectent fortement les reflets et le confort visuel des panneaux d'affichage à LED. Un scintillement de 15 Hz semble le plus néfaste sur les scores d'inconfort. La combinaison idéale, en termes de confort, serait un scintillement inférieur à 6Hz (ou supérieur à 24Hz), une luminance faible (500 cd/m2) et un angle de vision de 9.1°.</p>			

Mork <i>et al.</i> (2016)	<p>Objectif : Étudier comment l'éblouissement direct affecte le développement des symptômes, l'activité musculaire et le flux sanguin musculaire (m. orbicularis oculi et m. trapezius) pendant la lecture sur un écran d'ordinateur.</p>	<p>Participants : n = 15 (étudiants) 12 femmes and 3 hommes, Age 21 ans avec une amplitude allant de 19 à 25 ans.</p>	<p>Paramètres : Les symptômes ont été enregistrés à l'aide de questionnaires avec des échelles visuelles analogiques (EVA) de 100 mm. Les angles posturaux ont été mesurés à l'aide de trois inclinomètres à deux axes reliés au physomètre. Lien entre l'IHM et la posture.</p>
	<p>Synthèse : Les conditions d'éblouissement direct provoquent une augmentation de la fatigue oculaire et une contraction de l'orbicularis oculi pendant la lecture sur un écran d'ordinateur. Il semblerait qu'il existe un lien entre l'utilisation de l'orbicularis oculi, le flux sanguin du trapezius et le développement de douleurs du rachis cervical. En situation de reflet, pas d'effet significatif sur les variations de postures. Par contre en condition de reflets, le temps d'interaction a eu des effets sur la flexion du tronc et du cou de l'ordre de 5°.</p>		
Na and Suk (2014)	<p>Objectif : Evaluation de la mise ne place d'un modèle permettant de régler le contraste de luminance adaptative entre le texte et le fond afin d'améliorer les performances de lecture et le confort visuel sur les écrans des smartphones.</p>	<p>Participants : n = 50, 24 femmes and 26 hommes, Age=23.18 +/-1.99 ans.</p>	<p>Paramètres : Vitesse de lecture moyenne et confort visuel pour les sept stimuli. Contraste de luminance adaptatif : diminution progressive entre le texte et le fond au fil du temps. Rapport moyen entre le rythme bêta élevé, la vitesse de lecture et le confort visuel.</p>
	<p>Synthèse : Examiner le contraste de luminance optimal pour une utilisation confortable et efficace du smartphone. Un modèle de contraste de luminance adaptatif qui prend en charge un processus adaptatif dépendant des capacités visuelles des individus a été développé. Notons qu'un sujet met environ 135 s pour être concentré et augmenter sa vitesse de lecture de 672 à 743 lettres par seconde. Un contraste fort (fond blanc – police noire) semble entrainer une lecture plus rapide 843.40 lettres/min qu'un contraste moins important (fond gris – police noire) 784.20 lettres/min. Une luminance adaptative permet la lecture la plus rapide : 876.00 lettres/min.</p>		
Oh <i>et al.</i> (2015)	<p>Objectif : Cette étude propose d'exposer les performances circadiennes et visuelles pour une utilisation saine et efficace des écrans de smartphones.</p>	<p>Participants : n = 3 (smartphones) 2LCDs, 1 AMOLED</p>	<p>Paramètres : Paramètres quantifiés mesurés à l'aide d'un spectrophotomètre ou d'un luminomètre en fonction de la luminosité de l'écran du smartphone et de la distance entre l'écran du smartphone et le détecteur sous une lampe fluorescente à spectre complet de 4700 K par rapport à l'obscurité.</p>
	<p>Synthèse : Une méthode permettant d'atténuer les effets néfastes des écrans de smartphones a été proposée et étudiée en diminuant la longueur d'onde d'émission des LED bleues dans le rétro-éclairage LCD d'un smartphone et en réduisant ensuite l'effet circadien de l'écran.</p>		

<p>Seetzen <i>et al.</i> (2006)</p>	<p>Objectif : Etudes sous formes de questionnaires afin de déterminer la préférence du sujet pour la luminance, le rapport de contraste optimal et la résolution de l'amplitude dans des conditions réelles.</p>	<p>Participants : n = 38 n = 40 n = 12 Age 18-35 y. (1/3 femmes, 2/3 hommes) Visions normales Ntotal= 90</p>	<p>Paramètres : Qualitatif : Il a été demandé aux participants de classer les différents paramètres d'image, de contraste et autres par rapport à l'image de référence ou à l'évolution des images sur une échelle sémantique.</p>
<p>Synthèse : Relation entre la luminance maximale d'un écran et la préférence du spectateur. Niveaux de rapport de contraste préférés pour des niveaux de luminance de crête spécifiques. Exigences de résolution d'amplitude optimale pour les écrans en fonction de la luminance de crête.</p>			
<p>Swinkels <i>et al.</i> (2008)</p>	<p>Objectif : Étude de la vitesse à laquelle il est possible d'adapter l'intensité de l'écran lors du passage d'un environnement lumineux à un environnement sombre, afin que les utilisateurs aient une bonne lisibilité et ne perçoivent pas le scintillement de l'écran.</p>	<p>Participants : n = 24</p>	<p>Paramètres : Pendant l'expérience, les participants ont été invités à regarder l'image affichée et à régler le bouton de réglage de telle sorte que le scintillement du rétroéclairage ne soit pas perceptible.</p>
<p>Synthèse : Améliorer le contrôle de la lumière ambiante sur les appareils mobiles. La pente de variation la plus lente, c'est-à-dire une vitesse de variation de 64 cd/m2/s dérivée de la condition 0,5 Hz, doit être choisie de manière à être sûr d'éviter tout scintillement néfaste pour le confort.</p>			

Ce tableau (**Tableau I.7**) permet de compiler les travaux, souvent issus du domaine de l'IHM, qui tendent à faire le lien entre les réglages des écrans et le confort/inconfort perçu par les utilisateurs(trices) d'écrans tactiles, notamment de smartphones. En effet, il apparait qu'une trop grande différence entre la luminosité de l'appareil et la lumière ambiante augmente l'inconfort ressenti par les utilisateurs(trices). Le manque de contraste entre l'arrière-plan et les objets à afficher (photos, texte...) pourrait avoir les mêmes conséquences. Les reflets sur les écrans représentent un enjeu majeur. Que ce soit en évaluant les scores d'inconfort (qui ont permis à Na and Suk (2015) de déterminer que 40 cd/m^2 était la meilleure luminance), le temps de fixation d'un mot ou encore la vitesse de lecture, les reflets influencent de manière négative l'interaction avec un écran. La gestion de la lumière de l'interface est un enjeu majeur sur la sensation de confort face à un écran tactile. Par exemple, une étude d'Antona *et al.* (2018) a montré que pour une tâche de lecture identique, sur deux supports (papier vs smartphone), après 20 minutes, la sensation d'inconfort (somme des scores intermédiaires de symptômes de 0 à 10) était significativement supérieure sur le smartphone (11.0 vs 25.0).

Tableau I.8 : Capacité à effectuer une tâche (efficacité) lors de l'utilisation d'un smartphone en fonction de la lumière

Auteur	Description		
Askaripoor <i>et al.</i> (2018)	<p>Objectif : Montrer les effets positifs de la lumière rouge ou de la lumière blanche à température de couleur faiblement corrélée sur la vigilance et les performances. L'exposition à une lumière de 2564 K pourrait améliorer les mesures subjectives et objectives de la vigilance et des performances par rapport aux conditions de 7343 K, 3730 K et de lumière faible (DL) pendant la journée.</p>	<p>Participants :</p> <p>n = 22</p> <p>Age : 27.32 ± 3.63 ans</p>	<p>Paramètres :</p> <p>Données quantitatives de l'électrocardiogramme et de la variation de l'électroencéphalogramme en fonction de l'évolution de l'éclairage.</p> <p>Données qualitatives provenant d'un test de performance, échelle de somnolence échelle visuelle analogique en fonction des conditions de lumière.</p>
<p>Synthèse : Les effets des conditions de luminosité sur la vigilance et les performances ont varié au cours de la journée, de sorte que des réponses plus efficaces ont été observées dans l'après-midi. Ces résultats suggèrent que les interventions lumineuses peuvent être appliquées pour améliorer les performances pendant la journée.</p>			
Benedetto <i>et al.</i> (2014)	<p>Objectif : Effet de la luminance de l'écran et de l'éclairage ambiant sur la fatigue visuelle.</p>	<p>Participants :</p> <p>n=50 (33 femmes 17 hommes),</p> <p>Age moyen = 27 ans, E.T. = 7 ans.</p>	<p>Paramètres :</p> <p>Approche multidimensionnelle basée sur l'œil, la performance et des mesures subjectives. Deux niveaux de luminance de l'écran (faible, élevé) et deux niveaux d'éclairage ambiant (faible, élevé). Évolution des clignements d'œil tirés avec un eye tracker. Test de conscience de la mémoire et test de compréhension. Temps de réaction et vitesse de lecture.</p>
<p>Synthèse : Les résultats pourraient avoir des implications pratiques pour la mise en œuvre de solutions de luminosité adaptative et pour la détection en ligne de la fatigue visuelle et des niveaux d'excitation pendant la lecture numérique.</p>			

<p>Buchner <i>et al.</i> (2009)</p>	<p>Objectif : L'avantage de la polarité positive du fond du texte est dû à la luminance élevée de l'affichage</p> <p>Selon Michelson, le contraste $c=(L_t-L_b)/(L_t+L_b)$ devient négatif si la luminance du texte (L_t), est inférieure à la luminance du fond (L_b).</p>	<p>Participants :</p> <p>n= 124 (81 femmes, 43 hommes)</p> <p>Age : 18 to 55 ans (Moyenne 26 ans).</p>	<p>Paramètres :</p> <p>Données obtenues par des résultats quantitatifs de tests de performance dans des conditions de polarité différentes.</p>
<p>Synthèse : Effet de la luminance de l'écran, avec de meilleures performances pour les écrans à forte luminance. L'avantage de la polarité positive est en fait dû à la luminance généralement plus élevée des écrans à polarité positive.</p>			
<p>Chang <i>et al.</i> (2013)</p>	<p>Objectif : Les effets de l'éclairage ambiant et de la source lumineuse sur les performances de lecture des participants et la fatigue visuelle pendant une longue tâche de lecture ont été étudiés à l'aide de trois écrans électroniques sur papier. La lecture sur des écrans électroniques a également été comparée à la lecture sur papier.</p>	<p>Participants :</p> <p>n=100 (47 femmes, 53 hommes).</p> <p>Age=19-28 ans.</p> <p>Moyenne=23.3 +/- 1.8 ans.</p>	<p>Paramètres :</p> <p>Évaluation de 3 variables indépendantes : le support d'affichage, le niveau d'éclairage et la source lumineuse avec la zone de texte contrôlée.</p> <p>Temps de lecture, précision globale et fatigue visuelle subjective. Évaluation de 2 variables indépendantes : le support d'affichage et le niveau d'éclairage. Temps de lecture, précision globale et fatigue visuelle subjective.</p>
<p>Synthèse : La vitesse de lecture variait considérablement selon les différents affichages électroniques sur papier et les niveaux d'éclairage ambiant. La vitesse de lecture était plus lente pour les écrans plus petits et augmentait avec la luminosité ambiante.</p>			
<p>Dobres <i>et al.</i> (2017)</p>	<p>Objectif : Les seuils de lisibilité ont été mesurés dans des conditions de lecture en utilisant un paradigme de décision basé sur le vocabulaire, en testant deux tailles de caractères, les polarités d'affichage et les illuminations ambiantes (proche de l'obscurité et de la lumière du jour).</p>	<p>Participants :</p> <p>n = 34.</p> <p>13 femmes.</p> <p>Age 36.2 +/- 8.1 ans)</p> <p>21 hommes</p> <p>Age 39.0 +/- 9.9 ans).</p>	<p>Paramètres :</p> <p>Précision des performances (temps de réponse) en fonction des conditions de lumière.</p> <p>Affichage des valeurs limites de durée.</p>
<p>Synthèse : La polarité positive peut être avantageuse car un éclairage plus intense produit une contraction pupillaire qui réduit les aberrations optiques lorsque la lumière pénètre dans l'œil. Ces résultats ont des implications pour la conception d'interfaces automobiles et d'autres scénarii dans lesquels une interface doit être optimisée pour une lecture de type "coup d'œil" dans des conditions d'éclairage ambiant variables.</p>			

<p>Ko <i>et al.</i> (2014)</p>	<p>Objectif : L'éblouissement par réflexion sur un moniteur peut réduire la productivité.</p>	<p>Participants : n = 19 (18-35 ans). n = 8 (55-65 ans). Total=27 sujets.</p>	<p>Paramètres : Productivité, précision et distance de visionnement/lecture.</p>
<p>Synthèse : La productivité est améliorée lorsque la police passe de 1,78 ou 2,23 à 3,56 mm pour les tâches informatiques basées sur le texte. Les résultats peuvent être utiles pour définir la taille des polices pour les ordinateurs et pour former les employés de bureau.</p>			
<p>Lin and Huang (2006)</p>	<p>Objectif : Combinaison de l'éclairage ambiant et de la luminance de l'écran sur les performances d'identification des caractères des écrans à cristaux liquides à transistors à couche mince (TFT-LCD).</p>	<p>Participants : n = 28 (femmes) Etudiantes universitaires.</p>	<p>Paramètres : Capacité à effectuer une tâche de visualisation sous différents niveaux de lumière.</p>
<p>Synthèse : La performance visuelle n'est pas affectée par l'éclairage ambiant qui varie entre 200 lx et 800 lx. L'identification des caractères sous un éclairage ambiant relativement élevé est plus affectée par la luminance de fond de l'écran que par le rapport de contraste ou la sensibilité au contraste.</p>			
<p>Mantiuk <i>et al.</i> (2009)</p>	<p>Objectif : Étude pilote : Conception de l'affichage dans laquelle l'émission de lumière spectrale est sélectionnée pour réduire l'impact de l'affichage sur les performances de vision nocturne tout en assurant une bonne lisibilité de l'affichage.</p>	<p>Participants : n = 2 Vision normale ou corrigée à la normale et vision normale des couleurs.</p>	<p>Paramètres : Les temps de lecture ont été collectés. Les réponses orales aux questions de compréhension ont été enregistrées par l'expérimentateur.</p>
<p>Synthèse : Les écrans qui émettent une lumière de grande longueur d'onde (du rouge à l'ambre) présentent plusieurs avantages par rapport aux écrans verts et bleus qui sont utilisés sous une faible lumière ambiante. Un écran de couleur rouge est celui qui affecte le moins les performances visuelles en raison d'un éblouissement dû à un handicap, car il est le moins susceptible de provoquer un éblouissement ou une aversion des yeux, même s'il émet une lumière à des niveaux de luminance photopique élevés.</p>			

Mitzner and Rogers (2006)	<p>Objectif : Un mauvais contraste peut altérer la qualité du texte et peut influencer le comportement de lecture.</p>	<p>Participants : n = 10 (5 sujets jeunes et 5 sujets âgés). n = 80 (40 sujets jeunes et 40 sujets âgés) nTotal = 90</p>	<p>Paramètres : Les temps de lecture ont été collectés. Les réponses orales aux questions de compréhension ont été enregistrées par l'expérimentateur.</p>
	<p>Synthèse : Démontrer l'avantage d'un contraste adéquat et d'une prévisibilité des mots pour une conception optimale du texte afin de faciliter à la fois les temps de lecture et la compréhension de la lecture.</p>		
Osterhaus <i>et al.</i> (2015)	<p>Objectif : Revue de littérature : L'éclairage des postes de travail informatiques : analyse de la littérature (y compris les normes) sur l'éclairage des postes de travail informatiques. Cette contribution se concentre sur l'éclairage pour le travail sur ordinateur.</p>	<p>Participants :</p>	<p>Paramètres :</p>
	<p>Synthèse : La volonté d'avoir des bureaux éclairés par la lumière du jour est considérée comme le deuxième facteur le plus important après le bien-être général. Les conditions visuelles combinées doivent permettre au travailleur de voir et d'effectuer la tâche de travail sans causer de tension inutile pour les yeux ou les autres parties du corps.</p>		
Ram and Bhardwaj (2018)	<p>Objectif : Performance pendant la lecture sous différentes sources d'éclairage.</p>	<p>Participants : n = 40 (20 femmes, 20 hommes) Age 18-21 ans. Age Moyen=86 ± 1.09 ans.</p>	<p>Paramètres : Questionnaire qualitatif sur les réactions des participants. Informations quantitatives : Taux de lecture.</p>
	<p>Synthèse : Influence de l'éclairage sur le taux de lecture. Il n'y a pas eu de différences significatives entre les hommes et les femmes sous différents éclairages. Cependant, les hommes préfèrent les « AFC » et les femmes les « FLUO » pour une lecture plus rapide et un meilleur confort visuel.</p>		

<p>Shih <i>et al.</i> (2013)</p>	<p>Objectif : Comment les différentes polarités d'écran et les couleurs de fond peuvent influencer la lecture et la compréhension des graphiques.</p>	<p>Participants : n = 60 n = 180 n = 180 ntotal utilisé dans l'étude = 420.</p>	<p>Paramètres : Lecture et tests de précision complets en fonction de la polarité puis de la couleur de fond.</p>
<p>Synthèse : Influence de l'éclairage sur le taux de lecture. Il n'y a pas eu de différences significatives entre les hommes et les femmes sous différents éclairages. Cependant, les hommes préfèrent les « AFC » et les femmes les « FLUO » pour une lecture plus rapide et un confort visuel.</p> <p>La polarité de l'écran peut affecter la précision de la lecture/compréhension des graphiques. La couleur de fond de l'écran peut affecter la précision de la lecture/compréhension des graphiques. Un contraste de fond adéquat augmente la précision de la lecture/compréhension des graphiques.</p>			

Ce tableau (**Tableau I.8**) synthétise le lien entre la lumière extérieure (parfois appelée lumière environnementale ou lumière ambiante), la luminosité de l'écran (ainsi que des réglages de police, de filtres...) et l'efficacité, la capacité à effectuer une tâche lorsqu'un individu interagit avec un écran. Il apparaît que les contrastes, les polices de caractères, les temps de réponse d'affichage sont autant de paramètres essentiels à la réalisation d'une tâche. La vitesse de lecture, la capacité de pointage sur l'écran, la détection de certains mots sont influencés par les variations lumineuses que ce soit de l'écran ou de la lumière extérieure.

Les synthèses proposées (**Tableau I.7 et Tableau I.8**), portant sur l'effet de la lumière sur les risques de TMS ou encore sur la posture des utilisateurs d'écrans tactiles, via des paramètres indirects tels que le confort ou la capacité à effectuer une tâche, montrent clairement que le sujet est insuffisamment abordé en termes d'objectivation biomécanique. Cette revue de la littérature montre que les concepteurs et les industriels disposent de nombreuses données pour améliorer les écrans tactiles et autres affichages en ce qui concerne le champ de l'IHM. D'autres améliorations peuvent être apportées aux écrans tactiles en se basant sur des questionnaires et des études épidémiologiques sur le risque qualitatif de TMS. En revanche, aucune étude scientifique n'a montré de changements posturaux directs en fonction de la

luminosité évolutive (au cours de la journée) lors de l'utilisation d'un smartphone. Dans sa conclusion, Gowrisankaran souligne donc le fait que l'utilisation de plus en plus courante d'écrans portables et non plus fixes pourrait avoir les mêmes conséquences que l'utilisation de postes de travail classiques, voire pire (Gowrisankaran and Sheedy, 2015). Les changements de lumière provoquent des malaises, des douleurs, des risques musculosquelettiques ou des difficultés dans l'exécution d'une tâche. On peut donc imaginer l'hypothèse suivante : Les variations de luminosité pourraient affecter la posture lors de l'utilisation d'un écran tactile.

Ce qui ne semblait être qu'un paramètre mineur à l'époque semble être un paramètre inévitable de nos jours. En effet, la lumière pourrait avoir un effet direct sur :

- Les appareils (téléphones portables, écrans tactiles...) en terme d'IHM ;
- La posture de l'utilisateur donc sur la biomécanique de l'activité.

Ce supposé effet de la lumière sur les paramètres biomécaniques et ergonomiques soulève cette question : De quelle manière la lumière pourrait-elle apparaître comme un paramètre principal dans les stratégies posturales lors de l'utilisation d'écrans tactiles ? Le travail effectué dans le cadre de cette thèse a pour but de tenter d'apporter des éléments de réponse à cette

question. Nous proposons d'utiliser la biomécanique comme moyen d'objectiver, en termes de variables angulaires, l'interaction avec un smartphone. Le but était de confronter nos résultats aux données existantes en mettant l'accent sur l'utilisation « la plus naturelle » possible, dans des environnements expérimentaux représentant le plus possible le quotidien des usagers. Ainsi, nous avons cherché à identifier les synergies articulaires ainsi que les stratégies mises en place. Enfin, nous avons utilisé des données quantifiées, avec la métrologie cinématique la plus précise du domaine, pour nourrir les outils ergonomiques afin d'identifier et de classifier les risques de survenue de troubles musculosquelettiques.

Chapitre II

Chapitre II

Méthode et matériels

II.1. Introduction

Ce chapitre présente les moyens techniques (technologiques et informatiques) nécessaires à la mise en place du protocole expérimental réalisé au cours de mes travaux de thèse. Nous rappellerons, dans un premier temps, les hypothèses et questions scientifiques auxquelles nous souhaitons apporter des éléments de réponse. Puis, une description détaillée du matériel, des moyens de mesure et du protocole expérimental sera faite. Dans une troisième partie, les méthodes de calculs et d'analyse des données feront l'objet d'un développement.

II.2. Hypothèses de recherche

La fonction première d'un téléphone portable est son utilisation dans différents environnements afin d'effectuer un grand nombre de tâches tout au long de la journée (communication, lecture, réseaux sociaux, interfaces professionnelles, recherches internet, messagerie instantanée, jeux, ...). Ces interactions s'effectuent dans des environnements variés qui impactent en priorité deux aspects :

- La « **position** » ou « **position d'utilisation** » : Celle-ci, peut-être une position assise (avec ou sans support additionnel) ou une position debout, là encore avec ou sans appuis supplémentaires. Ces « positions », conditionnées par la situation dans laquelle se trouve un individu, vont donner lieu à des adaptations que nous appellerons « ajustements posturaux » ou « postures ». Cette distinction sera faite dans l'ensemble des travaux de cette thèse entre « position » variable indépendante et « posture » variable dépendante. Les « postures », qui découlent des conditions de « positions » lors de l'utilisation d'un smartphone, constituent des facteurs importants dans l'apparition de troubles musculosquelettiques (TMS).
- La **lumière** : Les variations de luminosité extérieure sont nombreuses en fonction du lieu où se trouve un individu (transport en commun, dans un commerce ou encore dans la rue). Ainsi, la lisibilité de l'écran (problèmes de contrastes, reflets) peut entraîner des modifications ou ajustements posturaux. L'utilisateur dispose alors de la possibilité de modifier les réglages de la luminosité de l'écran de manière manuelle ou automatique. Deux causes majeures peuvent entraîner des modifications de la luminosité de l'écran : la gestion de l'autonomie (« batterie ») de l'appareil et l'amélioration de la lisibilité de l'écran. Dans ce mémoire les modifications de luminosité d'écran seront toujours effectuées manuellement. Ces dernières peuvent ainsi entraîner les sujets à de nouveaux ajustements posturaux. Il est alors

primordial de quantifier et de qualifier ces modifications posturales afin de prévenir l'apparition de douleurs, d'inconforts ou de TMS.

A ces aspects environnementaux se rajoute la diversité des interactions disponibles. Ainsi, les smartphones de dernière génération permettent de réaliser une très grande diversité d'actions comme communiquer par l'envoi de messages (SMS, mails), d'effectuer des recherches internet (recherche d'informations, recherche d'horaires de transports) ou encore de naviguer sur les réseaux sociaux, jouer, regarder ou enregistrer des vidéos, prendre des photos.

Le but principal de ce travail est d'investiguer, de la manière la plus globale possible, les effets liés à l'utilisation intensive de téléphones portables sur la posture des utilisateurs(trices). Ainsi, la quantification des variables biomécaniques a été retenue et permet de mettre en place une stratégie tripartite afin d'objectiver les effets de l'utilisation de ces nouvelles technologies. Tout d'abord, le classement de ces variables issues de l'analyse cinématique permet de créer des clusters par agglomération de données selon une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH). Cette analyse des groupes de données conduit à une catégorisation des postures adoptées qui pourraient correspondre à différentes « stratégies ». Dans un second temps, les valeurs angulaires seront utilisées et confrontées à une table ergonomique afin de déterminer les risques de survenues de TMS. Enfin, en utilisant la lumière (lumière environnante et luminosité de l'écran) comme variable indépendante et en utilisant les données cinématiques sur la relation smartphone-

utilisateur(trice), il sera possible de préconiser des recommandations concernant l'Interface Homme-Machine (IHM ou HCI (Human Computer Interaction)) afin de prévenir au mieux l'apparition de TMS.

Par cette approche, nous souhaitons apporter dans ce mémoire des éléments de réponses aux questions suivantes :

- Y-a-t-il une relation directe entre l'utilisation intensive du téléphone mobile et les TMS des membres supérieurs et du squelette axial ?
- Y-a-t-il une relation entre intensité lumineuse et changements de postures ?
- Y-a-t-il une relation entre position (debout ou assise) et changement de postures ?
- Peut-on identifier des invariants posturaux lorsqu'un individu utilise un smartphone ?
- Existe-t-il un réglage de la luminosité de l'écran ergonomiquement recommandé en fonction de l'environnement lumineux ?
- Existe-t-il un indice biomécanique simple qui permettrait de qualifier rapidement l'ergonomie d'utilisation d'un smartphone ?
- Y-a-t-il une relation entre type d'interaction (sms ou recherche sur internet) et changements de postures ?

- Existe-t-il différentes stratégies posturales pour réaliser une même tâche d'interaction dans une condition d'utilisation donnée ?

Au regard de ces problématiques, nous avons pris le parti d'utiliser la « position », la lumière et la tâche à effectuer en tant que variables indépendantes de l'étude de la posture. Le protocole s'est ainsi bâti autour des variations de la luminosité environnante, mais également de la luminosité de l'écran ainsi que des positions d'utilisation et des interactions avec l'écran tactile. Chacun de ces éléments fait l'objet d'une présentation détaillée dans la partie suivante.

II.3. Dispositif expérimental et protocole

Le dispositif expérimental exploite de manière coordonnée un système de réglage de la luminosité environnante, la possibilité de modifier les réglages de la luminosité d'écran du smartphone (système d'exploitation) ainsi qu'un dispositif permettant de contraindre les sujets à des positions spécifiques dans lesquelles ils/elles pourront ajuster leurs postures librement. A cela s'ajoute un système optoélectronique qui permettra d'enregistrer les postures adoptées par les sujets dans chaque condition expérimentale. Les **figures II.1** et **II.2** ci-dessous illustrent en détail l'organisation générale de l'espace de mesure ainsi que le placement de chacun des dispositifs utilisés.

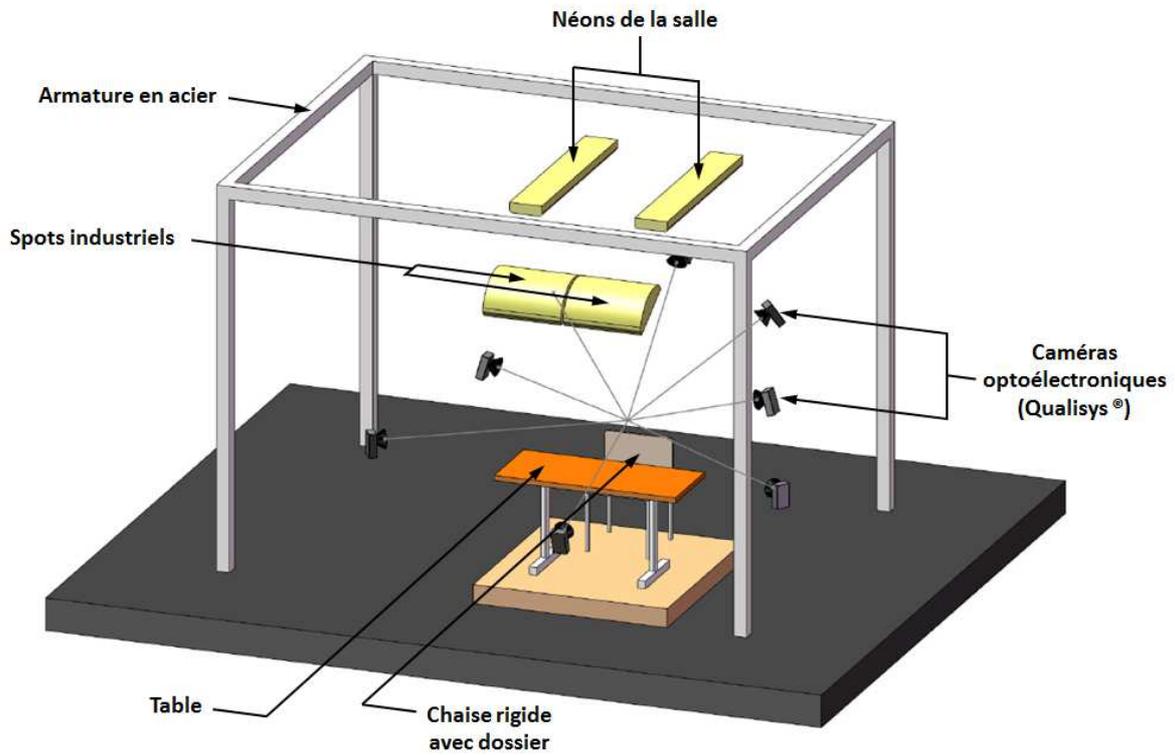


Figure II.1 : Illustration détaillée de l'espace de mesure dans la condition assise avec table. Toutes les lumières et les champs des caméras convergent vers l'emplacement du sujet. Pour les deux conditions sans la table, un tabouret a été utilisé pour déposer le smartphone au début et à la fin de chaque essai (voir figure II.2).

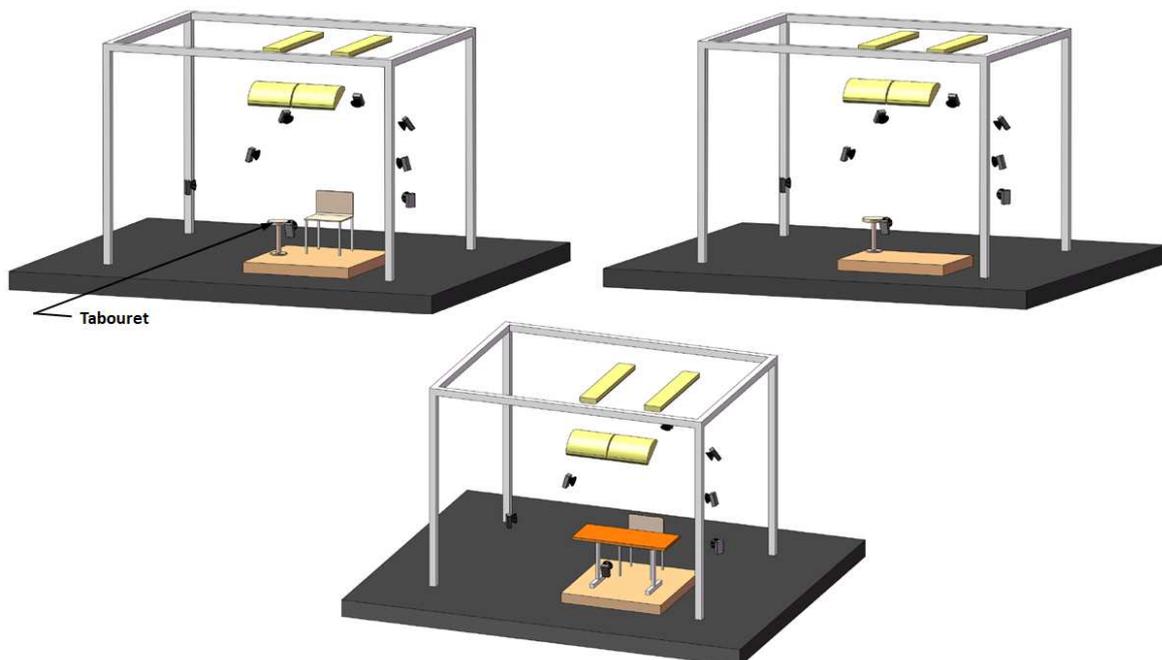


Figure II.2 : Illustration de l'organisation de l'espace de mesure pour chaque condition expérimentale.

II.3.1. Dispositif de réglage et de mesure de la lumière environnante

La lumière extérieure est un enjeu majeur de ce travail. Il existe une littérature assez riche en ce qui concerne les ambiances lumineuses, notamment sur le lieu de travail mais peu de travaux sont disponibles en ce qui concerne la relation smartphone-lumière. Si l'on considère les effets de la lumière sur la posture pour les utilisateurs de smartphone, les connaissances scientifiques sont alors quasi nulles (**Chapitre I.1 « Lumière »**). Nous avons donc commencé par un travail empirique d'observation puis de mesures des ambiances lumineuses au sein de l'Université de Toulon. Ainsi, la luminosité de trente pièces de l'Université (salles de conférence, salles de classe, bibliothèque, cafétéria...) a été mesurée afin de déterminer la quantité de lumière disponible lors d'une utilisation normale. Les résultats ont été de 350 ± 40 lux. Ensuite, une campagne de mesure de 15 jours a été menée à l'extérieur. Il s'est avéré que par une journée ensoleillée, l'éclairement pouvait être supérieur à 50 000 lux directement sous le soleil mais diminuait dès que l'appareil de mesure était placé à l'ombre pour atteindre environ 2700 lux.

Nous avons ainsi pris le parti de sélectionner trois conditions lumineuses environnantes afin de balayer l'ensemble des situations (lumineuses) de la vie quotidienne.

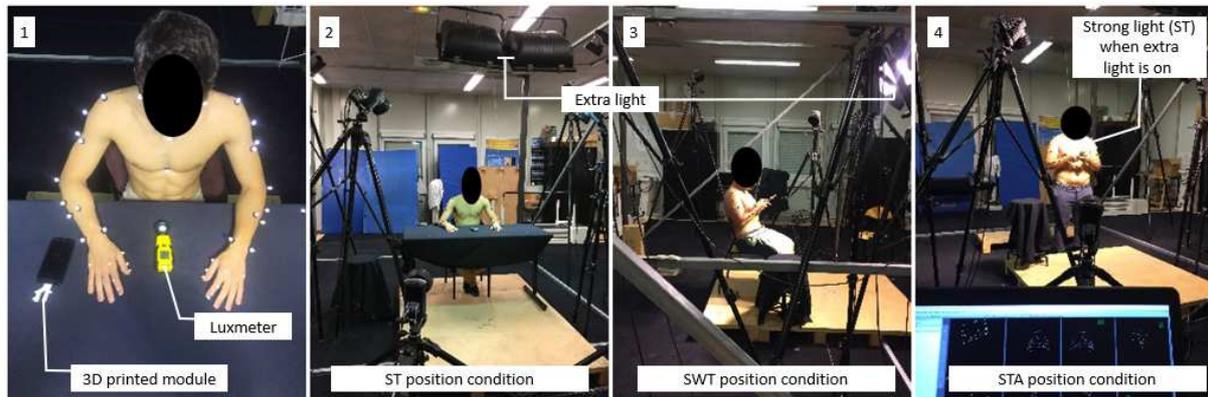


Figure II.3 : Illustration du dispositif expérimental dans les différentes conditions expérimentales.

Afin de représenter ces trois types d'environnements lumineux, il a fallu, d'une part, positionner l'espace de travail en fonction des lumières existantes dans le laboratoire et, d'autre part, créer un système additionnel afin de pouvoir créer des conditions proches de la luminosité extérieure un jour ensoleillé. Pour ce faire, un dispositif additionnel a été suspendu entre deux rails de néons déjà existants. Ce dispositif était constitué de deux spots industriels de 5000W orientés vers l'emplacement depuis lequel les sujets effectuaient les différentes tâches d'interactions (**Figure II.3**). L'ensemble a permis de créer trois conditions de luminosité extérieure :

- « 0L » i.e. aucune lumière environnante. Dans cette condition la mesure de la luminosité de la salle indiquait 2 lux. En effet, les stores étaient baissés et toutes les lumières éteintes mais la lumière de l'issue de secours devait rester visible et allumée pour des raisons de sécurité et créait un résidu lumineux négligeable.

- « AL » ou lumière ambiante (ambient light) consistait à allumer toutes les lumières néons de la salle, en particulier les deux rails de lumières (2x2 néons) situés directement au-dessus du sujet, afin d'atteindre une luminosité ou « éclairage lumineux » de 345 lux, conformes aux mesures effectuées dans les salles de l'Université.
- « SL » ou lumière forte (strong light) était une condition nécessitant d'allumer toutes les lumières néons ainsi que les deux spots supplémentaires. Un niveau de luminosité de 8000 lux était alors atteint. Cette condition représentait alors un environnement lumineux fort, équivalent à une journée ensoleillée (sans être sous la lumière directe du soleil).



Figure II.4 : Luxmètre

Les mesures de luminosité ont été effectuées au moyen d'un luxmètre (Luxmeter BF06 from Trotec company, **Figure II.4**).

II.3.2. Les appareils mobiles à écran tactiles : Smartphones

II.3.2.1. Choix des smartphones

Les téléphones portables sont devenus depuis une dizaine d'années des appareils sophistiqués permettant d'exécuter une grande quantité d'interactions. La plus grande évolution de ce type d'appareils fut l'avènement de l'écran tactile. Ces outils modernes sont mondialement et communément appelés « smartphones ». Dans ce

travail de thèse, un choix fort de méthode a été fait : laisser les sujets utiliser leur propre téléphone (sous certaines conditions, voir **II.6** « protocole expérimental ») plutôt que d'imposer un appareil standard. Conscient des biais que ce choix peut induire nous avons le choix :

- Limiter notre capacité de comparaison des différences mesurées et de création de groupes de stratégies en augmentant notamment les écarts types ;
- Risquer de ne pas analyser les comportements habituels des individus en imposant un appareil standard.

Notre volonté était claire depuis le début : nous voulions comprendre, qualifier et objectiver les postures des utilisatrices(teurs) averti(e)s de smartphone dans des conditions représentatives de leur quotidien. Les smartphones utilisés pour effectuer cette étude sont présentés dans le tableau suivant (**Tableau II.1**) en fonction des sujets inclus dans le protocole.

II.3.2.2. Les systèmes d'exploitation des smartphones

Un système d'exploitation est un ensemble de programmes qui oriente l'utilisation des ressources par des logiciels dits « applications ». Ce système permet une gestion des sous-systèmes en allouant efficacement les ressources et en évitant les interactions entre logiciels applicatifs. En ce qui concerne les smartphones, il existe plusieurs types de systèmes d'exploitation. Les deux principaux, qui équipent

l'ensemble des appareils utilisés dans cette étude (**Tableau II.1**), sont « IOS » (développé par Apple) et « Android » (développé par Google).

Tableau II.1 : Synthèse des smartphones et de leurs caractéristiques utilisées par chaque sujet

Sujet	Sexe	Age (an)	Acuité visuelle	Préférence manuelle	Type d'appareil	Syst. d'exploit.	Fréq. quot.	Habitude avec l'appareil	Luminosité min. et max. de l'écran (lux)
S 1	♂	33	Normale	Droitier	Iphone 5	IOS	>3h	>2ans	3.5-325
S 2	♀	25	Normale	Droitière	Iphone 6S	IOS	>3h	>1 an	3.8-332
S 3	♂	26	Normale	Droitier	Iphone 6S	IOS	>3h	>6 mois	3.8-332
S 4	♂	30	Corrigée	Gaucher	LG G4	Android	>3h	>3 ans	3.4-341
S 5	♂	17	Normale	Droitier	Huawei P8 light 2017	Android	>3h	>6 mois	3.9-331
S 6	♂	18	Normale	Droitier	Samsung J5 2017	Android	>3h	>6 mois	3.4-328
S 7	♂	18	Normale	Droitier	Samsung Galaxy S8	Android	>3h	>6 mois	3.6-334
S 8	♂	19	Normale	Droitier	Samsung Galaxy A5	Android	>5h	>3mois	3.5-331
S 9	♀	18	Normale	Droitière	Iphone 5	IOS	>3h	>6 mois	3.5-324
S 10	♀	19	Normale	Droitière	Iphone 6S	IOS	>3h	>6 mois	3.7-336
S 11	♀	18	Corrigée	Droitière	Samsung J5 2016	IOS	>3h	>6 mois	3.5-330
S 12	♀	18	Corrigée	Gauchère	Iphone 6S	IOS	>3h	>1 mois	3.9-328

Si, leur fonctionnement diffère dans le « back office », l'interfaçage est très similaire voir parfaitement identique en ce qui concerne l'accès à internet par un navigateur (Safari, Google) ou l'envoi de messages texte. Les luminosités d'écrans ont été gérées manuellement suivant deux conditions (**Tableau II.1**) :

- BrightMin ou luminosité minimum : 3.6 ± 0.2 lux ;
- BrightMax qui représente la luminosité maximale de l'écran : 331.0 ± 4.7 lux.

II.3.3. Dispositifs de contrôle des conditions de position

L'utilisation quotidienne du téléphone portable est soumise à certaines contraintes environnementales sur lesquelles nous n'avons que peu d'influence. En effet le mobilier professionnel, le mobilier urbain, les aménagements de transports sont autant d'objets/lieux conditionnant notre position d'interaction avec les écrans. Ainsi, l'expérimentation de ce travail de thèse tient compte de ces contraintes.

L'analyse posturale, pour s'affranchir de la grande variabilité des positions observées dans la vie de tous les jours, s'est focalisée sur les situations suivantes :

- Assis sur une chaise, sans accoudoirs, sans table devant le sujet telle que pourrait être la position dans un bus, ou sur un banc public.
- Assis avec une table, ce qui a pour but de simuler une personne en interaction avec l'appareil en milieu scolaire, au travail, ou encore sur la table du salon.
- Enfin, debout sans aucun support comme pourrait l'être un individu attendant son transport en commun.

Une chaise standard, présente dans l'ensemble des salles de réunions et des salles de classes de l'université, a été utilisée pour les positions expérimentales assises (largeur : 47 cm ; hauteur 81 cm ; profondeur : 49 cm ; profondeur d'assise : 36 cm ; hauteur d'assise : 46.4 cm). La table utilisée pour la position « assis avec table » est également une table standard (largeur : 140 cm ; profondeur : 60 cm ;

hauteur : 76 cm). La position debout n'a été soumise à aucune « contrainte » autre qu'un repère au sol. Pour les positions « assis sans table » et « debout » un support placé sur le côté droit des sujets (hauteur 78 cm) permettait la saisie et la dépose de l'appareil (début et fin de la tâche complète). Notons qu'à partir de ces positions imposées, le sujet avait une liberté presque absolue d'ajuster sa posture comme il/elle l'entendait (il/elle devait tout de même rester dans la position étudiée, c'est-à-dire assis avec ou sans table ou debout, et se tenir dans le volume de travail calibré).

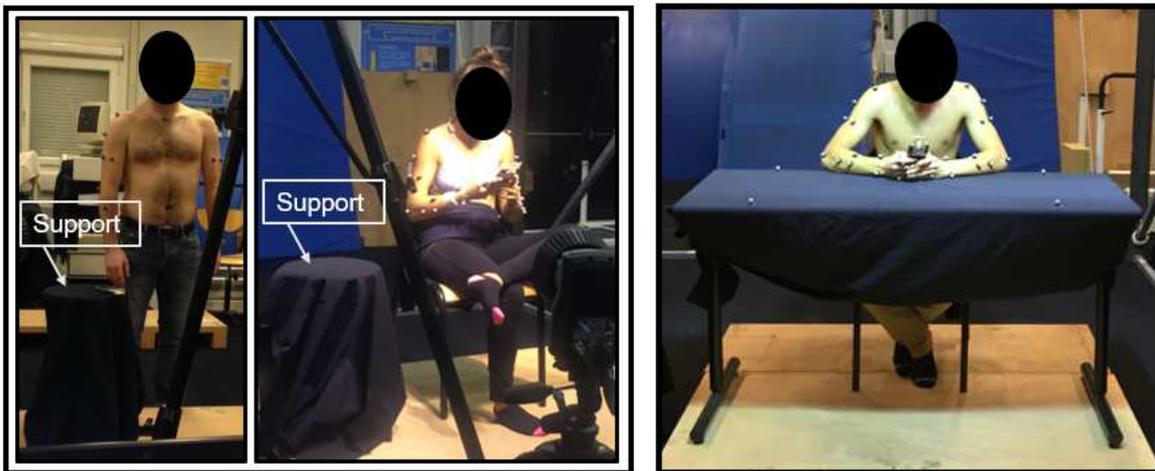


Figure II.5 : Illustration des dispositifs utilisés dans les différentes positions expérimentales. Sur la photo de gauche est représenté le support utilisé pour déposer le smartphone en début et fin d'essai pour les conditions assise sans support et debout. A droite est représenté un sujet dans la condition assise avec table.

Cela augmente la variabilité des données mais permet de faire apparaître des comportements et des stratégies articulaires très proches de la réalité. La volonté a été de contraindre le moins possible les sujets dans ces conditions expérimentales que nous considérons comme représentatives (autant que faire se peut en laboratoire) du quotidien.

II.3.4. Les tâches analysées

Deux tâches d'interactions classées parmi les plus fréquentes ont été testées dans le cadre de ce travail de thèse : l'envoi d'un message (« texto » ou « sms ») et la navigation sur internet.

II.3.4.1. Le message

Chaque sujet devait envoyer le message suivant à un expérimentateur avec son propre smartphone : "*On se retrouve devant la gare à 20h00.*". Il a été demandé au sujet de désactiver toutes les assistances et aides à la rédaction (suggestion de mots, correction automatique d'orthographe, raccourcis de ponctuation, ...) et donc de taper tous les caractères du message.

II.3.4.2. La recherche internet

Une recherche Internet consistant à trouver l'horaire d'un train reliant les villes de Toulon et Marseille a été effectuée par chaque sujet dans les différentes positions expérimentales (décrites dans la **partie II.3.3**). Cette recherche a été effectuée sur le site officiel de la SNCF (seule compagnie ferroviaire en France), en tapant dans Chrome ou Safari (en fonction du navigateur disponible sur le smartphone de chaque sujet) le mot clé "snCF" et en cliquant sur le premier lien (www.sncf.com). Les participants devaient écrire "Toulon" dans la ville actuelle et "Marseille" dans la destination. La durée du voyage et les autres paramètres n'ont pas été modifiés. Ensuite, le bouton "Rechercher" a été actionné. Après le chargement de la page

internet, la tâche consistait à faire défiler la page vers le bas jusqu'à atteindre le dernier horaire disponible et l'énoncer à haute voix à l'opérateur (**Figure II.6**).

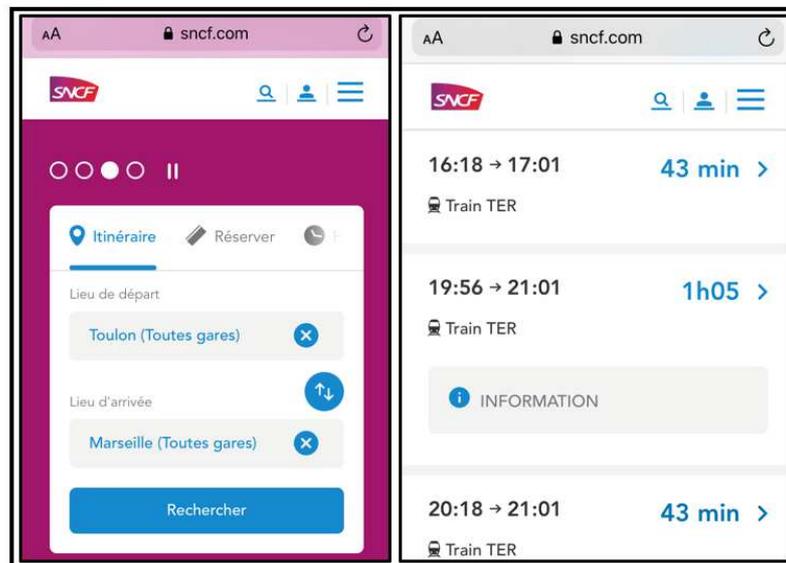


Figure II.6 : Illustrations des interfaces de navigation du site internet de la SNCF (Société Nationale des Chemins de Fer) sur les smartphones. À gauche : interface pour la saisie des noms de villes ; à droite : interface pour l'affichage des horaires disponibles. Le sujet était invité à dire à haute voix le dernier horaire de train disponible après avoir fait défiler la page.

II.3.5. Synthèse des variables indépendantes

Le protocole expérimental comprend ainsi une combinaison de 3 positions (assis sans table, assis avec table et debout), 3 lumières environnantes (aucune, ambiante et forte), 2 luminosités d'écran (minimale et maximale) et 2 tâches d'interaction (un envoi d'un message et une recherche sur internet). La prise en compte de l'ensemble de ces quatre des variables indépendantes aboutit à un total de 36 conditions expérimentales réalisées par chacun des sujets. Le **tableau II.2** synthétise l'ensemble de ces combinaisons.

. **Tableau II.2** : Synthèse de l'ensemble des conditions expérimentales étudiées.

		Aucune lumière environnante (0L)		Lumière ambiante (LA)		Lumière forte (SL)	
		Luminosité écran min (BrightMin)	Luminosité écran max (BrightMax)	Luminosité écran min (BrightMin)	Luminosité écran max (BrightMax)	Luminosité écran min (BrightMin)	Luminosité écran max (BrightMax)
Message	Assis avec table (ST)	1	2	3	4	5	6
	Assis sans table (SWT)	7	8	9	10	11	12
	Debout (STA)	13	14	15	16	17	18
Recherche internet	Assis avec table (ST)	19	20	21	22	23	24
	Assis sans table (SWT)	25	26	27	28	29	30
	Debout (STA)	31	32	33	34	35	36

Une fois le cadre expérimental posé, il est nécessaire de pouvoir étudier les postures adoptées par les sujets au cours de chacune des conditions expérimentales pour apporter des éléments de réponses à nos différents objectifs. La partie suivante présente l'équipement utilisé pour équiper les sujets et ainsi analyser la manière dont ils interagissent avec leur smartphone.

II.4. Le système de mesure optoélectronique QUALISYS[®]

II.4.1. Présentation

Le système Qualisys (Qualisys AB, Gothenburg, Suède) est un système optoélectronique à marqueurs passifs. Le modèle utilisé dans cette étude est composé de huit caméras infrarouges en réseau de type Oqus 400, reliées à l'unité d'acquisition et de synchronisation ainsi qu'à un ordinateur équipé du logiciel « Qualisys Track Manager ». Ce dernier permet la visualisation et l'enregistrement du déplacement des marqueurs rétro réfléchissants à une fréquence de 200 Hz (**Figure II.7**).



Figure II.7 : Illustration des caméras Oqus 400 de la marque Qualisys (à gauche) et répartition autour de l'espace de mesure (à droite).

II.4.1. Calibration

La calibration (anglicisme qui a une notion d'étalonnage) est une étape fondamentale pour l'exploitation des données enregistrées par le système. Pour que les données soient de qualité, il faut un système parfaitement calibré, c'est-à-dire que l'espace d'analyse soit mis à l'échelle par le système afin que les coordonnées des marqueurs passifs soient définies dans le volume de travail (volume dans lequel les acquisitions s'effectuent) doté d'un repère global. Le calibrage doit impérativement être réalisé avant chaque expérimentation. Pour minimiser les sources d'erreurs, un calibrage a été effectué avant le passage de chaque sujet et au bout de 4 heures de manipulation pour également diminuer les risques liés à la métrologie et à la déviation du signal.

Sur le plan matériel, la procédure de calibration comprend deux éléments distincts :

- Un objet métallique en forme de « L » sur lequel se trouvent quatre marqueurs dont les dimensions exactes sont communiquées par le constructeur et implémentées directement dans le logiciel d'acquisition. Les deux branches du « L » permettent de construire le repère qui servira de référence pour calculer les positions absolues de chaque marqueur ;
- Une baguette (« wand ») dont les dimensions exactes sont connues du système.

La procédure en elle-même consiste à balayer le volume de mesure souhaité avec l'aide de la baguette tout en gardant visible et immobile le dispositif en « L ». Cette étape permet de relier géométriquement les caméras entre-elles et de créer le repère de référence, autorisant ainsi la reconstruction des coordonnées 3D de l'espace de mesure à partir des données enregistrées par chaque caméra.

II.4.2. Positionnement des marqueurs

II.4.2.1. Sujet

Afin de modéliser la partie supérieure du corps composée du squelette axial et des membres supérieurs (**Figure I.8**), les sujets sont équipés d'un total de 46 marqueurs rétro réfléchissants sphériques répartis sur la tête, le tronc et les deux bras, les deux avant-bras et les mains. Des marqueurs de 14 mm de diamètre sont disposés sur l'ensemble du squelette axial et une partie des membres supérieurs tandis que des marqueurs de 7 mm sont utilisés pour les doigts. Seuls les pouces et les index sont équipés.

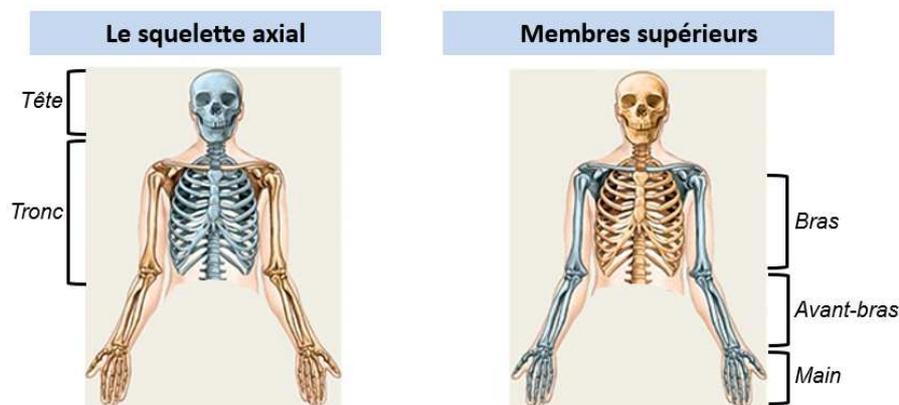


Figure II.8 : Définition des termes « squelette axial » et « membres supérieurs » en fonction de l'anatomie.

Les marqueurs positionnés sur le sujet sont fixés sur la peau par l'intermédiaire d'un adhésif double-faces hypoallergénique spécialement prévu à cet effet. Le positionnement des marqueurs anatomiques est réalisé conformément aux recommandations de la Société Internationale de Biomécanique (ISB) (Wu *et al.*, 2005). Ainsi, les marqueurs sont positionnés sur des points osseux caractéristiques et facilement palpables (**Figure II.9**). Le tableau illustré **II.3** présente en détail l'ensemble des marqueurs utilisés pour étudier le mouvement du squelette axial et des membres supérieurs à partir des repères anatomiques. Ces derniers seront plus largement détaillés dans le paragraphe **II.5.4** relatifs aux calculs des angles articulaires. Nous utilisons également des marqueurs techniques afin d'avoir une redondance d'informations et ainsi palier aux éventuelles occultations des marqueurs anatomiques lors du mouvement (**III.5.1.1**).

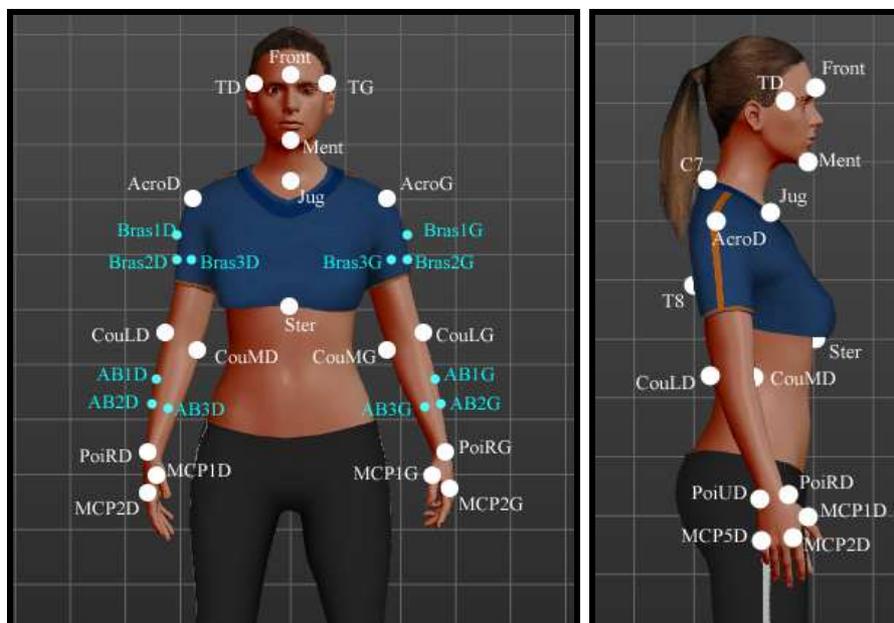
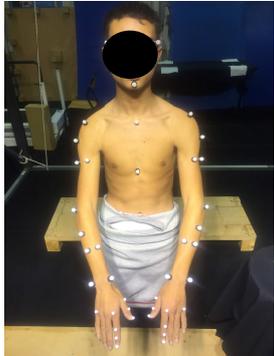


Figure II.9 : Placement des marqueurs sur le sujet. Les marqueurs blancs sont placés sur les points anatomiques identifiés par palpation, ceux en bleu représentent les marqueurs techniques pour compenser les éventuelles occultations de marqueurs anatomiques. Les marqueurs des doigts ne sont pas représentés ici (voir **Tableau II.3**).

Tableau II.3 : Liste des noms et des emplacements par segment des marqueurs utilisés.

Segment	Nom et emplacement des marqueurs			
Tête (4)	Tempe droite (TD) Tempe gauche (TG) Menton (Ment) Front (Front)			
Squelette axial (4)	Incisure jugulaire (Jug) Processus xiphoïde du sternum (Ster) Septième vertèbre cervicale (C7) Huitième vertèbre thoracique (T8)			
Membre supérieur droit (19)	Acromion droit (AcroD) Marqueurs techniques bras droit (BrasD1, 2, 3) Epicondyle médial du coude droit (CouMD) Epicondyle latéral du coude droit (CouLD) Marqueurs techniques avant-bras droit (ABD1, 2, 3) Processus styloïde ulnaire droit (PoiUD) Processus styloïde radial droit (PoiRD) Tête du métacarpe I droit (MCP1D) Tête de la phalange proximale du pouce droit (IPPD) Extrémité du pouce droit (EPD) Tête du métacarpe II droit (MCP2D) Tête de la phalange proximale de l'index droit (IPPID) Tête de la phalange proximale de l'index droit (IPDID) Extrémité du pouce droit (EID) Tête du métacarpe V droit (MCP5D)			
	Membre supérieur droit (19)			Acromion gauche (AcroG) Marqueurs techniques bras gauche (BrasG1, 2, 3) Epicondyle médial du coude gauche (CouMG) Epicondyle latéral du coude gauche (CouLG) Marqueurs techniques avant-bras gauche (ABG1, 2, 3) Processus styloïde ulnaire gauche (PoiUG) Processus styloïde radial gauche (PoiRG) Tête du métacarpe I gauche (MCP1G) Tête de la phalange proximale du pouce gauche (IPPG) Extrémité du pouce gauche (EPG) Tête du métacarpe II gauche (MCP2G) Tête de la phalange proximale de l'index gauche (IPPIG) Tête de la phalange proximale de l'index gauche (IPDIG) Extrémité du pouce gauche (EIG) Tête du métacarpe V gauche (MCP5G)

II.4.2.2. Smartphone

Les téléphones (appareils personnels de chaque sujet) utilisés pour cette expérimentation sont équipés de 14 marqueurs sphériques de 7 mm de diamètre (**Figure II.10**) :

- 9 sont positionnés directement sur la coque ;
- 5 sont placés sur une pièce légère en ABS (Acrylonitrile Butadiène Styrène) spécialement conçue pour ce protocole et collée à l'arrière du smartphone sur la partie supérieure de l'écran. Ce support a d'abord été modélisé sur Solidworks puis imprimé via une imprimante 3D.

Après une première acquisition statique du smartphone équipé des 14 marqueurs, ceux placés sur la coque sont retirés et seule la pièce en résine avec ses 5 marqueurs demeure sur le téléphone du sujet.

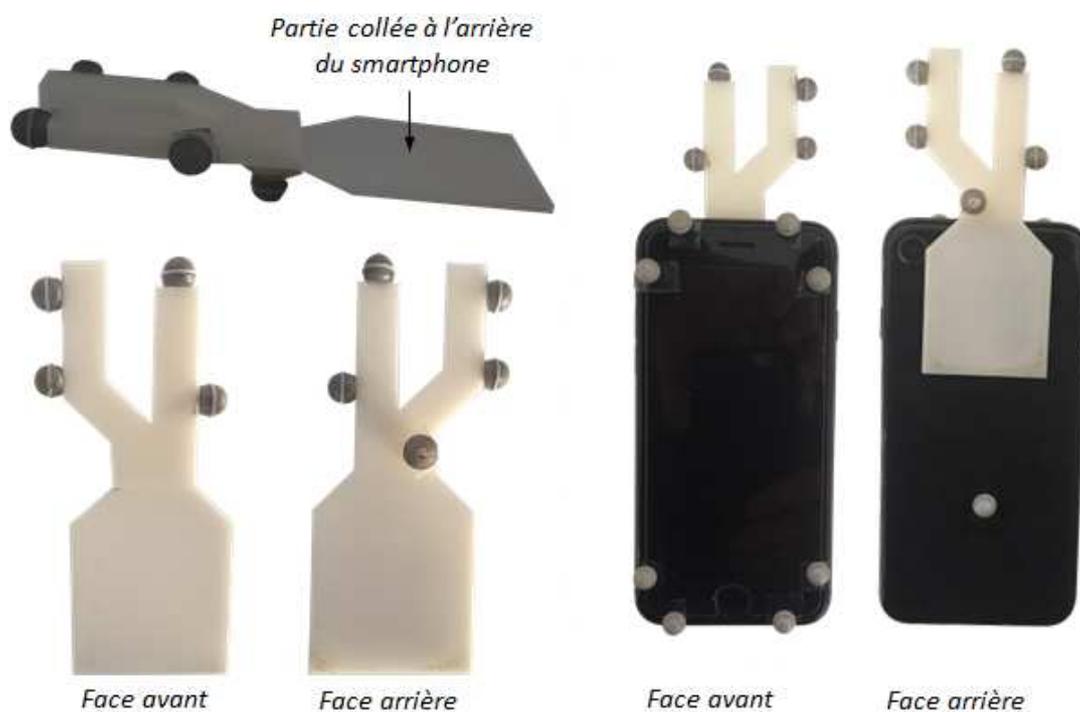


Figure II.10 : Illustration de la pièce en résine équipée de ses 5 marqueurs conçue spécialement pour la réalisation du protocole expérimental seule (à gauche) et attachée au smartphone (à droite) également équipé de ses 14 marqueurs (les marqueurs sur le smartphone ne sont présents que pour la première acquisition statique).

Cette procédure permet de libérer le téléphone des marqueurs qui pourraient modifier l'interaction sujet/téléphone ou tout simplement être perdus ou déplacés pendant l'expérimentation. Une reconstruction en utilisant les techniques/hypothèses des solides rigides sera effectuée via un soft Matlab (The Mathworks, Inc., Natick, MA, USA) afin de reconstituer le téléphone.

II.4.3. Acquisition

Une fois le sujet et le smartphone équipés, deux acquisitions statiques sont tout d'abord effectuées. La première inclut le smartphone seul sur lequel est attaché le support en résine équipé de ses 14 marqueurs. La seconde est un enregistrement statique du sujet équipé de ses 46 marqueurs sans son smartphone. Les 9 marqueurs positionnés sur la coque du smartphone sont alors retirés et le sujet peut commencer ses tâches d'interaction avec son smartphone. Les acquisitions suivantes incluent par conséquent le déplacement des 51 marqueurs restants : les 46 placés sur le sujet et les 5 restants sur la pièce en résine collée sur partie supérieure du smartphone.

II.5. Analyse des données

Le traitement des données se compose de différentes étapes qui se succèdent avant d'obtenir l'ensemble des variables dépendantes. Il comprend les étapes nécessaires à la préparation des données, celles dédiées aux calculs des paramètres cinématiques, puis, celles dédiées au calcul des différents indicateurs

retenus pour répondre à nos différents objectifs. La partie suivante aborde en détail chacune de ces étapes.

II.5.1. Procédure de reconstruction

II.5.1.1. Les enregistrements Qualysis

La première étape du traitement consiste, pour chaque essai de chaque sujet, à reconstruire et labelliser les trajectoires des 51 marqueurs Qualisys positionnés sur le sujet (46) et sur le téléphone (5) (**Figure II.11**). Les trajectoires sont ensuite vérifiées minutieusement afin d'éliminer les marqueurs « fantômes » et les erreurs de trajectoires : « cross over ».

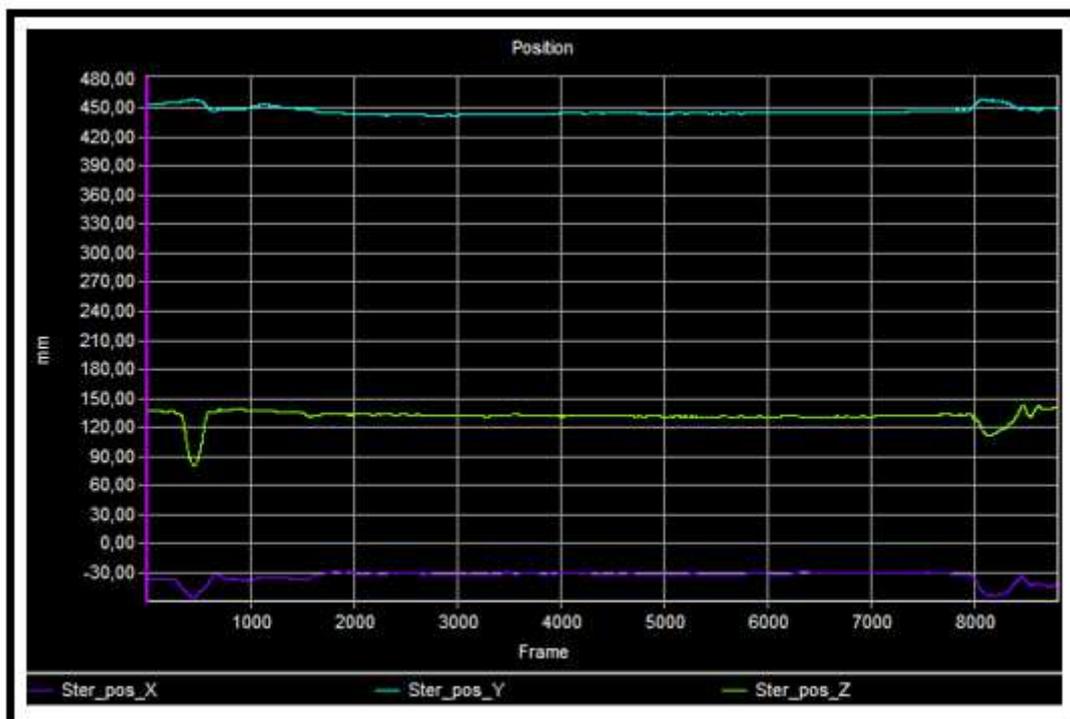


Figure II.11 : Illustration de l'interface de suivi de trajectoire du logiciel « Qualisys Tracker Manager » permettant la reconstruction de portions de trajectoires lorsque celle-ci est manquante.

En cas d'absence de marqueur une procédure a été mise en place. Le logiciel Qualisys offre une interface tout à fait convenable de reconstruction en cas de perte de données. Dans chaque cas le choix entre une reconstruction linéaire ou polynomiale s'effectuait manuellement via le logiciel. Lorsque les résultats obtenus ne semblaient pas convenables l'utilisation d'une interface de reconstruction développée par le laboratoire HandiBio était utilisée (**Figure II.12**). Cette technique avait l'avantage de pouvoir choisir des marqueurs référence permettant une reconstruction via l'hypothèse du solide rigide. C'est à cette étape que la redondance des informations de trajectoires apportée par les marqueurs additionnels comme les marqueurs techniques sont utilisées afin de recalculer la position des marqueurs anatomiques nécessaires à la constitution des repères segmentaires. Lorsque cette dernière technique semblait donner de bons résultats, nous l'avons automatisée via Matlab afin de gagner un temps considérable. Enfin, les données cinématiques sont exportées au format Matlab (fichier .mat) pour être traitées par l'intermédiaire du logiciel Matlab. Les figures suivantes permettent de visualiser les données cinématiques (**Figure II.12**) avant et après traitement.

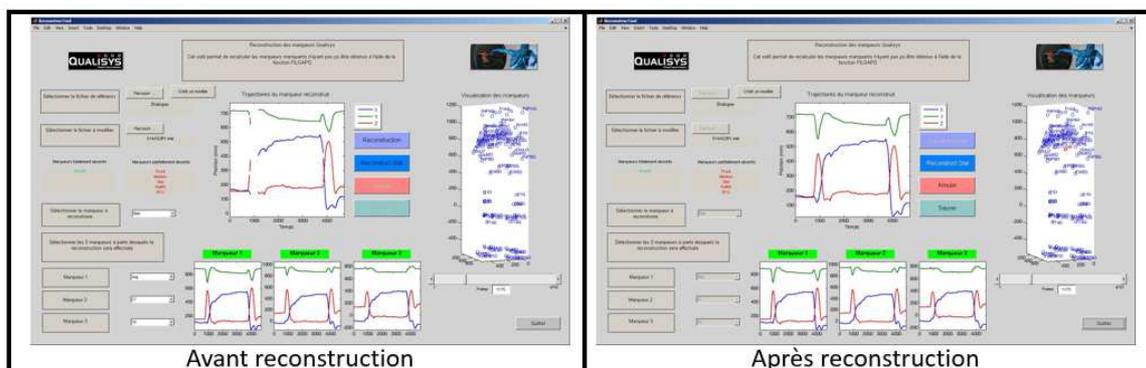


Figure II.12 : Interface de reconstruction des trajectoires de marqueurs développée au sein du laboratoire.

II.5.1.1. Utilisation des marqueurs techniques

Les repères présentés ci-dessus utilisent les marqueurs positionnés sur des points anatomiques facilement repérables par palpation. Cependant, au cours d'une interaction, en fonction des conditions de lumière et du temps d'interaction, les postures adoptées par les sujets peuvent provoquer la perte de marqueurs. Pour pallier ce problème, nous avons apporté de la redondance dans la mesure du mouvement avec l'utilisation de marqueurs techniques. Ces marqueurs sont positionnés sur n'importe quelle partie du segment, à la seule condition de ne pas être alignés et donc d'être visibles par la majorité des caméras durant la totalité du mouvement. Un repère est associé à chaque groupe de marqueurs et l'on calcule les matrices de passage entre les repères anatomiques et les repères techniques pour la prise statique. En effet, lors de cette dernière, tous les marqueurs sont visibles et il devient donc possible de connaître les positions des marqueurs et des repères anatomiques à partir des repères techniques. Cette procédure permet de reconstruire par interpolation les trajectoires des marqueurs anatomiques occultés lors du mouvement. Pour simplifier cette étape du traitement, nous avons développé une interface facilitant la reconstruction des marqueurs.

II.5.1.2. Smartphone

A partir de l'acquisition statique du smartphone équipé des 14 marqueurs, un modèle rigide a été établi.

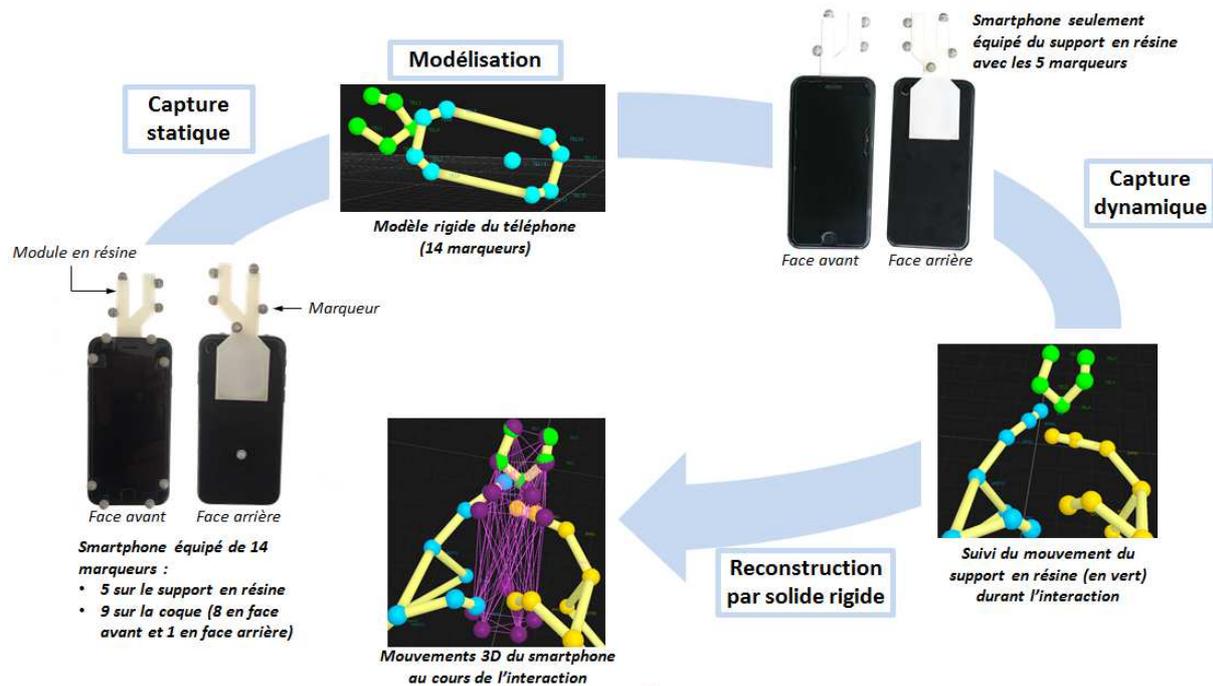


Figure II.13 : Procédure de modélisation et de reconstruction du smartphone lors des acquisitions dynamiques à partir des données relatives aux marqueurs disposés sur le support en résine.

Un repère est tout d'abord créé à partir de 3 des marqueurs disposés sur la pièce en résine, puis les coordonnées de tous les autres sont redéfinies dans ce repère. Ainsi, il est possible de recalculer la position de chacun des marqueurs, et donc du smartphone, à chaque instant de l'interaction à partir des trajectoires des seuls marqueurs fixés sur la pièce en résine. La figure II.13 illustre ce procédé.

II.5.2. Filtrage

Afin de retirer le bruit des signaux, le filtrage apparaît comme une étape importante dans la préparation des données nécessaires aux calculs. Ces « défauts » de signaux sont dus à des mouvements de marqueurs produits par des chocs ou par des mouvements rapides pouvant engendrer des « mouvements de peau ». Pour minimiser les « bruits » et les artefacts de ces signaux, un filtre passe bas est appliqué à l'ensemble des données cinématiques (Alberts *et al.*, 2002; Gorce and Bendahan, 2005). Il existe un grand nombre de filtres qui sont caractérisés par leur ordre et leur fréquence de coupure. Le choix du filtre et en particulier de sa fréquence de coupure a un effet direct sur la qualité des données. Dans la littérature, les filtres choisis ont généralement des fréquences de coupure entre 5 Hz et 10 Hz. Cependant, le choix de ces dernières est souvent subjectif. Winter (1990) propose une méthode objective basée sur l'analyse des résidus. Après analyse, nous avons retenu un filtre Butterworth du second ordre avec une fréquence de coupure de 6.2 Hz.

II.5.3. Extraction de la phase d'interaction

L'étude temporelle permet d'identifier les différentes phases : la saisie du téléphone, la phase d'interaction puis la phase de dépose de l'appareil. Dans le cadre de ce travail nous ne considérons que la phase d'interaction avec l'écran tactile. Il nous semblait essentiel de se focaliser sur les adaptations posturales moyennes de la phase d'interaction seule avant d'investiguer l'analyse temporelle et

de proposer un schéma d'interaction (**Annexe I**). Pour identifier les différentes phases, nous avons étudié la vitesse de déplacement du smartphone (trajectoires des marqueurs de l'appareil, **Figure II.14**). Le début et la fin de la phase d'interaction correspondent aux instants où la vitesse moyenne sur un intervalle de temps de 0.2s est inférieure à 5% de la vitesse maximale.

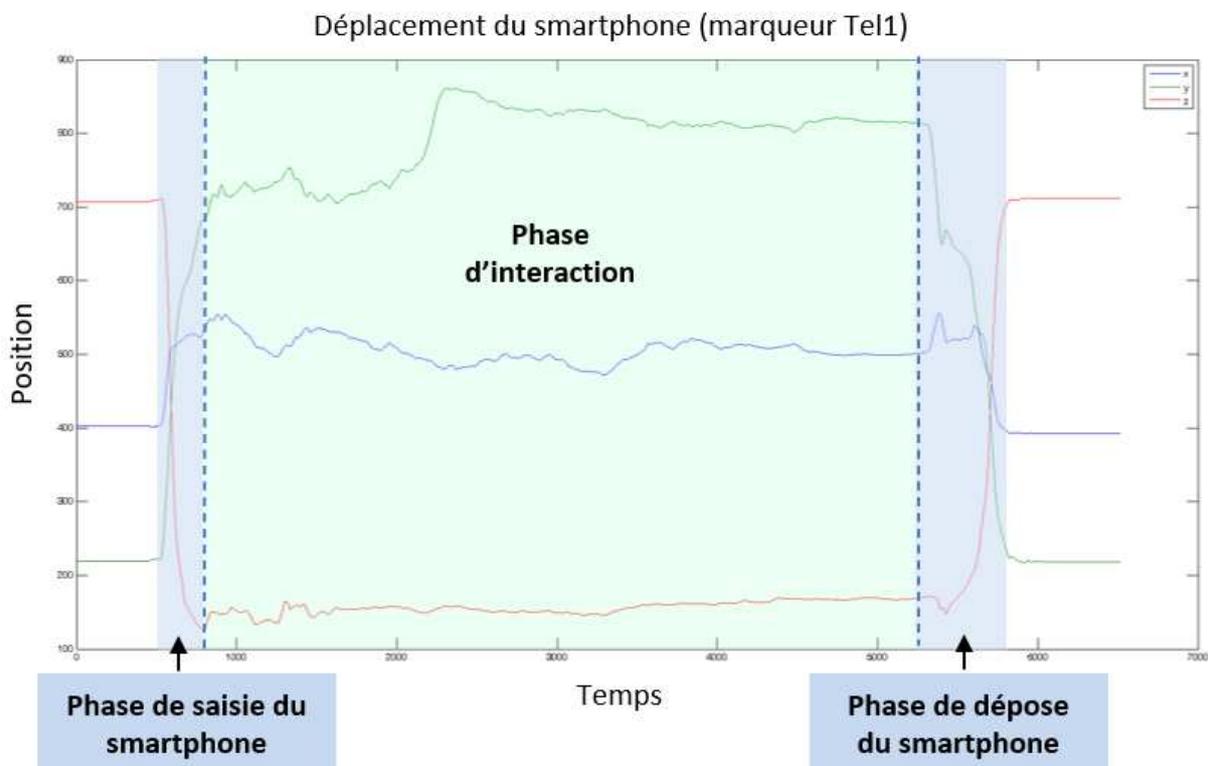


Figure II.14 : Illustration de l'identification des phases de l'ensemble de la tâche d'interaction.

II.5.4. Calcul des angles articulaires

Le calcul des angles articulaires de cette étude est basé sur l'hypothèse que chaque segment de la chaîne articulaire du membre supérieur est un corps rigide indéformable. Ce calcul est réalisé à partir des trajectoires de chaque marqueur et un

minimum de trois marqueurs par segment est nécessaire. Ainsi, le calcul est réalisé en trois étapes :

Création des repères segmentaires : les trois marqueurs caractéristiques du segment permettent de définir deux vecteurs et de créer un repère orthonormé direct du segment (par double produit vectoriel). Ce dernier se présente sous forme d'une matrice 3*3 contenant les vecteurs de base du repère exprimés dans le repère global.

Calcul de la matrice de rotation : chaque segment possède un repère permettant de connaître son orientation dans le repère global. La matrice de rotation (R) entre deux segments consécutifs est donc obtenue par produit de la matrice du segment proximal et de la transposée de la matrice du segment distal. Cette matrice permet d'exprimer l'orientation du segment distal par rapport au segment proximal. Si on la complète avec le vecteur colonne des coordonnées de l'origine du segment distal dans le repère proximal et avec la ligne (0 ; 0 ; 0 ; 1), on obtient une matrice 4*4. Cette dernière, matrice de passage (T), permet le calcul des positions et des orientations du segment distal dans le repère du segment proximal.

Application de la séquence de rotation choisie : les matrices de rotation R permettent d'obtenir les angles de trois rotations successives entre deux segments consécutifs. Pour cela, on leur applique une séquence de rotation dont le choix affecte les valeurs des angles obtenus (Šenk and Chèze, 2006). Le tableau suivant récapitule les séquences que nous avons utilisées ainsi que les repères

segmentaires (**Tableau II.3**). Ces séquences et ces repères sont conformes aux recommandations de la société internationale de biomécanique (Wu *et al.*, 2002; Wu *et al.*, 2005), excepté lorsque des problèmes de « gimbal lock » apparaissent avec la séquence recommandée. C'est le cas pour l'épaule où nous avons remplacé la séquence Y-X-Y par la séquence Z-X-Y recommandée par Šenk and Chèze (2006). Pour notre analyse de la tâche, nous avons retenus un total de 24 degrés de liberté : les 3 orientations du cou (flexion-extension, rotation axiale et inclinaison), les 3 orientations du tronc (flexion-extension, rotation axiale et inclinaison), les deux premières rotations des articulations sterno-costo-claviculaires (protraction-rétraction, élévation-dépression), les 3 rotations des épaules (flexion-extension, abduction-adduction et rotation axiale), la première et la dernière rotation des coudes (flexion extension et pronation-supination) et enfin les 2 dernières rotations des poignets (déviations radio-ulnaire et flexion-extension). Les doigts seront traités ultérieurement. Une procédure similaire a été utilisée pour évaluer l'orientation du smartphone par rapport au visage (repère de la tête) ainsi que la distance entre les deux repères.

Tableau II.3 : Repères anatomiques et séquences utilisés pour le calcul des angles relatifs entre chaque segment. Le repère Xg, Yg, Zg représente le repère global. D'après Wu et collaborateurs (Wu *et al.*, 2005).

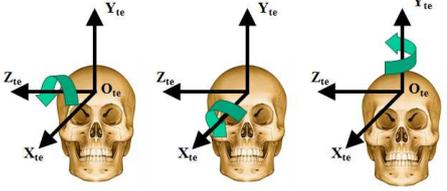
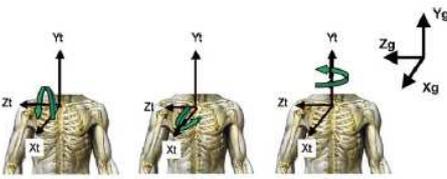
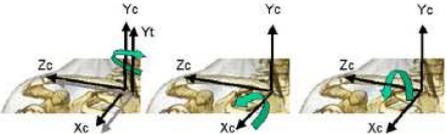
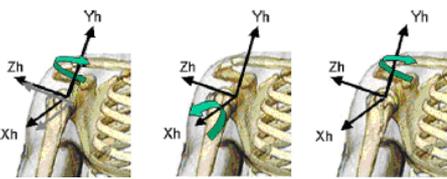
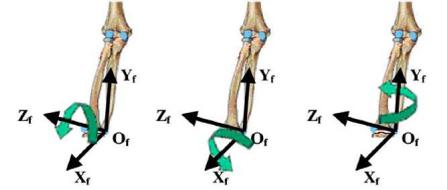
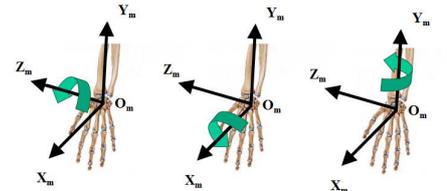
Segment	Repère anatomique	Séquence de rotation	Illustration
Tete	<p>Origine : Jug. Yte : Ment → Front. Xte : Yte \wedge TG → TD. Zte : Zte \wedge Xte. Rotation e1 : Flexion (-) / Extension (+) e2 : Inclinaison droite (+) / gauche (-) e3 : Rotation axiale gauche (+) / droite (-)</p>	Z-X-Y	
Tronc	<p>Origine : Jug. Yt : milieu de [Ster-T8] → milieu de [Jug-C7]. Zt : milieu de [Ster-T8] → Jug \wedge milieu de [Ster-T8] → C7. Xt : Yt \wedge Zt. Rotation e1 : Flexion (-) / Extension (+) e2 : Inclinaison droite (+) / gauche (-) e3 : Rotation axiale gauche (+) / droite (-)</p>	Z-X-Y	
Clavicule	<p>Origine : Jug. Zc : Jug → Centre de rotation de l'épaule. Xc : Yt \wedge Zc. Yc : Zc \wedge Xc. Rotation e1 : Protraction (+) / Rétraction (-) e2 : Elévation (-) / Dépression (+) e3 : Rotation axiale arrière (+) / avant (-)</p>	Y-X-Z	
Humérus	<p>Origine : Centre de rotation de l'épaule (CREP) Yh : milieu de [CouM-CouL] → Centre de rotation de l'épaule. Xh : CREP → CouL \wedge CREP → CouM. Zh : Xh \wedge Yh. Rotation e1 : Flexion (+) / Extension (-) e2 : Abduction (-) / Adduction (+) e3 : Rotation axiale médiale (+) / latérale (-)</p>	Z-X-Y	
Avant-bras	<p>Origine : PoiU. Yf : PoiU → milieu de [PoiU - PoiR]. Xf : PoiU → CouM \wedge PSU → CouL. Zf : Xf \wedge Yf. Rotation e1 : Flexion (+) / Hyper-extension (-) e2 : Carrying angle, interne (+) / externe (-) e3 : Pronation (+) / Supination (-)</p>	Z-X-Y	
Main	<p>Origine : Centre de la main Ym : milieu de [PoiU - PoiR] → milieu de [MCP2-MCP5]. Xm : Ym → PoiU \wedge Ym → PoiR. Zm : Xm \wedge Ym. Rotation e1 : Flexion (+) / Extension (-) e2 : Déviation radiale (-) / déviation ulnaire (+) e3 : Rotation axiale médiale (+) / latérale (-)</p>	Z-X-Y	

Tableau II.4 : Tableau de synthèse des niveaux de risques d'apparition des TMS d'après RULA.

Score	Niveau de risque et action à envisager
1-2	Niveau 1 : Risque négligeable, pas d'action particulière requise
3-4	Niveau 2 : Risque faible, des changements sont à envisager
5-6	Niveau 3 : Risque moyen, investigation à approfondir et changements à effectuer rapidement
6+	Niveau 4 : Risque très élevé, des changements sont nécessaires immédiatement

A partir du « score final » obtenu dans le « tableau C » (**Figure II.15**), il est possible d'évaluer un niveau de risque d'apparition des troubles musculosquelettiques ainsi que de la conduite à tenir (**Tableau II.4**). Dans le cadre de notre travail, nous proposons de calculer ce niveau de risque pour chacune des conditions expérimentales étudiées.

II.5.6. Classification ascendante hiérarchique

Afin d'analyser les différentes stratégies posturales lors de l'interaction avec le smartphone, une classification ascendante hiérarchique (CAH) a été appliquée à l'ensemble des données de chaque condition testée à l'aide du logiciel Statistica (Statistica 7.1, Statsoft, Tulsa, OK, USA). Les angles articulaires moyens considérés ont été utilisés comme données d'entrée et le logiciel a automatiquement fait correspondre les postures en fonction des informations relatives aux distances entre les données en utilisant la méthode de Ward (Merbah *et al.*, 2020c). Le but est de réduire progressivement par itération successive le nombre de groupes en fusionnant ceux qui sont les plus proches, c'est-à-dire entre les groupes qui présentent une

dissimilarité minimale. La valeur de dissimilarité est appelée coefficient d'agglomération. Comme on rassemble d'abord les individus les plus proches, la première itération a un indice d'agrégation faible, mais celui-ci va croître d'itération en itération. Les résultats sont ensuite présentés sous la forme d'un dendrogramme qui est la représentation graphique de la classification ascendante hiérarchique. Il se présente sous la forme d'un arbre binaire dont les feuilles correspondent aux individus alignés sur l'axe des abscisses. Les branches de l'arbre représentent quant à elles les distances entre les individus.

Dans le cadre de ce travail, l'identification des groupes a été déterminée quantitativement par le coefficient d'agglomération et cette décision a été vérifiée par un examen visuel du dendrogramme. Chaque groupe représente donc la stratégie posturale d'un utilisateur moyen pour l'exécution de la tâche donnée et contient le nombre de fois qu'elle a été observée au cours de l'expérience.

II.5.7. Analyse statistique

L'intégralité du plan statistique a été effectuée avec le logiciel STATISTICA 7.1 (StatSoft, Tulsa, OK, USA). Pour chaque variable, la normalité des données a été vérifiée avec le test de Shapiro-Wilk, l'homogénéité des variances avec le test de Levene et la sphéricité avec le test de Mauchley (Winter *et al.*, 2001). Lorsque que la condition de sphéricité n'est pas satisfaite, la significativité de la statistique de test F est ajustée conformément à la procédure de Greenhouse-Geisser lorsque l'épsilon du facteur de correction est inférieur à 0.75 ou à la procédure de Huyn-Feld lorsque

l'épsilon du facteur de correction est supérieur à 0.75 (Vincent, 1999). Une analyse de variance (ANOVA) à mesures répétées a été utilisée afin d'analyser l'effet des conditions expérimentales. Dans le but de mettre en lumière les différences significatives, le test post-hoc de Tukey a été retenu. Certaines analyses ont été ajoutées, comme le test de Kruskal-Wallis, lorsque cela était nécessaire.

II.6. Protocole expérimental

II.6.1. Les sujets

Douze sujets sains ont volontairement participé à l'expérience (21,6±5,5 ans ; cinq femmes : 19,6 ±3,0 ans ; sept hommes : 23±6,6 ans). Trois étaient gauchers et neuf étaient droitiers et aucun ne présentait de pathologies du haut du corps. De plus, les sujets présentaient tous une vision normale ou corrigée et normale. Ils/elles avaient une expérience de plus de 5 ans avec les smartphones et utilisaient le leur depuis plus d'un an. Chaque sujet a été informé du contenu complet du protocole et a donné son consentement écrit avant de participer. La procédure expérimentale était en accord avec la déclaration d'Helsinki et a été approuvée par le comité d'éthique local (World Medical, 2013).

II.6.2. Procédure

Le protocole expérimental comprend deux tâches d'interaction avec un smartphone. Il s'agit d'une tâche d'envoi de message texte ainsi que d'une tâche de

recherche d'horaire de trains. Ces interactions sont à effectuer sous trois conditions de position ainsi que six conditions lumineuses (3 conditions de « lumière environnante » et 2 conditions de « luminosité de l'écran du téléphone »). Pour chacune des 36 conditions d'environnement, la manipulation a été répétée 3 fois avec des temps de repos de 90 secondes dans un ordre aléatoire, soit un total de 108 essais.

Toutes les analyses d'interaction ont été réalisées dans trois positions expérimentales pour toutes les conditions de lumière (**Figure II.16**) :

- Assis avec une table, notée ST ;
- Assis sans support, notée SWT ;
- Debout, notée STA.



Figure II.16 : Illustration des trois positions expérimentales : assis avec table, ST (à gauche) ; assis sans table, SWT (au centre) ; debout, STA (à droite).

La séquence de la position a été randomisée pour chaque sujet. Le smartphone était positionné devant le sujet dans la condition ST et sur un support latéral (côté droit) dans les deux autres conditions (SWT, STA). La position de départ a été normalisée pour chaque position : dans la condition ST, le sujet était assis avec ses avant-bras posés sur la table (**Figure II.3.2**) ; dans la condition SWT, le sujet était assis avec ses mains sur ses cuisses ; et dans la condition STA, le sujet était simplement debout avec ses bras le long du corps. À partir de cette position, les sujets étaient informés qu'ils pouvaient effectuer la tâche comme ils le souhaitaient en termes de posture après le signal de départ. Une fois la tâche terminée, le sujet devait remettre le téléphone à son emplacement d'origine se replacer dans la posture initiale.

II.7. Conclusion

Ce chapitre a permis de poser le cadre expérimental de notre travail afin de répondre aux différentes hypothèses de recherche. La **figure II.17** synthétise la démarche de la mise en forme des données pour y parvenir. Le chapitre suivant est dédié à la présentation des différents éléments de réponse en relation avec chacune de nos hypothèses scientifiques. La présentation de ces résultats s'appuie sur les travaux de recherche que nous avons publiés durant ce travail de thèse.

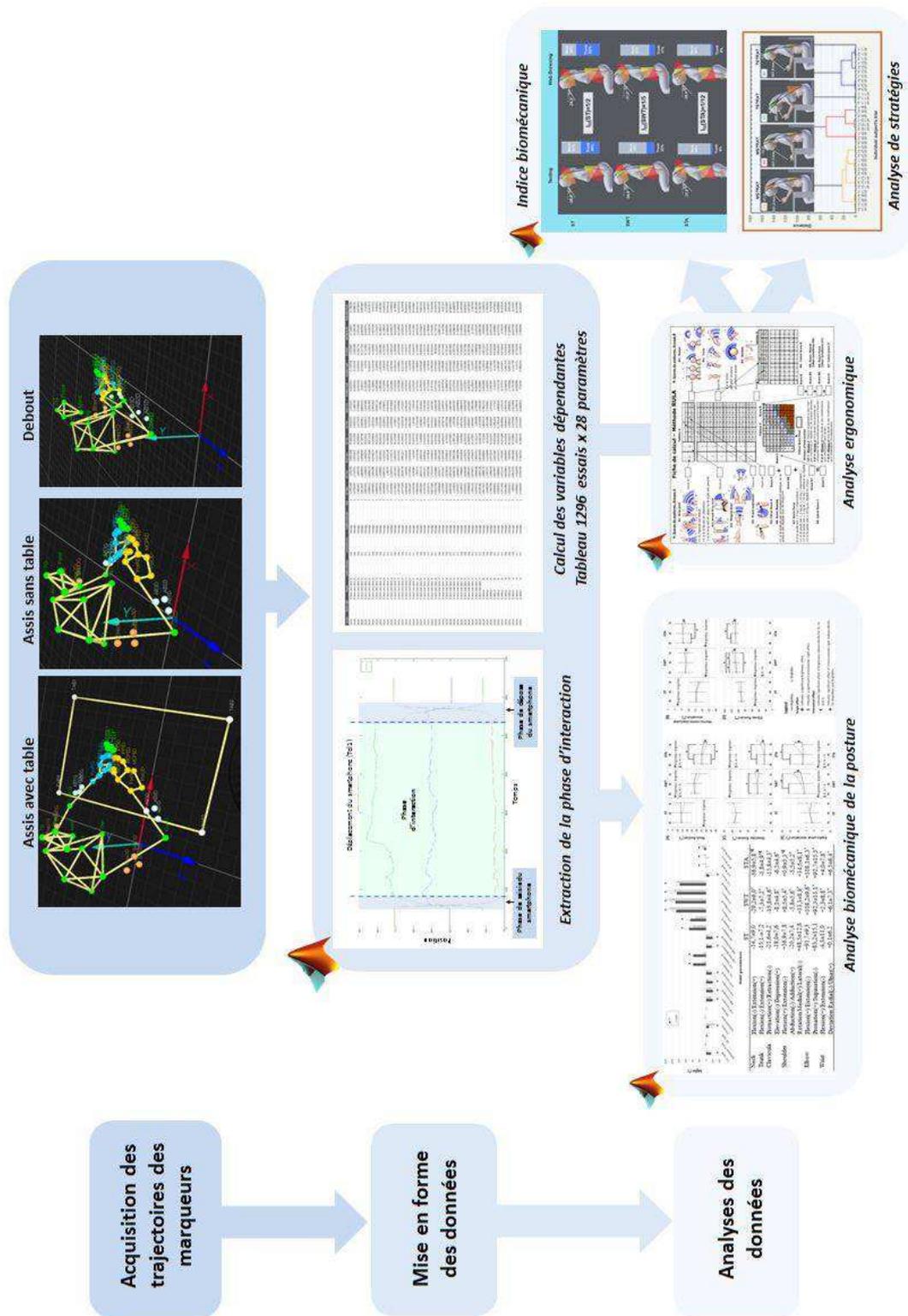


Figure II.17 : Schéma récapitulatif de l'acquisition à l'analyse des données

Chapitre III

Chapitre III

Travaux de recherche

III.1. Introduction

Ce chapitre est dédié à la présentation des travaux de recherche. Il regroupe les six articles scientifiques publiés ou soumis à des revues internationales à comité de lecture. Les trois premiers articles présentés ont été publiés. Les trois suivants ont été soumis et sont en cours d'évaluation.

Article I : Effet de la lumière sur les postures des utilisateurs de smartphones dans différentes conditions d'utilisation.

Effect of environmental illumination and screen brightness settings on upper limb and axial skeleton parameters: how do users adapt posture?

Johan Merbah, Philippe Gorce, Julien Jacquier-Bret.

Article publié dans

Ergonomics

III.2.1. Synthèse de l'article I « Effect of environmental illumination and screen brightness settings on upper limb and axial skeleton parameters: how do users adapt posture ? »

L'objectif de cette étude est de tester les effets de l'éclairage environnemental et des réglages de la luminosité de l'écran sur les paramètres des membres supérieurs, du tronc et du cou ainsi que de l'orientation du smartphone. Il est question de tester quels sont les réglages de la lumière environnementale et de luminosité de l'écran qui ont les effets les plus néfastes d'un point de vue ergonomique sur les postures adoptées. Douze sujets ont effectué trois essais de messages texte (sms) dans trois positions expérimentales, deux réglages de luminosité de l'écran et trois conditions de lumière ambiante, soit 18 conditions expérimentales, qui ont pour but de reproduire les conditions rencontrées au quotidien lors de l'interaction avec un smartphone. Les angles 3D du squelette axial et des membres supérieurs, l'orientation du smartphone et la distance entre le visage et le smartphone ont été mesurés au moyen d'outils de mesure optoélectroniques et utilisés comme variables dépendantes. Il apparaît qu'un éclairage environnemental élevé et/ou une faible luminosité de l'écran ont entraîné une augmentation du temps d'interaction et une réduction de la distance entre le smartphone et l'utilisateur(trice) d'environ 10 %. L'augmentation des angles de flexion pourrait expliquer la diminution de la distance entre le visage et le smartphone et le changement de son orientation relative. Cela corrobore l'hypothèse de conditions de vision altérées par des reflets ou un faible

contraste (Swinkels et al., 2008; Gowrisankaran and Sheedy, 2015). Les effets de la luminosité de l'écran (BRIGHT) semblent plus prononcés car ils affectent les trois positions expérimentales. Tout comme lorsque la lumière ambiante s'intensifie (SL), une diminution de la luminosité de l'écran (BrightMin) entraîne une augmentation de la flexion du cou et des coudes. Il semblerait que les sujets aient tenté de compenser les effets défavorables de ces conditions d'éclairage en adoptant des postures cotées 5 dans le RULA, ce qui indique un risque accru de développer des troubles musculosquelettiques. Ce travail fait également apparaître les effets de la position d'utilisation sur les variables articulaires. La présence d'un support entraîne une variation significative, de onze angles articulaires par rapport aux deux autres conditions que sont la position assise sans support et debout. Ces adaptations posturales sont bénéfiques d'un point de vue ergonomique. Le support semble donner l'occasion aux sujets de réduire sensiblement la flexion du cou et permet de soulager, d'un point de vue mécanique, les charges articulaires des épaules, des coudes et du tronc.



Ergonomics



ISSN: (Print) (Online) Journal homepage: <https://www.tandfonline.com/loi/terg20>

Effects of environmental illumination and screen brightness settings on upper limb and axial skeleton parameters: how do users adapt postures?

Johan Merbah , Philippe Gorce & Julien Jacquier-Bret

To cite this article: Johan Merbah , Philippe Gorce & Julien Jacquier-Bret (2020): Effects of environmental illumination and screen brightness settings on upper limb and axial skeleton parameters: how do users adapt postures?, Ergonomics, DOI: [10.1080/00140139.2020.1808248](https://doi.org/10.1080/00140139.2020.1808248)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/00140139.2020.1808248>



Accepted author version posted online: 11 Aug 2020.
Published online: 26 Aug 2020.



[Submit your article to this journal](#)



Article views: 14



[View related articles](#)



[View Crossmark data](#)

Full Terms & Conditions of access and use can be found at
<https://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=terg20>

Effects of environmental illumination and screen brightness settings on upper limb and axial skeleton parameters: how do users adapt postures?

Johan Merbah^a , Philippe Gorce^{a,b} and Julien Jacquier-Bret^{a,b}

^aHandiBio, University of Toulon, Toulon, France; ^bAUCTUS, INRIA, University of Bordeaux Sud-Ouest, Talence, France

ABSTRACT

79% of smartphone users carry their phone 22 hours a day. In this context, the main task worldwide, texting, is performed under a wide range of light and position conditions. The aim of this study was to test the effects of environmental illumination and screen brightness settings on upper limb and axial skeleton parameters. Twelve subjects performed three trials of texting under three experimental positions, two screen luminance settings and three environmental light conditions. 3 D axial skeleton and upper limb angles, smartphone orientation and face-to-smartphone distance were used as dependent variables. High environmental illumination and/or low screen brightness resulted in an increase in interaction time and a reduction in the face-to-smartphone distance by approximately 10%. Subjects attempted to compensate for the unfavourable effects of such light conditions by adopting postures rated 5 in the Rapid Upper Limb Assessment, indicating an increased risk of developing musculoskeletal disorders.

Practitioner's summary: The purpose of the study was to quantify the joint angles of the upper body in experimental conditions that represent daily life. Postures were influenced by ambient illumination and display brightness. The most harmful postures were observed when the display brightness was minimum, and the ambient light was similar to a sunny day.

Abbreviations: ST: seated with table; SWT: seated without any support; STA: standing; 0L: in the dark, no light; AL: ambient light; SL: strong light; BrightMin: minimum display brightness; BrightMax: maximum display brightness (BrightMax); ISB: International Society of Biomechanics; RULA: rapid upper limb assessment; MSDs: musculoskeletal disorders

ARTICLE HISTORY

Received 30 January 2020
Accepted 23 July 2020

KEYWORDS

Smartphones; light effects; biomechanics; upper limb; musculoskeletal disorders; users' posture; environmental conditions

1. Introduction

Visual conditions when using a touch screen (smartphone, digital tablets, computers, industrial advertising boards) are constantly changing depending on the brightness settings of the display, environmental lighting (indoor or outdoor), the orientation of light on the screen, visual disturbance, tasks to be performed and postural conditions (sitting, standing).

Studies have examined the effects of screen settings while performing specific actions such as reading a document. Thus, the concept of 'readability' appeared in works that sought to understand which aspects of light influence this ability to effectively 'read' a document. It appears that the background colour, contrast and colour shades of the writing font are parameters that influence readability (Debernardis et al. 2014; Glimne et al. 2015; Na and Suk 2014; Seetzen et al. 2006). In relation to the readability, the notion of performance has also been mentioned in

several studies (Askariipoor et al. 2018; Buchner et al. 2009; Lin and Huang 2006). This performance characterises the ability to accurately point to an object on a touchscreen, read, or understand a text with respect to the time required to perform the given task and depends, among other things, on the screen settings. More recent works have addressed the issue of screen settings in terms of their effect on the smartphone user. In particular, the results have shown the display response time, the colour of the light and the optimal font were linked with discomfort and pain (Antona et al. 2018; Gringras et al. 2015; Na and Suk 2014).

Other works have shown that environmental lighting condition related issues, such as glares, also have repercussions on the ability to perform a task (Swinkels et al. 2008). Elsewhere, the authors reported that, in addition to reducing performance, glares can cause discomfort or muscle pain when reading a

document on a screen (Gowrisankaran and Sheedy 2015; Ko et al. 2014; Mork et al. 2016).

More generally, environment lights and contrast settings could influence the muscle strain, especially the neck extensors when there is more flexion (Mork et al. 2016), and may cause pain after a short interaction time. However, the literature considering the link between light and musculoskeletal disorders (MSDs), based on objectification and quantification using 3D kinematic modelling tools and/or an ergonomic qualification of the task, seems non-exhaustive (Blehm et al. 2005; Glimne et al. 2015; Gowrisankaran and Sheedy 2015; Woo et al. 2016).

Thus, this study proposed to investigate, in the most global way possible, the effects related to the use of mobile phones, especially the category of smartphones. In 2016, the software company Axway reported that in the United States, messaging was by far the number one use of smartphones (Burke 2016). Therefore, the replication of experimental conditions mimicking daily life in terms of task (texting) and experimental positions (sitting without support, sitting with support and standing) was a major factor. Then, still with the aim of replicating reality, external lighting conditions have been included in the protocol to simulate the changing light environment throughout the day or according to the location of a user. In this context, this study aims to bring out behaviours that consider the axial skeleton as well as the upper limbs joint angles during texting. Three experimental positions and a combination of light conditions depending on brightness or ambient illumination settings that represent the diversity of usual daily situations were considered. This quantification was then compared, using the Rapid Upper Limb Assessment (RULA), with the work resulting from ergonomics in order to qualify the postures (McAtamney and Corlett 1993).

2. Method

2.1. Participants

Twelve healthy subjects voluntarily took part in the experiment (21.6 ± 5.5 years old; five females: 19.6 ± 3.0 years old; seven males: 23 ± 6.6 years old). Three were left-handed and nine were right-handed and had no pathology of the upper limb. They had experience with smartphone use for more than 5 years and were using the one they had for more than one year. Participants reported having normal or corrected-to-normal vision and none of them reported any discomfort and impairments. Each subject was informed of the complete contents of the protocol

and gave written consent before taking part. In order not to influence the way everyone was going to interact with her/his smartphone, all of them were naïve as to the aims and the expected outcome of this study. The experiment was performed in keeping with the declaration of Helsinki (World Medical Association 2013).

2.2. Task

Each subject had to send the following message to an experimenter with their own smartphone: '*on se retrouve devant la gare à 20h00.*' ('let's meet in front of the train station at 8.00 pm'). The task was repeated three times for each experimental condition. The sequence had been randomised for each subject.

2.3. Independent variables

Three independent variables were manipulated during the experiment and comprised the different experimental conditions: the position of the subject to write her/his message, the interior light that illuminated the room in which the measurements were made and the brightness of the smartphone screen that the subject used to perform the task.

2.3.1. Position of the subject (POSITION)

Three different experimental positions were considered (Figure 1, picture 3–5):

- Seated with table (ST);
- Seated without any support (SWT);
- Standing (STA).

The starting subject's posture was standardised for each experimental position: in ST, the subject was seated with her/his forearms rested on the table (Figure 1, picture 1); in SWT, the subject had to put her/his hands on her/his thighs; and in STA, the subject was simply standing with her/his arms hanging alongside her/his body. From this initial posture, subjects were informed that they could perform the task as they wished in terms of posture after the start signal.

The initial position of the smartphone has also been standardised so that the starting conditions were the same for all subjects. In the condition ST, the smartphone was straight directly on the table in front of the subject (between her/his two forearms) and it was on a stool 30 cm to the right of the subject in the other two conditions (SWT and STA, Figure 1, pictures

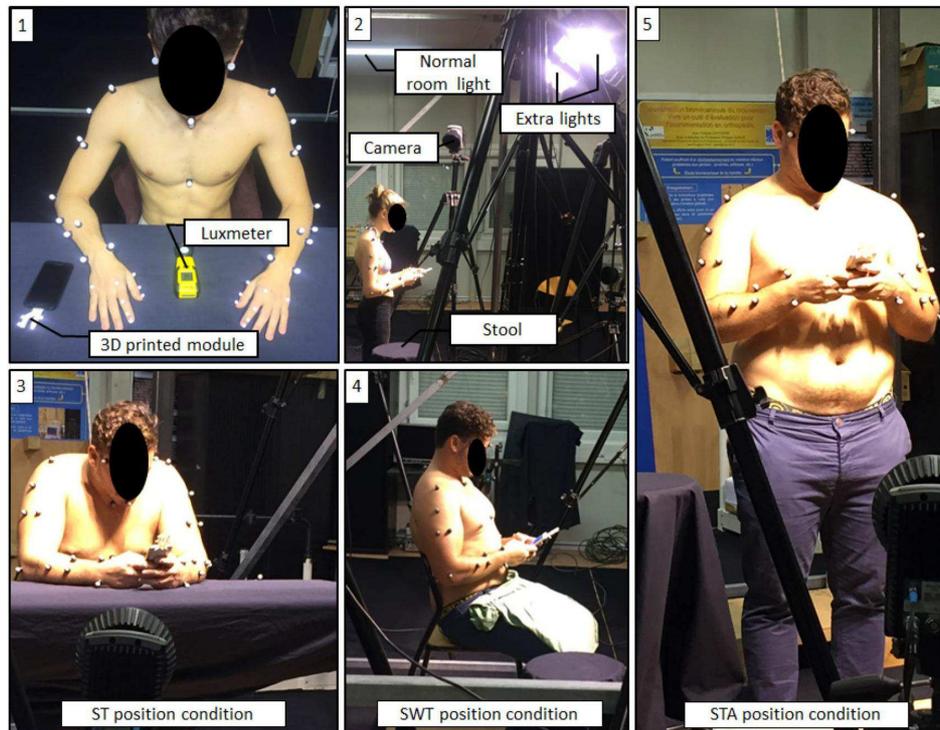


Figure 1. Light, experimental set-up, marker set and positions. 1: Anatomical markers positioned on bony anatomical landmarks identified by palpation, in agreements with the International Society of Biomechanics recommendations (Wu et al. 2005) and technical markers set by three. 2: Overview of the lab with cameras and light devices used. The stool was used to place the smartphone at the beginning and end of each trial in the SWT and STA conditions. 3–5: Task performed in the ST position (picture 3), in SWT position (picture 4), and in STA position (picture 5).

4 and 5). Subjects were asked to return the phone to its original position at the end of each trial.

2.3.2. Environmental lighting (LIGHT)

Three types of environmental lighting have been tested:

- In the dark (OL), illuminance was 1 lux (due to the laboratory's safety pilot light);
- Ambient light (AL) set to 345 lux. This value was obtained with all shutters closed and all the fluorescent lights in the room on and was consistent with the illuminance that can be found in work or living rooms.
- Strong light (SL) set to 7970 lux corresponded to outdoor exposure on a day of good weather. The value was achieved by adding two high-power industrial spotlights suspended from a steel frame to the room's ambient lighting (Figure 1, picture 2).

In order to be sure that the proposed illuminance under AL and SL conditions correspond to the desired situations, i.e. respectively an ambient working light and a light equivalent to a sunny day, two measurement protocols were carried out prior to the protocol. First, thirty rooms throughout the University (conference rooms, classroom, library, cafeteria...) were measured to determine the amount of light available during a normal use. Results were 350 ± 40 lux and were consistent with the selected setting of 345 lux. Then, a 15-day measurement campaign was conducted outdoors. It turned out that on a sunny day, the illuminance could be above 50,000 lux directly under the sun but decreased as soon as the measuring device was placed in the shade to reach approximately 2700 lux. So, it was considered that the value of 7970 lux obtained in the measurement room was equivalent to a day of good weather and that the illuminance was sufficiently higher than the one measured in AL condition. All the measurements were recorded with a lux metre (Luxmeter BF06 from Trotec company; Figure 1, picture 1).

2.3.3. Smartphone brightness setting (BRIGHT)

Two smartphone light settings were considered:

- Minimum display brightness (BrightMin);
- Maximum display brightness (BrightMax).

Subjects were asked to adjust the light of their phone to maximum or to the minimum depending on the randomised condition by moving the slider to either end of the setting bar provided by their smartphone's functionality.

2.4. Apparatus

To perform the motion analysis of the texting task, the trajectories of 41 reflective markers were recorded using an optoelectronic system with 8 Oqus 400 cameras (Qualisys AB, Gothenburg, Sweden) at a sampling rate of 200 Hz. The markers were placed as follow:

- Thirty-six reflective markers were placed on the head, trunk, and right and left upper limbs of the subject (Figure 1). Twenty four markers were positioned on bony anatomical landmarks identified by palpation, in agreements with the International Society of Biomechanics recommendations (Wu et al. 2005). Twelve technical markers assembled in sets of three were positioned on the arms and forearms;
- Five markers were used to study the smartphone movements during the task. To not disturb the subjects while texting, these markers were positioned on a custom-made lightweight resin device glued to the back of the smartphone (Figure 1, picture 1).

Before the subject began the experiment, a static capture of the smartphone only was made with the device glued (and its five markers) and nine additional markers placed directly on the smartphone shell: two in each corner on the front side and one on the back side. From this recording, a 14-point rigid model of the smartphone was created. This model was used to recalculate the real position of the smartphone at each moment of the task from the 3D data of the five markers located on the resin device.

2.5. Dependent variables

First, three variables related to the smartphone and the task execution were calculated for each trial: the task duration, the face-to-smartphone distance and

the smartphone 3D orientation: pitch, roll and yaw, respectively defined as the rotation about the medio-lateral, antero-posterior, and vertical axis. Secondly, from the 3D coordinates of the reflective markers and following ISB instructions (Wu et al. 2005), neck, trunk and upper limb joint angles (24 degrees of freedom) were computed. (Matlab, The Mathworks, Inc., Natick, MA). To complete the biomechanical analysis, the Rapid Upper Limb Assessment (RULA) was performed on the mean posture of each experimental position.

2.6. Data analysis

To study the upper limb joint coupling during the achievement of the task, i.e. texting, the pick-up and drop-off phase of the telephone have not been considered. Then, only the interaction phase corresponding to texting was analysed. Repeated measures analyses of variance (ANOVA) were performed to test separately the effects of POSITION (3 experimental positions: ST, STW, STA), LIGHT (3 environmental lights: 0L, AL, SL), and BRIGHT (2 display brightness level: BrightMin and BrightMax) on the mean values of all dependent variables. The interaction effects of the different light sources (LIGHT \times BRIGHT) were also considered. Tukey post-hoc test were conducted to identify the significant differences. The level of significance was set at $p < 0.05$ (Statistica 7.1, Statsoft, Tulsa, OK, USA).

3. Results

Results are presented separately between POSITION effects on the one hand and LIGHT and BRIGHT effects on the other. First of all, it should be noted that texting is a two-handed task. For this reason, the joint values of the two upper limbs were previously compared and no difference was found under any experimental condition. Therefore, only the data of the right upper limb were presented in the results section. Similarly, with regard to the 3D orientation of the smartphone, no effect was observed on roll and yaw. Hence, only the pitch results were discussed.

3.1. Position effect

Regardless of LIGHT and BRIGHT conditions, the seated (with or without a support, respectively ST and SWT) and standing (STA) positions studied for texting had different effects on the parameters related to the smartphone and the joint angles of the neck, trunk, and upper limb. Indeed, no significant POSITION effect

Table 1. Axial skeleton and upper limb joint angle values in degrees (mean ± SD) measured for each experimental position condition (POSITION).

		ST	SWT	STA
Neck	Flexion(-)/Extension(+)	-14.7 ± 9.0	-29.2 ± 6.0*	-36.9 ± 5.8 [€]
Trunk	Flexion(-)/Extension(+)	-15.1 ± 7.2	-7.3 ± 7.2*	-1.8 ± 4.9 [€]
Clavícula	Protraction(+)/Retraction(-)	-21.6 ± 4.2	-15.8 ± 4.6*	-15.8 ± 4.3*
	Elevation(-)/Depression(+)	-18.0 ± 7.6	-8.1 ± 4.8*	-6.5 ± 4.6*
Shoulder	Flexion(+)/Extension(-)	+36.9 ± 7.8	+8.5 ± 5.4*	+0.9 ± 5.3 [€]
	Abduction(-)/Adduction(+)	-20.2 ± 7.4	-5.8 ± 5.6*	-5.5 ± 5.2*
	Rotation Medial(+)/Lateral(-)	+48.5 ± 12.8	+33.3 ± 8.9*	+34.5 ± 8.1*
Elbow	Flexion(+)/Extension(-)	+91.7 ± 9.3	+108.2 ± 9.6*	+108.1 ± 6.3*
	Pronation(+)/Supination(-)	+83.2 ± 15.1	+92.3 ± 15.1*	+92.7 ± 15.5*
Wrist	Flexion(+)/Extension(-)	-4.3 ± 11.0	+2.3 ± 8.8*	+4.0 ± 7.8*
	Deviation Radial(-)/Ulnar(+)	+0.1 ± 6.2	+6.1 ± 7.3*	+6.5 ± 6.4*

*ST, indicates significant differences from ST condition. [€] indicates significant differences from SWT condition. $p < 0.05$. The positive and negative signs associated with each movement are consistent with the recommendations of the International Society of Biomechanics (Wu et al. 2005).

Table 2. Smartphone parameters (mean ± SD) measured for each experimental light condition.

	LIGHT – Environmental light effect			BRIGHT – Brightness effect	
	0L – Dark	AL – Ambient Light	SL – Strong Light	BrightMax	BrightMin
Duration (s)	23.7 ± 6.3	23.7 ± 5.8	26.4 ± 7.9 [€]	23.0 ± 5.6	26.2 ± 7.5 [§]
Face-to-smartphone distance (mm)	361.3 ± 60.1	351.3 ± 55.2	320.6 ± 59.9 [€]	361.0 ± 58.5	327.8 ± 58.6 [§]
Pitch (°)	-19.4 ± 10.0	-19.3 ± 9.6	-16.8 ± 9.4 [€]	-19.8 ± 10.2	-17.2 ± 9.1 [§]
Roll (°)	2.9 ± 4.6	3.0 ± 3.7	3.1 ± 4.4	3.0 ± 4.6	3.1 ± 3.9
Yaw (°)	-3.5 ± 2.9	-3.3 ± 2.9	-3.9 ± 2.6	-3.5 ± 2.9	-3.7 ± 2.8

[€], indicates significant differences from 0L condition. [€], shows significant differences from AL condition. [§] indicates significant differences from BrightMax condition. $p < 0.05$.

was observed on the dependent variables related to the smartphone (mean texting duration: 24.6 ± 6.8 s; mean face-to-smartphone distance: 344.4 ± 60.7 mm; mean pitch: -18.5 ± 9.7°). On the other hand, the experimental positions affected most joint angles. All eleven of the axial skeleton and upper limb joint angles were different in ST compared to the other two positions (SWT and STA). Neck flexion and ulnar deviation were lower in ST while other parameters were higher in comparison to SWT and STA (Table 1). Moreover, the neck flexion was higher in STA compared to SWT (-36.9 ± 5.8° vs -29.2 ± 6.0°) while trunk and shoulder flexions were lower.

3.2. Light and BRIGHT effects – smartphone parameters

First, LIGHT directly affected the task and smartphone parameters (Table 2). Indeed, the task duration significantly increased in Strong Light (SL) condition (+11.4%, i.e. +2.7 s) in comparison to the two others light conditions (Dark, 0L, and Ambient Light, AL). Similarly, a low screen brightness (BrightMin) resulted in a significant increase of the task duration (+13.9%, i.e. +3.2 s). The face-to-smartphone distance and smartphone pitch (rotation about the medio-lateral axis) were affected in the same way with a significant decrease in SL (face-to-smartphone distance: -10.0%, i.e. -35.7 mm; pitch: -12.9%, i.e. -2.5°) and in

BrightMin (face-to-smartphone distance: -9.1%, i.e. -33.2 mm; pitch: -13.1%, i.e. -2.6°).

Interaction effects LIGHT × BRIGHT were found for the face-to-smartphone distance and the duration task independently of the experimental position: duration was higher, and the face-to-smartphone distance was lower in SL with BrightMin in comparison to the other conditions.

In addition, the increase of the task duration and the decrease of distance between the smartphone and the face when the room lighting increased (dark, 0L, to strong light, SL) were specifically observed in BrightMin conditions (Figure 2).

3.3. Light and BRIGHT effects – joint angle parameters

Since there is an effect of position on several of the joint variables, the results are presented separately for seated with table (ST), seated without table (SWT), and standing (STA).

A Brightness effect appeared regardless of the surrounding light for several joint angle parameters. Neck flexion, sterno-costo-clavicular elevation and retraction, and elbow flexion for the three experimental positions (ST, SWT, STA): values were higher in BrightMin condition compare to BrightMax. Brightness impacted shoulder flexion and wrist ulnar deviation in the same

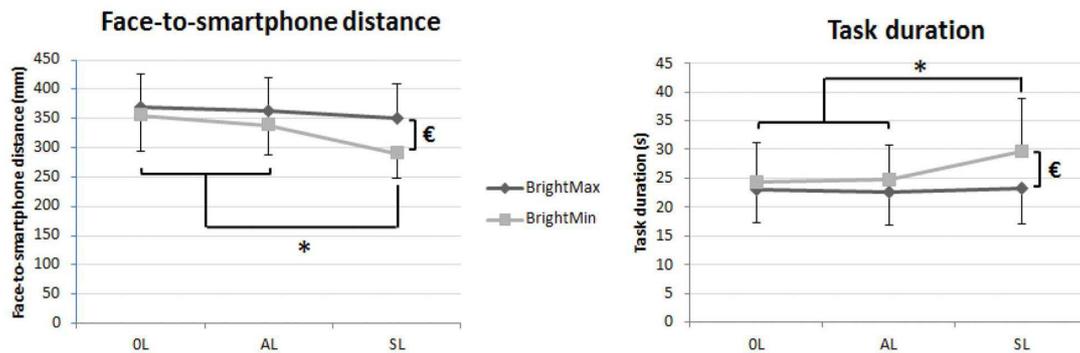


Figure 2. Brightness and Environmental light interaction effects on distance between face and smartphone and task duration ($p < 0.05$). Vertical error bars indicate standard deviation. "*" shows significant differences between environmental light conditions (OL, AL, SL). "€" indicates significant differences between Brightness (screen brightness settings) conditions.

way but only in the SWT and STA and trunk flexion only in the ST position.

An environmental light effect was observed for neck flexion, elbow flexion and wrist ulnar deviation, regardless of the display brightness. These parameters were affected the same way with higher values in SL condition in the SWT and STA positions. Shoulder flexion and sterno-costo-clavicular retraction were also higher in SL condition but only in the STA and ST positions respectively.

Statistical analyses also highlighted LIGHT x BRIGHT interaction effects for five joint angles. The main interaction effect was seen in SWT and STA positions: a brightness effect was observed, specifically in SL except for the head flexion. It is mainly in BrightMin that the different parameters are affected by environmental light. This generates differences between BrightMin and BrightMax specifically in SL (Figure 3).

3.4. Rapid upper limb assessment (RULA)

The RULA scores obtained under each of the 18 experimental conditions are presented in Table 3. It appeared that all scores certified the postures adopted as 'level 2' or 'level 3', i.e. there is a risk of MSD and therefore changes are to be expected.

4. Discussion

The smartphone is a topic for more and more studies because of its predominant place in everyday life. The present study proposed to evaluate how changes in environmental lights, positions, or smartphone brightness settings, for example, to save battery power to decrease the feeling of anxiety (Robinson and Arnould 2020), can be major factors influencing the postures adopted by users of these technologies.

The work presented both right and left-handed subjects and the results showed that they all interacted with both hands while texting (drop on and drop off phases were not considered) despite being completely free to use the smartphone their own way. This strategy supports the works that proved that a two handed grip improves thumb efficiency by increasing thumb motor performance and decreased device movement relative to using one hand (Trudeau et al. 2016; Wobbrock et al. 2008). In addition, no difference between the joint angles of the two upper limbs was observed. It could be hypothesised that texting is symmetrical at the level of the shoulders, elbows and wrists and that the laterality of the subjects may have no influence. Future work including the analysis of the hands could make it possible to highlight an effect of laterality at the level of the fingers during the interaction.

Regarding the different experimental positions proposed to the subjects, significant differences appeared on several axial skeleton and upper limb joint angles. Eleven joint angles measured under the seated position with support (ST conditions) differed from those obtained in the seated position without support (SWT) and standing (STA), while only three joint angles differentiated conditions SWT and STA.

The differences that appeared between the posture in ST position and those observed in the two other positions (SWT and STA) are probably due to the presence or absence of a support. What is remarkable is that the two positions that seemed at first glance to be very different, i.e. SWT and STA, did not seem to significantly affect the posture adopted by the subjects to perform the texting task. This difference between ST and the other two conditions due to the presence of the arm support is consistent with the results of previous work which showed that the

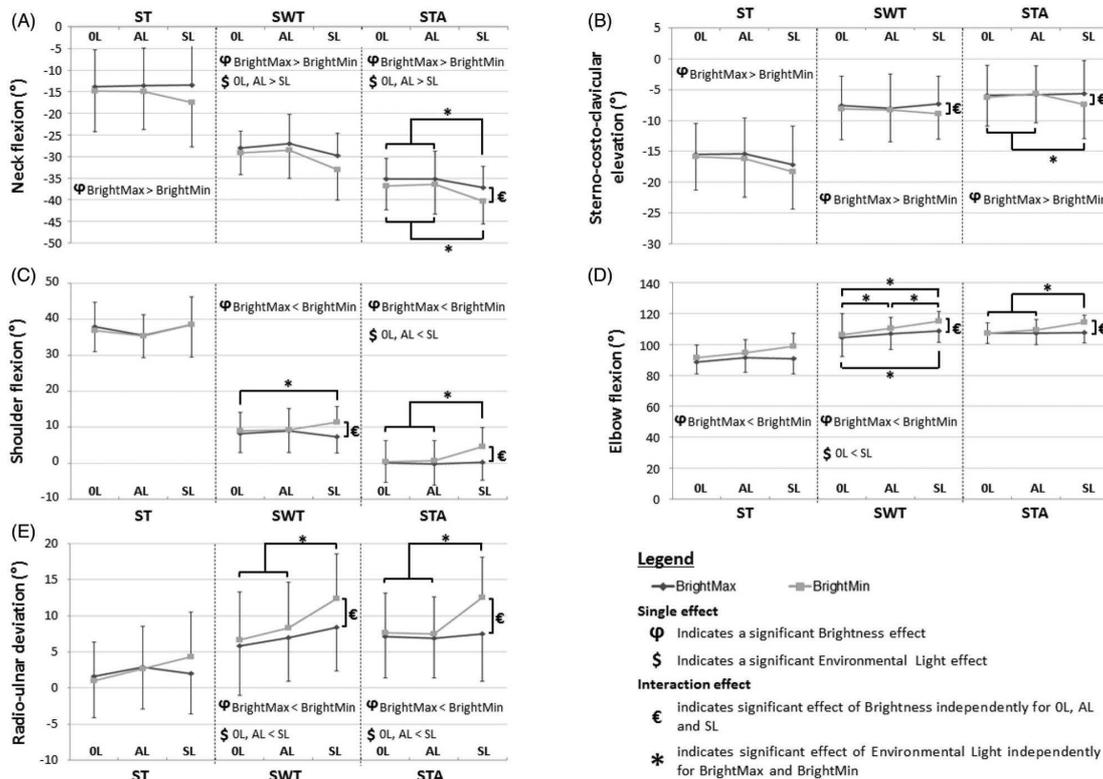


Figure 3. Brightness (BRIGHT), Environmental light (LIGHT), and BRIGHT \times LIGHT interaction effects on upper limbs and axial skeleton joint angles presenting significant differences ($p < 0.05$) for each experimental position. Vertical error bars indicate standard deviation.

Table 3. Level of MSD Risk for texting under different light and experimental positions from the RULA.

	BrightMax			BrightMin		
	OL	AL	SL	OL	AL	SL
ST	3	3	3	3	3	3
SWT	4	4	5	4	5	5
STA	5	5	5	5	5	5

RULA score interpretation: 1–2 = negligible risk, no action required (level 1); 3–4 = low risk, change may be needed (level 2); 5–6 = medium risk, further investigation, change soon (level 3); 6+ = very high risk, implement change now (level 4).

presence of supports such as armrests or backrests had an impact on the postures adopted by subjects (Gustafsson 2012; Syamala et al. 2018).

From an ergonomic perspective, the same authors concluded that the presence of an arm support is a good way to prevent MSDs and that an adequate arm support can significantly reduce the biomechanical exposure and the muscular pain in the neck and shoulder during mobile phone use. One of the major causes of these pains would be excessive neck flexion during the interaction that leads to muscle overload (Korpinen et al. 2013; Lee et al. 2015; Namwongsa

et al. 2019). The results of the present study showed that the presence of a support in the seated condition (ST) reduced neck flexion. It can therefore be hypothesised that this position generates less muscular strain and therefore seems to be the preferred position to interact with a smartphone in order to prevent MSDs mainly in the neck area.

On the contrary, the ST condition presented the highest trunk flexion values. As with the works done on the head and neck, excessive trunk flexion leads to an overload of muscular strain that could cause pain in the trunk muscles (Xie et al. 2018). However, due to the fact that in the seated position the subjects used the support as a rest for their forearm or elbows, the strains appear to be significantly reduced, as shown by the RULA score, which assigns the minimum score to the bending of the trunk if it is supported. This result reinforces the previous hypothesis that the most suitable way to interact with a smartphone would be to sit with a support: it is in this position that the risk of MSDs would be lowest (McAtamney and Corlett 1993).

In contrast, despite the observed angular differences, the three experimental positions do not seem to affect the dependent variables related to the smartphone (task duration, face-to-smartphone distance and 3D orientation). It would seem that subjects opted for a constant relative positioning of the smartphone during the interaction, regardless of the experimental conditions of positions. However, sending a message remains a short-time action. In this context, it seems difficult to make conclusions about the effect of the experimental position on the task execution time or the positioning of the smartphone when interacting with it. The fact that maintaining a posture over time or repeating the same gesture are important factors in the development of MSDs, studying longer interaction tasks that are just as much used as texting, such as watching a video or gaming would be necessary to support this result.

One of the most original results concerns the effects of light. Two different aspects were addressed in this work: the effects of environmental light and those related to the brightness of the screen. First, both appear to affect the duration of the task, the face-to-smartphone distance, and the orientation of the smartphone, especially the pitch. Overall, in a visual situation with strong environmental light (SL) and/or minimal brightness (BrightMin), all smartphone-related parameters varied by 10% or more: the interaction time increased while the pitch and face-to-smartphone distance decreased. These results suggest that bright environmental light or low screen brightness are disturbing situations in which vision is not ideal, probably due to glares or low contrast. In this case, the identification of typeface on the screen could be affected (Lin and Huang 2006), which would explain the increased duration of the task. These observations are consistent with the results of previous work on reading tasks (Chang et al. 2013). Indeed, the authors showed that the speed of reading on a screen decreases when the ambient light increases. It therefore seems important to control the ambient light as well as the screen brightness in order to have sufficient contrast to ensure both visual comfort and performance (Na and Suk 2014) during interaction and to prevent fatigue (Benedetto et al. 2014).

In order to compensate for the low visibility resulting from bright environmental light or low screen brightness, the subjects modified their posture, mainly in the movements in the sagittal plane. Indeed, a strong environmental light (SL condition) seems to increase neck and elbow flexions and ulnar deviation of the wrist, especially when the subject is seated

without support or standing. This result suggests that such light conditions may have an impact on the user's posture regardless of seated or standing position but only if the subject does not use a support. The increase of flexion angles may explain the decreased distance between the face and the smartphone and the changing of its relative orientation (pitch), and would corroborate the hypothesis of altered vision conditions (reflection or low contrast). The effects of screen brightness (BRIGHT) appear more pronounced as they affected all three experimental positions. Just as when the environmental light intensifies (SL), a decrease in the brightness of the screen (BrightMin) leads to an increase in the flexion of the neck and elbows.

Finally, when all light conditions were considered, most angles in the sagittal plane had higher absolute values with an environmental strong light (SL) combined with a low brightness of the screen (BrightMin), which was the condition considered to be the worst, as shown by the interaction results (Figure 3). It was also in this experimental condition that the duration of the task was the longest and the distance between the face and the smartphone the shortest. These results suggest that light has a significant impact on the texting task and that the user must adjust her/his posture in order to facilitate the writing of the message despite of the visual constraints caused by non-optimal lighting conditions, i.e. low contrast due to strong ambient lighting combined with low screen brightness. In all cases, the postural adjustments observed were characterised by a shift in joint angles from the neutral position, reflecting a more constrained posture as shown by the increase in scores in the RULA table (Table 3) for each degree of freedom concerned.

The ST condition seems to be the least affected by the effects of light. This result could be explained by the presence of the support that the subjects systematically used. Indeed, the support inhibits the adjustments on the one hand, but above all it could mean that in its presence, the posture adopted is more adequate and more likely to compensate for poor readability.

The rapid upper limb assessment (RULA) indicated scores between 3 and 5 which refers to level 2 and level 3. Globally, scores were 3–4 for the conditions 0L-AL/BrightMax in both sitting positions and 5 while standing. Except in the ST condition, scores were greater than or equal to 4 when the screen brightness was low (BrightMin). It reinforces the hypotheses that (1) the support helps to maintain a less deleterious

posture during short duration smartphone use and (2) with not enough brightness and/or too much environmental light, postures adopted present the greatest risk of developing MSDs.

This study presents interesting results related to the effects of environmental conditions (position and light) on posture adopted by a user when interacting with a smartphone, but seems to have some limitations. First, the number of subjects indicates a trend, but it is difficult to generalise to the entire population. In addition, it was preferred to use the subjects' personal devices rather than standardise the interface. This is a highly experimental choice that seems to allow us to be in a context closer to reality but does not consider the possible effects of the different types of device. Studies with a larger cohort would allow groups to be created according to devices (by recruiting people with 2 or 3 different types of devices at most) and thus observe whether effects related to smartphone use under different lighting conditions exist. More subjects would allow us to generalise the postural adjustments implemented by smartphone users.

5. Conclusion

In many areas, it has been shown that when subjects were completely free to perform a task, they naturally chose the behaviour that induced the least physical strain. Changing this behaviour systematically leads to an overall increase in effort. For example, when walking, the speed freely chosen by individuals corresponds to a minimum energy cost and any change in this speed implies an increase in energy consumption. The same hypothesis could be addressed in the context of the postures adopted during interaction with a smartphone. On the other hand, as the RULA results linked with angle variations show, even the freely chosen posture does not have a score that allows it to be maintained over long periods of time. In addition, the results show that subjects are forced to change their posture when environmental light conditions or screen brightness are changed. Thus, it is possible to hypothesise that posture adopted under unfavourable conditions such as high environmental brightness or low screen brightness in relation to the environment is more harmful to the subject and may therefore causes earlier onset of MSDs or new disorders.

Disclosure statement

No potential conflict of interest was reported by the author(s).

Funding

This work was financially supported by a grant from Toulon University, France.

ORCID

Johan Merbah  <http://orcid.org/0000-0002-4189-6021>

References

- Antona, B., A.R. Barrio, A. Gascó, A. Pinar, M. González-Pérez, and M.C. Puell. 2018. "Symptoms Associated with Reading from a Smartphone in Conditions of Light and Dark." *Applied Ergonomics* 68: 12–17. doi:10.1016/j.apergo.2017.10.014.
- Askariipoor, T., M. Motamedzadeh, R. Golmohammadi, M. Farhadian, M. Babamiri, and M. Samavati. 2018. "Non-Image Forming Effects of Light on Brainwaves." *Autonomic Nervous Activity, Fatigue, and Performance* 16: 9.
- Benedetto, S., A. Carbone, V. Drai-Zerbib, M. Pedrotti, and T. Baccino. 2014. "Effects of Luminance and Illuminance on Visual Fatigue and Arousal during Digital Reading." *Computers in Human Behavior* 41: 112–119. doi:10.1016/j.chb.2014.09.023.
- Blehm, C., S. Vishnu, A. Khattak, S. Mitra, and R.W. Yee. 2005. "Computer Vision Syndrome: A Review." *Survey of Ophthalmology* 50 (3): 253–262. doi:10.1016/j.survophthal.2005.02.008.
- Buchner, A., S. Mayr, and M. Brandt. 2009. "The Advantage of Positive Text-Background Polarity is Due to High Display Luminance." *Ergonomics* 52 (7): 882–886. doi:10.1080/00140130802641635.
- Burke, K. 2016. "107 Texting Statistics That Answer All Your Questions. Text-Request." Updated in 2019. <https://www.textrequest.com/blog/texting-statistics-answer-questions/>
- Chang, P.-C., S.-Y. Chou, and K.-K. Shieh. 2013. "Reading Performance and Visual Fatigue When Using Electronic Paper Displays in Long-Duration Reading Tasks under Various Lighting Conditions." *Displays* 34 (3): 208–214. doi:10.1016/j.displa.2013.06.001.
- Debernardis, S., M. Fiorentino, M. Gattullo, G. Monno, and A.E. Uva. 2014. "Text Readability in Head-Worn Displays: color and Style Optimization in Video versus Optical See-through Devices." *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 20 (1): 125–139. doi:10.1109/TVCG.2013.86.
- Glimne, S., R.L. Brautaset, and G.Ö. Seimyr. 2015. "The Effect of Glare on Eye Movements When Reading." *Work* 50 (2): 213–220. doi:10.3233/WOR-131799.
- Gowrisankaran, S., and J.E. Sheedy. 2015. "Computer Vision Syndrome: A Review." *Work (Reading, Mass.)* 52 (2): 303–314. doi:10.3233/WOR-152162.
- Gringras, P., B. Middleton, D.J. Skene, and V.L. Revell. 2015. "Bigger, Brighter, Bluer-Better?" *Current Light-Emitting Devices - Adverse Sleep Properties and Preventative Strategies* 3: 233.
- Gustafsson, E. 2012. "Ergonomic Recommendations When Texting on Mobile Phones." *Work (Reading, Mass.)* 41

- Suppl 1 (Suppl 1): 5705–5706. doi:10.3233/WOR-2012-0925-5705.
- Ko, P., A. Mohapatra, I.L. Bailey, J. Sheedy, and D.M. Rempel. 2014. "Effect of Font Size and Glare on Computer Tasks in Young and Older Adults." *Optometry and Vision Science* 91 (6): 682–689.
- Korpinen, L., R. Paakkonen, and F. Gobba. 2013. "Self-Reported Neck Symptoms and Use of Personal Computers, Laptops and Cell Phones among Finns Aged 18–65." *Ergonomics* 56 (7): 1134–1146. doi:10.1080/00140139.2013.802018.
- Lee, S., H. Kang, and G. Shin. 2015. "Head Flexion Angle While Using a Smartphone." *Ergonomics* 58 (2): 220–226. doi:10.1080/00140139.2014.967311.
- Lin, C.-C., and K.-C. Huang. 2006. "Effects of Ambient Illumination and Screen Luminance Combination on Character Identification Performance of Desktop TFT-LCD Monitors." *International Journal of Industrial Ergonomics* 36 (3): 211–218. doi:10.1016/j.ergon.2005.11.004.
- McAtamney, L., and N.E. Corlett. 1993. "RULA: A Survey Method for the Investigation of Work-Related Upper Limb Disorders." *Applied Ergonomics* 24 (2): 91–99. doi:10.1016/0003-6870(93)90080-5.
- Mork, R., J.R. Bruenech, and H.M.S. Thorud. 2016. "Effect of Direct Glare on Orbicularis Oculi and Trapezius During Computer Reading." *Optometry and Vision Science* 93 (7): 738–749.
- Na, N., and H.-J. Suk. 2014. "Adaptive Luminance Contrast for Enhancing Reading Performance and Visual Comfort on Smartphone Displays." *Optical Engineering* 53 (11): 113102. doi:10.1117/1.OE.53.11.113102.
- Namwongsa, S., R. Puntumetakul, M. Swangnetr Neubert, and R. Boucaut. 2019. "Effect of Neck Flexion Angles on Neck Muscle Activity Among Smartphone Users With and Without Neck Pain." *Ergonomics* 62 (12): 1524–1526. doi:10.1080/00140139.2019.1661525.
- Robinson, T., and E. Arnould. 2020. "Portable Technology and Multi-Domain Energy Practices." *Marketing Theory* 20 (1): 3–22. 147059311987022. doi:10.1177/1470593119870226.
- Seetzen, H., H. Li, L. Ye, W. Heidrich, L. Whitehead, and G. Ward. 2006. "25.3: Observations of Luminance, Contrast and Amplitude Resolution of." *SID Symposium Digest of Technical Papers* 37 (1): 1229. doi:10.1889/1.2433199.
- Swinkels, S., I. Heynderickx, D. Yeates, and M. Essers. 2008. "66.1: Ambient Light Control for Mobile Displays." *SID Symposium Digest of Technical Papers* 39 (1): 1006. doi:10.1889/1.3069301.
- Syamala, K.R., R.C. Ailneni, J.H. Kim, and J. Hwang. 2018. "Armrests and Back Support Reduced Biomechanical Loading in the Neck and Upper Extremities During Mobile Phone Use." *Applied Ergonomics* 73: 48–54. doi:10.1016/j.apergo.2018.06.003.
- Trudeau, M.B., D.S. Asakawa, D.L. Jindrich, and J.T. Dennerlein. 2016. "Two-Handed Grip on a Mobile Phone Affords Greater Thumb Motor Performance, Decreased Variability, and a More Extended Thumb Posture than a One-Handed Grip." *Applied Ergonomics* 52: 24–28. doi:10.1016/j.apergo.2015.06.025.
- Wobbrock, J.O., B.A. Myers, and H.H. Aung. 2008. "The Performance of Hand Postures in Front- and Back-of-Device Interaction for Mobile Computing." *International Journal of Human-Computer Studies* 66 (12): 857–875. doi:10.1016/j.ijhcs.2008.03.004.
- Woo, E.H., P. White, and C.W. Lai. 2016. "Ergonomics Standards and Guidelines for Computer Workstation Design and the Impact on Users' Health - A Review." *Ergonomics* 59 (3): 464–475. doi:10.1080/00140139.2015.1076528.
- World Medical Association. 2013. "World Medical Association Declaration of Helsinki: Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects." *JAMA: Journal of the American Medical Association* 310 (20): 2191–2194.
- Wu, G., F.C. van der Helm, H.E. Veeger, M. Makhsous, P. Van Roy, C. Anglin, J. Nagels, A.R. Karduna, K. McQuade, X. Wang, F.W. Werner, B. Buchholz, and International Society of Biomechanics. 2005. "ISB Recommendation on Definitions of Joint Coordinate Systems of Various Joints for the Reporting of Human Joint Motion-Part II: Shoulder, Elbow, Wrist and Hand." *Journal of Biomechanics* 38 (5): 981–992. doi:10.1016/j.jbiomech.2004.05.042.
- Xie, Y.F., G. Szeto, P. Madeleine, and S. Tsang. 2018. "Spinal Kinematics During Smartphone Texting - A Comparison Between Young Adults With and Without Chronic Neck-Shoulder Pain." *Applied Ergonomics* 68: 160–168. doi:10.1016/j.apergo.2017.10.018.

Article II : Stratégies posturales dans différentes conditions d'utilisation lors de l'envoi d'un message et d'une navigation sur internet avec un smartphone.

Interaction with a smartphone under task and environmental conditions: Emergence of users' postural strategies

Johan Merbah, Philippe Gorce, Julien Jacquier-Bret.

Article publié dans

International Journal of Industrial Ergonomics

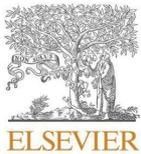
III.3.1. Synthèse de l'article II « Interaction with a smartphone under task and environmental conditions: Emergence of users' postural strategies »

L'objectif de cette étude est de déterminer si une ou plusieurs stratégies émergent lorsque des sujets envoient librement des messages et naviguent sur internet dans trois conditions environnementales : assis avec ou sans support et debout. Il est essentiel de comprendre par « librement » le fait que dans des conditions expérimentales données, les sujets étaient libres de s'ajuster et d'interagir à leur guise. Aucune information autre que de devoir rester dans le volume de travail ne leur était communiquée. Les sujets ont eu à effectuer deux tâches distinctes, un envoi de message texte et une recherche d'horaire de train. Une analyse cinématique (système optoélectronique) de la tête et du tronc (10 marqueurs) et du smartphone (5 marqueurs) a permis de calculer les angles articulaires du cou, du tronc et la distance entre le visage et le smartphone selon les recommandations de l'ISB (Wu et al., 2005). Une classification ascendante hiérarchique (CAH) a donc été appliquée à ces trois paramètres. C'est cette classification de données couplées qui donne de la consistance à cette étude. Ces données d'analyse de mouvement 3D ont également été traitées en tenant compte des recommandations ergonomiques de McAtamney and Corlett (1993) titrées « Rapid Upper Limb Assessment » (RULA) afin de qualifier les stratégies mises en évidence par la CAH. Un code couleur a été utilisé pour indiquer le niveau de risque de TMS encouru pour les articulations

considérées. Les résultats ont montré qu'il existe trois stratégies posturales différentes adoptées par les sujets, notamment dans le plan sagittal :

- Une première implique le cou sans impliquer le tronc et se note **NSTRAT** (neck strategy) ;
- Une deuxième mobilise fortement la flexion du tronc sans impliquer le cou, notée **TSTRAT** (trunk strategy) ;
- Une troisième stratégie posturale combine ces deux comportements. Ainsi, il a été décidé de la nommer **MSTRAT** (mixed strategy).

Ces trois stratégies posturales sont dépendantes de la condition environnementale. En effet, celle impliquant le tronc est associée à la présence d'un support alors que celle impliquant le cou n'apparaît que dans des conditions sans support. Il est également observé que les utilisateurs de smartphones adoptent principalement des postures délétères, que ce soit en raison d'une flexion excessive du cou, du tronc ou des deux. Même lorsque les sujets se placent dans les postures les moins préjudiciables, il existe toujours des risques de troubles musculosquelettiques à court ou à long terme identifiés par le RULA.



Contents lists available at ScienceDirect

International Journal of Industrial Ergonomics

journal homepage: <http://www.elsevier.com/locate/ergon>

Interaction with a smartphone under different task and environmental conditions: Emergence of users' postural strategies

Johan Merbah^{a,*}, Philippe Gorce^{a,b}, Julien Jacquier-Bret^{a,b}

^a HandiBio, Toulon University, CS60584-83041, TOULON CEDEX 9, France

^b AUCTUS, INRIA, University of Bordeaux Sud-Ouest, France

ARTICLE INFO

Keywords:

Smartphones
Postural strategies
Ergonomical recommendations
Biomechanics
Musculoskeletal disorders
Human-computer interactions

ABSTRACT

Nowadays, interactions with smartphones are constantly increasing. These devices are used in a wide variety of situations by performing various tasks. The purpose of this study is to determine whether one or more strategies emerge when subjects freely send message and browse on the web in three environmental conditions: sitting with or without support and standing. Therefore, a hierarchical cluster analysis (HCA) was applied to the angular parameters of the neck and trunk as well as to the distance between the face and the telephone. These 3D motion analysis data were also processed taking into account the ergonomic recommendations from the Rapid Upper Limb Assessment in order to qualify the postural strategies highlighted by the HCA. The findings showed that there are three different postural strategies adopted by the subjects especially in the sagittal plane: a first one involves the neck without implying the trunk; a second one strongly mobilizes the trunk flexion without involving the neck; and a third postural strategy which combines these two behaviors. These three postural strategies depend on the environmental condition. Indeed, the postural strategy involving the trunk is associated with the presence of a support while the one involving the neck only appears in conditions without support. It is also observed that smartphone users mainly adopt harmful postures, whether due to excessive flexion of the neck, trunk or both. Even when subjects place themselves in the least harmful postures, there are always risks of musculoskeletal disorders in the short or long term.

1. Introduction

New technologies are useful in everyday life in the form of a well-defined category called “handheld devices” mainly composed of the “smartphones” and tablets (Park and Han, 2010). Due to the increase in the number of users, smartphones seem to be the most representative devices of this category (Deloitte, 2016). Moreover, the number of hours spent on these touch-screen objects increases every year (TNS-Sofres, 2015). These devices are attractive because direct screen input seems very intuitive. In addition, users can use smartphones in a wide variety of situations (sitting, standing, in public transports, free time or at work) by performing various tasks (texting, web browsing).

Specialized studies in human-computer interaction (HCI) have examined the subject and it appears that this technology is intuitive and easy to use. To optimize usability, the user's perception of these devices and new interaction techniques have been meticulously studied (Wobbrock et al., 2008). Some studies have focused on more specific HCI parameters such as how subjects interact with different types of devices

(Bachynskyi et al., 2015), screen sizes (Lai and Wu, 2014; Kietrys et al., 2015), the effect of display size and object scale to optimize motion transforming input devices (Oehl et al., 2007; Park and Han, 2010; Choi et al., 2014), the way the device is held and the predominant areas of interaction (Wagner et al., 2012).

Regarding the user, quantified postural data from kinematic analyses are less common. In order to better understand this new interaction between humans and the touch screen, preliminary and/or observational studies have focused on describing the diversity of postures taken by individuals when using a smartphone. Global behaviors have been observed as constant flexed neck and a non-neutral wrist during students' daily routines (Gold et al., 2012). During a task in a seated position, a one-handed grip versus a two-handed grip of a smartphone induced differences mainly related to trunk tilt or smartphone distance (Bachynskyi et al., 2015). More specific biomechanical data are available on particular regarding upper limb and axial skeleton during an interaction task (Kim, 2015; Lee et al., 2015; Xie et al., 2018). For example, Young and his team measured the flexion of the head and the

* Corresponding author. Toulon University, Toulon, France.

E-mail addresses: merbah@univ-tln.fr (J. Merbah), gorce@univ-tln.fr (P. Gorce), julien.jacquier-bret@univ-tln.fr (J. Jacquier-Bret).

<https://doi.org/10.1016/j.ergon.2020.102956>

Received 4 September 2019; Received in revised form 14 February 2020; Accepted 22 March 2020

Available online 2 April 2020

0169-8141/© 2020 Elsevier B.V. All rights reserved.

neck during seated interaction with a tablet in different conditions, e.g. tablet held in hand or supported (Young et al., 2013). This approach allows a quantitative and objective analysis of the posture but requires a high degree of constraint on the task under study. However, these data make it possible to propose hypotheses to improve the devices or to propose ergonomic recommendations for their use or to reduce the risks of disorders associated with their use (Young et al., 2012, 2013; Kim et al., 2013; Bachynski et al., 2015; Nadeo et al., 2015). For example, Berolo et al. found rates of 46–52% of shoulder symptoms and 68% of neck symptoms among a cohort of 140 users of mobile devices (Berolo et al., 2011). Biomechanical data also characterize the different strategies that subjects could adopt when performing the same task. Based on observation, Bachynski showed three different behaviors for interacting with a smartphone with both hands in a seating position (Bachynski et al., 2015). A quantitative motion analysis identified three behavioral strategies involving the proximal and distal joints of the upper limb in different ways (Jacquier-Bret et al., 2017).

The purpose of this study is to characterize, through an objective 3D motion analysis, the possible strategies performed by subjects when using their smartphone without any particular restrictions or instructions on how to proceed under several environmental conditions. From an ergonomic approach, the symptoms and location of pain are well studied and understood, but it seems necessary to characterize more precisely the types of postures adopted by people in real or very close daily life situations. Indeed, by not constraining the subjects or as little as possible, it would be possible to see the emergence of typical postures and therefore to identify strategies. By reviewing the literature, a comparison of these strategies with recognized ergonomic standards such as the Rapid Upper Limb Assessment (RULA) could allow for early posture correction by targeting the weak point(s) of a strategy (McAtamney and Nigel Corlett, 1993).

2. Method

Twelve healthy subjects, five females and seven males, voluntarily took part to the experience (22 ± 5 years old). Three are left-handed and nine are right-handed. None had upper limb pathology, and all had very good visual acuity (natural or corrected). Each subject was informed of the complete contents of the protocol and gave their written consent before taking part. The experimental procedure was in agreement with the Helsinki declaration (World Medical, 2013) and was approved by the local ethics committee.

Each subject performed two different interaction tasks with their own smartphone. The first task consisted in writing the following text message (TEXT): “On se retrouve devant la gare à 20h00.” (“Let’s meet in front of the train station at 8.00 p.m.”). and sending it to an experimenter. The second consisted to achieve a web browsing (BROW): the subject had to go on its web navigator and research train schedule on the official French rail company (SNCF). Then they had to scroll to the last train of the page and to announce it out loud.

Subjects were in 3 different environmental conditions: seated at a table (ST), seated without table (or any other support, noted SWT) and standing (STA). For the ST condition, a standard school table and a rigid desk chair were used. The height of the table (77 cm) and chair (45 cm) was fixed and identical for all subjects in order to represent a daily life situation. The starting position has been standardized for each environmental condition. In both sitting conditions, the subject was sitting on the chair with her/his back resting on the backrest. In the ST condition, the subject was asked to place both forearms on the table. In the SWT condition, the subject had to put her/his hands on her/his thighs. In the STA condition, the subject was simply standing with her/his arms along her/his body. From this standardized position and after hearing the starting signal, the subject was completely free to perform the task as she/he wished. No instructions or constraints were given regarding the use of the table or chair (whether or not it was supported on the backrest) and all behaviors were allowed.

The sequence of the posture and task has been randomly made for each subject to avoid learning effect. Each condition was performed three times. The smart phone was straight on the table in front of the subject in the condition ST and on a support on the right side in the two other conditions (SWT, STA).

After a detailed presentation of the protocol, ten reflective markers were placed on the head, trunk, and right and left upper acromion of the subject (Fig. 1). Markers were positioned on bony anatomical landmarks identified by palpation, in agreements with the International Society of Biomechanics (ISB) recommendations (Wu et al., 2005). The smartphone was also equipped with markers. To avoid disturbing the subjects when interacting with the screen, a set of technical markers was placed on a lightweight, custom-made resin device glued to the smartphone.

To perform the motion analysis, the trajectories of the reflective markers were recorded using an optoelectronic system with 8 Oqus 400 cameras (Qualisys AB, Gothenburg, Sweden) at a sampling rate of 200 Hz. From the 3D markers trajectories, the local coordinate systems of the trunk and the head were calculated following ISB instructions (Wu et al., 2005). From these 3D data, the relative trunk, neck and absolute head joint angles (9 degrees of freedom, DOF) were calculated as well as the distance (DIST) between the head and the smartphone using adapted scripts developed with Matlab(Matlab, The Mathworks, Inc., Natick, MA). All these parameters were considered as dependent variables. To study the axial skeleton coordination during the achievement of the tasks (TEXT or BROW), the pick-up and drop-off phase of the telephone have not been considered. Then, only the interaction phase corresponding to texting and/or web browsing was analyzed. For this phase, the angular data were averaged to obtain an average posture representative of the subject’s behavior during the task. Light conditions were fixed. Ambient illumination (800 lux) of the laboratory was measured with a lux meter (Luxmeter BF06 from Trotec company). Subjects were asked to adjust the light on their phones to maximum. In order to analyze the different postural strategies during interaction with the smartphone, a hierarchical cluster analysis (HCA) was applied to the dataset of each tested condition using Statistica software (Statistica 7.1, Statsoft, Tulsa, OK, USA). All the considered mean joint angles were used as input data and the software automatically matched the postures based on the information of distances between the data using Ward’s linkage method (Ward, 1963). Then, the results were presented in the form of a dendrogram. The identification of the clusters was quantitatively determined by the agglomeration coefficient and this decision was verified by a visual inspection of the dendrogram. Each cluster thus represents an average user’s postural strategy for performing the given task and contains the number of times it was observed during the experiment. The different clusters were compared using a Kruskal-Wallis ANOVA by ranks. The level of significance was set at $p < 0.05$. For each cluster, the Rapid Upper Limb Assessment (RULA) table was then used to evaluate the ergonomics of the subjects’ posture under the various experimental conditions. This test was chosen because it integrates the different angular parameters of the upper part of body and considers the mass of the objects handled as well as the static or dynamic nature of a task. It is recommended for evaluating tasks where the operator mainly uses her/his upper limbs, with little or no travel, which corresponds to sending a message with a smartphone. In addition, the RULA provided recommendations based on the total score calculated for the posture adopted by the subject during this task (McAtamney and Nigel Corlett, 1993).

3. Results

With a final agglomeration coefficient of $69,0 \pm 4,0\%$ of the variance of the data, four groups were formed for each experimental condition. The angles of the trunk, neck and head-smartphone distance are studied here. Due to very low involvement of the inclinations and rotations during the tasks, we focused here on the flexion and extension of the neck and trunk. In addition, the symptoms that appear following the use

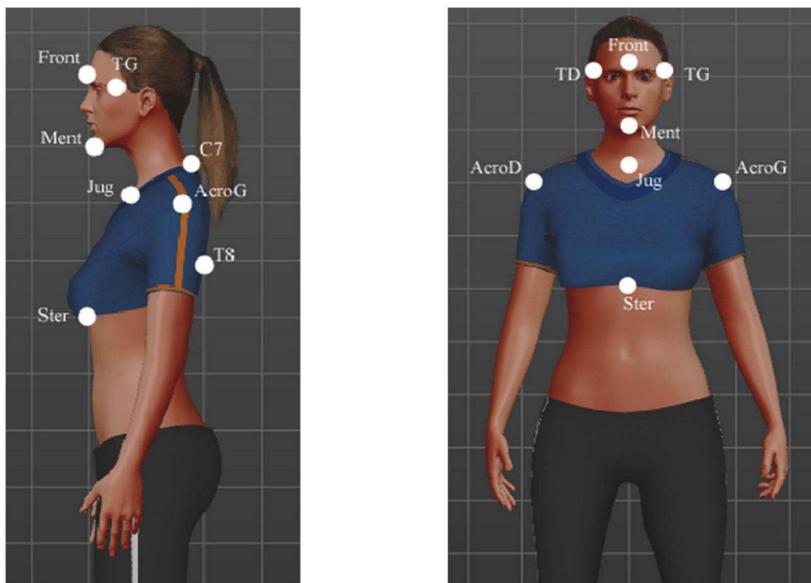


Fig. 1. Illustration of marker positioning; Markers were positioned on bony anatomical landmarks identified by palpation, in agreements with the International Society of Biomechanics recommendations (Wu et al., 2005).

of the smartphone are mainly located in these areas (Young et al., 2012). Through different experimental conditions and depending on the subjects, three strategies appeared. A strategy mainly mobilizing the trunk (TSTRAT), a second one having as main characteristic a strong flexion of

the neck with a weak intervention of the trunk (NSTRAT) and finally, a third one which mixes the two previous strategies called MSTRAT. Figs. 2–6 and the related descriptions illustrate the different average postural strategies adopted by the subjects for the two tasks under each

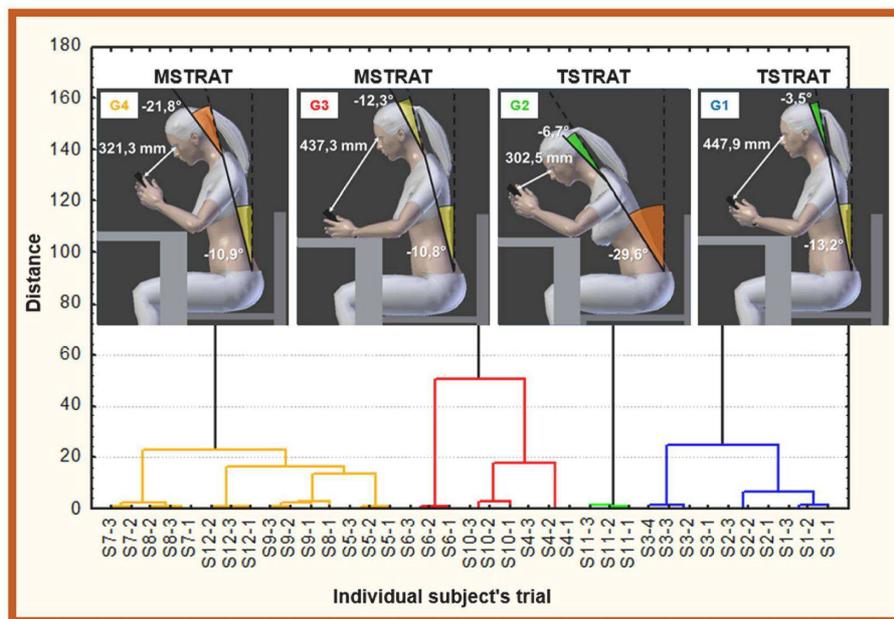


Fig. 2. Ward's minimum variance linkage dendrogram of the hierarchical cluster analysis of smartphone users while achieving the TEXT task under the ST condition representing the four-cluster solution. Four groups are highlighted by blue color for Group 1 (G1), green color for Group 2 (G2), red color for Group 3 (G3) and orange color for Group4 (G4). Participant and trial numbers are indicated. Colored angular sectors represent are based on the RULA ergonomic table (McAtamney and Nigel Corlett, 1993). See Fig. 8 for color legend. (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article).

of the three environmental conditions (see Fig.7).

Regarding the ST position, independently of the task, no NSTRAT was observed. For the TEXT task, groups G1 and G2 (made of a single subject (S11)) used the TSTRAT. The differences between those groups were the face to screen distance (DIST: 447,9 mm vs 302,5 mm, $p < 0,05$) and the use of the trunk ($-13,2^\circ$ vs $-29,6^\circ$). The distance decreased as the trunk flexion increased. G3 and G4 used both the MSTRAT with the same use of the trunk flexion but a greater neck flexion. They were distinguished by the DIST values (437,3 mm for G3 and 321,3 mm for G4, $p < 0,05$).

During the BROW task, results were close to those obtained for the TEXT task. A prevalence of TSTRAT appeared with groups G1, G3, G4. G3 and G4 used a substantial trunk flexion ($-16,4^\circ$ and $-25,7^\circ$ respectively) higher than G1 ($-12,7^\circ$, $p < 0,05$). DIST was statistically greater for G1 (427,8 mm) compared to G3 and G4 (366,4 mm and 296,5 mm respectively, $p < 0,05$). G2, composed by 4 subjects, preferred the mixed strategy (MSTRAT) with a larger neck flexion ($p < 0,05$). As for the TEXT task, no NSTRAT was observed.

For the ST environmental condition, subjects used the table as support for their forearms 100% of time and trials.

During the condition sitting without a table (SWT), no TSTRAT was observed in opposition of the results obtained in ST condition. Considering the TEXT task, four groups and two strategies appeared. G3 differed from the three others by the highest phone distance, a small extension of the trunk, and a large neck flexion who placed the subjects forming this group in a pure neck strategy (NSTRAT). G1, G2 and G4 were placed in the MSTRAT because each cluster used a significant trunk and neck flexion. G4 presented the lowest neck flexion ($-14,1^\circ$, $p < 0,05$). The HCA created the clusters G1 and G2, but no significant differences were observed between the groups for the different parameters.

In the SWT condition while achieving the BROW task, the four clusters presented a neck flexion higher than 20° . G1 and G3 were

qualified as NSTRAT due to a very low flexion or extension of the trunk. The main difference between them was DIST (318,3 mm vs 415,1 mm, $p < 0,05$). G2 and G4 were both considered as MSTRAT. G2 made a higher head flexion than G4 ($-30,4^\circ$ vs $-21,5^\circ$, $p < 0,05$). TEXT and BROW tasks differed from each other only by the modification of a MSTRAT to NSTRAT.

In STA condition, Groups G1, G3 and G4 were clearly NSTRAT with almost no trunk flexion and a minimum used of the neck higher than $-30,0^\circ$ when texting. G1 presented the statistically highest DIST value and G4 the lowest neck flexion value ($p < 0,05$). G2 and G3 presented the highest neck flexion of the experiment with values exceeding -40° . With a high neck flexion ($-41,8^\circ$), G2 was not considered NSTRAT because of a high trunk flexion ($-10,7^\circ$).

With a trunk flexion of $-7,9^\circ$ and a large neck flexion, G1 emerged as a mixed strategy (MSTRAT). The cluster presented the largest distance between the head and the screen appeared (460,4 mm, $p < 0,05$). G2, G3 and G4 were stored in the NSTRAT with neck flexion respectively $-35,6^\circ$, $-26,5^\circ$, and $-28,2^\circ$ and no significant difference for the trunk flexion which remains very low ($< 2^\circ$). The highest neck flexion was observed for G2, and G3 differed from other clusters by an extension of the trunk. In this environmental condition, postural strategies were similar for both TEXT and BROW tasks.

Fig. 8 summarizes the distribution of trunk and neck flexion/extension data distribution across subjects and conditions. For the trunk, 5th to 95th percentile values were between $-23,0^\circ$ and $-2,9^\circ$ respectively, with a median of $-7,0^\circ$. However, according to the RULA ergonomic table (McAtamney and Nigel Corlett, 1993), trunk extension (corresponding to the last five percentiles) and the measured flexion values between 5th and 50th percentiles ($-23,0^\circ$ to $-7,0^\circ$) were not recommended and required an adaptation. For the head, no extension was observed. Data were between $-43,1^\circ$ and $-1,8^\circ$ (5th to 95th percentiles) with a median of $-26,0^\circ$. Only the values over Q3 referred to posture

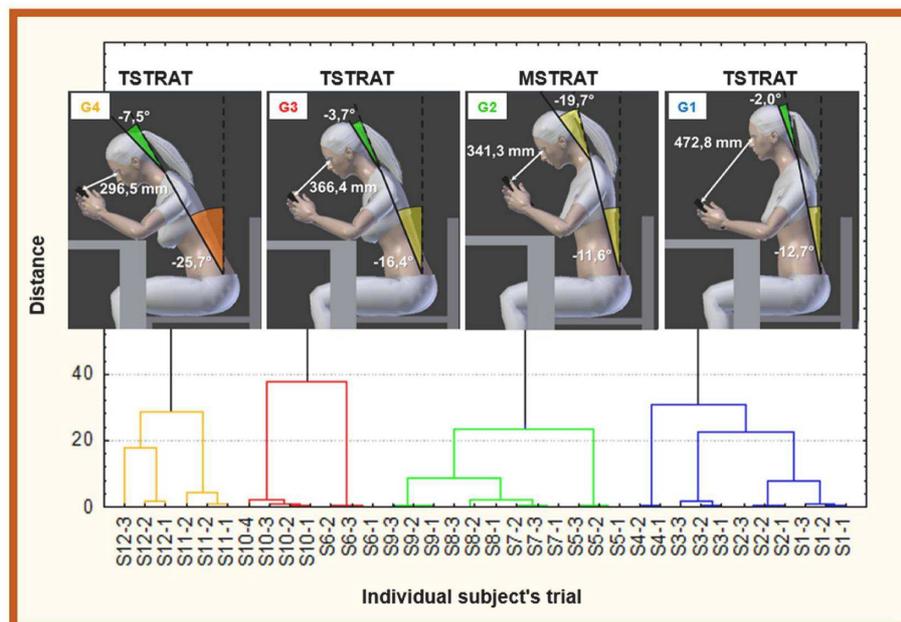


Fig. 3. Ward's minimum variance linkage dendrogram of the hierarchical cluster analysis of smartphone users while achieving the BROW task under the ST condition representing the four-cluster solution. Four groups are highlighted by blue color for Group 1 (G1), green color for Group 2 (G2), red color for Group 3 (G3) and orange color for Group4 (G4). Participant and trial numbers are indicated. Colored angular sectors represent are based on the RULA ergonomic table (McAtamney and Nigel Corlett, 1993). See Fig. 8 for color legend. (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article).

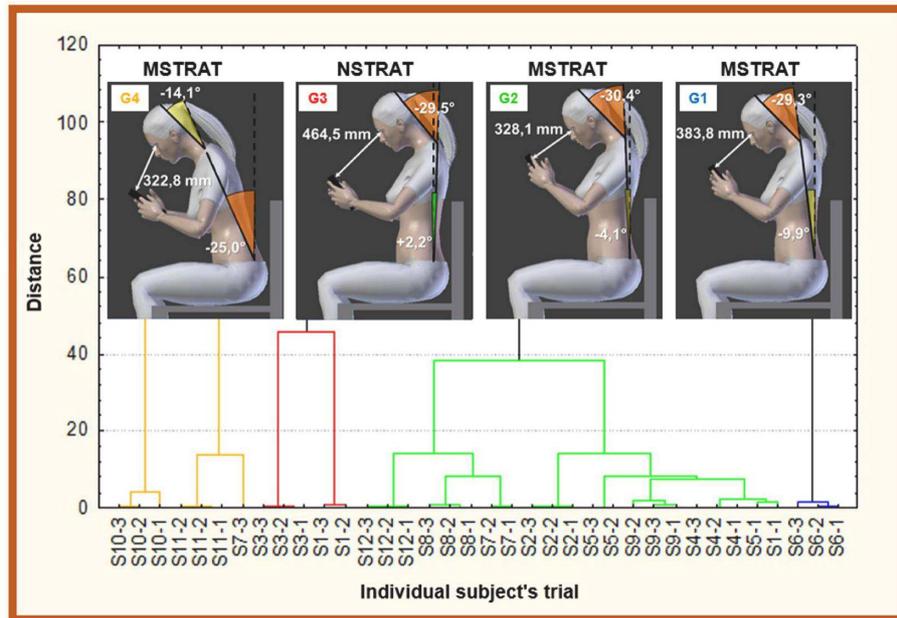


Fig. 4. Ward's minimum variance linkage dendrogram of the hierarchical cluster analysis of smartphone users while achieving the TEXT task under the SWT condition representing the four-cluster solution. Four groups are highlighted by blue color for Group 1 (G1), green color for Group 2 (G2), red color for Group 3 (G3) and orange color for Group4 (G4). Participant and trial numbers are indicated. Colored angular sectors represent are based on the RULA ergonomic table (McAtamney and Nigel Corlett, 1993). See Fig. 8 for color legend. (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article).

with no risk of injury. The other postures could present some risk of injury and should be investigated and corrected.

4. Discussion

The first purpose of the present study was to identify a unique or different strategies used by subjects during two specific and common interaction tasks with their smartphone, i.e. sending a text message and achieving a web browsing. The analysis was carried out in three environmental conditions: sitting with a table as a support, sitting without any support and standing.

First, despite a group of twelve subjects, the results showed that in a given environmental condition, there is no a unique posture adopted by all subjects to perform an interaction task with a smartphone. Indeed, the HCA approach was successful in highlighting distinct postural strategies based on 3D kinematic data from trunk, neck and the distance between the face and the screen of the smartphone. This result is consistent with previous works on touch devices that have observed different postures during an interaction in sitting position (Bachynskiy et al., 2015), during typing strategy (Gold et al., 2012), or during a game on tablet (Jacquier-Bret et al., 2017). In the present study, the main difference related to the observed strategies concerns respective implications of neck and trunk flexion. Due to environmental conditions, some subjects used only trunk flexion, or only a neck flexion, or a combination of these two joint motions. This result suggests smartphone users could be clustered into three separate and biomechanically distinct groups in relation to their axial skeleton coordination: a strategy which implies mainly the neck (NSTRAT), another which implies mainly the trunk (TSTRAT) and a mixed strategy (MSTRAT).

These three strategies were not systematically observed and it seems that subject's behavior would be related to the environmental condition, as suggested by Lee et al. for the head flexion (Lee et al., 2015). Indeed,

in the ST condition, only two of the strategies appeared: TSTRAT and MSTRAT. As mentioned above, when a support was present, subjects systematically used it. So, to rest their forearms or their elbows on the table, a trunk flexion was required. For some subjects, this posture would be appropriate to perform the interaction task while for others, a more or less important additional flexion of the neck is necessary, which leads to a mixed strategy. In the absence of support, the strategy involving only the trunk no longer appears. Indeed, SWT and STA conditions seem to need a systematic involvement of the neck with additional mobilization of the trunk more or less important. Unlike environmental conditions, it would seem that texting or web browsing does not induce any major differences in the strategies used. Indeed, the same strategies were observed in both tasks regardless of the environmental condition. This could be explained by the fact that the duration of the tasks remained relatively short. Indeed, even if texting was faster than web browsing, the average execution time did not exceed 60 s. Thus, it could be possible that for longer interactions such as gaming, for example, the strategies used may be different (Young et al., 2013; Chiang and Liu, 2016). Further studies including other applications are needed to characterize user behaviors when interacting with their smartphone. Simultaneously, the HCA pointed out postures that were very close in terms of angular values, but which were distinguished by the distance between the head and the telephone, including for postures belonging to the same strategy. It is to be assumed that the head-smartphone distance does not depend only on the angular values of the axial skeleton. It would seem that the upper limbs play a major role in the overall posture and further studies are needed to improve the strategies presented in this work.

The second purpose of the present study was to characterize the postures of the neck and the trunk adopted by the subjects during the interaction using the RULA ergonomic table. The risks associated with the use of tactile devices have been addressed in several previous

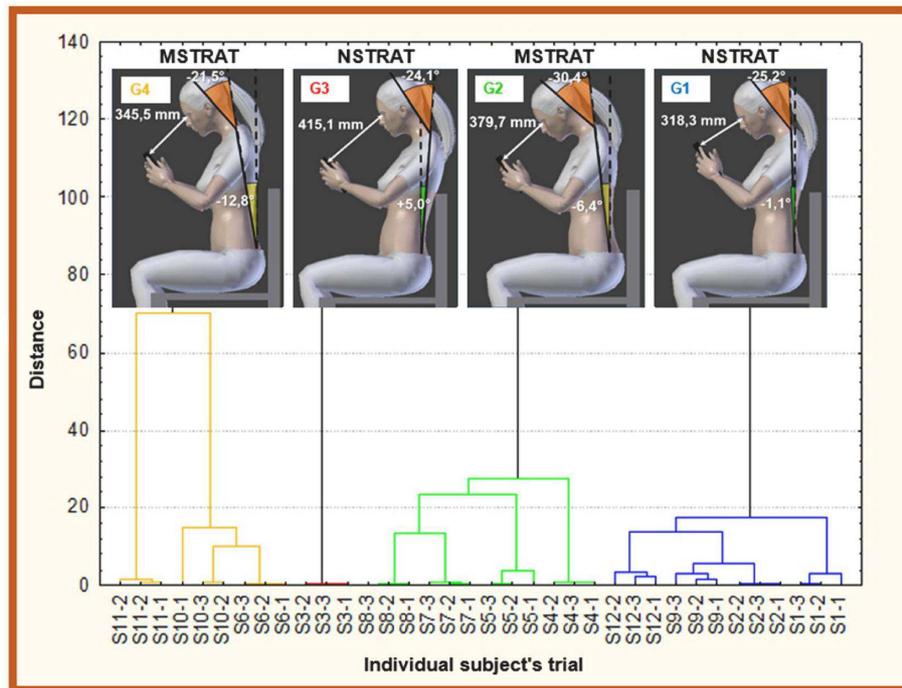


Fig. 5. Ward's minimum variance linkage dendrogram of the hierarchical cluster analysis of smartphone users while achieving the BROW task under the SWT condition representing the four-cluster solution. Four groups are highlighted by blue color for Group 1 (G1), green color for Group 2 (G2), red color for Group 3 (G3) and orange color for Group 4 (G4). Participant and trial numbers are indicated. Colored angular sectors represent are based on the RULA ergonomic table (McAtamney and Nigel Corlett, 1993). See Fig. 8 for color legend. (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article).

studies, especially for axial skeleton. Indeed, a significant neck and trunk flexion were observed in different conditions and is has been related to MSDs hazards (Berolo et al., 2015; Kim, 2015; Lee et al., 2015; Namwongsa et al., 2019). Our results are in agreement with these findings and we highlighted that these flexions, which could differ from one individual to another, are due to different strategies. By applying the RULA guidelines to the angular values of the neck and trunk measured during the different experimental conditions, the postures mostly observed presented a neck or trunk flexion requiring a short-term modification to prevent the appearance of musculoskeletal disorders. The worst values were observed in the standing condition with neck flexion exceeding 40° and may require immediate changes. This observation is particular relevant when we considers the Gold's work which showed that among 800 students, two-thirds interacted with their phones in a standing position (Gold et al., 2012). This result corroborates studies using electromyographic analysis of neck muscles (Choi et al., 2016; Namwongsa et al., 2019). The authors suggested that the fatigue of the erectile cervical muscles may increase with the neck flexion. The least harmful postures appeared in the sitting position, especially with the table. The presence and use of the support compensate for values that may require short-term changes, which may place the users in the most comfortable postures corresponding to TSTRAT. However, even these freely chosen postures are not totally acceptable (Fig. 8) and cannot be maintained for long periods of time or repeated, otherwise the risk of MSDs will increase (Gustafsson, 2012; Lee et al., 2015; Naddeo et al., 2015; Gustafsson et al., 2017, 2018; Cochrane et al., 2019).

Some limitations could be addressed in relation to the present results. The HCA and the dendrogram were used to group individuals who adopt the same postural strategy in a given environmental condition. In

each condition tested (ST, SWT and STA), four clusters were identified, reflecting four different strategies for performing the same task. On the other hand, classification does not allow to specify a preferred strategy for texting or web browsing. An extension of this result could be considered with a larger cohort of subjects. This could make it possible to reinforce the existence of the different strategies, to bring out others, and, in a more general way, to qualify the postural profile of users by presenting the frequency of observation of each strategy. A larger number of subjects could also help refine this classification of postural strategies by considering parameters other than the nature of the task. Indeed, some characteristics of the subject, such as anthropometry or gender, could have an effect on behaviors when performing a given task. Other parameters such as the size of the screen (or more generally the size of the smartphone) or the habits of use (one-handed or two-handed for example) could also lead to the implementation of different postural strategies.

By combining these postural and biomechanical data with those related to the various symptoms already known associated with the use of smartphones or equivalent tasks (Shuval and Donchin, 2005; Chany et al., 2007; Dennerlein, 2015; Lee et al., 2015, 2016, 2018), it would then be possible to predict the appearance of disorders from the subject's postural profile and thus intervene to prevent them. Nevertheless, the proposed classification approach made it possible to identify several different strategies for performing the same task, thus characterizing the variability of human behavior in a given situation.

Secondly, the classification is based on average angular values. It therefore does not take into consideration the temporal aspect and subsequently does not allow for the identification of possible posture adaptations that the subject could make during the task. Thus, it would be interesting to study the temporal evolution of all the angular

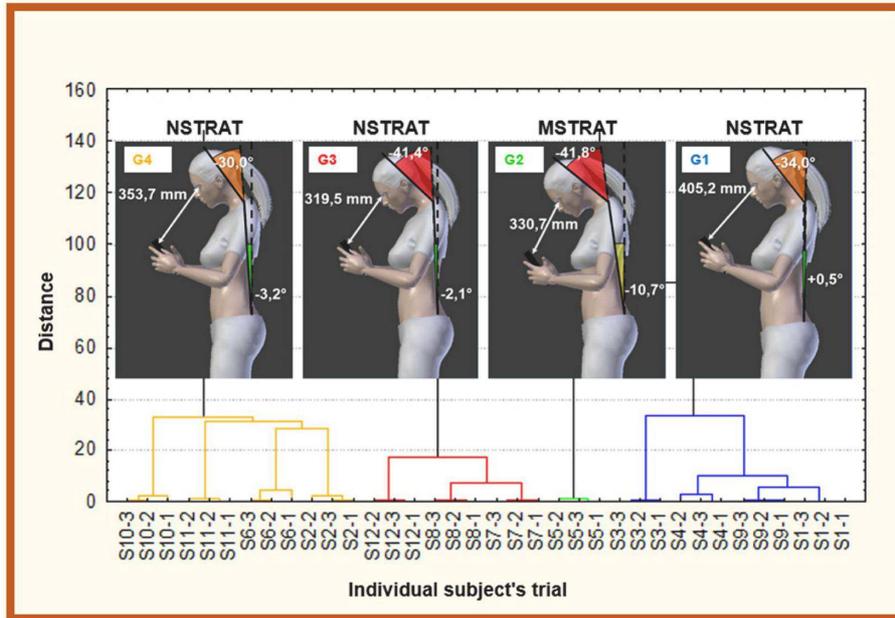


Fig. 6. Ward's minimum variance linkage dendrogram of the hierarchical cluster analysis of smartphone users while achieving the TEXT task under the STA condition representing the four-cluster solution. Four groups are highlighted by blue color for Group 1 (G1), green color for Group 2 (G2), red color for Group 3 (G3) and orange color for Group4 (G4). Participant and trial numbers are indicated. Colored angular sectors represent are based on the RULA ergonomic table (McAtamney and Nigel Corlett, 1993). See Fig. 8 for color legend. (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article).

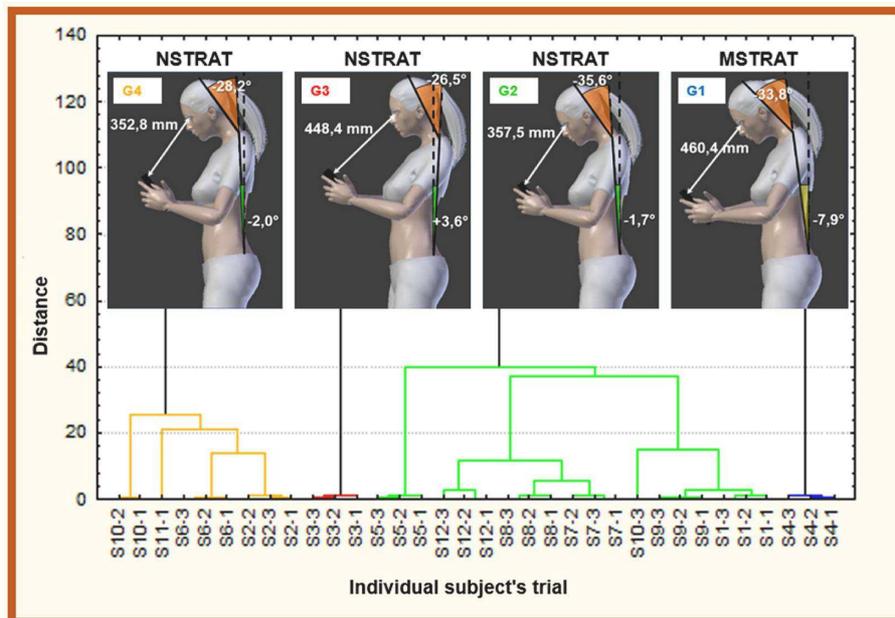


Fig. 7. Ward's minimum variance linkage dendrogram of the hierarchical cluster analysis of smartphone users while achieving the BROW task under the STA condition representing the four-cluster solution. Four groups are highlighted by blue color for Group 1 (G1), green color for Group 2 (G2), red color for Group 3 (G3) and orange color for Group4 (G4). Participant and trial numbers are indicated. Colored angular sectors represent are based on the RULA ergonomic table (McAtamney and Nigel Corlett, 1993). See Fig. 8 for color legend. (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article).

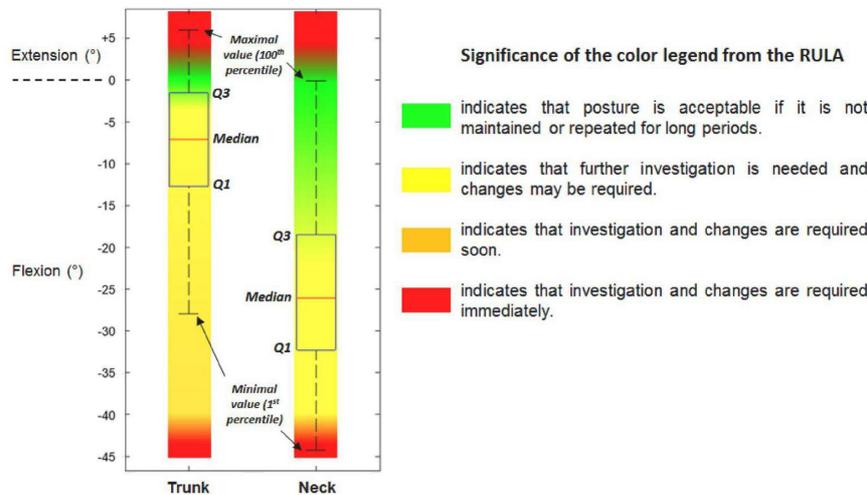


Fig. 8. Trunk and Neck flexion/extension presented with percentiles with the ergonomic standard RULA which allows to characterize the risks of MSDs according to the postures adopted (trunk and neck flexion/extension angles). Q1 and Q3 represent respectively the first and the third quartile. The lower whiskers represent the minimal computed value (corresponding to the maximal flexion of neck and trunk) and the upper whiskers represent the maximal value (corresponding to the neutral posture or a trunk extension).

variables and to quantify their variations, their frequencies as well as their amplitudes to characterize in a more accurate way the postural strategies. The analysis of longer activities, such as gaming or watching a video would then seem more relevant than texting, as they could induce more postural adjustments, probably due to the discomfort associated with posture held for too long.

The results of this study are in accordance with the works that propose recommendations on the use of smartphones. Indeed, biomechanical and ergonomic data tend to confirm that positioning the phone at eye level, with the elbows or forearms supported by a table (or any other support). These behaviors would help to relieve trunk joints and limit the cervical spine flexion as much as possible and prevent, or at least minimize and delay, the occurrence of MSDs.

5. Conclusion

In conclusion, based on 3D kinematics of the axial skeleton, the present study has identified different trunk and neck organizations during two of the most common tasks performed with a smartphone. The link between these observations and the ergonomic recommendations (RULA) for the prevention of musculoskeletal disorders has led to the emergence of three interaction strategies that preferentially would involve the neck, the trunk or these two joint regions in an equivalent way. In addition, the use of these strategies seems to be directly related to the postural condition in which the subjects find themselves. The results showed that all these strategies require posture adjustments in the short to medium term, even for those associated with the lowest risks. In addition, we propose to encourage touch screen users to avoid prolonged use of the phone while standing. In this case, we strongly recommend the use of a support. About the distance head-smartphone, no link could be made between this parameter and the strategy used. It leads us to admit that the upper limb have their influence on the final position of the device. Further works including biomechanical upper limb parameters may be addressed to improve the subject's behavior while interacting with a smartphone.

CRedit authorship contribution statement

Johan Merbah: Methodology, Software, Validation, Formal analysis, Investigation, Resources, Data curation, Writing - original draft, Writing - review & editing, Visualization. **Philippe Gorce:** Conceptualization, Methodology, Validation, Formal analysis, Investigation, Resources, Data curation, Writing - original draft, Writing - review &

editing, Visualization, Supervision, Project administration, Funding acquisition. **Julien Jacquier-Bret:** Methodology, Software, Validation, Formal analysis, Investigation, Resources, Data curation, Writing - original draft, Writing - review & editing, Visualization.

Acknowledgment

This work was financially supported by a grant from Toulon University, France.

References

Bachynskyi, M., Palmas, G., Oulasvirta, A., Steimle, J., Weinkauff, T., 2015. Performance and ergonomics of touch surfaces: a comparative study using biomechanical simulation. In: Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '15ACM Press, pp. 1817–1826.

Berolo, S., Steenstra, I., Amick 3rd, B.C., Wells, R.P., 2015. A comparison of two methods to assess the usage of mobile hand-held communication devices. *J. Occup. Environ. Hyg.* 12 (4), 276–285.

Berolo, S., Wells, R.P., Amick, B.C., 2011. Musculoskeletal symptoms among mobile hand-held device users and their relationship to device use: a preliminary study in a Canadian university population. *Appl. Ergon.* 42 (2), 371–378.

Chany, A.M., Marras, W.S., Burr, D.L., 2007. The effect of phone design on upper extremity discomfort and muscle fatigue. *Hum. Factors* 49 (4), 602–618.

Chiang, H.-Y.A., Liu, C.-H., 2016. Exploration of the associations of touch-screen tablet computer usage and musculoskeletal discomfort. *Work* 53 (4), 917–925.

Choi, E., Kim, H., Chung, M.K., 2014. A taxonomy and notation method for three-dimensional hand gestures. *Int. J. Ind. Ergon.* 44 (1), 171–188.

Choi, J.-H., Jung, M.-H., Yoo, K.-T., 2016. An analysis of the activity and muscle fatigue of the muscles around the neck under the three most frequent postures while using a smartphone. *J. Phys. Ther. Sci.* 28 (5), 1660–1664.

Cochrane, M.E., Tshabalala, M.D., Hlatswayo, N.C., Modipana, R.M., Makibelo, P.P., Mashale, E.P., Pete, L.C., 2019. The short-term effect of smartphone usage on the upper-back postures of university students. *Cogent Eng.* 6 (1), 1627752.

Deloitte, 2016. Usages Mobiles - Les Français et le smartphone en 2016 : une relation fusionnelle. Available from: <https://www2.deloitte.com/fr/fr/pages/technology-media-and-telecommunications/articles/usages-mobiles-2016.html>.

Dennerlein, J.T., 2015. The state of ergonomics for mobile computing technology. *Work* 52 (2), 269–277.

Gold, J.E., Driban, J.B., Thomas, N., Chakravarty, T., Channell, V., Komaroff, E., 2012. Postures, typing strategies, and gender differences in mobile device usage: an observational study. *Appl. Ergon.* 43 (2), 408–412.

Gustafsson, E., 2012. Ergonomic recommendations when texting on mobile phones. *Work* 41 (Suppl. 1), 5705–5706.

Gustafsson, E., Coenen, P., Campbell, A., Straker, L., 2018. Texting with touchscreen and keypad phones - a comparison of thumb kinematics, upper limb muscle activity, exertion, discomfort, and performance. *Appl. Ergon.* 70, 232–239.

Gustafsson, E., Thomée, S., Grimby-Ekman, A., Hagberg, M., 2017. Texting on mobile phones and musculoskeletal disorders in young adults: a five-year cohort study. *Appl. Ergon.* 58, 208–214.

Jacquier-Bret, J., Gorce, P., Motti Lilian, G., Vigouroux, N., 2017. Biomechanical analysis of upper limb during the use of touch screen: motion strategies identification. *Ergonomics* 60 (3), 358–365.

- Kietrys, D.M., Gerg, M.J., Dropkin, J., Gold, J.E., 2015. Mobile input device type, texting style and screen size influence upper extremity and trapezius muscle activity, and cervical posture while texting. *Appl. Ergon.* 50, 98–104.
- Kim, J.H., Aulck, L.S., Thamsuwan, O., Bartha, M.C., Harper, C.A., Johnson, P.W., 2013. The effects of touch screen virtual keyboard key sizes on typing performance, typing Biomechanics and muscle activity. In: Duffy, V.G. (Ed.), *Digital Human Modeling and Applications in Health, Safety, Ergonomics, and Risk Management. Human Body Modeling and Ergonomics*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 239–244.
- Kim, M.-S., 2015. Influence of neck pain on cervical movement in the sagittal plane during smartphone use. *J. Phys. Ther. Sci.* 27 (1), 15–17.
- Lai, C.-C., Wu, C.-F., 2014. Display and device size effects on the usability of mini-notebooks (netbooks)/ultraportables as small form-factor Mobile PCs. *Appl. Ergon.* 45 (4), 1106–1115.
- Lee, S., Kang, H., Shin, G., 2015. Head flexion angle while using a smartphone. *Ergonomics* 58 (2), 220–226.
- Lee, S., Kyung, G., Lee, J., Moon, S.K., Park, K.J., 2016. Grasp and index finger reach zone during one-handed smartphone rear interaction: effects of task type, phone width and hand length. *Ergonomics* 59 (11), 1462–1472.
- Lee, S.C., Cha, M.C., Hwangbo, H., Mo, S., Ji, Y.G., 2018. Smartphone form factors: effects of width and bottom bezel on touch performance, workload, and physical demand. *Appl. Ergon.* 67, 142–150.
- McAtamney, L., Nigel Corlett, E., 1993. RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Appl. Ergon.* 24 (2), 91–99.
- Naddeo, A., Cappetti, N., D’Oria, C., 2015. Proposal of a new quantitative method for postural comfort evaluation. *Int. J. Ind. Ergon.* 48, 25–35.
- Namwongsa, S., Puntumetakul, R., Swangnetr Neubert, M., Boucaut, R., 2019. Effect of neck flexion angles on neck muscle activity among smartphone users with and without neck pain. *Ergonomics* 1–26.
- Oehl, M., Sutter, C., Ziefle, M., 2007. Considerations on efficient touch interfaces: how display size influences the performance in an applied pointing task. In: *Proceedings of the 2007 Conference on Human Interface: Part I*. Springer-Verlag, Beijing, China.
- Park, Y.S., Han, S.H., 2010. One-handed thumb interaction of mobile devices from the input accuracy perspective. *Int. J. Ind. Ergon.* 40 (6), 746–756.
- Shuval, K., Donchin, M., 2005. Prevalence of upper extremity musculoskeletal symptoms and ergonomic risk factors at a Hi-Tech company in Israel. *Int. J. Ind. Ergon.* 35 (6), 569–581.
- TNS-Sofres, 2015. Les Millennials passent un jour par semaine sur leur smartphone. Available from: <https://www.tns-sofres.com/publications/les-millennials-passent-un-jour-par-semaine-sur-leur-smartphone>.
- Wagner, J., Huot, S., Mackay, W., 2012. BiTouch and BiPad: designing bimanual interaction for hand-held tablets. In: *CHI 12- Proceedings of the SIGCHI 30th International Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, Austin, Texas, USA.
- Ward H, Joe, 1963. Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. *Journal of the American Statistical Association Volume 58 (301)*, 236–244. <https://doi.org/10.1080/01621459.1963.10500845>.
- Wobbrock, J.O., Myers, B.A., Aung, H.H., 2008. The performance of hand postures in front- and back-of-device interaction for mobile computing. *Int. J. Hum. Comput. Stud.* 66 (12), 857–875.
- World Medical, A., 2013. World medical association declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects. *J. Am. Med. Assoc.* 310 (20), 2191–2194.
- Wu, G., van der Helm, F.C.T., Veeger, H.E.J., Makhssous, M., Van Roy, P., Anglin, C., Nagels, J., Karduna, A.R., McQuade, K., Wang, X., Werner, F.W., Buchholz, B., 2005. ISB recommendation on definitions of joint coordinate systems of various joints for the reporting of human joint motion—Part II: shoulder, elbow, wrist and hand. *J. Biomech.* 38 (5), 981–992.
- Xie, Y.F., Szeto, G., Madeleine, P., Tsang, S., 2018. Spinal kinematics during smartphone texting – a comparison between young adults with and without chronic neck-shoulder pain. *Appl. Ergon.* 68, 160–168.
- Young, J.G., Matthieu, T., Dan, O., Kim, M., T, D.J., 2012. Touch-screen tablet user configurations and case-supported tilt affect head and neck flexion angles. *Work* (1), 81–91.
- Young, J.G., Trudeau, M.B., Marinelli, K., Odell, D., Dennerlein, J.T., 2013. Wrist and shoulder posture and muscle activity during touch-screen tablet use: effects of usage configuration, tablet type, and interacting hand. *Work* (1), 59–71.

Article III : Effet de la présence d'un support sur la posture adoptée par des utilisateurs de smartphone en position assise durant une navigation sur internet.

Effect of the presence or absence of upper limb support on posture when a smartphone user is in seated position under ambient light condition

Johan Merbah, Julien Jacquier-Bret, Philippe Gorce.

Article publié dans

International Journal of Industrial Ergonomics

III.4.1. Synthèse de l'article III « Effect of the presence or absence of upper limb support on posture when a smartphone user is in seated position under ambient light condition »

L'objectif de cet article est, en se basant sur les résultats précédents, notamment des effets des réglages de luminosité et d'éclairage (**Article I**), de se concentrer sur l'effet du support sur les adaptations posturales. Le design expérimental a été monté afin de tester l'hypothèse selon laquelle la présence d'un support, sous des conditions de lumières fixes, entrainerait des postures moins délétères d'un point de vue biomécanique (éloignement du neutre articulaire) et ergonomique. Dans ce contexte, douze sujets ($21,6 \pm 5,5$ ans) ont effectué une navigation internet dans deux positions environnementales (POSITION) : assis avec et sans support (table). Cette tâche consistait à se rendre sur une page vierge du navigateur (safari ou chrome) de leur propre smartphone, de lancer une requête avec le mot « sncf », de se rendre sur la page internet « www.sncf.com » et d'effectuer la recherche suivante : DEPART : Toulon ; ARRIVEE : Marseille et de lancer la recherche. Il suffisait ensuite d'attendre l'affichage, de défiler jusqu'en bas de la page et d'annoncer à voix haute le dernier horaire disponible. Cela a permis d'évaluer les postures lors d'une tâche comprenant de l'écriture, de la lecture, de l'attente (temps de réponse du site) et du défilement (scroll). Les postures des utilisateurs ont été évaluées par un enregistrement cinématique des angles articulaires. Une analyse de variance par mesures répétées et des tests post-hoc de Tukey ont été effectués pour tester l'effet de la POSITION

sur la posture. En position assise devant une table, le cou est moins sollicité (flexion < 10°) et le tronc et les épaules sont soutenus, ce qui suggère une moindre contrainte pour les articulations. Il semble prépondérant, surtout dans un contexte professionnel ou industriel de mettre en place une véritable politique de prévention des TMS par la mise en place d'un environnement ergonomiquement adapté. Proposer des lieux équipés de supports pour les membres supérieurs (table, tablette, accoudoirs) peu importe la position d'interaction (assis ou debout) permettrait de préserver l'intégrité physique des travailleurs et de manière plus globale des utilisateurs de nouvelles technologies à écran tactiles.



Contents lists available at ScienceDirect

International Journal of Industrial Ergonomics

journal homepage: <http://www.elsevier.com/locate/ergon>

Effect of the presence or absence of upper limb support on posture when a smartphone user is in a seated position under ambient light conditions

Johan Merbah^{a,*}, Julien Jacquier-Bret^{a,b}, Philippe Gorce^{a,b}^a HandiBio Laboratory – EA 4322, University of Toulon, France^b AUCTUS, INRIA, Bordeaux Sud-Ouest, France

ARTICLE INFO

Keywords:

Ergonomic recommendation
Musculoskeletal disorders
Smartphone interaction
Support effect

ABSTRACT

Background: Home, public transport, work, the number of environmental positions constraining the use of smartphones is significant.**Research question:** How can the presence of an upper limb support influence the sitting posture of smartphone users under fixed illumination and brightness?**Methods:** Twelve subjects ($21,6 \pm 5,5$ years old) performed web browsing under two environmental positions (POSITION): sitting with and without support (table). The users' postures were evaluated through relative kinematics joint angles analysis. A repeated measure analysis of variance and Tukey post-hoc tests were performed to test the effect of POSITION on posture.**Results:** In sitting position in front of a table, neck is less stressed (flexion $< 10^\circ$) and trunk and shoulder are supported which suggests less constrains for the joints.**Relevance to industry:** To prevent injury or pain, the use of an upper limb support (to lean on) should be considered for people/workers who use the smartphone frequently.

1. Introduction

Whether at work or at home, the mobile phone is more and more present in people's lives (Khalaf, 2014; Tecmark, 2014). Many studies have examined the risks related to the use of these new technologies (Salvia et al., 2018; Eitvikipart et al., 2019). The studies are unanimous regardless of the method used: there are risks of pain or MSDs in the cervical spine. Neck flexions inflicted on smartphone users appear to be harmful as proved by studies based on joint variables or muscle analysis (Kim, 2015; Kim and Koo, 2016; Han and Shin, 2019; Namwongsa et al., 2019). The neck is not the only joint region affected. Others joint areas such as the trunk, the lumbar spine and the upper limbs are exposed to constraints that can lead to pain, discomfort and even MSDs (Gustafsson et al., 2017).

Furthermore, the environmental conditions for interaction with a smartphone are very varied (sitting, standing, one-handed, two-handed, walking). Thus, depending on the location, time of day or weather, light conditions may fluctuate. As a result, the postures adopted by subjects and the MSD risks associated with each joints region are likely to be different (Merbah et al., 2020a). The use of external help such as supports (armrests, table) were also conditions that were studied and

appear to be a good way to reduce the stress of the neck while using a tablet (Young et al., 2012). Depending on these environmental conditions, strategies for use appear and are more or less likely to be considered ergonomically at risk (Merbah et al., 2020b). Global tools such as the Rapid Upper Limb Assessment (RULA) (McAtamney and Corlett, 1993) score provide an ergonomic evaluation of the subject's complete posture but it requires a quantification, ideally from a 3D capture of the subject's movements which is rarely found in the field of human-machine interaction.

The objective of our study was twofold: 1) to evaluate the effects of the presence or absence of a support on the biomechanical parameters characteristic of the posture adopted by the subjects, and 2) to qualify the incidence of these postures on the risk of developing MSDs in each of the two conditions tested during web browsing with a smartphone in a seated position.

Ambient light and the brightness of the smartphone screen were monitored to recreate a situation encountered in everyday life. The evaluation of the subjects' 3D posture was carried out by quantifying the joint angles of the axial skeleton and the upper limbs in order to get an overview of the user-smartphone relationship. The Rapid Upper Limb Assessment (RULA) was then used to evaluate the exposure of users to

* Corresponding author. Université de Toulon, CS60584-83041, Toulon, Cedex 9, France.

E-mail addresses: merbah@univ-tln.fr, johan.merbah@gmail.com (J. Merbah), jacquier@univ-tln.fr (J. Jacquier-Bret), gorce@univ-tln.fr (P. Gorce).<https://doi.org/10.1016/j.ergon.2020.103050>

Received 4 May 2020; Received in revised form 20 August 2020; Accepted 8 October 2020

Available online 12 October 2020

0169-8141/© 2020 Elsevier B.V. All rights reserved.

ergonomic risk factors associated with axial skeleton and upper extremity MSDs.

2. Method

2.1. Participants

Axial skeleton and upper limb movements during an interaction task were analyzed for twelve smartphone users aged $21,6 \pm 5,5$ years old (five females: $19,6 \pm 3,0$ years old; seven males: $23,0 \pm 6,6$ years old). Three were left-handed and nine were right-handed. They all assumed having no pathology of the upper limb. They also assured having normal or corrected-to-normal vision and none of them reported discomfort and impairments. They had experience with smartphone for more than five years and were using the one they had for more than one year. Each subject was informed of the complete contents of the protocol and gave its written consent before taking part. All of them were naïve as to the aims and the expected outcome of this study. The experiment was performed in keeping with the declaration of Helsinki (World Medical, 2013).

2.2. Experimental procedure

A web browsing task was selected because it is one of the most practiced activities, around 10%–15% of the time spent on the smartphone (Kia et al., 2019), and it includes two characteristic actions: typing text and scrolling. Thus, subjects were asked to carry out an internet search to find the timetable of a train connecting the cities of Toulon and Marseille in two environmental positions (POSITION): seated with support (ST) and seated without support (SWT). This search took place on the official website of the SNCF (the only train company in France), by typing in google or safari the keyword “snCF” and clicking on the first link (www.sncf.com). Participants had to write “Toulon” in the current city and “Marseille” in the destination. The travelling time and other parameters were not modified. Then the button “Rechercher” (search) was pressed. After the loading of the web page, the task was to scroll down to the last schedule available and saying out loud the schedule to the operator (Fig. 1). A training session was conducted prior

to the protocol in order to familiarize the subject with the task and to verify that no settings would interfere with the research.

For each environmental condition, the manipulation was repeated 3 times identically with rest times of 90 s in a random order. The subject’s starting and ending positions have been standardized for each POSITION. In ST condition, the subject was seated on a rigid school chair (the seat was 45 cm off the ground) with her/his forearms rested on a wooden rectangular table (with a height of 77 cm) and the phone was placed in front her/him on the table. In SWT condition, the subject was seated on the same chair as in the ST condition and had to put her/his hands on her/his thighs. The phone was placed on a support on her/his right side. From this position, subjects were informed that they could perform the task (web browsing) as they wished in terms of posture after the start signal. Once the task was completed, the subject was to return the phone to its original location and return to her/his first position. Before each trial, subjects were asked to clear their browsing history and close all applications so that the phone would be in exactly the same configuration throughout the experiment.

2.3. Stimuli

This study wanted to take into consideration the environmental variables that can have effects when using smartphones. For this reason, room light and screen brightness were controlled. First, thirty rooms throughout the University (conference rooms, classroom, library, cafeteria ...) were measured to determine the amount of light available during a normal use with a lux meter (Luxmeter BF06 from Trotec company). Results were 350 ± 40 lux. This illumination represents a so-called ambient light in the working environment (offices, classrooms, meeting rooms). Then, the illumination of the room in which the experiments were to take place was adjusted to be equivalent to this ambient light. With shutters closed and all the fluorescent (neon) lights in the room on, the illumination of the laboratory was set at 345 lux. The value was measured using the same lux meter as that used in the previous measurements.

About brightness of the screen, a survey was conducted among nearly 60 smartphone users. Results showed that more than 85% of the users had their brightness setting above 90% with more than half of

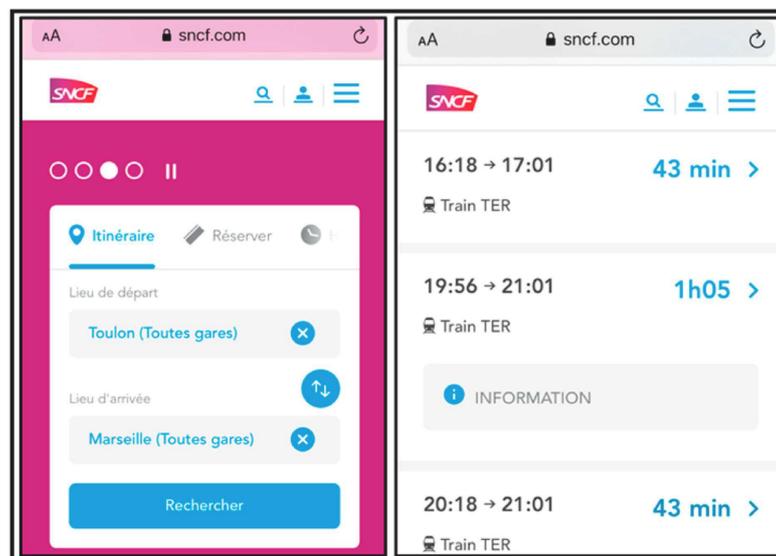


Fig. 1. Illustrations of the SNCF (French railway company) website navigation interfaces on smartphones. On the left: interface for entering city names; on the right: interface for displaying the available timetables. The subject was asked to say out loud the latest available train schedule after scrolling down the page.

them having their brightness at maximum. So, in order to recreate a real-life situation, subjects were asked to adjust the light on their phones to maximum.

2.4. Apparatus

To perform the motion analysis of the web browsing task, the trajectories of the forty-one reflective markers were recorded using an optoelectronic system with 8 Oqus 400 cameras (Qualisys AB, Gothenburg, Sweden) at a sampling rate of 200 Hz. The markers were placed as follow:

- Thirty-six reflective markers were placed on the head, trunk, and right and left upper limbs of the subject (Fig. 2). Twenty four markers were positioned on bony anatomical landmarks identified by palpation, in agreements with the International Society of Biomechanics recommendations (Wu et al., 2005). Twelve technical markers assembled in sets of three were positioned on the arms and forearms.
- Five markers were added on the smartphone to study its position during the task. To not disturb the subjects while performing the task, these markers were positioned on a custom-made lightweight resin device glued to the back of the smartphone (Fig. 2).

Before the experiment, a static capture was made with the device glued (and its five markers) and with nine additional markers: two in each corner on the front side and one on the back side to determine the shape of the smartphone. Then a rigid model was used to rebuild the smartphone.

2.5. Dependent variables

To study the upper limb joint coupling during the achievement of the task, the pick-up and drop-off phase of the smartphone have not been considered. Then, only the interaction phase corresponding to the web browsing was analyzed.

First, the biomechanical parameters were considered. From the 3D coordinates of the reflective markers and following ISB instructions (Wu et al., 2005), neck, trunk and upper limb joint angles (24 degrees of freedom) as well as the distance and 3D orientation (pitch, roll and yaw) between the face and the smartphone were first calculated for each

instant of the interaction and then the data were averaged over the entire phase (Matlab, The Mathworks, Inc., Natick, MA). About the orientation, the position of the smartphone was considered neutral when the screen was parallel to the face. Pitch, roll and yaw were respectively defined as the rotation about the medio-lateral, antero-posterior, and vertical axis. The duration of the interaction has been also calculated for each trial.

To complete this biomechanical analysis, the Rapid Upper Limb Assessment (RULA) was performed for trial of each experimental position from the mean angles computed for the interaction phase to evaluate the ergonomic risk factors associated with axial skeleton and upper extremity MSDs. All these parameters represent the dependent variables.

2.6. Data analysis

Repeated measures analyses of variance (ANOVA) were performed to test the effects of SIDE (left versus right upper limb) and POSITION (ST versus STW) on all dependent variables. Tukey post-hoc tests were conducted to identify the significant differences. A non-parametric Mann-Whitney test was also conducted to test the effect of the gender. The level of significance was set at $p < 0,05$ (Statistica 7.1, Statsoft, Tulsa, OK, USA).

3. Results

As far as the interaction parameters with the smartphone are

Table 1
Distance head/smartphone, task duration, and smartphone orientation (mean \pm SD) measured for each experimental condition.

	ST	SWT
Head-Smartphone Distance (mm)	385,9 \pm 84,8	353,6 \pm 41,2
Task duration (s)	61,1 \pm 21,3	57,5 \pm 18,0
Smartphone Pitch (°)	-21,3 \pm 6,6	-24,5 \pm 7,0*
Smartphone Yaw (°)	-2,7 \pm 3,5	-2,8 \pm 3,5
Smartphone Roll (°)	1,8 \pm 5,2	1,7 \pm 3,4

* indicates significant differences from ST condition.

Pitch corresponds to a rotation around the medio-lateral axis, yaw to a rotation around the vertical axis, and roll to a rotation around the antero-posterior axis.

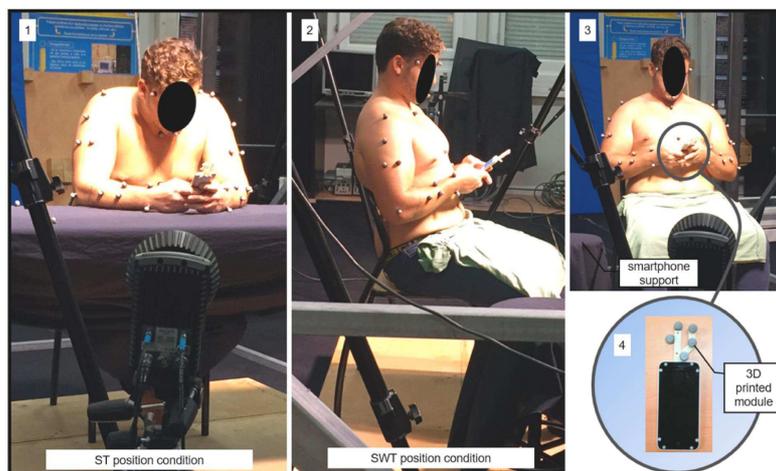


Fig. 2. Experimental position set-up and subject equipped with anatomical and technical markers. Picture 1: task achieved in the ST position. Picture 2 and 3: task achieved in the SWT position. Picture 4: smartphone equipped with all the markers used for static capture. Only the printed module was kept during web browsing. A construction from the static trial and based on a rigid model was made to obtain the 3D orientation of the smartphone during the interaction phase.

concerned, no effect was observed on the interaction time and the distance between the head and the screen (Table 1). Only the pitch was higher in SWT condition ($p < 0,05$).

Concerning the angular parameters, significant differences were found in all joint regions but not necessarily in all planes between the two experimental conditions (Fig. 3). Neck and elbow flexions and forearm pronation appeared higher in SWT condition, while trunk flexion and shoulder joint angles were lower. No effect of POSITION was evidenced for the axial rotation of the head and the trunk.

The Mann-Whitney test revealed gender differences for four of the parameters. Statistically, contrary to the males, females held the phone closer to their face ($320,2 \pm 36,7$ mm vs $405,2 \pm 61,8$ mm, $p < 0,05$), had higher elbow flexion ($106,7 \pm 12,2^\circ$ vs $95,3 \pm 12,8^\circ$, $p < 0,05$) and clavicle elevation ($-18,0 \pm 8,9^\circ$ vs $-9,4 \pm 7,0^\circ$, $p < 0,05$), and presented higher trunk flexion ($-19,3 \pm 6,2^\circ$ vs $-11,9 \pm 4,3^\circ$, $p < 0,05$) only in the ST condition.

All the participants used the phone with two hands during the interaction phase. A SIDE effect was observed for two joint angles: the shoulder abduction ($-11,4 \pm 9,6^\circ$ vs $-14,9 \pm 11,3^\circ$) and the ulnar deviation ($2,8 \pm 7,1^\circ$ vs $8,2 \pm 6,7^\circ$) were slightly lower for the left side.

The RULA score in environmental position ST was 3 while in SWT the score was 4. Both of these scores are at Level 2 and classify the risk of MSDs as low, but some changes may need to be made to reduce this risk.

4. Discussion

This study presents the effect of a support, like a table, on posture adopted by smartphone users in a sitting position while doing a research on the web. First, it was observed that all participants used the device with two hands as reported in a recent study on smartphone work (Bodin et al., 2019). As a previous field study has shown, the majority of college students interact with their smartphone with both hands (Gold et al., 2012). However, contrary to the results of our study, this represented only 51% of the observations (compared to 100% in our study) while they were all free to do as they pleased. Several elements may explain this difference. Firstly, in laboratory studies, subjects are focused on the task that asked them to do, which could encourage them to use their smartphone more with two hands. Moreover, this “two-handed grip” allows a better thumb performance and decrease the variability which could explain why subjects choose this mode of interaction (Trudeau et al., 2016). This way to interact with a smartphone could be described

as symmetric and could explained why only two parameters, shoulder abduction and the ulnar deviation, are different concerning the side effect. In Gold’s study, the observations were made in an environmental setting. No information was provided on what secondary activities college students were likely to do while using their smartphone that required the use of one hand (eating, carrying a bag, smoking ...). This makes it possible to do several activities simultaneously, which is a real advantage. Another explanation could come from the age of the subjects. Indeed it is possible that the interaction techniques differ according to the generation. One could think that young people tend to interact with two hands, unless circumstances do not allow it. Further work is needed to identify what would be the interaction modality preferred by users, whether this depends on factors such as age or experience, and what are the parameters that induce an interaction modality with one or two hands.

From a biomechanical point of view, it can be trivial that any support improves postures when using smartphones. Indeed, the support adds a support point to the posture, which provides better stability. The point is whether its presence may or may not reduce the risk of MSDs. Ergonomic analysis of the observed postures led to RULA scores of 3 and 4 respectively for the supported (ST) and unsupported sitting (SWT) condition. These scores both belong to level 2, suggesting on the one hand that the postures adopted are not ideal and on the other hand that at first glance support would not reduce the overall risk of developing MSDs. However, biomechanical analysis of joint angles revealed significant differences for some joints, which may explain the difference in RULA scores, and may also indicate the presence of more localized effects of the presence or absence of support on MSD risk.

The most alarming parameter seems to be the flexion of the cervical spine. This result is in line with many studies that characterize through different approaches (questionnaires, EMG) the harmful consequences of a pronounced bending of the neck when interacting with a smartphone (Lee et al., 2015; Namwongsa et al., 2018a, 2018b; Chan et al., 2020). It is pointed out here that even if neck bending is always considered harmful when interacting with the smartphone, it seems less constrained when elbow or forearm support (a table in this study) is used (average of $-9,3^\circ$ versus $-25,9^\circ$) corresponding to a local RULA score of 1 and 3 respectively, which would contribute to a reduction in neck pain (Angelini et al., 2020). This confirms previous work focused on the effect of armrests and back support which are reducing “biomechanical loading in the neck and upper extremities during mobile phone use”

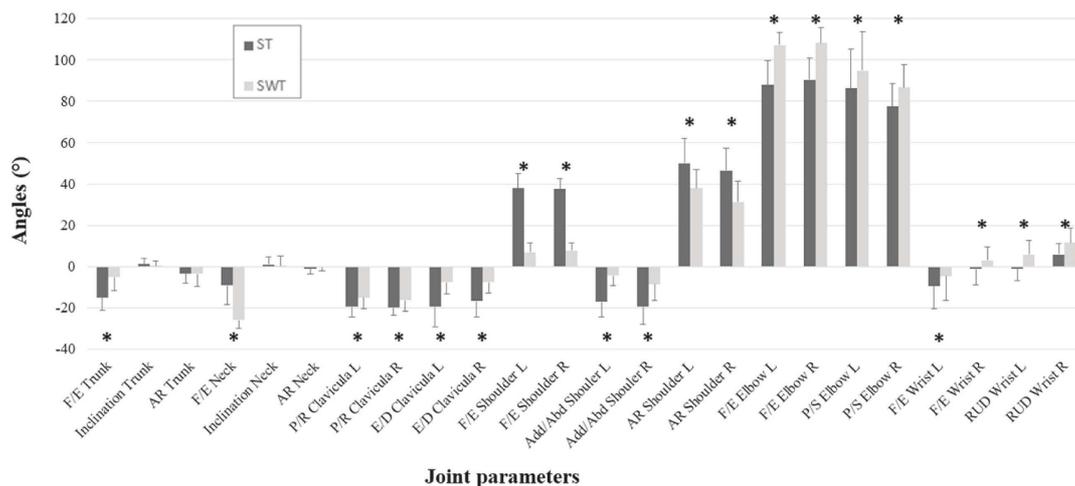


Fig. 3. Mean angular parameters of the axial skeleton and upper limbs across the two experimental conditions. Error bars indicate 1- standard deviation. “*” indicates significant differences between the two experimental positions ($p < 0.05$). L: Left, R: Right, F/E: Flexion/Extension, AR: Axial Rotation, P/R: Protraction/Retraction, E/D: Elevation/Depression, Add/Abd: Adduction/Abduction, P/S: Prono-Supination, RUD: Radio-Ulnar Deviation.

(Syamala et al., 2018).

At the same time, the presence of the support causes a flexion of the trunk and a greater mobilization of the shoulder. This could be explained by the fact that the subject adopts a posture that allows him or her to lean on the table. Although at first sight this behavior may seem harmful because the joints move away from joint neutral (Namwongsa et al., 2018b), it is not, as the use of additional support would considerably reduce the muscular effort required to maintain such postures. This aspect is also considered in the RULA, and explains that despite higher angular values, the risk is lower when a support is used. Finally, the lack of support also results in greater elbow flexion and ulnar deviation of the wrist far from the neutral position, reflecting a potentially significant risk of MSDs in the long term (Fig. 3).

Thus, although the global RULA scores are in the same alert level (level 2), they differ and suggest that sitting without support is more harmful, especially considering the fact that subjects interact for an average of 2,5 h per day, which represents long durations that recur with high frequency.

Despite the small sample size, some differences seemed to appear between females and males. These tendencies are consistent with the results presented by Gold and colleagues (Gold et al., 2012). The authors showed that females tended to bend the elbow region more, which had the effect of bringing the smartphone closer to their trunk. This is confirmed by the measurement of the distance that appears to be smaller between the face and the smartphone in females. Further research is needed to address in more detail the effect of gender on biomechanical parameters when using smartphones.

These results need to be considered within the context of the limitations of the study. First, the web browsing task was rather short compared to gaming or scrolling social medias. In this study, during the interaction phase postures adopted were maintained and no main adjustments were made by users, certainly due to the fact that a 60-s task is not enough to generate a discomfort. An interaction with a longer task may lead to different results. Indeed, it can be hypothesized that for a longer task, individuals would be likely to adjust their posture, reflecting the development of posture-related discomfort, especially if that posture exposes certain areas to MSD hazards and is repeated or maintained over time. Second, the number of participants is a main limitation of this work and with more subject differences observed could differ. Third, each participant performed the task with her/his own smartphone to avoid learning effects from the use of a non-familiar user interface. Screen sizes, shape, interface are then different and could influence heavily the results. And finally, for each environmental condition, the subjects were considered as a whole. No postural strategy cross-sections were conducted in this study. The fact that the subjects were free to make postural adjustments during the manipulation resulted in a relative variability of the angular variables. A larger number of subjects would minimize doubts about the results.

5. Conclusion

In conclusion, the general posture adopted by subjects when interacting with their smartphone requires special attention, especially as the duration and frequency of use during the day is important. The use of a support seems to be a favorable solution as it would reduce the muscular implications of the trunk and shoulders while allowing subjects to reduce neck flexion. Future work could include more subjects, different interaction tasks in different situations that are representative of daily life, in order to evaluate their effects on the posture of subjects when interacting with their smartphone.

CRedit authorship contribution statement

Johan Merbah: Methodology, Software, Validation, Formal analysis, Investigation, Resources, Data curation, Writing - original draft, Writing - review & editing, Visualization. **Julien Jacquier-Bret:**

Methodology, Software, Validation, Formal analysis, Investigation, Resources, Data curation, Writing - original draft, Writing - review & editing, Visualization. **Philippe Gorce:** Conceptualization, Methodology, Validation, Formal analysis, Investigation, Resources, Data curation, Writing - original draft, Writing - review & editing, Visualization, Supervision, Project administration, Funding acquisition.

Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Acknowledgment

This work was financially supported by a grant from Toulon University, France.

References

- Angelini, L., Hodgkinson, W., Smith, C., Dodd, J.M., Sharrack, B., Mazza, C., Paling, D., 2020. Wearable sensors can reliably quantify gait alterations associated with disability in people with progressive multiple sclerosis in a clinical setting. *J. Neuro.* 267, 2897–2909. <https://doi.org/10.1007/s00415-020-09928-8>.
- Bodin, T., Berglund, K., Forsman, M., 2019. Activity in neck-shoulder and lower arm muscles during computer and smartphone work. *Int. J. Ind. Ergon.* 74, 102870.
- Chan, L.L.Y., Wong, A.Y.L., Wang, M.H., Cheung, K., Samartzis, D., 2020. The prevalence of neck pain and associated risk factors among undergraduate students: a large-scale cross-sectional study. *Int. J. Ind. Ergon.* 76, 102934.
- Eitvipart, A.C.V., Sirinya, Redhead, Lucy, 2019. Musculoskeletal disorder and pain associated with smartphone use: a systematic review of biomechanical evidence. *Hong Kong Physiother. J.* 38, 77–90, 02.
- Gold, J.E., Driban, J.B., Thomas, N., Chakravarty, T., Channell, V., Komaroff, E., 2012. Postures, typing strategies, and gender differences in mobile device usage: an observational study. *Appl. Ergon.* 43 (2), 408–412.
- Gustafsson, E., Thomée, S., Grimby-Ekman, A., Hagberg, M., 2017. Texting on mobile phones and musculoskeletal disorders in young adults: a five-year cohort study. *Appl. Ergon.* 58, 208–214.
- Han, H., Shin, G., 2019. Head flexion angle when web-browsing and texting using a smartphone while walking. *Appl. Ergon.* 81, 102884.
- Khalaf, 2014. Mobile use grows 115% in 2013. Propelled by Messaging Apps. Flurry Analytics. Available from: <https://www.flurry.com/post/115191226770/mobile-use-grows-115-in-2013-propelled-by>.
- Kia, K., Sisley, J., Johnson, P., Kim, J.H., 2019. Differences in typing forces, muscle activity, wrist posture, typing performance, and self-reported comfort among conventional and ultra-low travel keyboards. *Appl. Ergon.* 74, 10–16.
- Kim, M.-S., 2015. Influence of neck pain on cervical movement in the sagittal plane during smartphone use. *J. Phys. Ther. Sci.* 27 (1), 15–17.
- Kim, S.-Y., Koo, S.-J., 2016. Effect of duration of smartphone use on muscle fatigue and pain caused by forward head posture in adults. *J. Phys. Ther. Sci.* 28 (6), 1669–1672.
- Lee, S.K., Hwayeong, Shin, Gwanseob, 2015. Head flexion angle while using a smartphone. *Ergonomics* 58 (2), 220–226.
- McAtamney, L., Corlett, N.E., 1993. RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Appl. Ergon.* 24 (2), 91–99.
- Merbah, J., Gorce, P., Jacquier-Bret, J., 2020a. Effects of Environmental Illumination and Screen Brightness Settings on Upper Limb and Axial Skeleton Parameters: How Do Users Adapt Postures? *Ergonomics*, pp. 1–23.
- Merbah, J., Gorce, P., Jacquier-Bret, J., 2020b. Interaction with a smartphone under different task and environmental conditions: emergence of users' postural strategies. *Int. J. Ind. Ergon.* 77, 102956.
- Namwongsa, S., Puntumetakul, R., Neubert, M.S., Boucaut, R., 2018a. Factors associated with neck disorders among university student smartphone users. *Work* 61 (3), 367–378.
- Namwongsa, S., Puntumetakul, R., Neubert, M.S., Chaiklieng, S., Boucaut, R., 2018b. Ergonomic risk assessment of smartphone users using the Rapid Upper Limb Assessment (RULA) tool. *PLoS One* 13 (8), e0203394.
- Namwongsa, S., Puntumetakul, R., Swangnetr Neubert, M., Boucaut, R., 2019. Effect of neck flexion angles on neck muscle activity among smartphone users with and without neck pain. *Ergonomics* 1–26.
- Salvia, P.C.R., D'Halluin, O., Van Sint Jan, S., Feipel, V., Beyer, B., 2018. O 070 - effect of heavy and light smartphone use on whole spine curvature profile and cervical mobility in young adults. *Gait Posture* 65, 144–145.
- Syamala, K.R.A., Charan, Ravi, Kim, Jeong Ho, Hwang, Jaejin, 2018. Armrests and back support reduced biomechanical loading in the neck and upper extremities during mobile phone use. *Appl. Ergon.* 73, 48–54.
- Tecmark, 2014. Tecmark survey institute. Available from: <https://www.tecmark.co.uk/blog/smartphone-usage-data-uk-2014>.
- Trudeau, M.B.A., Deanna, S., Jindrich, Devin L., Dennerlein, Jack T., 2016. Two-handed grip on a mobile phone affords greater thumb motor performance, decreased

J. Merbah et al.

- variability, and a more extended thumb posture than a one-handed grip. *Appl. Ergon.* 52, 24–28.
- World Medical, A., 2013. World medical association declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects. *J. Am. Med. Assoc.* 310 (20), 2191–2194.
- Wu, G., van der Helm, F.C., Veeger, H.E., Makhsous, M., Van Roy, P., Anglin, C., Nagels, J., Karduna, A.R., McQuade, K., Wang, X., Werner, F.W., Buchholz, B., 2005.

International Journal of Industrial Ergonomics 80 (2020) 103050

- ISB recommendation on definitions of joint coordinate systems of various joints for the reporting of human joint motion—Part II: shoulder, elbow, wrist and hand. *J. Biomech.* 38 (5), 981–992.
- Young, J.G., Trudeau, M., Odell, Dan, Marinelli, Kim, Dennerlein, J.T., 2012. Touch-screen tablet user configurations and case-supported tilt affect head and neck flexion angles. *Work* (1), 81–91.

Article IV : Couplage de chaînes cinématiques squelette axial / membres supérieurs lors de l'envoi d'un message avec un smartphone en position assise et debout.

Upper limb and axial skeleton 3D kinematics analysis when texting using a smartphone in standing and sitting positions

Johan Merbah, Julien Jacquier-Bret, Philippe Gorce.

Article soumis pour correction (révisions majeures) dans

Ergonomics

III.5.1. Synthèse de l'article IV « Upper limb and axial skeleton 3D kinematics analysis when texting using a smartphone in standing and sitting positions »

L'objectif de ce travail est de quantifier les paramètres angulaires du squelette axial et des membres supérieurs ainsi que la distance et l'orientation 3D entre la tête et le smartphone lors d'une tâche représentative de la vie quotidienne (envoi de SMS) et de leur incidence sur le risque de développer des TMS. Trois positions expérimentales ont été analysées sur la base de la littérature et des observations des routines quotidiennes (Choi et al., 2016; Aramendia-Muneta and Olarte Pascual, 2019). Ainsi, cette étude propose d'analyser la cinématique 3D du tronc, du cou et des membres supérieurs lors de la rédaction d'un message texte (sms) sous différentes positions : deux positions assises (avec et sans support pour les membres supérieurs) et une en position debout. Enfin, la table ergonomique RULA a été renseignée avec des valeurs objectives et précises afin de définir, en fonction des conditions, les niveaux de risques ergonomiques. Les résultats ont montré que la présence d'un support entraînait une plus grande implication de la flexion du tronc et des épaules avec une diminution de la flexion du cou et des coudes. L'originalité de ce travail a été d'étudier l'organisation articulaire globale au cours de la tâche. Les analyses cinématiques ont fait émerger la présence de deux sous-chaînes, l'une comprenant la tête et le tronc et l'autre correspondant à l'ensemble du membre supérieur. En fonction de la position expérimentale et pour placer le smartphone

comme le sujet le souhaitait, une synergie entre ces deux chaînes a été établie. Cette synergie semble répondre à plusieurs invariants identifiés lors de ce travail : l'orientation du smartphone par rapport au visage (20.4 ± 9.9 °), le temps d'interaction (40.5 ± 10.4 s) ainsi que la distance entre le visage et le l'écran (363.6 ± 58.0 mm) qui ne semblent pas être affectés par les conditions de positions. Les résultats ont également montré que quelque soit la condition d'utilisation, un risque de troubles musculosquelettiques associés aux postures et quantifié au moyen du RULA existe.

Ergonomics



Upper limb and axial skeleton 3D kinematics analysis when texting using a smartphone in standing and sitting positions

Journal:	<i>Ergonomics</i>
Manuscript ID	Draft
Manuscript Type:	Original Article
Date Submitted by the Author:	n/a
Complete List of Authors:	MERBAH, Johan; Université de Toulon JACQUIER-BRET, Julien; Université de Toulon GORCE, Philippe; Université de Toulon
Keywords:	upper limb disorders < Health and Safety, human-computer interaction < Human-Machine Systems, musculoskeletal disorders < Health and Safety, smartphones, biomechanics < Physical Ergonomics



URL: <http://mc.manuscriptcentral.com/terg> E-mail: TERG-peerreview@journals.tandf.co.uk

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60

Upper limb and axial skeleton 3D kinematics analysis when texting using a smartphone in standing and sitting positions.

MERBAH Johan^{a*}

JACQUIER-BRET Julien^{a,b}

GORCE Philippe^{a,b}

Affiliation :

^aUniversity of Toulon, France

^bAUCTUS, INRIA, University of Bordeaux Sud-Ouest, France

*Corresponding author :

Johan Merbah

Université de Toulon, CS60584-83041 TOULON CEDEX 9

E-mail: merbah@univ-tln.fr or johan.merbah@gmail.com

Tel : +33 6 23 90 22 50

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60

Abstract

Nowadays, due to the ever-increasing use of the smartphone in very diverse situations of daily life, the interaction postures are diverse. This study proposed to analyse the 3D kinematics of the axial skeleton and the upper limbs while texting under different positions: two sitting (with and without a table support) and one in standing. Results showed that the presence of a support led to greater involvement of trunk flexion and shoulders with a decrease of the neck and elbow flexion. Moreover, the kinematic organization seemed to be divided into two sub-chains, one including the head and trunk and another one corresponding to the whole upper limb. Depending of the experimental position and to place the smartphone as the subject wished, a synergy between these two chains was established. The results also showed that whatever the condition of use, there was a risk of musculoskeletal disorders associated with the postures observed.

Keywords: *smartphones; biomechanics; upper limb; head posture; musculoskeletal disorders; human computer interactions.*

Practitioner Summary

This study focuses on the experimental analysis of postures adopted by subjects using smartphones and their biomechanical and ergonomic impact on the musculoskeletal system. Two distinct kinematics chains running in synergy were found. Upper extremity support and neck straightening should be considered to reduce the risk of musculoskeletal disorders.

I. INTRODUCTION

Nowadays, "smartphones", considered as the category of handheld devices, are essential objects in our daily lives (Park and Han 2010). Whether by the number of owners or by the number of tasks performed each year, the use of these devices is constantly increasing (Ericsson 2018, IDC 2019). This increasing use of touchscreens has already led to scientific work that seeks to list, understand and quantify interactions with it (Kim *et al.* 2013, Wobbrock *et al.* 2008, Young 2012). Numerous studies have focused on hand position, user perception of the interface depending on the device (tablet or smartphone) or the effects of its size during interaction (Jacquier-Bret *et al.* 2017, Lai and Wu 2014, Oehl *et al.* 2007, Park and Han 2010, Wagner *et al.* 2012).

A Deloitte study explains that in 2016, 77% of French people had a smartphone and that their use while being in motion was increasing significantly. Thus, 49% of French people acknowledged that they use their phones on public transport (Deloitte 2016). Due to the great diversity of situations in which these handheld devices can be used, several studies have focused on the different postures that users could adopt. Indeed, as many studies have pointed out, because of a large number of degrees of freedom in the upper limb, there is a phenomenon of redundancy that offers an infinite number of joint combinations to perform the same task (Tolani *et al.* 2000, Wang *et al.* 1998, Wu *et al.* 2005). As shown by the different results, the postures adopted by subjects during the interaction may vary, depending on the tasks, e.g. texting, gaming, web browsing, and the conditions of use, e.g. sitting, standing, walking (Dennerlein 2015, Gustafsson 2012, Han and Shin 2019, Young 2013). In this context, 3D kinematic analyses provide quantified and objective data of these postures which can revealed drafts of postural strategies (Jacquier-Bret *et al.* 2017,

1
2
3 Merbah *et al.* 2020) at least attempted to describe certain behaviours in controlled
4 and constrained situations. For example, several recent works have addressed the
5 involvement of the head when using smartphones in different conditions of use (Han
6 and Shin 2019, Lee 2015, Syamala 2018). The results showed that subjects
7 frequently move away from the joint neutral when interacting with their smartphone
8 and that large amplitudes, especially in flexion, could be the cause of pain. Other
9 studies have found similar results at the upper limb level when using tactile devices
10 (Asakawa *et al.* 2019, Kietrys *et al.* 2015, Szucs *et al.* 2018, Young 2013). However,
11 to our knowledge, there are no studies in which all the joint angles of the head, trunk
12 and upper limb were analysed jointly during interaction with a smartphone.
13
14

15
16
17 In relation to these kinematics studies, other authors have focused on the potential
18 impact of the use of tactile devices on the musculoskeletal system. The objectives
19 were to characterize from an ergonomic investigation the risks of occurrence of
20 musculoskeletal disorders. Some analyses based on electromyography or
21 epidemiological studies from surveys have revealed negative effects resulting in
22 localized pain, mainly in the neck, shoulders and lumbar region of the spine (Kim and
23 Kim 2015, Namwongsa *et al.* 2019, Xie *et al.* 2017). Namwongsa *et al.* (2018) have
24 used an ergonomic indicator, the Rapid Upper Lim Assessment - RULA (McAtamney
25 and Corlett 1993), based on posture, to assess the risk of developing
26 musculoskeletal disorders when using a smartphone based on video analysis data
27 and not kinematic data. One objective of these works is to address recommendations
28 that would reduce the strains, discomfort and pain perceived by users during
29 repeated interactions with their smartphone. One of these recommendations would
30 be to use a support for the elbows or forearms in order to reduce muscular
31 constraints, particularly in the neck area (Gustafsson 2012, Syamala 2018).
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60

1
2
3 In this context, our study proposes a biomechanical analysis of the use of the
4 smartphone in positions and task conditions that best represent everyday use. In
5 addition, the subjects are left for each experimental condition in absolute freedom of
6 movement, positioning and interaction. The aim was to quantify the postures naturally
7 adopted by the users and their incidence on the risk of developing MSDs during
8 texting with a smartphone in a standing and sitting position (with or without support
9 for the upper limbs), which are among the most observed conditions of use,
10 particularly for young smartphone users (Gold *et al.* 2012). The evaluation of the
11 subjects' 3D posture was conducted for each condition of use by quantifying the joint
12 angles of the axial skeleton and the upper limbs in order to get an overview of the
13 user-smartphone interaction. The RULA was then used to evaluate the exposure of
14 users to ergonomic risk factors associated with axial skeleton and upper extremity
15 MSDs corresponding to each experimental situation (McAtamney and Corlett 1993).
16 It was hypothesised that the conditions of use of the smartphone would influence the
17 postures adopted by the subjects and therefore affect the risk of developing MSDs.
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39

40 II. Method

41
42 Twelve healthy subjects (mean: 21.6±5.5 years old; youngest: 17 year old; oldest: 33
43 year old), five females (19.6 ±3.0 years old; youngest: 17 year old; oldest: 25 year
44 old) and seven males (23.0±6.6 years old; youngest: 18 year old; oldest: 33 year old),
45 voluntarily took part to the experience. Three were left-handed and nine right-
46 handed. All subjects included in the experiment had to satisfy the following criteria:
47 have no upper limbs or spine pathology, have at least 6 months of smartphone use
48 experience and have owned a smartphone for at least 3 months. Each subject was
49 informed of the complete contents of the protocol and gave her/his written consent
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60

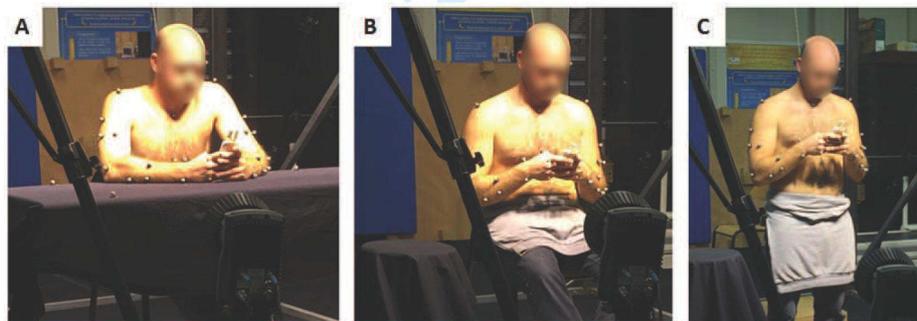
1
2
3 before participation. The experimental procedure was in agreement with the Helsinki
4 declaration (World Medical 2013) and was approved by the local ethics committee of
5
6 the Toulon HandiBio University laboratory.
7
8

9
10 Each subject had to send the following message to an experimenter with their own
11
12 smartphone (TEXT): "*on se retrouve devant la gare à 20h00.*" ("let's meet in front of
13
14 the train station at 8.00 pm").
15

16
17 The task was repeated three times in three different experimental positions (POS,
18
19 Fig. 1): seated with an available support for the elbows or forearms (ST), seated
20
21 without any support (SWT) and standing (STA). The sequence of the position has
22
23 been randomized for each subject. Two consecutive trials were separated by a 90-
24
25 second rest period and two conditions were separated by a 2-minute rest period. A
26
27 standard schoolboy's chair (Width 47 x Height 81 x Depth 49 cm, Seat depth: 36 cm,
28
29 Seat height: 46.4 cm) with a backrest and without armrests was used for both seated
30
31 conditions (ST and SWT) and a standard schoolboy's table was used as upper limb
32
33 support for the ST condition (Width 140 x Depth 60 x Height 76 cm) for the entire
34
35 protocol. A stool (with a height of 78 cm, Fig. 1, pictures B and C) covered with a
36
37 black cloth was placed 30 cm to the right of the subjects and used in both
38
39 unsupported conditions (SWT and STA) to place the phone at the beginning and end
40
41 of each trial. For the ST condition, the smartphone was placed on the table at a
42
43 distance of 20 cm from the nearest edge of the subject and aligned with the middle of
44
45 the trunk. Whatever the condition, the phone was placed with the screen facing the
46
47 ceiling in the normal direction of use.
48
49

50
51 Each test was carried out as follows. First of all, depending on the experimental
52
53 position tested, the subject was asked to adopt a well-defined initial posture. For the
54
55 ST condition, the subject had to be comfortably seated in the chair with the back
56
57
58
59
60

1
2
3 resting on the backrest and the forearms resting on the table on either side of the
4 smartphone. For the SWT condition, the posture to be adopted was identical except
5 that the forearms had to rest on the thighs. For the STA condition, the subject simply
6 had to stand upright with the upper limbs relaxed along the body. From this posture,
7 the subject was then asked to grasp the phone, enter the message application, enter
8 the text and send it to the experimenter, put the phone down (on the table or stool),
9 and reposition him/herself in the initial posture. Except for the fact that the subject
10 was required to remain seated for the ST and SWT conditions and standing still for
11 the STA condition, no instructions were given as to how to perform the task. Subjects
12 were completely free to move their neck, trunk and upper limbs, use or not use the
13 table at their disposal in the ST condition and all postures were allowed.
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30



31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45 **Fig. 1: Illustration of the three experimental positions. A: seated with table (ST); B: seated**
46 **without any support; C: Standing (STA). In pictures B and C, the stool hidden under the black**
47 **drape was used to place the smartphone at the beginning and end of each trial.**
48
49

50 After a detailed presentation of the protocol, thirty-six reflective markers were placed
51 on the head, trunk, and right and left upper limbs of the subject (Fig. 2). Twenty four
52 of them were positioned on bony anatomical landmarks identified by palpation, in
53 agreements with the International Society of Biomechanics recommendations (Wu *et*
54 *al.* 2005). The remaining twelve were assembled in sets of three and were positioned
55
56
57
58
59
60

on the arms and forearms as technical markers to compensate for the possible loss of anatomical markers. Five other markers were added on the smartphone to study its position during the task. To not disturb the subjects while texting, these markers were positioned on a custom-made lightweight resin device glued to the back of the smartphone. The relative position of these markers in relation to the screen was established before the beginning of the protocol so that the actual position of the smartphone can be reconstructed from the position of resin device at any time.

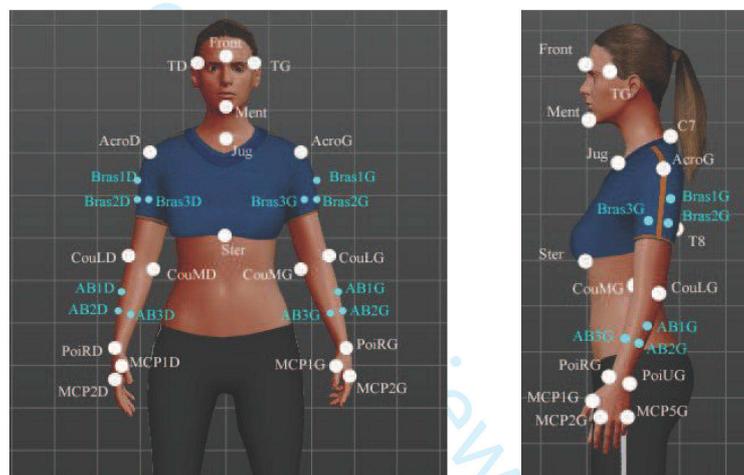


Fig. 2: marker positioning in frontal (left panel) and sagittal (right panel) plane; Big circles correspond to “anatomical markers” positioned on bony anatomical landmarks identified by palpation, in agreements with the International Society of Biomechanics recommendations (Wu *et al.* 2005). Four clusters of three “technical markers” (small circles) have been added on arms and forearms to compensate for possible occultation of anatomical markers.

To perform the motion analysis, the trajectories of the forty-one reflective markers were recorded using an optoelectronic system with 8 Oqus 400 cameras (Qualisys AB, Gothenburg, Sweden) at a sampling rate of 200 Hz. From the 3D coordinates of the reflective markers, a local coordinate system has been defined at each step of the movement for each of the segments studied: the head, the trunk as well as the

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60

arms, forearms and hands of the two upper limbs. From these local coordinate systems, the rotation matrices between two consecutive segments were calculated as follow (Matlab, The Mathworks, Inc., Natick, MA):

$$\text{Rotation matrix} = OP^{-1} \times OD,$$

where OP is the local coordinate system of the proximal segment and OD is the distal one of a joint. Thus, the relative angles of the neck, trunk, sterno-costo-clavicular joints, shoulders, elbows and wrists were extracted from the rotation matrices by applying the rotation sequences according to the International Society of Biomechanics instructions (Wu *et al.* 2005), except for the shoulder region for which the sequence proposed by Šenk and Chèze (2006) was applied (total of 24 degrees of freedom, Table 1).

Table 1: Summary of information relating to the calculation of upper body joint angles

Segment	Marker set	Proximal segment	Sequence	Joint	Degrees of freedom
Trunk	C7, T8, Jug, Ster	Global coordinate system	ZXY	Spine	Flexion/Extension Inclination Lateral rotation
Head	TD, TG, Ment, Front	Trunk	ZXY	Neck	Flexion/Extension Inclination Lateral rotation
Clavicle	Jug, Acro, Trunk coordinate system	Trunk	YXZ	Sterno-costo-clavicular	Retraction/Protraction Elevation/Depression
Arm	Acro, CouM, CouL	Trunk	ZXY	Shoulder	Flexion/Extension Abduction/Adduction Medial/Lateral Rotation
Forearm	CouM, CouL, PoiR, PoiU	Arm	ZXY	Elbow	Flexion/Extension Pronation/Supination
Hand	PoiR, PoiU, MCP2, MCP5	Forearm	ZXY	Wrist	Flexion/Extension Radial/Ulnar Deviation

For each segment, the coordinate system is defined as follows: the x-axis corresponds to the anteroposterior axis pointing forwards, the y-axis corresponds to the vertical axis pointing upwards, and the z-axis corresponds to the medio-lateral axis pointing to the right of the subject when he/she is in the anatomical reference position.

1
2
3 In addition to the subject's posture, the 3D orientation of the smartphone in relation to
4 the face was calculated. As with the calculation of joint angles, a local coordinate
5 system attached to the smartphone was defined from the five markers placed on the
6 resin device (the construction was identical to that shown in Table 1). Then, the
7 rotation matrix between the head and the smartphone was computed and the relative
8 angles in each plan were derived using the same rotation sequence as for the head.
9 Finally, the distance between the centre of the smartphone screen and the centre of
10 the eyes was the last parameter considered. All these parameters represent the
11 dependent variables. To complete the biomechanical analysis, the Rapid Upper Limb
12 Assessment (RULA) was performed on the mean posture of each experimental
13 position. To study the upper limb joint coupling during the achievement of the task
14 (TEXT), the pick-up and drop-off phase of the telephone have not been considered.
15 Then, only the interaction phase corresponding to texting was analysed. Light
16 conditions were fixed. Ambient illumination (800 lux) of the laboratory was measured
17 with a lux meter (Luxmeter BF06 from Trotec company). Subjects were asked to
18 adjust the light on their phones to maximum. Repeated analysis of variance (ANOVA)
19 was performed to test the SIDE (left versus right upper limb) and POS (ST, STW,
20 STA) effect on all dependent variables. Tukey post-hoc test was conducted to identify
21 the significant differences. The level of significance was set at $p < 0.05$ (Statistica
22 7.1, Statsoft, Tulsa, OK, USA).

51 III. Results

52
53
54 The average time to send a message was 40.5 ± 10.4 s and the mean distance
55 between the face and the smartphone was 363.6 ± 58.0 mm. Moreover, an average
56 angle of 20.4 ± 9.9 ° between the face and the smartphone was observed in the
57
58
59
60

sagittal plane. For these parameters, no significant effect of position was found ($p>0.05$; Table 2).

Table 2: distance and orientation head/smartphone (mean±SD) measured for each experimental condition.

	ST	SWT	STA	p-value, ANOVA
Duration (s)	41.7±12.9	40.0±10.3	39.7±8.2	P=0.67 ; NS
Distance face-smartphone (mm)	379.7±70.3	350.6±58.6	360.4±42.8	p=0.13 ; NS
Smartphone orientation (°)				
Sagittal plane	-20.4±10.7	-20.4±8.3	-20.5±11.3	p=0.99 ; NS
Horizontal plane	-2.5±2.9	-3.2±3.3	-4.1±2.9	p=0.06 ; NS
Frontal plane	2.8±3.9	3.2±3.7	2.8±3.9	p=0.79 ; NS

Table 3: Neck and trunk angle values in degrees (mean±SD) measured for each experimental condition.

		ST	SWT	STA	p-value, ANOVA
Neck	Flexion(-)/Extension(+)	-13.6±8.7	-27.0±6.8*	-35.2±6.4* ^e	p<0.001
	Inclination left(-), right(+)	-0.1±3.3	-1.3±4.2	-0.8±6.9	p=0.71 ; NS
	Rotation left(+), right(-)	-1.5±3.2	-0.1±3.2	-1.3±3.1	p=0.28 ; NS
Trunk	Flexion(-)/Extension(+)	-13.0±7.3	-7.8±9.0	-2.3±4.7*	p<0.01
	Inclination left(-), right(+)	0.9±2.3	0.6±2.1	-0.4±2.5	p=0.18 ; NS
	Rotation left(+), right(-)	-4.0±4.2	-5.3±4.9	-2.6±8.7	p=0.48 ; NS

** indicates significant differences from ST condition. 'e' indicates significant differences from SWT condition.

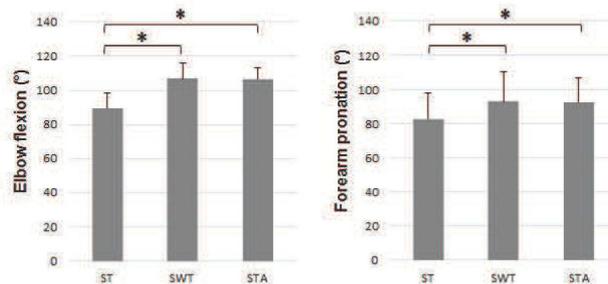


Fig. 3: Elbow flexion and forearm pronation across the three experimental conditions. Error bars indicate 1- standard deviation. ** indicates significant differences ($p<0.05$).

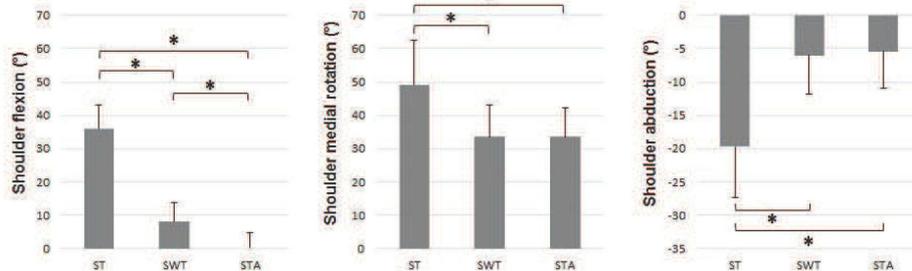


Fig. 4: Shoulder angles across the three experimental conditions. Error bars indicate 1- standard deviation. “*” indicates significant differences ($p < 0.05$). Shoulder abduction values are negative due to the ISB recommendations (Wu *et al.* 2005).

A position effect was identified for the neck and the trunk flexion. On one hand, the highest value of the neck flexion was computed in STA condition and it significantly decreased respectively in SWT and ST conditions (Table 3). On the other hand, trunk flexion was significantly lower in the standing position (STA) than in both sitting conditions (no difference between ST and SWT). The inclinations and rotations of the axial skeleton measured under the three experimental conditions were not statistically different. ($p > 0.05$).

An effect of the experimental position was also observed for all the upper limb degrees of freedom. Especially, the joint angle values of the clavicle and shoulder were higher while the values of the elbow and wrist were lower in ST condition in comparison to SWT and STA conditions (Table 4, Fig. 2 and Fig. 3). Concerning the shoulder flexion, significant differences were found between the three postural conditions (Fig. 3) with the lowest values found for the standing condition.

A side effect was evidenced only for the radio-ulnar deviation of the wrist. The right wrist was on average more ulnar deviated than the left one ($5.6 \pm 5.9^\circ$ vs $1.3 \pm 7.5^\circ$) regardless of the conditions. In addition, an interaction effect was observed for the

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60

clavicle elevation and the elbow flexion. Joint angle values were higher for the elbow flexion and lower for the clavicle elevation for the right side only in ST condition.

Finally, the RULA score has been computed for each experimental condition considering separately the left and right upper limb. No difference was evidenced: all scores were rated at 3 (Table 4).

For Peer Review Only

IV. Discussion

The aim of this work was to quantify the angular parameters of the axial skeleton and upper limbs as well as the distance and 3D orientation between the head and the smartphone during a representative daily living task (texting) and their incidence on the risk of developing MSDs. Three experimental positions were analysed based on literature and observations of daily routines (Choi *et al.* 2016, Skierkowski and Wood 2012, Text-Request 2016).

Firstly, results showed that the experimental positions affected the joint angles of the axial skeleton, especially the flexions in the sagittal plane. In presence of the table support, the neck appears to be twice less flexed than in the absence of support and three times less flexed than in the standing position. Among the three studied positions, the standing position presented the largest neck flexion. From an ergonomic approach, a large cervical spine flexion was associated to an important load of the neck muscles and related to recurrent neck pain when using smartphone (Berolo *et al.* 2011, Han and Shin 2019, Kim 2015, Namwongsa *et al.* 2018). This result is consistent with previous works that suggested that support may reduce the risk of musculoskeletal disorders (Bachynskiy 2015, Syamala 2018). On the opposite, the larger trunk flexion was observed for the ST condition. Few or no differences between sitting without table and standing were highlighted. These results confirm the importance of the presence of a support as it changes the subject's posture between two sitting positions (ST vs SWT) more than when changing from sitting (SWT) to standing (STA).

One of the interesting results of this study concerns the smartphone parameters. Indeed, the distance and orientation between the head and the phone do not seem to be affected by the different experimental conditions. It would therefore explain that

1
2
3 subjects organize their overall posture in order to have both these two parameters
4
5 constant regardless of the position adopted.
6

7
8 Consistent with our observations, this general biomechanical organization of the
9
10 upper body could be modelled by two distinct kinematic chains. Indeed, a subject
11
12 who holds an object in his/her hand can act in two ways to vary the distance between
13
14 his/her eyes: either he/she mobilizes his head, with the help of the trunk if necessary,
15
16 or he/she puts more load on the joints of the upper limb, mainly the shoulder and the
17
18 elbow joints. The axial skeleton would form the first kinematic chain and the upper
19
20 limb the second. These two chains would interact together to place the subject in the
21
22 desired posture when he/she interacts with his/her smartphone. However, the results
23
24 of this study suggest that these two kinematic chains would interact differently
25
26 depending on the experimental position. Therefore, there would be postural
27
28 strategies depending on the position of the subjects. Indeed, in the sitting position
29
30 facing a table, the subjects adjusted their posture in order to lean on the support.
31
32 This implies an increased flexion of the trunk combined with a slight flexion of the
33
34 head ($<15^\circ$). In parallel, the shoulder and elbow joint angles had the highest values.
35
36 This would be explained by the advance of the arms towards the support. In this
37
38 configuration, the phone was close to the chin level. On the other hand, in the
39
40 standing position, trunk flexion disappeared, and the angles of the shoulder were
41
42 close to the joint neutral. The phone was then lower at chest level, with the elbows
43
44 more flexed. To be able to look at the screen properly and compensate the absence
45
46 of trunk flexion, subjects significantly increased their neck flexion.
47
48
49
50
51
52
53
54

55 From an ergonomic point of view, RULA scores of 3 computed in the different
56
57 positions. It therefore appears initially that these three conditions of use present the
58
59 same level of risk of the appearance of MSDs, considered low according to the RULA
60

1
2
3 table (McAtamney and Corlett 1993). However, this identical score would refer to
4
5 different joint loads. Indeed, an increased participation of the upper limbs associated
6
7 with trunk flexion and lower neck flexion for the ST condition were found whereas a
8
9 strong involvement of the cervical joint was evidenced for the two others (SWT and
10
11 STA conditions). This difference could explain the different painful regions reported in
12
13 the literature, which are mainly distributed between the cervical and lumbar spine or
14
15 the shoulder region in relation to the condition of use (Kim and Kim 2015, Kim 2015,
16
17 Shan *et al.* 2013). Regarding the cervical spine, as mentioned above, MSDs were
18
19 associated with large flexions due to the high muscle load of the extensor muscles.
20
21 Concerning the shoulder area, studies have shown that when the upper limb was not
22
23 supported, the muscular activities of the flexor muscles such as the deltoid muscle
24
25 are significantly strained (Bachynskyi 2015, Young 2013). Then, the unsupported
26
27 sitting and the standing conditions, which seemed relatively close in terms of posture,
28
29 should be avoided in order to prevent neck MSDs. It could be envisaged to raise the
30
31 screen towards the head but because of the synergy between the two kinematic
32
33 chains, this would generate an increased solicitation of the muscles of the upper limb
34
35 which could increase the risks of discomfort, pain and even the appearance of
36
37 disorders. Although the joint angles of the shoulder were more important in the
38
39 supported sitting condition, its presence allows the upper limbs to be supported,
40
41 which should lead to lower muscle loads. The presence of a support should therefore
42
43 be favoured. However, the characteristics of the support are still to be defined. In
44
45 other conditions of use, such as sitting on a sofa for example, one of the postures
46
47 adopted may be to lean on the thighs. One of the consequences could be to
48
49 generate significant flexion, especially in the neck area. Thus, more in-depth studies
50
51 are necessary to propose recommendations when using smartphones.
52
53
54
55
56
57
58
59
60

1
2
3 Some limitations are to be considered. First, a considerable dispersion of certain
4 dependent variables was observed, such as wrist joint angles or smartphone-related
5 parameters. This disparity could be explained by the fact that for a given position,
6 subjects would behave differently and use different postural strategies as shown in a
7 recent study (Merbah *et al.* 2020). This result would be in line with those observed
8 when making a puzzle on a touch screen (Jacquier-Bret *et al.* 2017). In fact, it has
9 been shown that several articular strategies were observed in the upper limb to
10 complete the same puzzle. Further work involving a larger number of subjects would
11 therefore be necessary to investigate the different strategies adopted by the subjects
12 in a given position, taking into consideration other important parameters such as the
13 smartphone's grip (Gold *et al.* 2012, Yoon *et al.* 2020) or its model. The second
14 limitation is related to the short duration of the task. Indeed, sending a text message
15 took on average 40 seconds, which is not necessarily representative of the general
16 use of a smartphone that exceeds three hours of daily use (Appannie 2019). Under
17 these conditions, the posture adopted by the subjects was relatively static and any
18 postural adjustments did not occur. Future work including this notion of duration with
19 longer tasks would be relevant to highlight possible changes in posture during the
20 execution. These postural adjustments could then reflect the appearance of
21 discomfort that the subject would try to compensate for by changing his/her posture.
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49

50 **V. Conclusion**

51
52
53 This study analyses the involvement of the axial skeleton and upper limbs while
54 texting and the associated risk level of developing MSDs. The results showed that
55 these two parts are considered as separate kinematic chains that work together
56 during interaction with a smartphone. The organization of these two kinematic chains
57
58
59
60

1
2
3 depends on the position of the subject and the availability of the support. However,
4
5 regardless of the experimental position, a synergy seems to be set up to keep a
6
7 constant distance and orientation of the head from the smartphone. On the other
8
9 hand, the interaction of a smartphone seems expose the user to risks of developing
10
11 MSDs and the regions concerned would depend on the conditions of use, in
12
13 particular considering the presence of support for upper limbs. More prospective
14
15 studies are needed, in particular during longer interactions, to understand the overall
16
17 implications of the ever-increasing use of smartphones in daily life.
18
19
20
21
22
23
24

25 **Acknowledgment**

26
27
28 This work was financially supported by a grant from Toulon University, France.
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60

References

- Appannie (2019) The State of Mobile in 2020: How to Win on Mobile.
- Asakawa, D.S., Becker, M.G., Asaro, J.M., Hein, J.L., 2019. Shoulder, elbow, and wrist joint angle excursions vary by gesture during touchscreen interaction. 102377.
- Bachynskyi, M.P., Gregorio; Oulasvirta, Antti; Steimle, Jürgen; Weinkauff, Tino, 2015. Performance and Ergonomics of Touch Surfaces: A Comparative Study using Biomechanical Simulation. *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '15*, 2015, 1817-1826.
- Berolo, S., Wells, R.P., Amick, B.C., 2011. Musculoskeletal symptoms among mobile hand-held device users and their relationship to device use: A preliminary study in a Canadian university population. 42 (2), 371-378.
- Choi, J.-H., Jung, M.-H., Yoo, K.-T., 2016. An analysis of the activity and muscle fatigue of the muscles around the neck under the three most frequent postures while using a smartphone. 28 (5), 1660-1664.
- Deloitte (2016) Usages Mobiles - Les Français et le smartphone en 2016 : une relation fusionnelle.
- Dennerlein, J.T., 2015. The state of ergonomics for mobile computing technology. 52 (2), 269-277.
- Ericsson (2018) Ericsson mobility report november 2018. Vol. 2018.
- Gold, J.E., Driban, J.B., Thomas, N., Chakravarty, T., Channell, V., Komaroff, E., 2012. Postures, typing strategies, and gender differences in mobile device usage: An observational study. 43 (2), 408-412.
- Gustafsson, E., 2012. Ergonomic recommendations when texting on mobile phones. 41 Suppl 1, 5705-5706.
- Han, H., Shin, G., 2019. Head flexion angle when web-browsing and texting using a smartphone while walking. 81, 102884.
- IDC (2019), Vol. 2019.
- Jacquier-Bret, J., Gorce, P., Genaro Motti, L., Vigouroux, N., 2017. Biomechanical analysis of upper limb during the use of touch screen: motion strategies identification. 60 (3), 358-365.
- Kietrys, D.M., Gerg, M.J., Dropkin, J., Gold, J.E., 2015. Mobile input device type, texting style and screen size influence upper extremity and trapezius muscle activity, and cervical posture while texting. 50, 98-104.
- Kim, H.-J., Kim, J.-S., 2015. The relationship between smartphone use and subjective musculoskeletal symptoms and university students. 27 (3), 575-579.
- Kim, J.H., Aulck, L.S., Thamsuwan, O., Bartha, M.C., Harper, C.A., Johnson, P.W., 2013. The Effects of Touch Screen Virtual Keyboard Key Sizes on Typing Performance, Typing Biomechanics and Muscle Activity. In: V.G. Duffy, eds. *Digital Human Modeling and Applications in Health, Safety, Ergonomics, and Risk Management. Human Body Modeling and Ergonomics*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 239-244.
- Kim, M.-S., 2015. Influence of neck pain on cervical movement in the sagittal plane during smartphone use. 27 (1), 15-17.
- Lai, C.-C., Wu, C.-F., 2014. Display and device size effects on the usability of mini-notebooks (netbooks)/ultraportables as small form-factor Mobile PCs. 45 (4), 1106-1115.
- Lee, S.K., Hwayeong; Shin, Gwanseob, 2015. Head flexion angle while using a smartphone. 58 (2), 220-226.
- McAtamney, L., Corlett, N.E., 1993. RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. 24 (2), 91-99.
- Merbah, J., Gorce, P., Jacquier-Bret, J., 2020. Interaction with a smartphone under different task and environmental conditions: Emergence of users' postural strategies. 77, 102956.
- Namwongsa, S., Puntumetakul, R., Neubert, M.S., Chaiklieng, S., Boucaut, R., 2018. Ergonomic risk assessment of smartphone users using the Rapid Upper Limb Assessment (RULA) tool. *PLoS one*, 13 (8), e0203394.

- 1
2
3
4 Namwongsa, S., Puntumetakul, R., Swangnetr Neubert, M., Boucaut, R., 2019. Effect of Neck Flexion
5 Angles on Neck Muscle Activity among Smartphone Users With and Without Neck Pain.
6 *Ergonomics*, 1-26.
7
8 Oehl, M., Sutter, C., Ziefle, M. (2007) Considerations on efficient touch interfaces: how display size
9 influences the performance in an applied pointing task. In *Proceedings of the 2007*
10 *conference on Human interface: Part I*. Springer-Verlag, Beijing, China.
11
12 Park, Y.S., Han, S.H., 2010. One-handed thumb interaction of mobile devices from the input accuracy
13 perspective. 40 (6), 746-756.
14
15 Šenk, M., Chèze, L., 2006. Rotation sequence as an important factor in shoulder kinematics. 21, S3-
16 S8.
17
18 Shan, Z., Deng, G., Li, J., Li, Y., Zhang, Y., Zhao, Q., 2013. Correlational Analysis of neck/shoulder Pain
19 and Low Back Pain with the Use of Digital Products, Physical Activity and Psychological Status
20 among Adolescents in Shanghai. 8 (10), e78109.
21
22 Skierkowski, D., Wood, R.M., 2012. To text or not to text? The importance of text messaging among
23 college-aged youth. 28 (2), 744-756.
24
25 Syamala, K.R.A., Ravi Charan; Kim, Jeong Ho; Hwang, Jaejin, 2018. Armrests and back support
26 reduced biomechanical loading in the neck and upper extremities during mobile phone use.
27 73, 48-54.
28
29 Szucs, K.A., Cicuto, K., Rakow, M., 2018. A comparison of upper body and limb postures across
30 technology and handheld device use in college students. 30 (10), 8.
31
32 Text-Request (2016) 107 Texting Statistics That Answer All Your Questions. Vol. 2019.
33
34 Tolani, D., Goswami, A., Badler, N.I., 2000. Real-time inverse kinematics techniques for
35 anthropomorphic limbs. *Graphical models*, 62 (5), 353-388.
36
37 Wagner, J., Huot, S., Mackay, W. (2012) BiTouch and BiPad: designing bimanual interaction for hand-
38 held tablets. In *CHI 12- Proceedings of the SIGCHI 30th International Conference on Human*
39 *Factors in Computing Systems*. ACM, Austin, Texas, USA.
40
41 Wang, X., Maurin, M., Mazet, F., Maia, N.D.C., Voinot, K., Verriest, J.P., Fayet, M., 1998. Three-
42 dimensional modelling of the motion range of axial rotation of the upper arm. 31 (10), 899-
43 908.
44
45 Wobbrock, J.O., Myers, B.A., Aung, H.H., 2008. The performance of hand postures in front- and back-
46 of-device interaction for mobile computing. 66 (12), 857-875.
47
48 World Medical, A., 2013. World Medical Association Declaration of Helsinki: Ethical Principles for
49 Medical Research Involving Human Subjects. 310 (20), 2191-2194.
50
51 Wu, G., van der Helm, F.C., Veeger, H.E., Makhsous, M., Van Roy, P., Anglin, C., Nagels, J., Karduna,
52 A.R., McQuade, K., Wang, X., Werner, F.W., Buchholz, B., 2005. ISB recommendation on
53 definitions of joint coordinate systems of various joints for the reporting of human joint
54 motion--Part II: shoulder, elbow, wrist and hand. *Journal of biomechanics*, 38 (5), 981-992.
55
56 Xie, Y., Szeto, G., Dai, J., 2017. Prevalence and risk factors associated with musculoskeletal complaints
57 among users of mobile handheld devices: A systematic review. 59, 132-142.
58
59 Yoon, W., Choi, S., Han, H., Shin, G., 2020. Neck Muscular Load When Using a Smartphone While
60 Sitting, Standing, and Walking. *Human factors*, 18720820904237.
61
62 Young, J.G.M., Trudeau; Dan, Odell; Kim, Marinelli; T, Dennerlein Jack, 2012. Touch-screen tablet
63 user configurations and case-supported tilt affect head and neck flexion angles. *Work*, (1),
64 81-91.
65
66 Young, J.G.T., Matthieu B.; Marinelli, Kim; Odell, Dan; Dennerlein, Jack T., 2013. Wrist and shoulder
67 posture and muscle activity during touch-screen tablet use: Effects of usage configuration,
68 tablet type, and interacting hand. (1), 59-71.

Article V : Proposition d'un indice biomécanique reliant la tête et le tronc afin de caractériser la posture des utilisateurs de smartphone lors de l'envoi d'un message en position assise et debout.

Toward a simple postural index of a biomechanical interaction evaluation while using a smartphone

Johan Merbah, Julien Jacquier-Bret, Philippe Gorce.

Article soumis dans

Gait & Posture

III.6.1. Synthèse de l'article V « Toward a simple postural index of a biomechanical interaction evaluation while using a smartphone »

L'étude décrite ici a été conçue pour quantifier, par un indice biomécanique simple (I_{BI}), l'implication du tronc, du cou et de la tête lors de l'utilisation d'un smartphone. L'objectif affiché est de quantifier la posture d'un point de vue biomécanique au moyen d'un indice basé sur les variables articulaires ainsi que d'utiliser une partie (pour les régions articulaires concernées) de la table ergonomique RULA afin de donner des recommandations dans le but de prévenir les TMS et de contribuer au confort des utilisateurs(trices). Dans ce cadre, douze sujets ($21,6 \pm 5,5$ ans) ont effectué deux tâches (envoi de SMS et navigation sur le web) dans trois positions expérimentales : assis avec support, assis sans support et debout (sans aucun support). Une analyse répétée de la variance (ANOVA) a été effectuée pour tester l'effet de la POSITION (ST, STW, STA) et de la TÂCHE (sms et navigation internet) sur toutes les variables dépendantes. La posture globale de la tête est due à une répartition, selon la position expérimentale, de l'action du tronc et du cou. Chaque position expérimentale a conduit à une organisation différente des paramètres de flexion du cou et flexion du tronc. Il apparaît que les paramètres de rotation et d'inclinaison ne semblent pas être affectés par les différentes conditions expérimentales. La position assise avec une table (support) semble avoir incité les sujets à effectuer une plus grande flexion du tronc que dans les positions « assis sans support » et « debout sans support ». En revanche, la flexion du cou semble être plus sollicitée en position assise sans support et encore davantage en position

debout. La distance entre la tête et le téléphone était constante pour toutes les modalités. Ce point est essentiel pour comprendre ce qui semble induire de telles adaptations posturales. En effet, il semblerait que la réalisation de la tâche d'interaction soit la contrainte principale à laquelle les sujets répondent en mettant au point des stratégies impliquant plus ou moins les flexions du tronc et du cou. Afin de limiter l'apparition de blessures ou de douleurs, l'utilisation d'un support pour réduire le stress articulaire au niveau du cou semble primordial. Enfin, pour caractériser simplement la posture et l'implication de chaque partie du squelette axial, un index biomécanique (I_{BI}) est proposé :

- En position ST : Tête=1/2 tronc+1/2 cou, noté $I_{BI}(ST)=1/2$; $RULA_{local} = 2.8$;
- En position SWT : Tête = 1/5 tronc + 4/5 cou, noté $I_{BI}(SWT)=1/5$; $RULA_{local} = 3.8$;
- En position STA : Tête = 1/12 tronc + 11/12 cou, noté $I_{BI}(STA)=1/12$; $RULA_{local}= 4.1$.

Gait & Posture

Toward a simple postural index of a biomechanical interaction evaluation while using a smartphone --Manuscript Draft--

Manuscript Number:	
Article Type:	Full Length Article
Keywords:	Biomechanical index; Ergonomic recommendation; Posture; Musculoskeletal disorders; Smartphone interaction
Corresponding Author:	johan MERBAH, Ph.D. student Universite de Toulon FRANCE
First Author:	Johan MERBAH, Ph.D. student
Order of Authors:	Johan MERBAH, Ph.D. student JACQUIER-BRET Julien, PhD GORCE Philippe, PhD
Abstract:	<p>Nowadays, touchscreen technology is developing more and more. Due to the democratization and the diversification of smartphone functionalities, people interact every day for several hours with touch interfaces. The study presented here focused on the angular organization of the trunk, the neck and the head during interaction phases under different posture modalities while using a smartphone. Two tasks (texting and web browsing) were performed sitting with support, sitting without support and standing (without any support). The conclusions showed that the overall position of the head is due to a distribution, depending on the posture, of the action of the trunk and neck. Each experimental position led to a different organization of the three parameters. The sitting posture with a table seems to have induced subjects to perform a greater bending of the trunk than in the unsupported sitting and standing posture. On the other hand, neck flexion seems to be more stressed in a sitting posture without a table (support) and even more so in a standing posture. The head-to-smartphone distance was constant for all modalities. These results having been compared to the RULA ergonomic table, recommendations are proposed for the use of mobile phones to prevent MSDs. Using a support to reduce neck stress or avoiding the use of the smartphone in standing position without any support seems to be the main recommendations. Finally, in order to simply characterize the posture and involvement of each axial skeletal portion, a biomechanical index is proposed.</p>

Highlights

Toward a simple postural index of a biomechanical interaction evaluation while using a smartphone

MERBAH Johan, JACQUIER-BRET Julien, GORCE Philippe

Université de Toulon, CS60584-83041 TOULON CEDEX 9

Highlights

- Quantification of the trunk, the neck and the head orientations;
- Setting up an invariant: head-smartphone distance;
- Creation of an index (I_B) for posture objectivation;
- Ergonomic recommendations.

Keywords: *Biomechanical index, Ergonomic recommendation, Posture, Musculoskeletal disorders, smartphone interaction.*

Title Page (with Author Details)

**Toward a simple postural index of a biomechanical interaction
evaluation while using a smartphone**

MERBAH Johan^{a*}

JACQUIER-BRET Julien^{a,b}

GORCE Philippe^{a,b}

Affiliation:

^aUniversity of Toulon, France

^bAUCTUS, INRIA, University of Bordeaux Sud-Ouest, France

*Corresponding author:

Johan Merbah

Université de Toulon, CS60584-83041 TOULON CEDEX 9

E-mail: merbah@univ-tln.fr or johan.merbah@gmail.com

Tel: +33 6 23 90 22 50

Abstract

1
2 Nowadays, touchscreen technology is developing more and more. Due to the
3
4 democratization and the diversification of smartphone functionalities, people interact
5
6 every day for several hours with touch interfaces. The study presented here focused
7
8 on the angular organization of the trunk, the neck and the head during interaction
9
10 phases under different posture modalities while using a smartphone. Two tasks
11
12 (texting and web browsing) were performed sitting with support, sitting without support
13
14 and standing (without any support). The conclusions showed that the overall position
15
16 of the head is due to a distribution, depending on the posture, of the action of the trunk
17
18 and neck. Each experimental position led to a different organization of the three
19
20 parameters. The sitting posture with a table seems to have induced subjects to perform
21
22 a greater bending of the trunk than in the unsupported sitting and standing posture. On
23
24 the other hand, neck flexion seems to be more stressed in a sitting posture without a
25
26 table (support) and even more so in a standing posture. The head-to-smartphone
27
28 distance was constant for all modalities. These results having been compared to the
29
30 RULA ergonomic table, recommendations are proposed for the use of mobile phones
31
32 to prevent MSDs. Using a support to reduce neck stress or avoiding the use of the
33
34 smartphone in standing position without any support seems to be the main
35
36 recommendations. Finally, in order to simply characterize the posture and involvement
37
38 of each axial skeletal portion, a biomechanical index is proposed.

39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49 **Keywords:** *Biomechanical index, Ergonomic recommendation, Posture,*
50
51 *Musculoskeletal disorders, smartphone interaction.*
52
53
54
55
56
57
58
59
60

1. INTRODUCTION

1
2 In 2016, 77% of the French population had a smartphone according to Deloitte [1]. The
3
4 time spent on those devices is increasing constantly. 2.2 hours per day were spent on
5
6 their smartphones by French people aged 16 to 30 [2]. In 2014, the Tecmark survey
7
8 institute even mentioned the number of 221 daily tasks performed on this touch
9
10 interface (based on 2,000 English users) [3]. The time and the high frequency devoted
11
12 to a task are, with positions described as uncomfortable due to excessively extreme
13
14 joint positions, the most commonly reported biomechanical risk factors for
15
16 Musculoskeletal disorders (MSDs) [4]. These symptoms are "all disorders resulting
17
18 from the accumulation of microtrauma, i.e. injuries caused by mechanical stress and
19
20 affecting one or more parts of the upper limb (hands, wrists, elbows and shoulders), or
21
22 the neck" [5]. To minimize these stressful situations for the human body, many studies
23
24 have tried to determine which angular positions are the least constraining, each
25
26 focusing on a joint or a degree of freedom, such as the relative discomfort of forearm
27
28 pronation during a 90° shoulder abduction [6]. Synthesis of these localized studies led
29
30 to standards to be respected, in particular those acknowledged by the international
31
32 organization for standardization, ISO 11226 on the evaluation of static work postures.
33
34 However, in recent years, the human machine interaction (HMI) has seen the rapid
35
36 development of a new form of interaction, with the use of multiple tactile interfaces.
37
38 Many questions were then raised. For instance, what could be the postural differences
39
40 adopted by the subjects between the interaction with traditional tools (such as the
41
42 keyboard) and the new touch screen? [7].
43
44
45
46
47
48
49
50
51

52
53 In an attempt to better understand this new human-touchscreen interaction, preliminary
54
55 and/or observational studies have focused on describing users' postures [8-10].
56
57 Positions deviating from the joint neutral are seen, mainly in the flexion of the neck, the
58
59
60

1 flexion of the trunk in a sitting position, or the flexion of the wrist, which can be risk
2 factors for MSDs. In addition to this uncomfortable aspect of the position, there is the
3 repetitive aspect of the task, which leads to the hypothesis of a direct relationship
4 between intensive mobile phone use and MSDs of the upper limbs and neck [8].
5
6 However, these results remain qualitative, based on observations and not on figures.
7
8 Angular values are available in the scientific literature in HMI, but mainly on tablets.
9
10 For example, a neck flexion of 50° to 55° is observed when interacting with a tablet
11
12 [11]. In general, the available values are most of the time related to measurements
13
14 located on a single joint and therefore do not reflect the general behavior of the user.
15
16 On the other hand, these data are taken from tablet tasks, there is no implication that
17
18 the measured behaviors are identical on smartphones. Finally, while the tactile
19
20 interface leads to a change in behavior, particularly in the joint positions taken during
21
22 the task [7], it does not lead to a unification of the pipes. This is illustrated in the article
23
24 by Bachynskyi and collaborators which highlights the diversity of postures taken by
25
26 individuals when using a smartphone [10]. In particular, they showed that in a seated
27
28 position, subjects prefer a single or two-handed grip mode, with differences mainly
29
30 related to the inclination of the trunk or the smartphone-face distance. In addition, it
31
32 appeared that the effect of light could impact the posture and the comfort felt by people
33
34 [12].
35
36

37
38 Consequently, there is a real interest in quantitatively characterizing the postures taken
39
40 by individuals when using their smartphones to compare them to these comfort zones
41
42 mentioned above and give more weight to the observations made so far.
43
44

45
46 The study described here was therefore designed to quantify, through a simple
47
48 biomechanical index, the trunk, the neck and the head involvement while using a
49
50

smartphone. The aim was also to compare biomechanical figures to ergonomics table and giving recommendations to prevent MSDs and help user's comfort.

2. Method

2.1. Participants

Twelve healthy subjects voluntarily took part to the experience (21.6±5.5 years old; five females: 19.6 ±3.0 years old and seven males: 23.0±6.6 years old). Three are left-handed and nine are right-handed and have a good or corrected vision and no pathology. Each subject was informed of the complete contents of the protocol and gave their written consent before taking part. The experimental procedure was in agreement with the Helsinki declaration and was approved by the local ethics committee [13].

2.2. Task

Each subject performed two different interaction tasks with their own smartphone. The first task consisted in writing the following text message (TEXT): "*on se retrouve devant la gare à 20h00.*" and sending it to an experimenter. The second consisted to achieve a web browsing (BROW): the subject had to go on its web navigator and research train schedule on the official French rail company (SNCF). Then they had to scroll to the last train of the page and to announce it out loud.

Subjects were in 3 different experimental positions: seated with table (ST), seated without table (or any other support) (SWT) and standing (STA). The sequence of the posture and task has been randomly made for each subject to avoid learning effect. Each trial was reproduced three times with 2 minutes resting. The smartphone was straight in front of the subject in the condition ST and on a support on the side (right

side) in the two other conditions (SWT, STA). To minimize the effect of markers on the smartphone we have positioned a set of technical markers on a custom-made, lightweight resin device, glued to the smartphone that does not interfere with the task to achieve.

2.3. Data recording

Ten reflective markers were placed on the head, trunk, and right and left upper acromion of the subject (figure 1). Markers were positioned on bony anatomical landmarks identified by palpation, in agreements with the International Society of Biomechanics recommendations [14].

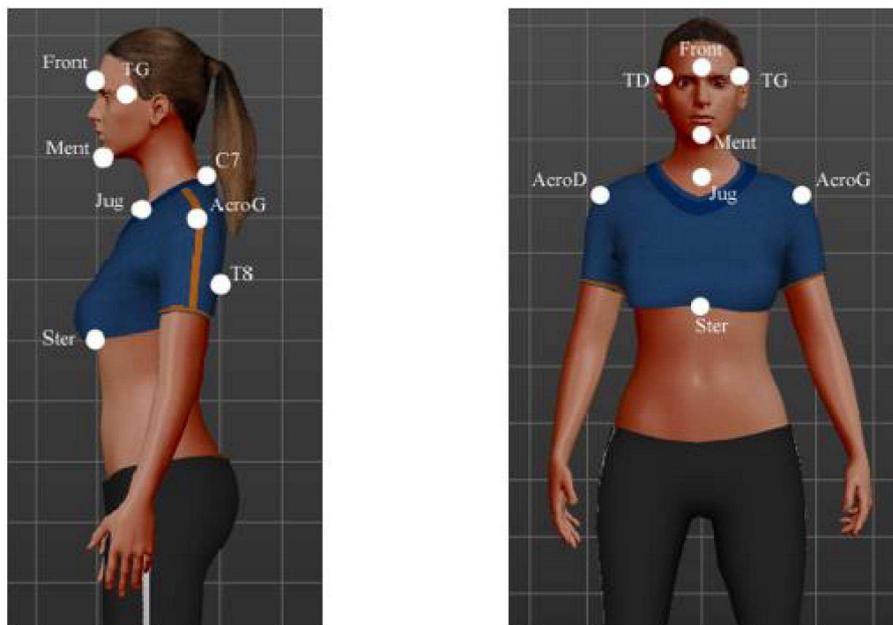


Figure 1: illustration of marker positioning; Markers were positioned on bony anatomical landmarks identified by palpation, in agreements with the International Society of Biomechanics recommendations (Wu et al. 2005).

To perform the motion analysis, the trajectories of the reflective markers were recorded using an optoelectronic system with 8 Oqus 400 cameras (Qualisys AB, Gothenburg, Sweden) at a sampling rate of 200 Hz. From the 3D markers trajectories, the local

coordinate systems of the trunk and the head were calculated following ISB instructions [14].

2.4. Data processing and statistical analysis

Relative trunk, neck and absolute head joint angles (9 degrees of freedom, DOF) were computed as well as the distance (DIST) between the head and the smartphone (Matlab, The Mathworks, Inc., Natick, MA). All these parameters were considered as dependent variables. To study the axial skeleton coordination during the achievement of the tasks (TEXT or BROW), the pick-up and drop-off phase of the telephone have not been considered. Then, only the interaction phase corresponding to texting and/or web browsing was analyzed. Light conditions were fixed. Ambient illumination (800 lux) of the laboratory was measured with a lux meter (Luxmeter BF06 from Trotec company). Subjects were asked to adjust the light on their phones to maximum. After checking normality and sphericity of the data, a repeated analysis of variance (ANOVA) was performed to test the effect of POSTURE (ST, STW, STA) and the TASK (TEXT and BROW) on all dependent variables. The level of significance was set at $p < 0.05$ (Statistica 7.1, Statsoft, Tulsa, OK, USA). The RULA table was then used to evaluate the ergonomics of the subjects' posture under the various experimental conditions.

3. Results

Based on ISB recommendations [15, 14], flexions, right rotations and left inclinations are negative. All dependent variable values were presented in table1.

Table 1: Mean±SD of joints angles and distance for all experimental conditions

		ST		SWT		STA	
		TEXT	BROW	TEXT	BROW	TEXT	BROW
Trunk (°)	FE	-13.0±7.3	-15.0±6.2	-7.8±9.0*	-5.3±6.5*	-2.3±4.7*£	-2.2±4.0*
	Incl	0.9±2.3	1.1±2.7	0.6±2.1	0.3±2.4	-0.4±2.5	-0.4±2.6
	AR	-4.0±4.2	-3.4±4.7	-5.3±4.9	-3.7±6.0	-2.6±8.7	-2.4±9.0
Neck (°)	FE	-13.6±8.7	-9.3±9.4	-27.0±6.8*	-25.9±4.2*	-35.2±6.4*£	-33.1±5.9*£
	Incl	-0.1±3.3	0.9±3.6	-1.3±4.3	0.1±4.9	-0.8±6.9	-0.2±5.1
	AR	-1.5±3.2	-1.0±2.9	-0.1±3.2	-0.2±1.9	-1.3±3.1	-0.8±2.3
Head (°)	FE	-26.6±10.0	-24.3±10.3	-34.8±6.8*	-31.2±7.1*	-37.5±9.2*£	-35.4±8.8*£
	Incl	0.8±3.1	2.1±4.1	-0.7±3.1	0.4±3.6	-1.2±5.6	-0.6±4.1
	AR	-5.5±4.7	-4.4±4.4	-5.4±6.1	-3.9±6.0	-3.9±6.9	-3.2±8.3
Head-Smartphone (mm)	DIST	379.7±70.3	385.9±84.8	350.6±58.6	353.6±41.2	360.4±42.8	371.2±46.9

FE =Flexion/Extension, Inc =Inclination, AR =Axial Rotation, * =Significant difference with ST condition, £ = Significant difference with SWT condition

Firstly, statistical analysis ($F_{(2, 22)} = 0.2$, $p > 0.05$) highlighted that the experimental conditions did not affect the distance between the head and the phone (336.9 ± 58.9 mm across conditions).

About the joint angles, no effect was seen on rotations and inclinations (neck and trunk). Concerning the flexion of the trunk, an effect of the posture whatever the task performed (TEXT or BROW) was observed ($F_{(2, 22)} = 17.8$, $p < 0.05$). The highest values ($-14.0 \pm 6.7^\circ$) were calculated in the ST position. The lowest values were observed in the other two posture conditions SWT ($-6.5 \pm 7.8^\circ$) and STA ($-2.3 \pm 4.4^\circ$) (SWT and STA are not significantly different).

The statistical analysis showed a POSTURE x TASK interaction ($F_{(2, 22)} = 3.69$, $p < 0.05$). Regarding TEXT, the trunk flexion differed for the three postures (-13.0 ± 7.3 , -7.8 ± 9.0 , and -2.2 ± 4.0 for ST, SWT and STA respectively). During BROW task, the angle of the trunk flexion in ST is higher than the two other postures. No difference was reported between SWT and STA.

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60

Regarding neck flexion, an effect of posture for all tasks was observed ($F_{(2, 22)} = 82.4$, $p < 0.05$). The neck flexion values increase respectively for postures ST ($-11.4 \pm 9.1^\circ$), SWT ($-26.5 \pm 5.5^\circ$), et STA ($-34.1 \pm 6.1^\circ$). An effect of the task whatever the posture was also observed ($F_{(1, 11)} = 12.4$, $p < 0.05$). A higher bending during the MESSAGE task ($-25.3 \pm 11.5^\circ$) was found compared to the NAVIGATION task ($-22.7 \pm 12.1^\circ$). Finally, there is no POSTURE x TASK interaction effect.

an effect of the head bending parameters has been found ($F_{(2, 22)} = 13.1$, $p < 0.05$). The lowest values ($-25.5 \pm 10.0^\circ$) were reported in the ST position. The highest values were observed in the other two posture conditions SWT ($-33.0 \pm 7.0^\circ$) and STA ($-36.5 \pm 8.9^\circ$) (SWT and STA are not significantly different).

A task effect was seen on the flexion of the head ($F_{(1, 11)} = 12.6$, $p < 0.05$). The lowest bending was detected during the BROW task (BROW: $-30.3 \pm 9.7^\circ$ vs. TEXT: $-33.0 \pm 9.7^\circ$). No POSTURE x TASK interaction effect was observed.

Form the analysis of the axial skeleton joint angles, a link between the neck and the trunk in the sagittal plane was highlighted. The head resulting from the combination of the angles of the trunk and the neck, to know the share of one is sufficient in the qualification of the global posture. The trunk being expressed in relation to the global landmark, its contribution was presented though out a new index called "Index of Biomechanical Interaction": **I_{BI}**

For each posture, we examined the involvement of each of the bending angles of the trunk and neck in the final orientation of the head.

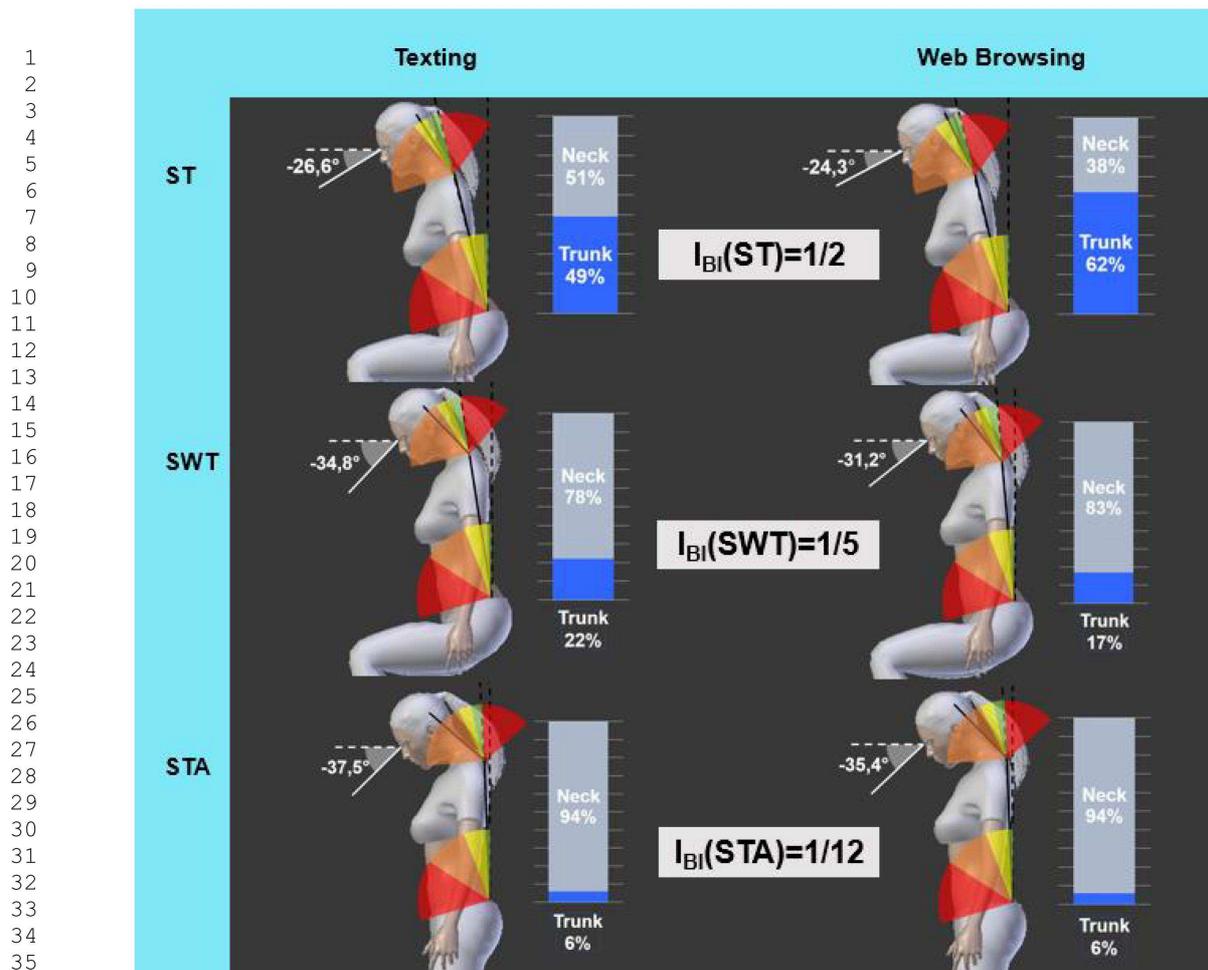


Figure 2: Representation of the I_{BI} according to the tasks and postures. Orientations of the trunk, neck and head in the sagittal plane. Illustration of the RULA ergonomic table [16] (McAtamney and Nigel Corlett 1993).

In order to link the biomechanical results to the associated risks of musculoskeletal disorders, joint angle data were analyzed with the RULA ergonomic table (score 1-2: Negligible risk, no action required; 3-4: Low risk, change may be needed; 5-6: Medium risk, further investigation, change soon; 6+: Very high risk, implement change now).

No condition allowed a score <2. The RULA lowest scores were TEXT (2.8) and BROW (2.9) in sitting position with table. The scores for TEXT and BROW (3.8) in a sitting position without table were still in the yellow zone “low risk, change may be needed”.

Then while BROW in a standing position had a score of 4.0 (at the limit of the RULA

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60

3rd zone), TEXT in a standing position exceeds the score of 4,(4.2) and thus represents" Medium risk, further investigation, change soon" [16].

4. Discussion

The aim of this work was to study the angles of the trunk, the neck and then orientation of the head while using a smartphone. Three postures conditions (seated with table (ST), seated without table (SWT), and standing (STA)) and two tasks (texting (TEXT) and web browsing (BROW)) were considered in this study. This work focused here on the orientation in the space of the axial skeleton. Based on the results described above, the analysis was focused on movements in the sagittal plane. Indeed, the differences in the parameters from the other planes were not significant. Thus, the overall posture of the axial skeleton and the share of neck and trunk movement in the overall posture were evaluated. A fixed distance between the smartphone and the head ($366.9\pm 58.9\text{mm}$) regardless of posture and task conditions was also defined.

It would seem that the presence of an available support pushes the subjects to use it, which results in an advancement of the trunk towards the support (ST) whereas in postures without support, the subject straightens the trunk and thus compensates for this "lack" of inclination by a more important flexion of the neck. This helps to keep the head at a fixed distance from the phone.

The question then turned to the influence that a change of the experimental positions could or could not have, as Young and collaborators suggested in their work. Comparisons of the positions "Sitting with support" vs. "Sitting without support" and "Standing" vs. "Sitting without support" led to significant differences, illustrated by the variation in the angular behavior of individuals. Thus, moving from a sitting to standing position results in a significant decrease of trunk flexion in favor of an increase of neck

1 flexion (bringing the average joint position for this DOF beyond the comfort zone
2 (based on RULA table). This result is in accordance with the values that can be found
3 in the literature in the HMI theme, and therefore leads to an increased risk of MSDs
4 occurring for this DOF [11]. "Text-neck", new expression used to describe pain in the
5 neck while texting, has received more public attention recently due to the growing use
6 of mobile devices. Smartphone users typically hold the device using one or two hands
7 below their eye height, look down at the device and type or touch the touch-screen
8 display mostly using the thumb [9]. They tend to maintain the head forward flexion
9 posture even with the existence of pain symptoms or discomfort on the neck [8]. It also
10 has been suggested that the prolonged and/or frequent use of the smartphone with the
11 severe head flexion posture could be one of main contributing factors to the prevalence
12 of neck pain symptoms of smartphone users. This kind of behavior was observed in
13 this study with a strong flexion of the neck, especially without support (SWT and STA).
14 It exists a relationship between different biomechanical parameters and the occurrence
15 of MSDs, including joint positions described as uncomfortable. Already in 1997, a
16 significant relationship between this factor and the occurrence of MSDs was found in
17 the neck and shoulder regions [17]. The goal was to quantify these postures to
18 determine if workstations needed to be reviewed to limit the occurrence of MSDs. It is
19 within this framework that many ergonomic grids have been developed that attempt to
20 quantify workers' posture, such as the RULA or LUBA grids for example [16, 18].
21 Regarding the comfort zones, it appeared that neck flexion was the most impacted
22 parameter. Indeed, the maximum bending of the trunk appeared for tasks performed
23 in the ST position. The posture in which subjects have had a trunk flexion close to the
24 lowest risk position was the STA position. However, this induced compensation via
25 neck flexion. A more moderate neck flexion was observed during the ST posture, while
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60

SWT and especially STA postures showed a more significant neck flexion. These flexions were located in sensitive areas according to the RULA table. For all the experimental conditions the RULA score was up to 2. This indicates that the postures are not ergonomic and may eventually lead to MSDs, in accordance with the recent findings on this topic [19]. Moreover, results suggest that supports are better for the upper limbs (sitting with a table for example). It is essential to make smartphone users aware that their postures are not sustainable and that a change in the use of smartphones or even in their design seems to be a priority.

The study highlights that regardless of the task performed, a fixed angular contribution of the trunk and neck, depending on the experimental position conditions, qualifies the subject's overall posture. Indeed, whether during texting or during web browsing, only changes in experimental position influenced the strategies implemented by the subjects. A standing position without additional support induces a very important participation of the neck while a sitting position with support for the upper limbs puts equal demands on the neck and trunk.

This fixed angular distribution is formalized through a biomechanical index defined as follow:

-In ST position: Head=1/2 trunk+1/2 neck, noted $I_{BI}(ST)=1/2$;

-In SWT position: Head=1/5 trunk+4/5 neck, noted $I_{BI}(SWT)=1/5$;

-In the STA position: Head=1/12 trunk+11/12 neck, noted $I_{BI}(STA)=1/12$.

However, all strategies imply a conservation of a constant distance between the head and the smartphone which suggests an adaptation to the presence or not of a support and a likely compensation at the level of the upper limbs.

5. Conclusion

1
2 All these results lead to make several hypotheses. First, subjects would have a
3
4 privileged distance to use the smartphone regardless of the posture or task to be
5
6 performed. This fixed distance would therefore become an invariant that allows us to
7
8 objectify the use of the smartphone. The proportion of the angle of the trunk and neck
9
10 for the total orientation of the head seems to depend on the posture. The orientation
11
12 of the head is induced by the contribution of the orientation of the trunk and neck.
13
14 Therefore, the I_{BI} index was proposed to qualify the part of the trunk, and indeed of the
15
16 neck, in the overall orientation of the head for each experimental posture:
17
18

- 19 - I_{BI} when sitting with a table = $1/2$;
- 20
- 21 - I_{BI} when sitting without table = $1/5$;
- 22
- 23 - I_{BI} when standing = $1/12$.
- 24
- 25
- 26
- 27
- 28

29 It seems obvious that for the head-smartphone distance to remain fixed while the
30
31 angulations of the trunk and neck fluctuate (i.e. the I_{BI} Index), the upper limbs have
32
33 their share of responsibility in the final orientation of the mobile phone. Further works
34
35 would be necessary to define the upper limbs joint motion in the final orientation of the
36
37 phone.
38
39
40
41
42

Acknowledgment

43
44 This work was financially supported by a grant from Toulon University, France.
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60

6. References

- 1 [1] Deloitte, 2016. *Usages mobiles - les français et le smartphone en 2016 : Une relation fusionnelle*
2 [online]. [https://www2.deloitte.com/fr/fr/pages/technology-media-and-](https://www2.deloitte.com/fr/fr/pages/technology-media-and-telecommunications/articles/usages-mobiles-2016.html)
3 telecommunications/articles/usages-mobiles-2016.html [Accessed Access Date
- 4 [2] TNS-Sofres, 2015. *Les millennials passent un jour par semaine sur leur smartphone* [online].
5 [https://www.tns-sofres.com/publications/les-millennials-passent-un-jour-par-semaine-sur-](https://www.tns-sofres.com/publications/les-millennials-passent-un-jour-par-semaine-sur-leur-smartphone)
6 [leur-smartphone](https://www.tns-sofres.com/publications/les-millennials-passent-un-jour-par-semaine-sur-leur-smartphone) [Accessed Access Date
- 7 [3] Tecmark, 2014. *Tecmark survey institute*.
- 8 [4] da Costa BR & Vieira ER. Risk factors for work-related musculoskeletal disorders: A systematic
9 review of recent longitudinal studies. 2009.
- 10 [5] Coutarel F, 2004. La prévention des troubles musculo-squelettiques en conception: Quelles
11 marges de manœuvre pour le déploiement de l'activité?
- 12 [6] Mukhopadhyay P, O'Sullivan L & Gallwey TJ. Estimating upper limb discomfort level due to
13 intermittent isometric pronation torque with various combinations of elbow angles, forearm
14 rotation angles, force and frequency with upper arm at 90° abduction. 2007;37(4):313-325.
- 15 [7] Davis K, Hammer M, Kotowski S & Bhattacharya A. An ergonomic comparison of data entry
16 work using a keyboard vs.Touch screen input device while standing and sitting. 2015;s4.
- 17 [8] Berolo S, Wells RP & Amick BC. Musculoskeletal symptoms among mobile hand-held device
18 users and their relationship to device use: A preliminary study in a canadian university
19 population. 2011;42(2):371-378.
- 20 [9] Gold JE, Driban JB, Thomas N, Chakravarty T, Channell V & Komaroff E. Postures, typing
21 strategies, and gender differences in mobile device usage: An observational study.
22 2012;43(2):408-412.
- 23 [10] Bachynskiy M, Palmas G, Oulasvirta A, Steimle J & Weinkauff T, Year. Performance and
24 ergonomics of touch surfaces: A comparative study using biomechanical simulation. ^eds.
25 *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems -*
26 *CHI '15* ACM Press, 1817-1826.
- 27 [11] Young JG, Matthieu T, Dan O, Kim M & T DJ. Touch-screen tablet user configurations and case-
28 supported tilt affect head and neck flexion angles. *Work* 2012;(1):81–91.
- 29 [12] Na N & Suk H-J. Adaptive luminance contrast for enhancing reading performance and visual
30 comfort on smartphone displays. 2014;53(11):113102.
- 31 [13] World Medical A. World medical association declaration of helsinki: Ethical principles for
32 medical research involving human subjects. 2013;310(20):2191-2194.
- 33 [14] Wu G, van der Helm FC, Veeger HE, Makhsous M, Van Roy P, Anglin C, Nagels J, Karduna AR,
34 McQuade K, Wang X, Werner FW & Buchholz B. Isb recommendation on definitions of joint
35 coordinate systems of various joints for the reporting of human joint motion--part ii: Shoulder,
36 elbow, wrist and hand. *Journal of biomechanics* 2005;38(5):981-992.
- 37 [15] Wu G, Siegler S, Allard P, Kirtley C, Leardini A, Rosenbaum D, Whittle M, D'Lima DD, Cristofolini
38 L, Witte H, Schmid O & Stokes I. Isb recommendation on definitions of joint coordinate system
39 of various joints for the reporting of human joint motion—part i: Ankle, hip, and spine.
40 2002;35(4):543-548.
- 41 [16] McAtamney L & Nigel Corlett E. Rula: A survey method for the investigation of work-related
42 upper limb disorders. 1993;24(2):91-99.
- 43 [17] Bernard B, Putz Anderson V, Burt S, Cole L & Fairfield-Estill C, 1997. *Musculoskeletal disorders*
44 *and workplace factors: A critical review of epidemiologic evidence for work-related*
45 *musculoskeletal disorders of the neck, upper extremity, and low back*: NIOSH.
- 46 [18] Kee D & Karwowski W. Luba: An assessment technique for postural loading on the upper body
47 based on joint motion discomfort and maximum holding time. 2001;32(4):357-366.
- 48 [19] Namwongsa S, Puntumetakul R, Neubert MS, Chaiklieng S & Boucaut R. Ergonomic risk
49 assessment of smartphone users using the rapid upper limb assessment (rula) tool.
50 2018;13(8):e0203394.
- 51
- 52
- 53
- 54
- 55
- 56
- 57
- 58
- 59
- 60
- 61

Article VI : Revue de littérature à propos des effets de la lumière sur les postures adoptées par les utilisateurs d'interfaces tactiles.

Light effects on posture while using a touchscreen device: a systematic review

Johan Merbah, Philippe Gorce, Julien Jacquier-Bret.

Article soumis dans

Work

III.7.1. Synthèse de l'article VI « Light effects on posture while using a touchscreen device: a systematic review »

L'objectif de l'étude est de rechercher et de synthétiser la littérature scientifique concernant les effets de la lumière sur la posture lors de l'utilisation d'un écran tactile tel que le smartphone et les troubles musculosquelettiques associés. Les bases de données PubMed, GoogleScholar et ScienceDirect ont été utilisées pour mener à bien cette recherche. La sélection d'articles a été limitée aux 30 dernières années (1990-2020). La mise en place de mots clefs a été limitée en utilisant les termes (lumière OU éclairage OU luminosité OU éclairage) ET (impact OU effet) ET (inconfort OU posture OU ajustements posturaux) ET (smartphone OU ordinateur OU écran tactile). 853 articles ont été identifiés. Après une utilisation stricte des critères d'exclusion, 12 articles ont été sélectionnés. Il apparaît que l'effet de la lumière sur la posture n'est pas un sujet pour lequel on trouve beaucoup de littérature. Les liens entre la lumière et la posture sont la plupart du temps indirects. Il semble important de quantifier et d'objectiver l'utilisation de l'écran tactile et la posture dans différentes conditions de lumière. Les risques liés à l'utilisation des smartphones (inconfort et troubles musculosquelettiques) existent et il est nécessaire de mettre en place davantage de projets de recherche afin d'avoir une meilleure compréhension du comportement humain lors de l'interaction avec un écran tactile.

**Light effects on posture while using a touchscreen device, a
systematic review**

MERBAH Johan^{a*}

GORCE Philippe^a

JACQUIER-BRET Julien^a

Affiliation:

^aHandiBio University of Toulon, France

*Corresponding author:

Johan Merbah

Université de Toulon, CS60584-83041 TOULON CEDEX 9

E-mail: merbah@univ-tln.fr or johan.merbah@gmail.com

Tel: +33 6 23 90 22 50

BACKGROUND: The visual conditions, while using touchscreen (smartphones, digital tablets, computers, industrial billboards) are constantly changing depending on display brightness, ambient lighting (inside or outside), orientation of the light on the screen, visual disturbance, task at hand and position conditions (sitting, standing, walking). **OBJECTIVE:** To research and to summarize the literature regarding the effects of light on posture while using a display (smartphone for example) and associated musculoskeletal disorders. **METHODS:** The databases used were *PubMed*, *GoogleScholar* and *ScienceDirect*. This research was limited to the past 30 years (1990-2020). The search was restricted using the terms (light OR illumination OR brightness OR lighting) AND (impact OR effect) AND (discomfort OR posture OR postural adjustments) AND (smartphone OR computer OR touchscreen). **RESULTS:** 853 articles were identified. After a strict use of exclusion criteria, 12 articles were selected. **CONCLUSIONS:** Effect of light on posture is not a subject for which we find much literature. The links between light and posture are most of the time indirect. It seems important to quantify and objectify touchscreen use and posture under different light conditions. The risks linked with smartphone use (discomfort and musculoskeletal disorders) exist and it is necessary to create more research to have a better understanding of human behaviour while interacting with a touchscreen.

Keywords: light, illumination, lighting, brightness, posture, discomfort, touchscreen, smartphone, computer.

I. INTRODUCTION

As it was done in the 90's on ergonomics and the understanding of biomechanics in the workplace, it is important to immerse ourselves today in the study of the effects of human-touchscreen device interaction. The theme of the human-machine interface (HMI) began and has developed due to interaction with computers. In a professional context, working with this equipment meant that the same posture had to be maintained over long periods of time. The stated aim was therefore to adapt the equipment to users, to promote the positions taken by these people and thus limit the occurrence of pathologies, a source of physical suffering and decreasing the individual's productivity [1]. The so called "musculoskeletal disorders" (MSDs), concerning the human computer interaction, were defined as "all disorders resulting from the accumulation of microtrauma, i.e. injuries caused by mechanical stress and affecting one or more parts of the upper limb (hands, wrists, elbows and shoulders), or the neck" [2]. These pathologies are therefore complex phenomena and have multiple origins. Among the latter, the most commonly reported biomechanical risk factors for MSDs are: the repetitive nature of the task, joint stresses when handling heavy loads, and positions described as uncomfortable due to excessively extreme joint positions [3, 4]. As a result of the desire to improve posture comfort, many studies have tried to determine which angular positions are the least constraining, each focusing on a joint or a degree of freedom, such as the relative discomfort of forearm pronation during a 90° shoulder abduction [5]. The synthesis of these localized studies led to standards to be respected, in particular ISO 11226 on the evaluation of static work postures [6]. Ergonomic grids for evaluating postures such as RULA or LUBA have also been created [7, 8]. Finally, so-called comfort zones were defined by Louis in his thesis [9]. Based on all these data, software has been

developed to evaluate the workstation according to its user and gives recommendations on possible improvements to the worker's environment, such as SONEX for example [10]. In the workplace, interaction with the computer is therefore relatively well defined. However, in recent years, the HMI has seen the rapid development of a new form of interaction, with the use of multiple tactile interfaces. Many questions were then raised. This involves, especially, in the professional context, comparing the postures adopted by subjects between the interaction with traditional tools (such as the keyboard) and the new touch screen [11] But the novelty comes above all from the fact that interaction with touch screens now occupies a preponderant place in the daily life. Indeed, in 2016, 77% of French people had a smartphone according to Deloitte, and that number keeps growing [12]. This touchscreen interface has thus surpassed the traditional mobile phone, and is gradually becoming the norm, an essential object shared by all. To this democratization of the object it also seems essential to mention the time of use of the device. Thus, 2.2 hours per day were spent on their smartphones by French people aged 16 to 30 [13]. In 2014, the Tecmark survey institute even mentions the number of 221 daily tasks performed on this touch interface (based on 2,000 English users) [14]. This time is distributed throughout the day, and therefore involves using the smartphone in various environments, such as home, transport, work, etc... All these conditions can lead to various postures, more or less adapted, whether they are standing or sitting. Initially raised in the workplace, the problem of extreme joint positions is also developing in the use of touchscreen devices in everyday life.

In an attempt to better understand this new human touchscreen interaction, preliminary and/or observational studies have focused on describing users' postures [15-17]. Positions deviating from the joint neutral are observed, mainly in the flexion

of the neck, the flexion of the trunk in a sitting position, or the flexion of the wrist, which can be risk factors for MSDs [18-20]. In addition to this uncomfortable aspect of the position, there is the repetitive aspect of the task, which leads to the hypothesis of a direct relationship between intensive mobile phone use and MSDs of the upper limbs and neck [15]. Finally, while the tactile interface leads to a change in behaviour, particularly in the joint positions taken during the task [11], no consensus seems to be emerging. This is illustrated in the article by Bachynskyi and collaborators which highlights the diversity of postures taken by individuals when using a smartphone [17]. In particular, they showed that in a seated position, subjects prefer a single or two-handed grip mode, with differences mainly related to the inclination of the trunk or the smartphone-face distance. In addition, they realized that the effect of light could impact the posture and the comfort felt by people [21].

The mobile aspect of new technologies limits the user to interacting in a wide range of light conditions. Therefore, new concepts appear as “readability” of touchscreen devices. This readability on a mobile LCD can be improved by dynamically adapting the display’s intensity to the ambient illumination. A study was performed to investigate how fast to adapt the display’s intensity when switching between bright and dark environments, so that people have good readability, and do not perceive display flicker [22]. Therefore, this leads us to look in the scientific literature to see how light could have an impact on people based on several parameters such as posture and discomfort. All this research takes little account of the effects of light (the environmental light and the brightness of the device). Literature on this subject is scarce and scattered. We try here to summarize research on the effects of light on postural adjustment and/or discomfort for touchscreen users (tablets, smartphones).

II. METHOD

A systematic review based on the methods described by Arksey and O'Malley [23] and Levac [24] and the PRISMA method [25, 26] was conducted. The focus was made on the posture adopted by users depending on the ambient lighting and touchscreen brightness. The five steps method and the PRISMA method were applied as follows:

- Step 1: Identify the research question.

In our case, this research question was formulated as: **“What are the effects of light on the posture while using a touchscreen?”**

- Step 2: identification of relevant studies.

This step consists of formulating the inclusion and exclusion criteria for the different studies. The inclusion criteria were as follows:

- studies on the effects of environmental illuminance and/ or displays luminance;
- studies linking light and posture during a task to be performed;
- population: all ages, all genders;
- articles in indexed and impacted journals;
- articles written in English.

After research on **ScienceDirect** we identified keywords: **light, touchscreen display, smartphone, posture, luminance, illuminance, discomfort.**

A search on Titles, Keywords and Summaries was then carried out on the **PUBMED, SCHOLAR** and **SCIENCE DIRECT** databases, limited to the last thirty years, i.e. 1990-2020. Thus, the search was carried out using the following request:

(light OR illumination OR lighting OR brightness) AND (impact OR effect) AND (posture OR postural adjustment OR discomfort) AND (smartphone OR touchscreen OR computer)

This gave us a large number of search results. We have therefore set up exclusion criteria such as:

- titles that do not match a combination of our search words;
- articles that do not place the use of display in the method;
- articles focusing more on the eye and the specific characteristics of this organ;
- article focusing on neurological aspects.
- Step3: article sorting

Based on the results of the queries made on the 3 databases, we have sorted the titles and abstracts based on the inclusion and exclusion criteria mentioned above. Whenever this seemed insufficient, we read the entire article in order to make a good evaluation and thus to be sure of our inclusion or exclusion

- Step4: sorting by categories

We then identified the following categories in order to classify our articles:

- light and discomfort;
- light and posture.
- Step5: analysis

From the previous results, it is then possible to realize:

- a **descriptive analysis** showing the type of population, the purpose of the studies (way to perform a task, prevention, comfort);
- a **thematic analysis** to explain the different points where the light variation will have an impact. This topic-based analysis provides an overview of the state of knowledge and identifies potential gaps and studies that may be required to fully answer the research question.

Figure 1: Flow chart following PRISMA method.

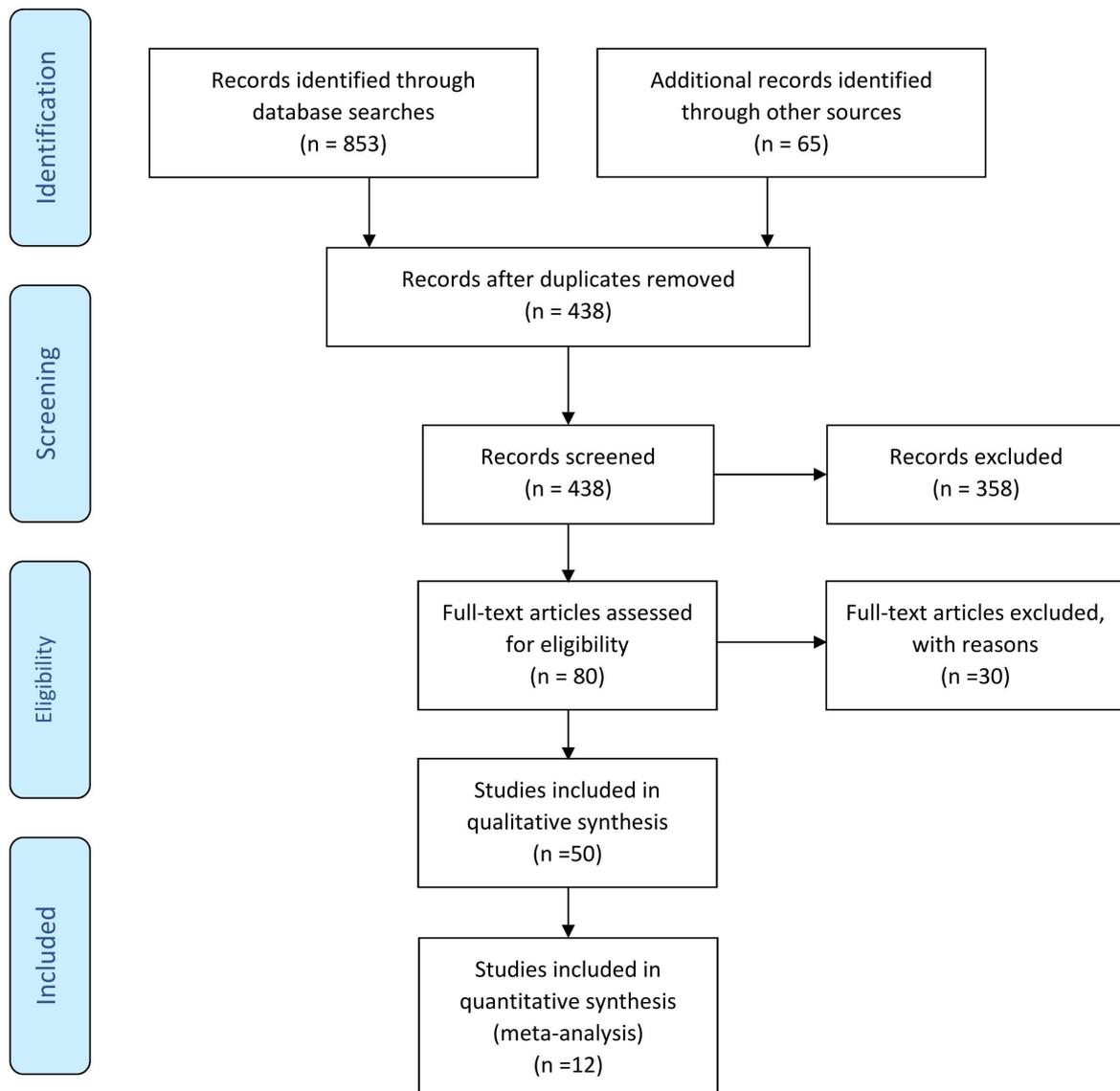


Table 1: Effect of light on posture, musculoskeletal disorders and comfort/discomfort.

Author	Study aim	Participants	Parameters	Description
[27]	Symptoms associated with reading from a smartphone versus hardcopy in conditions of light and dark.	n= 54 Age 23.7+/- 2.6 years (19–35 years)	Score obtained by qualitative questionnaire based on 10 questions coded by a scale. This score is the "Symptom score"	Prolonged smartphone reading could cause worse symptoms than reading from a hardcopy under similar light conditions. Symptoms could be even worse when reading from a smartphone in the dark versus photopic conditions.
[28]	Optimal text style for the specific display and for applications where colour coding has to be strictly followed because it is regulated by laws or internal practices.	n=15 Age 26.01 +/- 5.32 (17-36).	Tests with 4 different conditions. Obtained two kinds of data: the quantitative values of completion time and error rate, and the qualitative votes of subjects(comfort/discomfort).	Readability turned out to be quicker on the optical see-through device. For the video see-through device, background affects readability only in case of text without billboard.
[29]	Effect of different glare conditions eye movements when reading on a computer screen.	n=16 Age 24.4 years, +/- 2.4 (women);	3 texts to read under 3 conditions. Data are extracted from a Tobii T120 eye tracker. Direct and indirect glare increased the fixation durations significantly (p < 0.05).	Even moderate glare conditions can have an impact on reading. The results show that it is important to follow recommendations of lighting design in computer work environment in order to avoid disability glare. Glare can be responsible for the occurrence of MSDs.
[30]	Literature review: Computer vision syndrome (CVS).	Relevant literature on CVS published in the past 65 years was analysed		The main environmental factors associated with CVS are lighting conditions in the workplace.

Author	Study aim	Participants	Parameters	Description
[31]	To enhance the efficiency, brightness, and contrast of light-emitting (LE) devices during the day, displays often generate substantial short-wavelength (blue-enriched) light emissions that can adversely affect sleep.	n=3 (devices) iPad Air, iPhone 5s, Kindle Paperwhite 1st generation) data from International Data Corporation (IDC) and Canaccord Genuity	Spectral Profile comparing identical text on all three devices. Discomfort.	Light-emitting (LE) devices tested were all bright and characterized by short-wavelength enriched emissions. This type of light is likely to cause the most disruption to sleep.
[32]	Discomfort glare produced by the high-brightness LED billboards in relation to four factors: flicker frequency, panel luminance, viewing angular sub-tense, and ambient illuminance.	n=6 (3 male/3 female) Age 22.34 +/-3.88 n=6(3 male/3 female) Age 43.50 +/-2.66 n=16(8 male/8 female) Age 21.06 +/-34 n=81(44 male/37 female) Age 21.60 +/-1.41 total used in the study 109	With the 1.6 m width of the LED panel, the 5 m viewing distance was chosen to correspond to the angular sub-tense of about 9°. The de Boer rating scale is used to evaluate visual comfort. Comparisons of flicker frequency, luminance, and viewing angle, flicker comfort rating and overall display comfort rating.	Flicker frequency, luminance, and viewing angular sub-tense are key factors that affect flicker glare and visual comfort of LED billboard displays.
[33]	To evaluate the effects of ambient light conditions, strong light conditions and dark conditions while using a smartphone on postures adopted by people.	n=12 (7 male/5 female) Age 21.6±5.5	Smartphone parameters and trunk and upper limb parameters from the 3D kinematic were studied. From the angles in sagittal plan, RULA method was used to qualify the postures.	A difference in contrast between environmental light and screen brightness leads to harmful postures taken by people. Under all conditions, the use of the smartphone seems to cause pain and discomfort.

Author	Study aim	Participants	Parameters	Description
[34]	Investigate how direct glare affects symptom development, muscle activity, and muscle blood flow in m. orbicularis oculi and m. trapezius while reading on a computer screen.	n=15 (healthy students) 12 women and 3 men, Age 21, range 19 to 25 years old.	The symptoms were recorded by using questionnaires with 100mm Visual Analogue Scales (VAS). Postural angles were measured using three dual axis inclinometers connected to the physiometer.	Direct glare conditions cause increased eyestrain and orbicularis oculi contraction during reading on a computer screen. Glares seem to affect trapezius muscle.
[21]	Model for setting the adaptive luminance contrast between text and background for enhancing reading performance and visual comfort on smartphone displays.	n=50 24 women and 26 men, Age=23.18 +/-1.99 years.	Mean reading speed and visual comfort for the seven stimuli. Adaptive luminance contrast: gradual decrease between text and background as time passes. Mean ratio of high beta rhythm, reading speed, and visual comfort.	Examine the optimal luminance contrast for comfortable and efficient smartphone use. Adaptive luminance contrast model that supports a time-dependent adaptive process of the human visual system was developed.
[35]	This study proposes expose circadian and vision performance for healthy and efficient use of smartphone displays	n=3 (smartphones) 2LCDs, 1 AMOLED	Quantified parameters measured using a spectrophotometer or illuminometer as a function of the smartphone display brightness and the distance between the smartphone display and detector under a 4700 K full-spectrum fluorescent lamp versus dark.	A method to possibly attenuate the unhealthy effects of smartphone displays was proposed and investigated by decreasing the emitting wavelength of blue LEDs in a smartphone LCD backlight and subsequently reducing the circadian effect of the display.
[36]	Through a series of human factor studies, they developed simple guidelines for these specifications including viewer preference for luminance, optimal contrast ratio and amplitude resolution under realistic conditions.	n=38 n=40 n=12 Age 18-35 y. (1/3 female 2/3 male) Normal vision total used in the study 90	Qualitative: Participant was asked to rank the varying image, contrast and other parameters in comparison to the reference image or evolution of images based on a semantic scale.	Relationship between peak luminance of a display and viewer preference. Preferred contrast ratio levels for specific peak luminance levels. Optimal amplitude resolution requirements for displays as a function of peak luminance.

Author	Study aim	Participants	Parameters	Description
[22]	Investigate how fast the display's intensity adapts when switching between bright and dark environments, with the aim that people attain good readability, and do not perceive display flicker.	n=24	During the experiment, participants were requested to look at the displayed image and set the tuning knob such that backlight flicker was just not noticeable.	Improve the ambient light control in mobile display devices.

III. Results, Analysis and Discussion

Lighting conditions are central to the concerns of the “IT workers” and have been identified as by far the most important single aspect by office workers who were asked to imagine their “ideal office workplace”. In a 2011 survey of office spaces in Germany by Union Investment Real Estate, “a desire for bright offices lit by daylight was considered the second most important factor after general well-being” [37]. In the literature review conducted by Gowrisankaran and Sheedy in 2015, it seems that the main environmental factors associated with computer vision syndrome (CVS) are “lighting conditions” [30]. To satisfy the balanced luminance requirements for offices, it is recommended that the maintained illuminance should be “at least 75 lux on walls and 50 lux on ceilings” [38]. People with eye-fatigue also seem to report more musculoskeletal symptoms [39]. Therefore, inappropriate lighting conditions such as direct glare or glare from bright surfaces seem to contribute to musculoskeletal symptoms. A poorly positioned and sub-optimal lighting system that causes glare for a worker may be sufficient to cause musculoskeletal problems, discomfort and could change screen reading or interaction patterns [39, 40, 29, 34]. The Video Electronics Standards Association (VESA) and the International Organization for Standardization (ISO) have established common guidelines for display requirements, including luminance and contrast ratio. Luminance is commonly measured in a simple and reliable way by industry. On the other hand, the contrast ratio is another challenge to be estimated. “A correct measurement of the contrast ratio requires an accurate reading of the black level, which is generally low enough that even small variations in environmental lighting or measurement technology can have a major effect” [36]. Focusing on smartphone displays, it appears that adaptive light sensors allow the phone to quickly assess the context associated with the user interface [41]. Since iPhone 4, sensors are able to evaluate the ambient light and thus adapt the

luminance of the screen. How to adjust the backlight according to changes in ambient lighting? It can be estimated from the scientific literature on the adaptation of the human eye to darkness and light and using a model based on the optimal luminance of the display in relation to the ambient luminance [21]. This has to be balanced against the fact that prolonged reading on a smartphone, especially when the brightness is not “ideal”, causes eye discomfort and other symptoms [27]. For an optimal front of screen performance, the backlight intensity should be instantaneously increased when going from a dark to a bright environment. When changing from a bright to a dark environment, the backlighting can be adjusted with a certain percentage depending on the relative slowness of the human eye's adaptation to dark light. From the point of view of power consumption, the backlighting must be reduced quickly. But this can cause visible glare when using the screen in a rapidly changing “clear-shadow” environment.

The increasing use of touch screens has prompted Oetjen and Ziefle to ask questions and thus make comparisons of visual performance according to the types of screens used. One study involves a comparison between a cathode ray tube (CRT), a liquid crystal display (LCD) and a portable LCD display. The type of screen as well as the angle between the view and the screen seem to appear as parameters that influence performance. This study shows that luminance and contrast values change with different viewing angles (anisotropy). This is most pronounced in Notebook-LCDs, followed by external LCDs and CRTs. It appears that the anisotropy of LCD screens has a negative effect on both the performance and the execution time of a task. CRTs screen seem to provide the best performance. It's when participants are working with a laptop computer that performance deteriorates the

most. When it is necessary to react quickly and accurately, the LCD screen looks less adapted. “The anisotropy of LCD-TFTs is therefore considered to be as a limiting factor deteriorating visual performance” [42].

Na and his team developed a model for setting the adaptive luminance contrast between text and background for enhancing reading performance and visual comfort on smartphone displays. The study was carried out in two experiments. In a first experiment, a user test is performed to determine the optimal luminance contrast with respect to the reading ability of the subjects. This performance is measured by a quantity of lines of text and visual comfort is assessed by self-assessment after reading. Based on these results, an ideal adaptive model was developed that reduces the luminance contrast gradually over time. In a second experiment, the test focuses on reading performance, visual comfort and physiological stress measured by an analysis of brain waves using an electroencephalogram. This confirms that the adaptive luminance contrast used in the study is perfectly adapted. The model developed “improves both readability and visual comfort while reducing the energy consumption of a smartphone” [21]. Light effects over the day influence performance and alertness. More effective criteria were found when a task is performed in the afternoon. It suggests that light modifications can be applied to improve daytime performance [43].

Meanwhile, a great effort has been made to examine the effect of luminance difference between text and background on a display. It is generally believed that higher luminance difference between text and background enhances legibility and reading speed[32]. On the contrary, some other studies claimed that excessively high luminance difference decreases visibility and visual comfort. Although the studies attempted to find the optimal luminance for reading on a display, these suggestions

lack careful consideration of the human visual system. It is relevant to change display luminance with the passage of time especially for long hours of reading on a display (Na et al., 2014). The review made by Gowrisankaran (Gowrisankaran and Sheedy, 2015) "Computer vision syndrome: A review" shows that the major factors associated with CVS can be broadly classified into the individual's visual ability and environmental factors. "Compromises in the visual abilities of the user that significantly contribute to CVS include uncorrected refractive error, binocular vision anomalies, accommodative disorders, and ocular surface or tear film abnormalities". It is clear that lighting conditions in the workplace appear to be associated with CVS. However, the role of contrasts, font and visual background should not be overlooked [44, 36, 40]. Studies provide a simple guideline for these specifications as optimal contrast ratio, user preference for luminance and amplitude resolution under realistic conditions.

Finally, the increasingly long exposure to touchscreens can cause sleep disorders [31]. It appears that decreasing the emitting wavelength of blue LEDs in a smartphone LCD backlight and subsequently reducing the circadian effect of the display [35].

Limitation

It is only a decade that smartphones have existed and have democratized the use of touchscreens. Therefore, the evidence bases are emerging. We have focused on the effect of light (screen brightness and environmental lighting) on posture adopted when using a touch screen. The inclusion criteria chosen are questionable as there are only few articles that deal directly with the topic. Data between light and posture when using a touch screen device often appear as indirect results. The research

questions do not focus on the light/posture or light/comfort ratio. Thus, choices had to be made to try not to miss this information. Indeed, such results do exist and need to be concatenated to situate the research on this topic and set up further research.

IV. Conclusion

Regarding smartphone and other touchscreen devices, it is obvious that technological changes are developing quickly. The use of a smartphone, to be connected everywhere in almost every situation, gives a phenomenal quantity of light conditions (environmental lighting and screen brightness). This summary of the research on the effect of light on discomfort, MSD hazards, and posture for touch screen users, makes it clear that the topic is insufficiently addressed, and too often indirectly. This review shows that designers and industrials have lot of data to improve touchscreen and other displays. Light effects and ability to perform a task show that depending on brightness, display luminance and illuminance, light colour and contrast a user will be more or less able to perform a task in a performing and sustainable way. It also shows the discomfort caused by too much difference between the device brightness and environmental light. The lack of contrast between the background and the objects to be displayed (photos, text...) could have the same consequences. No scientific study has shown any direct postural changes depending on evolutive brightness while using a smartphone. Therefore, in his conclusion, Gowrisankaran highlights the fact that the “increasingly common use of portable and no longer installed screens could follow the same or even worse pattern”. These changes cause discomfort, pain, musculoskeletal risks or difficulties in performing a task. Therefore, we could imagine the following hypothesis: Variations in brightness could affect posture while using a touch screen.

What seemed to be only a minor parameter at the time seems to be an unavoidable one. Indeed, light could have a direct effect on:

- devices (mobile phones, touch screens...);
- user's posture.

This supposed effect of light on biomechanical and ergonomic parameters raises this question: In what way, light, could appear as a main parameter in postural strategies when using touch screens?

Acknowledgment

This work was financially supported by a grant from Toulon University, France.

Bibliography

- [1] ISO9241-11, ,1998. Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (vdts) -- part 11: Guidance on usability.
- [2] Coutarel F, 2004. La prévention des troubles musculo-squelettiques en conception: Quelles marges de manœuvre pour le déploiement de l'activité?
- [3] da Costa BR & Vieira ER, 2009. Risk factors for work-related musculoskeletal disorders: A systematic review of recent longitudinal studies. *American Journal of Industrial Medicine*.
- [4] da Costa JT, Baptista JS & Vaz M, 2015. Incidence and prevalence of upper-limb work related musculoskeletal disorders: A systematic review. *Work*, 51 (4), 635-44.
- [5] Mukhopadhyay P, O'Sullivan L & Gallwey TJ, 2007. Estimating upper limb discomfort level due to intermittent isometric pronation torque with various combinations of elbow angles, forearm rotation angles, force and frequency with upper arm at 90° abduction. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 37 (4), 313-325.
- [6] Delleman NJ & Dul J, 2007. International standards on working postures and movements iso 11226 and en 1005-4. *Ergonomics*, 50 (11), 1809-1819.
- [7] McAtamney L & Corlett NE, 1993. Rula: A survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Applied Ergonomics*, 24 (2), 91-99.
- [8] Kee D & Karwowski W, 2001. Luba: An assessment technique for postural loading on the upper body based on joint motion discomfort and maximum holding time. *Applied Ergonomics*, 32 (4), 357-366.
- [9] Louis N, 2010. *Biomechanical analysis of handrim wheelchair propulsion : Ergonomic evaluation indexes*. Université du Sud Toulon Var.
- [10] Pavlovic-Veselinovic S, Hedge A & Veselinovic M, 2016. An ergonomic expert system for risk assessment of work-related musculo-skeletal disorders. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 53, 130-139.

-
- [11] Davis K, Hammer M, Kotowski S & Bhattacharya A, 2015. An ergonomic comparison of data entry work using a keyboard vs. Touch screen input device while standing and sitting. *Journal of Ergonomics*, s4.
- [12] Deloitte, 2016. *Usages mobiles - les français et le smartphone en 2016 : Une relation fusionnelle*. Available from: <https://www2.deloitte.com/fr/fr/pages/technology-media-and-telecommunications/articles/usages-mobiles-2016.html>.
- [13] TNS-Sofres, 2015. *Les millennials passent un jour par semaine sur leur smartphone*. Available from: <https://www.tns-sofres.com/publications/les-millennials-passent-un-jour-par-semaine-sur-leur-smartphone>.
- [14] Tecmark, 2014. *Tecmark survey institute*. Available from: <https://www.tecmark.co.uk/blog/smartphone-usage-data-uk-2014>.
- [15] Berolo S, Wells RP & Amick BC, 2011. Musculoskeletal symptoms among mobile hand-held device users and their relationship to device use: A preliminary study in a canadian university population. *Applied Ergonomics*, 42 (2), 371-378.
- [16] Gold JE, Driban JB, Thomas N, Chakravarty T, Channell V & Komaroff E, 2012. Postures, typing strategies, and gender differences in mobile device usage: An observational study. *Applied Ergonomics*, 43 (2), 408-412.
- [17] Bachynskiy M, Palmas G, Oulasvirta A, Steimle J & Weinkauff T, Year. Performance and ergonomics of touch surfaces: A comparative study using biomechanical simulation. [^]eds. *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '15* ACM Press, 1817-1826.
- [18] Cochrane ME, Tshabalala MD, Hlatswayo NC, Modipana RM, Makibelo PP, Mashale EP & Pete LC, 2019. The short-term effect of smartphone usage on the upper-back postures of university students. *Cogent Engineering*, 6 (1), 1627752.
- [19] Namwongsa S, Puntumetakul R, Swangnetr Neubert M & Boucaut R, 2019. Effect of neck flexion angles on neck muscle activity among smartphone users with and without neck pain. *Ergonomics*, 1-26.
- [20] Merbah J, Gorce P & Jacquier-Bret J, 2020. Interaction with a smartphone under different task and environmental conditions: Emergence of users' postural strategies. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 77, 102956.
- [21] Na N & Suk H-J, 2014. Adaptive luminance contrast for enhancing reading performance and visual comfort on smartphone displays. *Optical Engineering*, 53 (11), 113102.
- [22] Swinkels S, Heynderickx I, Yeates D & Essers M, 2008. 66.1: Ambient light control for mobile displays. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 39 (1), 1006.
- [23] Arksey H & O'Malley L, 2005. Scoping studies: Towards a methodological framework. *International Journal of Social Research Methodology*, 8 (1), 19-32.
- [24] Levac D, Colquhoun H & O'Brien KK, 2010. Scoping studies: Advancing the methodology. *Implementation Science*, 5 (1).
- [25] Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG & Group atP, 2009. Reprint—preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The prisma statement. *Physical Therapy*, 89 (9), 873-880.
- [26] Hutton B, Salanti G, Caldwell DM, Chaimani A, Schmid CH, Cameron C, Ioannidis JP, Straus S, Thorlund K, Jansen JP, Mulrow C, Catala-Lopez F, Gotsche PC, Dickersin K, Boutron I, Altman DG & Moher D, 2015. The prisma extension statement for reporting of systematic reviews incorporating network meta-analyses of health care interventions: Checklist and explanations. *Ann Intern Med*, 162 (11), 777-84.
- [27] Antona B, Barrio AR, Gascó A, Pinar A, González-Pérez M & Puell MC, 2018. Symptoms associated with reading from a smartphone in conditions of light and dark. *Applied Ergonomics*, 68, 12-17.
- [28] Debernardis S, Fiorentino M, Gattullo M, Monno G & Uva AE, 2014. Text readability in head-worn displays: Color and style optimization in video versus optical see-through devices. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 20 (1), 125-139.
-

- [29] Glimne S, Brautaset RL & Seimyr GÖ, 2015. The effect of glare on eye movements when reading. *Work (Reading, Mass.)*, 50 (2), 213-220.
- [30] Gowrisankaran S & Sheedy JE, 2015. Computer vision syndrome: A review. *Work (Reading, Mass.)*, 52 (2), 303-314.
- [31] Gringras P, Middleton B, Skene DJ & Revell VL, 2015. Bigger, brighter, bluer-better? Current light-emitting devices - adverse sleep properties and preventative strategies. *Frontiers in Public Health*, 3, 233.
- [32] Lin M-W, Hsieh P-H, Chang EC & Chen Y-C, 2014. Flicker-glare and visual-comfort assessments of light emitting diode billboards. *Applied Optics*, 53 (22), E61-68.
- [33] Merbah J, Gorce P & Jacquier-Bret J, 2020. Effects of environmental illumination and screen brightness settings on upper limb and axial skeleton parameters: How do users adapt postures? *Ergonomics*, 1-23.
- [34] Mork R, Bruenech JR & Thorud HMS, 2016. Effect of direct glare on orbicularis oculi and trapezius during computer reading. *Optometry and Vision Science: Official Publication of the American Academy of Optometry*, 93 (7), 738-749.
- [35] Oh JH, Yoo H, Park HK & Do YR, 2015. Analysis of circadian properties and healthy levels of blue light from smartphones at night. *Scientific Reports*, 5, 11325.
- [36] Seetzen H, Li H, Ye L, Heidrich W, Whitehead L & Ward G, 2006. 25.3: Observations of luminance, contrast and amplitude resolution of displays. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 37 (1), 1229.
- [37] Deloitte, 2011. The real estate investment management industry looking ahead. In Hendrikse, P. ed.
- [38] Thorns P, 2010. *Light and lighting - lighting of workplace*, EN12464-1:2011.
- [39] Wiholm C, Richter H, Mathiassen SE & Toomingas A, 2007. Associations between eyestrain and neck-shoulder symptoms among call-center operators. (3), 7.
- [40] Ko P, Mohapatra A, Bailey IL, Sheedy J & Rempel DM, 2014. Effect of font size and glare on computer tasks in young and older adults. *Optometry and Vision Science: Official Publication of the American Academy of Optometry*, 91 (6), 682-689.
- [41] Lane N, Miluzzo E, Lu H, Peebles D, Choudhury T & Campbell A, 2010. A survey of mobile phone sensing. *IEEE Communications Magazine*, 48 (9), 140-150.
- [42] Oetjen S & Ziefle M, 2009. A visual ergonomic evaluation of different screen types and screen technologies with respect to discrimination performance. *Applied Ergonomics*, 40 (1), 69-81.
- [43] Askaripoor T, Motamedzadeh M, Golmohammadi R, Farhadian M, Babamiri M & Samavati M, 2018. Non-image forming effects of light on brainwaves, autonomic nervous activity, fatigue, and performance. *Journal of Circadian Rhythms*, 16, 9.
- [44] Lin C-C & Huang K-C, 2006. Effects of ambient illumination and screen luminance combination on character identification performance of desktop tft-lcd monitors. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 36 (3), 211-218.

Conclusion

générale

Conclusion générale

Les travaux présentés dans cette thèse ont eu pour objectif principal de proposer des recommandations ergonomiques, issues de quantifications et d'objectivations biomécaniques précises, afin de réduire les risques d'apparition de TMS lors de l'interaction avec un smartphone dans des conditions représentatives du quotidien. Il est primordial, à l'instar de ce qui a été fait dans les années 90 en ce qui concerne les ordinateurs de bureau, d'étudier et de quantifier avec précision les conséquences de l'utilisation de plus en plus intensive des smartphones (Polanyi et al., 1997; Straker et al., 1997; Burgess-Limerick et al., 1999; Colombini and Occhipinti, 2006). En effet, cet outil qui depuis plus de dix ans occupe une place importante dans la vie de près de 3 milliards de personnes, devient un enjeu de santé publique (Statista, 2016). Le fait que cet appareil se démocratise tant dans la vie privée que dans le monde professionnel requiert une grande vigilance en termes de risques de troubles musculosquelettiques et d'apparition de gênes et/ou de douleurs dans certaines régions articulaires (Bodin *et al.*, 2019; Toh *et al.*, 2020).

Dans ce contexte, le premier chapitre (**Chapitre I**) de ce document de thèse a fait l'objet d'une analyse de la littérature. Il existe de nombreux travaux qui évaluent certains paramètres comme les variables articulaires ou encore les activations musculaires mais rarement couplés et encore moins focalisés sur l'interaction en conditions « naturelles ». D'autres points sont également abordés tels que la qualité de l'écran, la taille de l'interface, la police de caractère, les contrastes. Des liens sont

ainsi cherchés entre ces variables et des paramètres plutôt subjectifs (inconfort, douleurs) ou ciblés sur quelques muscles ou certaines articulations mais jamais sur l'ensemble de paramètres biomécaniques du haut du corps. Les articles choisis et reportés dans des tableaux de synthèse ont permis de formuler les hypothèses de recherche et d'élaborer un protocole solide, désireux de mettre en place un environnement expérimental permettant de simuler au mieux les conditions environnementales du quotidien. Une partie de cette revue de littérature a fait l'objet d'une publication (**Article VI**). Cette revue de littérature fait le point entre la lumière et les ajustements posturaux et de fait, les risques de troubles musculosquelettiques ou les phénomènes d'inconfort. Si les articles évoquant l'inconfort, les douleurs dans le cou ou les épaules, ou encore les difficultés à effectuer une tâche sont relativement nombreux, les articles quantifiant la posture en fonction de la lumière sont quasi-absents de la littérature.

Le **chapitre II** est entièrement dédié à la présentation des hypothèses de recherche ainsi qu'au cadre expérimental mis en place pour y répondre.

C'est dans ce contexte que nous avons élaboré un protocole complet et complexe. En effet, notre expérimentation tient compte de tout ce qui régit l'utilisation quotidienne d'un smartphone : la tâche effectuée, la position dans laquelle un sujet interagit avec l'écran tactile ainsi que les conditions changeantes de la lumière, que ce soit celles de l'écran ou de la lumière environnementale. Nous avons donc couplé l'analyse cinématique au moyen d'outils optoélectroniques à un design particulier de

l'environnement tant en termes de positionnement des sujets que de l'ambiance lumineuse contrôlée au sein du laboratoire.

Une attention particulière a été donnée à la présentation des différents paramètres manipulés, afin de représenter, le plus fidèlement possible, les situations rencontrées au quotidien. Ainsi, des conditions variables de luminosité environnementale et de la luminosité de l'écran ont été définies. De plus, des tâches appartenant à des interactions courantes (de la vie de tous les jours) ont été sélectionnées : l'envoi d'un message texte et une navigation internet. Enfin, les conditions de positions d'utilisation qui sont multiples au cours d'une journée, ont été recrées en laboratoire. Le design du mobilier permettait d'interagir, assis sur une chaise, assis sur une chaise avec une table à disposition en face de soi, ainsi que debout. En tout, ce sont 36 conditions expérimentales qui ont été testées. La richesse des variables analysées a permis d'étudier plusieurs aspects des interactions entre l'utilisateur(trice) et son smartphone. Ces analyses ont abouti à la publication de trois articles dans des revues internationales à comité de lecture ainsi qu'à la rédaction de trois autres articles qui ont été soumis dans des revues suivant les mêmes règles de publication.

Le premier article (**Article I**) a permis d'étudier les effets des variations lumineuses sur les adaptations posturales et sur l'ergonomie de celles-ci. Il apparait que des recommandations propres au domaine de l'IHM peuvent être adressées. La combinaison d'un éclairage extérieur dit « fort » jumelé à une luminosité faible de

l'écran du smartphone semble entraîner des adaptations posturales délétères en termes ergonomiques. Un rapport de réglage entre la luminosité de l'écran et de la lumière extérieure, permettant de diminuer les reflets et les problèmes de lisibilité des caractères, semble meilleur d'un point de vue ergonomique mais n'en demeure pas moins « à risque ». Il convient ainsi de se focaliser sur une amélioration significative, dans les prochaines années, des recommandations d'environnements lumineux optimaux. Le deuxième article (**Article II**) portait davantage sur les stratégies mises en place par des utilisateurs(trices) de smartphone. Il apparaît qu'en fonction des conditions environnementales et de la tâche effectuée, une classification ascendante hiérarchique permet de faire apparaître des groupes d'utilisateurs(trices). Chaque groupe correspond à une stratégie motrice. Ces stratégies se différencient en fonction des articulations sollicitées. Alors que certains individus privilégient une flexion du rachis cervical, d'autres vont utiliser davantage la flexion des épaules ou une abduction du complexe radio-ulnaire. La troisième étude publiée (**Article III**) met en avant un point fort de ce travail : les effets liés à la présence ou non d'un support pour les membres supérieurs. On peut extraire de cet article une chose étonnante en tant que la position assise sans support est ergonomiquement comparable à la condition de position debout. La présence d'un support est remarquable pour deux raisons majeures :

- 100% des individus utilisent la table afin de soutenir les avant-bras ou les coudes ;
- Cela permet d'avoir une flexion moindre du rachis cervical.

On observe tout de même une augmentation des flexions des épaules et des coudes mais elles sont « ergonomiquement » compensées car supportées par la table. La charge articulaire est donc moindre. La présence d'un support, que ce soit assis ou debout, semble être un élément essentiel pour rendre l'utilisation du smartphone ergonomiquement acceptable. Un quatrième article (**Article IV**) permet de quantifier l'ensemble des variables articulaires, dans les trois plans de l'espace, du squelette axial et des membres supérieurs. Ce travail étudie les effets d'une tâche de navigation internet dans trois positions expérimentales, sous un environnement lumineux et un réglage de luminosité d'écran fixes. Il apparaît tout d'abord une symétrie dans la manière d'interagir avec le smartphone. Les membres supérieurs droit et gauche ne présentent aucune différence significative en termes de recrutement angulaire. De plus, l'étude montre que 100% des sujets utilisent le smartphone à deux mains. Il semblerait que cela soit lié aux besoins spécifiques de la tâche. Celle-ci demande de la précision car l'interaction requiert une écriture sur un clavier relativement petit et une sélection de textes/cases en petits caractères. Cela serait étayé par les travaux qui prouvent que l'interaction à deux mains augmente les capacités de frappe des pouces (Trudeau, 2016; Asakawa *et al.*, 2017). Ce travail montre clairement que les positions d'utilisation ont des effets sur les adaptations posturales, surtout dans le plan sagittal. Là encore, l'étude permet de promouvoir le fait que la présence d'un support pour les membres supérieurs est une recommandation ergonomique forte. Enfin, un dernier article de données (**Article V**) à fait l'objet d'une soumission. Cette étude se focalise sur le squelette axial,

principalement dans le plan sagittal. Il est ainsi question d'étudier la part d'implication du tronc et du rachis cervical dans la posture finale adoptée par un individu en fonction de la tâche effectuée (rédaction d'un message « texto » et navigation internet) ainsi que des conditions de position (assis avec ou sans support (table), debout). Une synergie entre le tronc et le rachis cervical semble apparaître et un indice biomécanique simple a été proposé : **I_{BI}**. Cet indice permet de quantifier la part d'implication du cou et du tronc en termes de « ratio » sur l'ensemble de la posture adoptée. Un autre résultat à mettre en lien avec cette synergie est l'invariant qu'est la distance entre le visage et le smartphone. Il semble que c'est autour de cet invariant que la synergie du tronc et du cou s'organise. Ainsi une corrélation peut être effectuée entre l'indice et le risque ergonomique issu du RULA.

Ce travail trouve ses limites essentiellement dans la cohorte étudiée. En effet, seulement douze sujets ont été inclus dans les publications et il faut absolument augmenter ce nombre à l'avenir pour que les variables donnent toute leur « vérité ». De plus, les sujets sont tous relativement jeunes et il conviendrait de comparer deux types de population, jeunes et âgées comme cela a déjà été effectué, notamment concernant les interactions avec une tablette tactile (Caprani *et al.*, 2012; Ader *et al.*, 2017). Enfin, en termes de tâche, il serait pertinent d'effectuer des tâches plus longues, dans des conditions nouvelles (allongé, dans un canapé, dans un environnement mobile...), afin de faire grandir le « catalogue » d'objectivations posturales et de prévenir au mieux les risques de TMS (Park *et al.*, 2017).

En termes de méthode, une évaluation des paramètres de l'ensemble du corps pourrait être envisagée afin de sélectionner parmi toutes les variables articulaires celles qui pourraient être les plus discriminantes en termes de risque de TMS. Une utilisation conjointe et synchrone d'un système optoélectronique, de plateformes de forces et d'EMG permettrait d'objectiver les effets de l'interaction avec un smartphone sur les paramètres de marche (Cha *et al.*, 2015; Prupetkaew *et al.*, 2019). Cela permettrait également de quantifier avec précision la charge articulaire des membres supérieurs et du squelette axial (Bonney *et al.*, 2009; Louis and Gorce, 2010). Une interaction avec une tâche plus longue et une analyse temporelle normalisée permettrait de définir 1/ ce qu'est une interaction longue ; 2/ les phases qui constituent l'ensemble de l'interaction. Enfin, un travail inspiré des études de (Jacquier-Bret *et al.*, 2012; Jacquier-Bret *et al.*, 2014; Hernandez *et al.*, 2016) permettrait d'évaluer de manière plus précise les capacités de mouvement, notamment en définissant des indices de manipulabilité. En effet, en se concentrant sur les marqueurs des doigts de la main, en particulier le pouce, l'index et l'auriculaire (utilisé pour le soutien de l'appareil) lors d'interactions (Asakawa *et al.*, 2017; Gustafsson, 2018), il serait possible d'analyser les zones d'écran atteintes, les vitesses de mouvement des segments concernés et les performances d'un point de vue de l'interaction (Louis, 2010; Louis *et al.*, 2010; Trudeau, 2016). Ce travail permettrait sans doute d'améliorer la programmation des interfaces, par exemple en recentrant les touches qui sont le plus utilisées afin de limiter les mouvements des doigts et l'ergonomie des appareils. Enfin, en couplant nos indices et invariants et en

pondérant les paramètres les plus discriminants, la mise en place d'une table ergonomique, comme OREGÉ ou RULA, spécialisée dans les interactions avec un smartphone, voire avec l'ensemble des écrans tactiles, en fonction des conditions d'utilisation serait certainement un atout majeur dans la prévention des risques de troubles musculosquelettiques.

Annexe

Annexe 1

Analyse temporelle des mouvements du cou et du tronc lors de l'envoi d'un message :

Comparaison AL Brightmax *versus* SL-Brightmin pour chaque sujet

Les courbes présentées dans ce document représentent l'ensemble de la tâche effectuée lors du protocole : préhension du smartphone, envoi du sms et dépose du smartphone à son emplacement original (**Figure A1.1**). Les trois essais de chaque tâche sont moyennés et normalisés pour chaque sujet (**Figure A1.1 à A1.11**). Deux des 36 conditions ont été extraites pour présenter cette analyse temporelle. A gauche sont représentées les conditions considérées comme les moins à risque en termes de survenues de TMS : lumière environnementale ambiante (345 lux) ayant pour nom de variable AL (Ambient Light), luminosité de l'écran au maximum (>320 lux) avec comme nom de variable BrightMax. Les combinaisons de conditions environnementales les plus délétères d'après nos travaux précédents sont représentées sur le panel de droite : lumière environnementale au maximum (8000 lux) ayant pour nom de variable SL (Strong Light), luminosité de l'écran au minimum (<4 lux) appelée BrightMin.

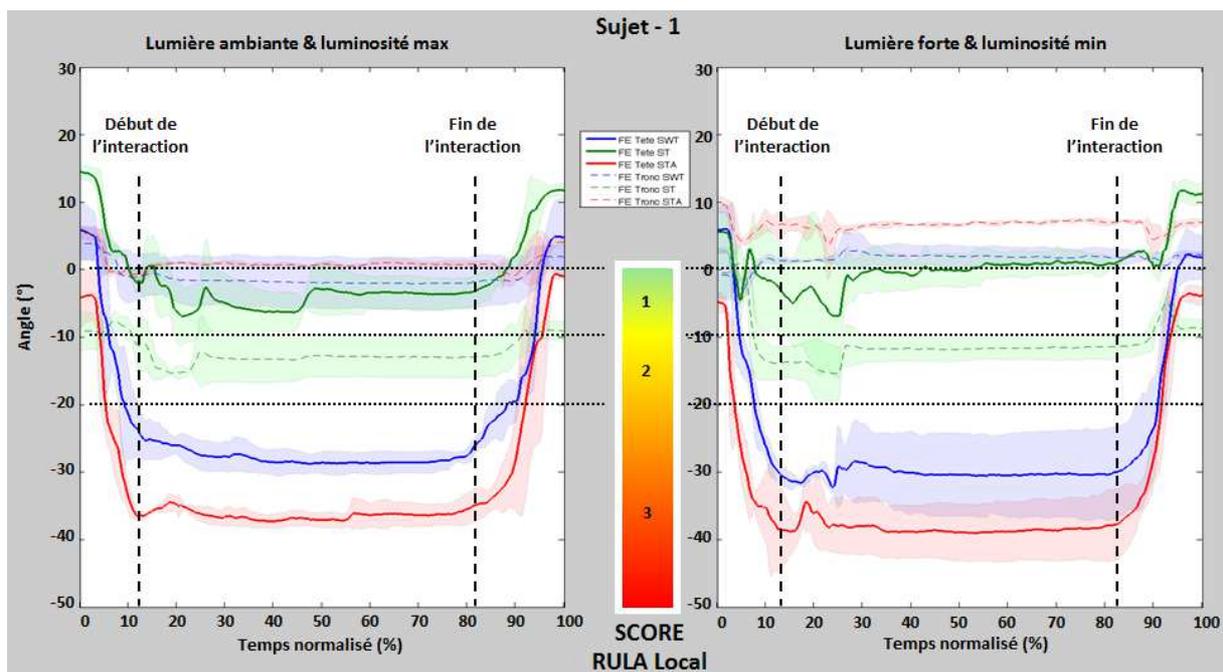


Figure A1.1 : Evolution temporelle moyenne (± 1 écart type, en fondu) normalisée de la flexion du cou (trait plein) et du tronc (pointillés) lors de l'envoi d'un message pour chacune des 3 positions expérimentales, SWT (bleu), ST (vert) et STA (rouge), et pour deux des conditions de lumières, lumière ambiante avec luminosité maximale de l'écran (AL BrightMax, panel de gauche) et lumière forte avec luminosité minimale de l'écran (SL BrightMin, panel de droite) chez le sujet 1. Le score RULA local représente la cotation affectée à la flexion du cou et du tronc. Les barres horizontales représentent les seuils de ces scores, qui sont indiqués dans le rectangle au centre.

Il apparait que certains sujets présentent une phase d'interaction « stable » avec peu ou pas d'ajustements posturaux. D'autres, en revanche, semblent mettre en place des adaptations posturales illustrées notamment par une variabilité qui semblerait plus importantes pour la condition SL BrightMin. Nos hypothèses sont multiples :

- Les utilisateurs(trices) qui mettent en place des ajustement posturaux ont besoin de soulager un inconfort.
- Les sujets sont-ils à la recherche d'une posture moins inconfortable ?

- Sont-ils en train de compenser un reflet ou une mauvaise vision ?
- Sont-ils à la recherche d'ajustements permettant une meilleure interaction au niveau de l'interface ?

Toutes ces questions sont à la base des limites mises en avant dans la conclusion générale. Elles sont également le point de départ de nouvelles hypothèses de recherche. Cela confirme le souhait d'augmenter sensiblement le nombre de sujets ainsi que la nécessité d'augmenter le temps d'interaction. Il pourrait être pertinent de faire remplir par les sujets des questionnaires de douleurs ou d'inconforts, comme cela a déjà été fait dans la littérature, afin de faire le lien entre d'éventuelles adaptations posturales en cours d'interaction et des sensations d'inconforts et/ou de douleurs (Berolo *et al.*, 2011; Namwongsa *et al.*, 2018a; Toh *et al.*, 2020).

Enfin, la présentation de ces données permet de comprendre pourquoi les premiers travaux se sont concentrés sur la phase d'interaction moyenne sans tenir compte de l'évolution temporelle des paramètres angulaires. Il paraissait essentiel de quantifier et de caractériser l'interaction avec un smartphone en moyennant une phase facilement identifiable avant d'étudier plus en détails tant en termes de stratégies que d'ergonomie associée, les variations qui peuvent apparaître au cours de l'interaction.

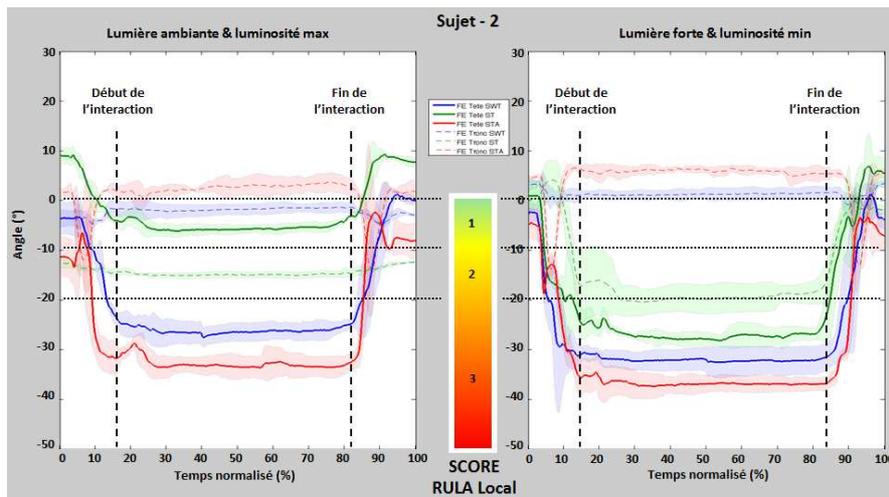


Figure A1.2 : Evolution temporelle du sujet 2.

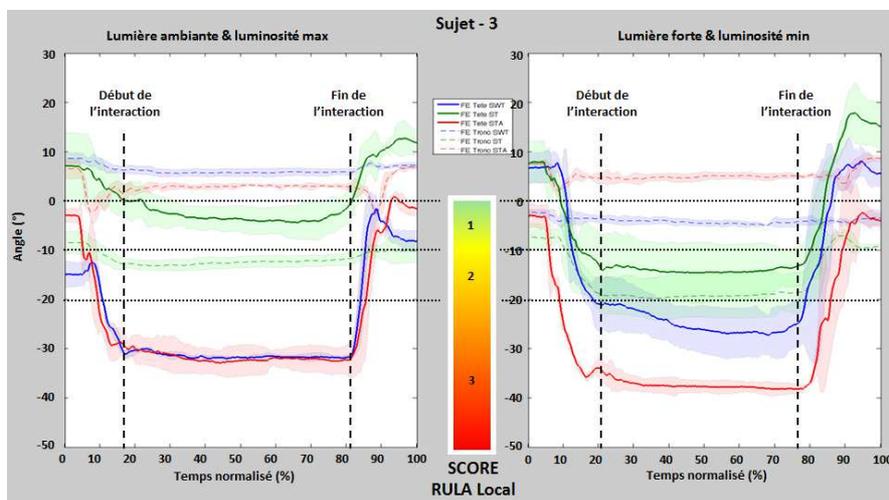


Figure A1.3 : Evolution temporelle du sujet 3.

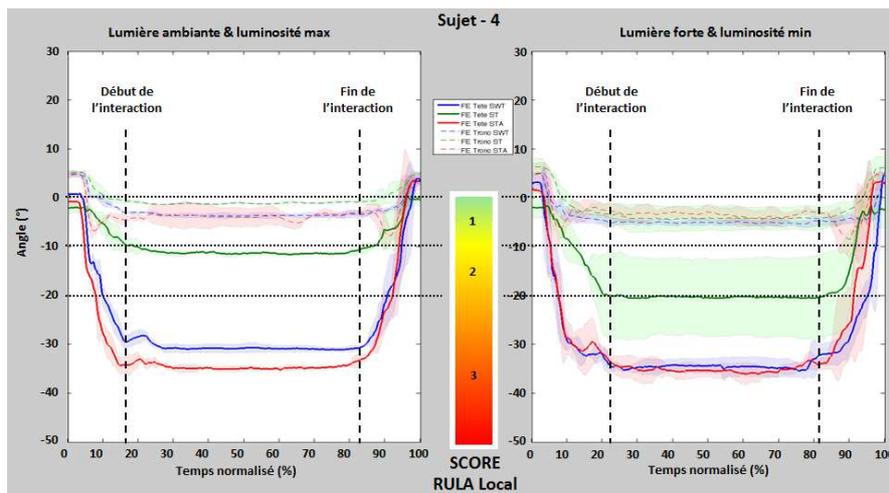


Figure A1.4 : Evolution temporelle du sujet 4.

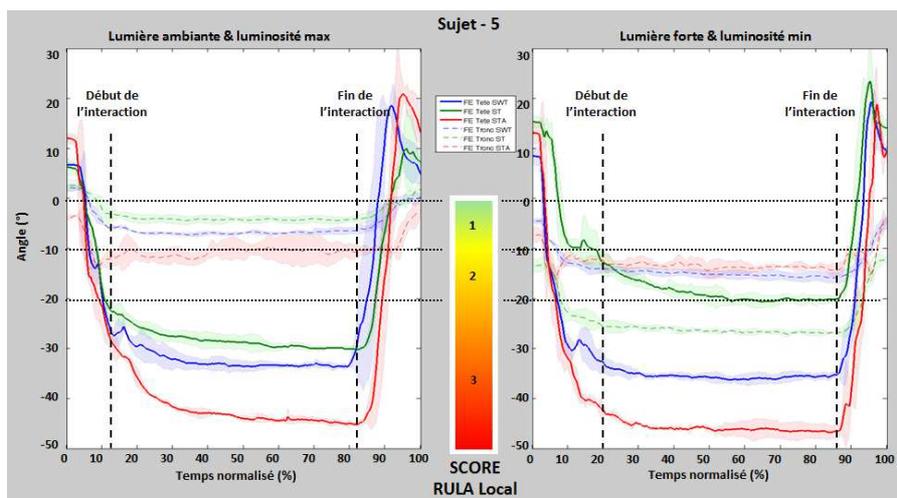


Figure A1.5 : Evolution temporelle du sujet 5.

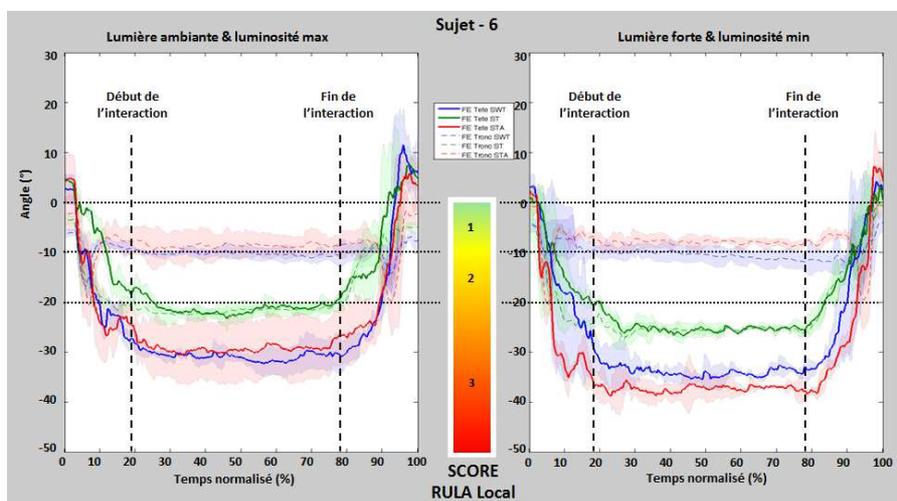


Figure A1.6 : Evolution temporelle du sujet 6.

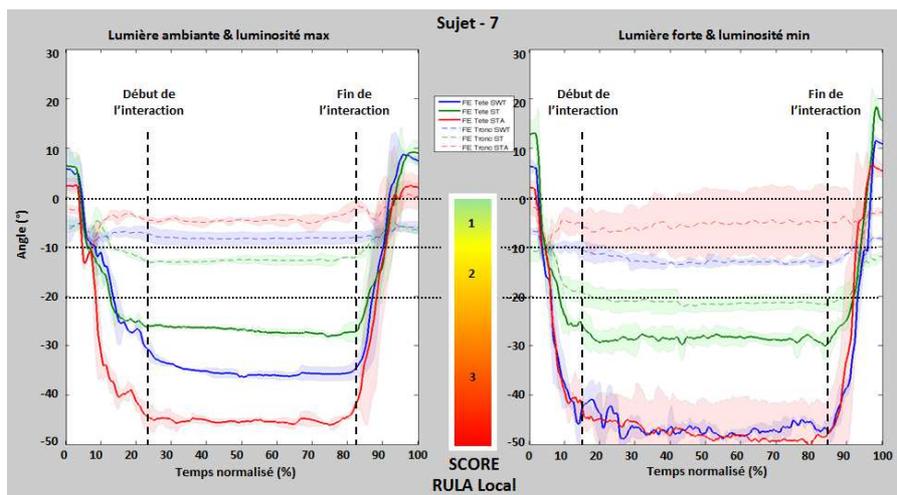


Figure A1.7 : Evolution temporelle du sujet 7.

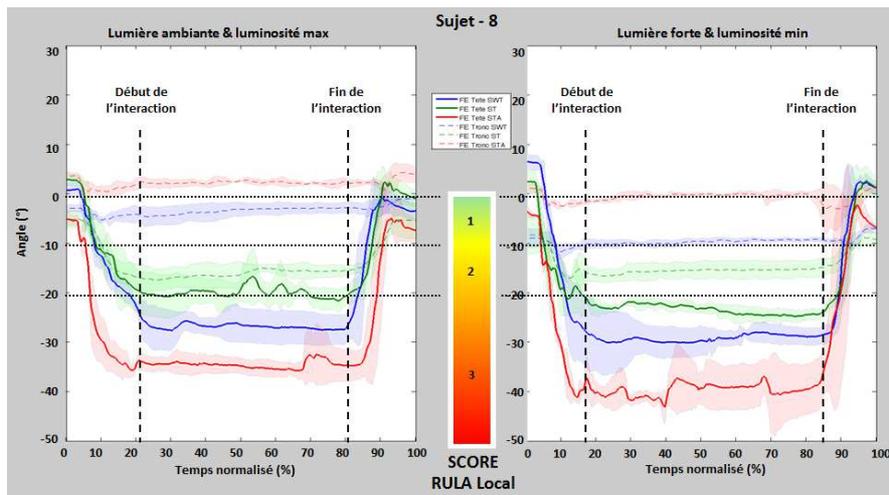


Figure A1.8 : Evolution temporelle du sujet 8.

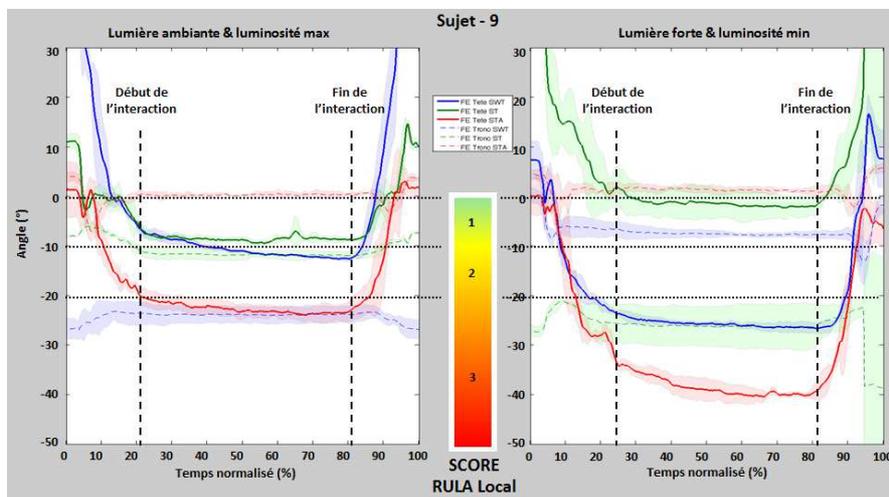


Figure A1.9 : Evolution temporelle du sujet 9.

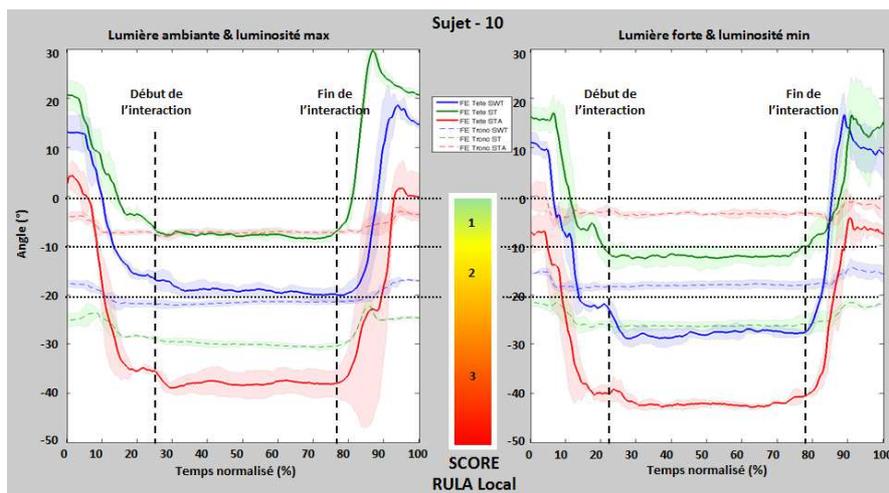


Figure A1.10 : Evolution temporelle du sujet 11.

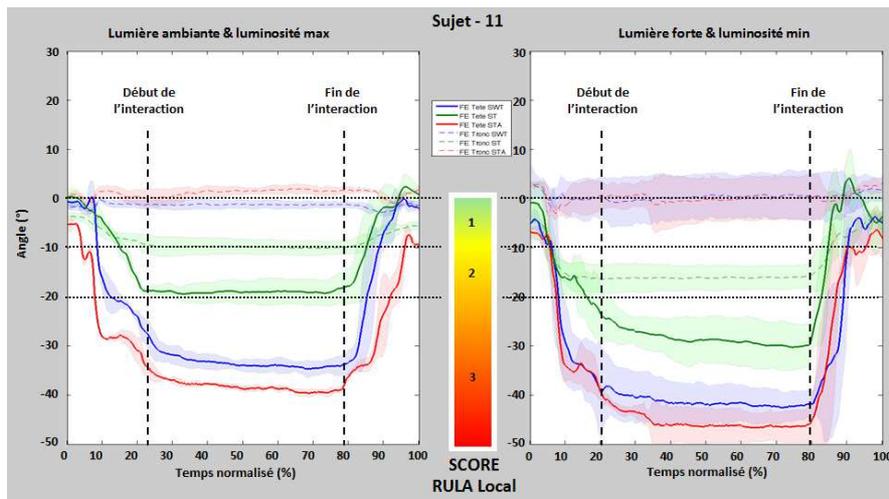


Figure A1.11 : Evolution temporelle du sujet 11.

Bibliographie

Bibliographie

- Ader, L., Vigouroux, N. & Gorce, P., 2017. The study of the differences in performances of older aged users through the biomechanical analysis of their movements: postures of users' wrist during tactile interactioned. *Proceedings of the 29th Conference on l'Interaction Homme-Machine - IHM '17* ACM Press, 73-81.
- Agostini, V., Lo Fermo, F., Massazza, G. & Knaflitz, M., 2015. Does texting while walking really affect gait in young adults? *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 12, 86.
- Ailneni, R.C., Syamala, K.R., Kim, I.S. & Hwang, J., 2019. Influence of the wearable posture correction sensor on head and neck posture: Sitting and standing workstations. *Work*, 62 (1), 27-35.
- Alberts, J.L., Saling, M. & Stelmach, G.E., 2002. Alterations in transport path differentially affect temporal and spatial movement parameters. *Experimental brain research*, 143 (4), 417-25.
- Albin, T.J. & McLoone, H.E., 2014. The effect of tablet tilt angle on users' preferences, postures, and performance. *Work (Reading, Mass.)*, 47 (2), 207-211.
- Alruzayhi, M.K., Almuahini, M.S. & Alwassel, A.I., 2018. The Effect of Smartphone Usage on the Upper Extremity Performance among Saudi Youth, Kingdom of Saudi Arabia. *The Journal of Middle East and North Africa Sciences*, 4 (2), 48-54.
- Angelini, L., Hodgkinson, W., Smith, C., Dodd, J.M., Sharrack, B., Mazza, C. & Paling, D., 2020. Wearable sensors can reliably quantify gait alterations associated with disability in people with progressive multiple sclerosis in a clinical setting. *Journal of neurology*, 1432-1459.
- Antona, B., Barrio, A.R., Gascó, A., Pinar, A., González-Pérez, M. & Puell, M.C., 2018. Symptoms associated with reading from a smartphone in conditions of light and dark. *Applied Ergonomics*, 68, 12-17.
- Apostoli, P., Sala, E., Curti, S., Cooke, R.M., Violante, F.S. & Mattioli, S., 2012. Loads of housework? Biomechanical assessments of the upper limbs in women performing common household tasks. *Int Arch Occup Environ Health*, 85 (4), 421-5.
- Appannie, 2020. *The State of Mobile in 2020: How to Win on Mobile*. Available from: <https://www.appannie.com/fr/insights/state-of-mobile-2020/>.
- Aramendia-Muneta, M.E. & Olarte Pascual, C., 2019. Consumer attitudes towards mobile advertising: an updated vision. *International Journal of Internet Marketing and Advertising*, 13, 235-252.
- Areeudomwong, P., Oapdunsalam, K., Havicha, Y., Tantai, S. & Butttagat, V., 2018. Effects of Shoulder Taping on Discomfort and Electromyographic Responses of the Neck While Texting on a Touchscreen Smartphone. *Safety and Health at Work*, 9 (3), 319-325.

-
- Arksey, H. & O'Malley, L., 2005. Scoping studies: towards a methodological framework. *International Journal of Social Research Methodology*, 8 (1), 19-32.
- Asakawa, D.S., Becker, M.G., Asaro, J.M. & Hein, J.L., 2019. Shoulder, elbow, and wrist joint angle excursions vary by gesture during touchscreen interaction. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 102377.
- Asakawa, D.S., Dennerlein, J.T. & Jindrich, D.L., 2017. Index finger and thumb kinematics and performance measurements for common touchscreen gestures. *Applied Ergonomics*, 58, 176-181.
- Askaripoor, T., Motamedzadeh, M., Golmohammadi, R., Farhadian, M., Babamiri, M. & Samavati, M., 2018. Non-Image Forming Effects of Light on Brainwaves, Autonomic Nervous Activity, Fatigue, and Performance. *Journal of Circadian Rhythms*, 16, 9.
- Bachynskyi, M., Palmas, G., Oulasvirta, A., Steimle, J. & Weinkauf, T., 2015. Performance and Ergonomics of Touch Surfaces: A Comparative Study using Biomechanical Simulation. *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '15* ACM Press, 1817-1826.
- Bankmycell, 2019. *HOW MANY PHONES ARE IN THE WORLD?* Available from: <https://www.bankmycell.com/blog/how-many-phones-are-in-the-world#targetText=According%20to%20Statista%2C%20there%20is,population%20have%20a%20smartphone%20today>.
- Benedetto, S., Carbone, A., Draï-Zerbib, V., Pedrotti, M. & Baccino, T., 2014. Effects of luminance and illuminance on visual fatigue and arousal during digital reading. *Computers in Human Behavior*, 41, 112-119.
- Berolo, S., Steenstra, I., Amick, B.C., 3rd & Wells, R.P., 2015. A comparison of two methods to assess the usage of mobile hand-held communication devices. *Journal of occupational and environmental hygiene*, 12 (4), 276-85.
- Berolo, S., Wells, R.P. & Amick, B.C., 2011. Musculoskeletal symptoms among mobile hand-held device users and their relationship to device use: A preliminary study in a Canadian university population. *Applied Ergonomics*, 42 (2), 371-378.
- Blehm, C., Vishnu, S., Khattak, A., Mitra, S. & Yee, R.W., 2005. Computer vision syndrome: a review. *Survey of Ophthalmology*, 50 (3), 253-262.
- Bodin, T., Berglund, K. & Forsman, M., 2019. Activity in neck-shoulder and lower arm muscles during computer and smartphone work. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 74, 102870.
- Bonnefoy, A., Louis, N. & Gorce, P., 2009. Muscle activation during a reach-to-grasp movement in sitting position: Influence of the distance. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 19 (2), 269-275.
-

- Buchner, A., Mayr, S. & Brandt, M., 2009. The advantage of positive text-background polarity is due to high display luminance. *Ergonomics*, 52 (7), 882-886.
- Burgess-Limerick, R., Plooy, A., Fraser, K. & Ankrum, D.R., 1999. The influence of computer monitor height on head and neck posture. Requests for reprints should be sent to Robin Burgess-Limerick, Department of Human Movement Studies, The University of Queensland, 4072, Australia. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 23 (3), 171-179.
- Caneiro, J.P., O'Sullivan, P., Burnett, A., Barach, A., O'Neil, D., Tveit, O. & Olafsdottir, K., 2010. The influence of different sitting postures on head/neck posture and muscle activity. *Manual Therapy*, 15 (1), 54-60.
- Caprani, N., E., N. & Gurri, C., 2012. Touch Screens for the Older User. In Auat Cheein, F. ed. *Assistive Technologies*. InTech.
- Cha, J., Kim, H., Park, J. & Song, C., 2015. Effects of mobile texting and gaming on gait with obstructions under different illumination levels. *Physical Therapy Rehabilitation Science*, 4 (1), 32-37.
- Chan, L.L.Y., Wong, A.Y.L., Wang, M.H., Cheung, K. & Samartzis, D., 2020. The prevalence of neck pain and associated risk factors among undergraduate students: A large-scale cross-sectional study. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 76, 102934.
- Chang, A.-M., Aeschbach, D., Duffy, J.F. & Czeisler, C.A., 2015. Evening use of light-emitting eReaders negatively affects sleep, circadian timing, and next-morning alertness. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112 (4), 1232-1237.
- Chang, J., Choi, B., Tjolleng, A. & Jung, K., 2017. Effects of button position on a soft keyboard: Muscle activity, touch time, and discomfort in two-thumb text entry. *Applied Ergonomics*, 60, 282-292.
- Chang, P.-C., Chou, S.-Y. & Shieh, K.-K., 2013. Reading performance and visual fatigue when using electronic paper displays in long-duration reading tasks under various lighting conditions. *Displays*, 34 (3), 208-214.
- Chany, A.-M., Marras, W.S. & Burr, D.L., 2007. The Effect of Phone Design on Upper Extremity Discomfort and Muscle Fatigue. *Human Factors*, 49 (4), 602-618.
- Chiang, H.-y. & Liu, C.-H., 2016. Exploration of the associations of touch-screen tablet computer usage and musculoskeletal discomfort. *Work*, 53 (4), 917-925.
- Choi, E., Kim, H. & Chung, M.K., 2014. A taxonomy and notation method for three-dimensional hand gestures. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 44 (1), 171-188.

-
- Choi, J.-H., Jung, M.-H. & Yoo, K.-T., 2016. An analysis of the activity and muscle fatigue of the muscles around the neck under the three most frequent postures while using a smartphone. *Journal of Physical Therapy Science*, 28 (5), 1660-1664.
- Choi, Y., Park, J., Choi, J., Suh, H., Kim, Y. & You, H., 2013. Development of an Analysis Protocol for Preferred Hard Key Locations of a Mobile Device.ed. *In Proceedings of 2013 Fall Conference of Ergonomic Society of Korea*, jeJu Island, Korea, 220–224.
- Cochrane, M.E., Tshabalala, M.D., Hlatswayo, N.C., Modipana, R.M., Makibelo, P.P., Mashale, E.P. & Pete, L.C., 2019. The short-term effect of smartphone usage on the upper-back postures of university students. *Cogent Engineering*, 6 (1), 1627752.
- Colombini, D. & Occhipinti, E., 2006. Preventing upper limb work-related musculoskeletal disorders (UL-WMSDS): new approaches in job (re)design and current trends in standardization. *Applied ergonomics*, 37 (4), 441-50.
- Coutarel, F., 2004. *La prévention des troubles musculo-squelettiques en conception: quelles marges de manœuvre pour le déploiement de l'activité?* Université Victor Segalen Bordeaux 2.
- CREDOC, 2016. Le baromètre du numérique 2016.
- da Costa, B.R. & Vieira, E.R., 2009. Risk factors for work-related musculoskeletal disorders: a systematic review of recent longitudinal studies. *American Journal of Industrial Medicine*.
- da Costa, J.T., Baptista, J.S. & Vaz, M., 2015. Incidence and prevalence of upper-limb work related musculoskeletal disorders: A systematic review. *Work*, 51 (4), 635-44.
- Davis, K., Hammer, M., Kotowski, S. & Bhattacharya, A., 2015. An Ergonomic Comparison of Data Entry Work Using a Keyboard vs.Touch Screen Input Device While Standing and Sitting. *Journal of Ergonomics*, s4.
- Debernardis, S., Fiorentino, M., Gattullo, M., Monno, G. & Uva, A.E., 2014. Text readability in head-worn displays: color and style optimization in video versus optical see-through devices. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 20 (1), 125-139.
- Delleman, N.J. & Dul, J., 2007. International standards on working postures and movements ISO 11226 and EN 1005-4. *Ergonomics*, 50 (11), 1809-1819.
- Deloitte, 2011. The real estate investment management industry Looking ahead. *In* Hendrikse, P. ed.
- Deloitte, 2016. *Usages Mobiles - Les Français et le smartphone en 2016 : une relation fusionnelle*. Available from: <https://www2.deloitte.com/fr/fr/pages/technology-media-and-telecommunications/articles/usages-mobiles-2016.html>.
- Dennerlein, J.T., 2015. The state of ergonomics for mobile computing technology. *Work* 52 (2), 269-277.
-

- Dobres, J., Chahine, N. & Reimer, B., 2017. Effects of ambient illumination, contrast polarity, and letter size on text legibility under glance-like reading. *Applied Ergonomics*, 60, 68-73.
- Eitivipart, A.C.V., Sirinya; Redhead, Lucy, 2019. Musculoskeletal disorder and pain associated with smartphone use: A systematic review of biomechanical evidence. *Hong Kong Physiotherapy Journal*, 38 (02), 77-90.
- Ericsson, 2018. *Ericsson mobility report november 2018*. Available from: <https://www.ericsson.com/en/mobility-report/reports/ericsson-mobility-report-november-2018.pdf>.
- Glimne, S., Brautaset, R.L. & Seimyr, G.Ö., 2015. The effect of glare on eye movements when reading. *Work*, 50 (2), 213-220.
- Gold, J.E., Driban, J.B., Thomas, N., Chakravarty, T., Channell, V. & Komaroff, E., 2012. Postures, typing strategies, and gender differences in mobile device usage: An observational study. *Applied Ergonomics*, 43 (2), 408-412.
- Gorce, P. & Bendahan, P., 2005. Bionics solution to learn the arm reaching with collision avoidance. *Applied Bionics and Biomechanics*, 2 (2), 87-96.
- Gowrisankaran, S. & Sheedy, J.E., 2015. Computer vision syndrome: A review. *Work*, 52 (2), 303-314.
- Gringras, P., Middleton, B., Skene, D.J. & Revell, V.L., 2015. Bigger, Brighter, Bluer-Better? Current Light-Emitting Devices - Adverse Sleep Properties and Preventative Strategies. *Frontiers in Public Health*, 3, 233.
- Gustafsson, E., 2012. Ergonomic recommendations when texting on mobile phones. *Work*, 41 Suppl 1, 5705-6.
- Gustafsson, E., Thomée, S., Grimby-Ekman, A. & Hagberg, M., 2017. Texting on mobile phones and musculoskeletal disorders in young adults: A five-year cohort study. *Applied Ergonomics*, 58, 208-214.
- Gustafsson, E.C., Pieter; Campbell, Amity; Straker, Leon, 2018. Texting with touchscreen and keypad phones - A comparison of thumb kinematics, upper limb muscle activity, exertion, discomfort, and performance. *Applied Ergonomics*, 70, 232-239.
- Ha, S.Y. & Sung, Y.H., 2020. A temporary forward head posture decreases function of cervical proprioception. *Journal of exercise rehabilitation*, 16 (2), 168-174.
- Han, H., Lee, S. & Shin, G., 2018. Naturalistic data collection of head posture during smartphone use. *Ergonomics*, 0-17.
- Han, H. & Shin, G., 2019. Head flexion angle when web-browsing and texting using a smartphone while walking. *Applied Ergonomics*, 81, 102884.
-

-
- Hernandez, V., Rezzoug, N., Jacquier-Bret, J. & Gorce, P., 2016. Human upper-limb force capacities evaluation with robotic models for ergonomic applications: effect of elbow flexion. *Comput Methods Biomech Biomed Engin*, 19 (4), 440-9.
- Hutton, B., Salanti, G., Caldwell, D.M., Chaimani, A., Schmid, C.H., Cameron, C., Ioannidis, J.P., Straus, S., Thorlund, K., Jansen, J.P., Mulrow, C., Catala-Lopez, F., Gotzsche, P.C., Dickersin, K., Boutron, I., Altman, D.G. & Moher, D., 2015. The PRISMA extension statement for reporting of systematic reviews incorporating network meta-analyses of health care interventions: checklist and explanations. *Annals of internal medicine*, 162 (11), 777-84.
- IDC, 2019. Available from: <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=US45084819>.
- ISO9241-11, ,1998. Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) -- Part 11: Guidance on usability.
- Jacquier-Bret, J., Gorce, P., Motti, L.G. & Vigouroux, N., 2014. Biomechanical analysis of interaction strategies using touchscreen: preliminary study. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 17 (sup1), 86-87.
- Jacquier-Bret, J., Gorce, P., Motti Lilian, G. & Vigouroux, N., 2017. Biomechanical analysis of upper limb during the use of touch screen: motion strategies identification. *Ergonomics*, 60 (3), 358-365.
- Jacquier-Bret, J., Gorce, P. & Rezzoug, N., 2012. The manipulability: a new index for quantifying movement capacities of upper extremity. *Ergonomics*, 55 (1), 69-77.
- Jin, S.K., M.; Park, J.; Jang, M.; Chang, K.; Kim, D., 2019. A comparison of biomechanical workload between smartphone and smartwatch while sitting and standing. *Applied ergonomics*, 76, 105-112.
- Kang, K.W., Jung, S.I., Lee, D.Y., Kim, K. & Lee, N.K., 2016. Effect of sitting posture on respiratory function while using a smartphone. *Journal of Physical Therapy Science*, 28 (5), 1496-1498.
- Kee, D. & Karwowski, W., 2001. LUBA: an assessment technique for postural loading on the upper body based on joint motion discomfort and maximum holding time. *Applied Ergonomics*, 32 (4), 357-366.
- Khalaf, 2014. *Mobile Use Grows 115% in 2013, Propelled by Messaging Apps*. Flurry Analytics. Available from: <https://www.flurry.com/post/115191226770/mobile-use-grows-115-in-2013-propelled-by>.
- Kia, K., Sisley, J., Johnson, P. & Kim, J.H., 2019. Differences in typing forces, muscle activity, wrist posture, typing performance, and self-reported comfort among conventional and ultra-low travel keyboards. *Applied Ergonomics*, 74, 10-16.
-

-
- Kietrys, D.M., Gerg, M.J., Dropkin, J. & Gold, J.E., 2015. Mobile input device type, texting style and screen size influence upper extremity and trapezius muscle activity, and cervical posture while texting. *Applied Ergonomics*, 50, 98-104.
- Kim, H.-J. & Kim, J.-S., 2015. The relationship between smartphone use and subjective musculoskeletal symptoms and university students. *Journal of Physical Therapy Science*, 27 (3), 575-579.
- Kim, J.H., Aulck, L.S., Thamsuwan, O., Bartha, M.C., Harper, C.A. & Johnson, P.W., 2013. The Effects of Touch Screen Virtual Keyboard Key Sizes on Typing Performance, Typing Biomechanics and Muscle Activity. In Duffy, V.G. ed. *Digital Human Modeling and Applications in Health, Safety, Ergonomics, and Risk Management. Human Body Modeling and Ergonomics*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 239-244.
- Kim, M.-S., 2015. Influence of neck pain on cervical movement in the sagittal plane during smartphone use. *Journal of Physical Therapy Science*, 27 (1), 15-17.
- Kim, S.-Y. & Koo, S.-J., 2016. Effect of duration of smartphone use on muscle fatigue and pain caused by forward head posture in adults. *Journal of Physical Therapy Science*, 28 (6), 1669-1672.
- Ko, P., Mohapatra, A., Bailey, I.L., Sheedy, J. & Rempel, D.M., 2014. Effect of font size and glare on computer tasks in young and older adults. *Optometry and Vision Science: Official Publication of the American Academy of Optometry*, 91 (6), 682-689.
- Korpinen, L., Paakkonen, R. & Gobba, F., 2013. Self-reported neck symptoms and use of personal computers, laptops and cell phones among Finns aged 18-65. *Ergonomics*, 56 (7), 1134-46.
- Lai, C.-C. & Wu, C.-F., 2014. Display and device size effects on the usability of mini-notebooks (netbooks)/ultraportables as small form-factor Mobile PCs. *Applied Ergonomics*, 45 (4), 1106-1115.
- Lane, N., Miluzzo, E., Lu, H., Peebles, D., Choudhury, T. & Campbell, A., 2010. A survey of mobile phone sensing. *IEEE Communications Magazine*, 48 (9), 140-150.
- Lee, K.-S. & Jung, M.-C., 2015. Three-dimensional finger joint angles by hand posture and object properties. *Ergonomics*, 1-11.
- Lee, M., Hong, Y., Lee, S., Won, J., Yang, J., Park, S. & Chang, K.T., 2015. The effects of smartphone use on upper extremity muscle activity and pain threshold. *Journal of physical therapy science*, 27 (6), 1743-5.
- Lee, S., Kyung, G., Lee, J., Moon, S.K. & Park, K.J., 2016. Grasp and index finger reach zone during one-handed smartphone rear interaction: effects of task type, phone width and hand length. *Ergonomics*, 59 (11), 1462-1472.
-

-
- Lee, S.C., Cha, M.C., Hwangbo, H., Mo, S. & Ji, Y.G., 2018. Smartphone form factors: Effects of width and bottom bezel on touch performance, workload, and physical demand. *Applied Ergonomics*, 67, 142-150.
- Lee, S.K., H.; Shin, G., 2015a. Head flexion angle while using a smartphone. *Ergonomics*, 58 (2), 220-6.
- Lee, S.K., Hwayeong; Shin, Gwanseob, 2015b. Head flexion angle while using a smartphone. *Ergonomics*, 58 (2), 220-226.
- Levac, D., Colquhoun, H. & O'Brien, K.K., 2010. Scoping studies: advancing the methodology. *Implementation Science*, 5 (1).
- Liang, H.W. & Hwang, Y.H., 2016. Mobile Phone Use Behaviors and Postures on Public Transportation Systems. *PLOS ONE*, 11 (2), e0148419.
- Lin, C.-C. & Huang, K.-C., 2006. Effects of ambient illumination and screen luminance combination on character identification performance of desktop TFT-LCD monitors. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 36 (3), 211-218.
- Lin, M.-W., Hsieh, P.-H., Chang, E.C. & Chen, Y.-C., 2014. Flicker-glare and visual-comfort assessments of light emitting diode billboards. *Applied Optics*, 53 (22), E61-68.
- Louis, N., 2010. *Biomechanical analysis of handrim wheelchair propulsion : ergonomic evaluation indexes*. Université du Sud Toulon Var.
- Louis, N., Desroches, G., Dumas, R., Vaslin, P., Cheze, L. & Gorce, P., 2010. Ergonomic indexes for upper limb musculoskeletal disorders risk quantification according to manual wheelchair kinematics. *Assistive Technology Research Series*, 42-44.
- Louis, N. & Gorce, P., 2010. Surface electromyography activity of upper limb muscle during wheelchair propulsion: Influence of wheelchair configuration. *Clinical Biomechanics*, 25 (9), 879-885.
- Mantiuk, R., Rempel, A.G. & Heidrich, W., 2009. Display considerations for night and low-illumination viewing. *Proceedings of the 6th Symposium on Applied Perception in Graphics and Visualization - APGV '09* ACM Press, 53.
- McAtamney, L. & Corlett, N.E., 1993. RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Applied Ergonomics*, 24 (2), 91-99.
- Merbah, J., Gorce, P. & Jacquier-Bret, J., 2020a. Effects of environmental illumination and screen brightness settings on upper limb and axial skeleton parameters: how do users adapt postures? *Ergonomics*, 1-23.
-

-
- Merbah, J., Gorce, P. & Jacquier-Bret, J., 2020b. Interaction with a smartphone under different task and environmental conditions: Emergence of users' postural strategies. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 77, 102956.
- Merbah, J., Jacquier-Bret, J. & Gorce, P., 2020c. Effect of the presence or absence of upper limb support on posture when a smartphone user is in a seated position under ambient light conditions. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 80, 103050.
- Mitzner, T.L. & Rogers, W.A., 2006. Reading in the dark: effects of age and contrast on reading speed and comprehension. *Human Factors*, 48 (2), 229-240.
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D.G. & Group, a.t.P., 2009. Reprint—Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *Physical Therapy*, 89 (9), 873-880.
- Mork, R., Bruenech, J.R. & Thorud, H.M.S., 2016. Effect of Direct Glare on Orbicularis Oculi and Trapezius During Computer Reading. *Optometry and Vision Science: Official Publication of the American Academy of Optometry*, 93 (7), 738-749.
- Motti, L.G., Vigouroux, N. & Gorce, P., 2014. Drag-and-drop for older adults using touchscreen devices: effects of screen sizes and interaction techniques on accuracy. ACM Press, 139-146.
- Mukhopadhyay, P., O'Sullivan, L. & Gallwey, T.J., 2007. Estimating upper limb discomfort level due to intermittent isometric pronation torque with various combinations of elbow angles, forearm rotation angles, force and frequency with upper arm at 90° abduction. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 37 (4), 313-325.
- Na, N. & Suk, H.-J., 2014. Adaptive luminance contrast for enhancing reading performance and visual comfort on smartphone displays. *Optical Engineering*, 53 (11), 113102.
- Na, N. & Suk, H.J., 2015. Adaptive display luminance for viewing smartphones under low illuminance. *Optics express*, 23 (13), 16912-20.
- Naddeo, A., Cappetti, N. & D'Oria, C., 2015. Proposal of a new quantitative method for postural comfort evaluation. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 48, 25-35.
- Namwongsa, S., Puntumetakul, R., Neubert, M.S. & Boucaut, R., 2018a. Factors associated with neck disorders among university student smartphone users. *Work*, 61 (3), 367-378.
- Namwongsa, S., Puntumetakul, R., Neubert, M.S., Chaiklieng, S. & Boucaut, R., 2018b. Ergonomic risk assessment of smartphone users using the Rapid Upper Limb Assessment (RULA) tool. *PLoS One*, 13 (8), e0203394.
-

-
- Namwongsa, S., Puntumetakul, R., Swangnetr Neubert, M. & Boucaut, R., 2019. Effect of Neck Flexion Angles on Neck Muscle Activity among Smartphone Users With and Without Neck Pain. *Ergonomics*, 1-26.
- Ning, X.H., Yuping; Hu, Boyi; Nimbarte, Ashish D., 2015. Neck kinematics and muscle activity during mobile device operations. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 48, 10-15.
- Oehl, M., Sutter, C. & Ziefle, M., 2007. Considerations on efficient touch interfaces: how display size influences the performance in an applied pointing task. *Proceedings of the 2007 conference on Human interface: Part I*. Beijing, China: Springer-Verlag.
- Oetjen, S. & Ziefle, M., 2009. A visual ergonomic evaluation of different screen types and screen technologies with respect to discrimination performance. *Applied Ergonomics*, 40 (1), 69-81.
- Oh, J.H., Yoo, H., Park, H.K. & Do, Y.R., 2015. Analysis of circadian properties and healthy levels of blue light from smartphones at night. *Scientific Reports*, 5, 11325.
- Osterhaus, W., Hemphälä, H. & Nylén, P., 2015. Lighting at computer workstations. *Work*, 52 (2), 315-328.
- Park, J.H.M., Kang, S.Y.P., Lee, S.G.P. & Jeon, H.S.P., 2017. The effects of smart phone gaming duration on muscle activation and spinal posture: Pilot study. *Physiotherapy theory and practice*, 33 (8), 661-669.
- Park, Y.S. & Han, S.H., 2010. One-handed thumb interaction of mobile devices from the input accuracy perspective. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 40 (6), 746-756.
- Pavlovic-Veselinovic, S., Hedge, A. & Veselinovic, M., 2016. An ergonomic expert system for risk assessment of work-related musculo-skeletal disorders. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 53, 130-139.
- Polanyi, M.F., Cole, D.C., Beaton, D.E., Chung, J., Wells, R., Abdolell, M., Beech-Hawley, L., Ferrier, S.E., Mondloch, M.V., Shields, S.A., Smith, J.M. & Shannon, H.S., 1997. Upper limb work-related musculoskeletal disorders among newspaper employees: cross-sectional survey results. *American journal of industrial medicine*, 32 (6), 620-8.
- Prupetkaew, P., Lugade, V., Kamnardsiri, T. & Silsupadol, P., 2019. Cognitive and visual demands, but not gross motor demand, of concurrent smartphone use affect laboratory and free-living gait among young and older adults. *Gait & Posture*, 68, 30-36.
- Ram, M.S. & Bhardwaj, R., 2018. Effect of Different Illumination Sources on Reading and Visual Performance. *Journal of Ophthalmic & Vision Research*, 13 (1), 44-49.
- Robinson, T. & Arnould, E., 2019. Portable technology and multi-domain energy practices. *Marketing Theory*, 147059311987022.
-

-
- Salvia, P., Cohen, R., D'Halluin, O., Van Sint Jan, S., Feipel, V. & Beyer, B., 2018. O 070 - Effect of heavy and light smartphone use on whole spine curvature profile and cervical mobility in young adults. *Gait & Posture*, 65, 144-145.
- Seetzen, H., Li, H., Ye, L., Heidrich, W., Whitehead, L. & Ward, G., 2006. 25.3: Observations of Luminance, Contrast and Amplitude Resolution of Displays. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 37 (1), 1229.
- Šenk, M. & Chèze, L., 2006. Rotation sequence as an important factor in shoulder kinematics. *Clinical Biomechanics*, 21, S3-S8.
- Shan, Z., Deng, G., Li, J., Li, Y., Zhang, Y. & Zhao, Q., 2013. Correlational Analysis of neck/shoulder Pain and Low Back Pain with the Use of Digital Products, Physical Activity and Psychological Status among Adolescents in Shanghai. *PLOS ONE*, 8 (10), e78109.
- Shih, Y.-N., Huang, R.-H. & Lu, S.-F., 2013. The influence of computer screen polarity and color on the accuracy of workers' reading of graphics. *Work*, 45 (3), 335-342.
- Shin, H. & Kim, K., 2014. Effects of Cervical Flexion on the Flexion-relaxation Ratio during Smartphone Use. *Journal of Physical Therapy Science*, 26 (12), 1899-1901.
- Shuval, K. & Donchin, M., 2005. Prevalence of upper extremity musculoskeletal symptoms and ergonomic risk factors at a Hi-Tech company in Israel. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35 (6), 569-581.
- Skierkowski, D. & Wood, R.M., 2012. To text or not to text? The importance of text messaging among college-aged youth. *Computers in Human Behavior*, 28 (2), 744-756.
- Statista, 2016. *Nombre d'utilisateurs de smartphone dans le monde entre 2014 et 2020*. Available from: <https://fr.statista.com/statistiques/574542/utilisateurs-de-smartphone-dans-le-monde--2019/#statisticContainer>.
- Straker, L.M., Pollock, C.M. & Mangharam, J.E., 1997. The effect of shoulder posture on performance, discomfort and muscle fatigue whilst working on a visual display unit. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 20 (1), 1-10.
- Swinkels, S., Heynderickx, I., Yeates, D. & Essers, M., 2008. 66.1: Ambient Light Control for Mobile Displays. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 39 (1), 1006.
- Syamala, K.R.A., Ravi Charan; Kim, Jeong Ho; Hwang, Jaejin, 2018. Armrests and back support reduced biomechanical loading in the neck and upper extremities during mobile phone use. *Applied Ergonomics*, 73, 48-54.
- Szeto, G.P.Y., Tsang, S.M.H., Dai, J. & Madeleine, P., 2020. A field study on spinal postures and postural variations during smartphone use among university students. *Applied Ergonomics*, 88, 103183.
-

-
- Szucs, K.A., Cicuto, K. & Rakow, M., 2018. A comparison of upper body and limb postures across technology and handheld device use in college students. *The Journal of Physical Therapy Science*, 30 (10), 8.
- Tecmark, 2014. *Tecmark survey institute*. Available from: <https://www.tecmark.co.uk/blog/smartphone-usage-data-uk-2014>.
- Text-Request, 2016. *107 Texting Statistics That Answer All Your Questions*. Available from: <https://www.textrequest.com/blog/texting-statistics-answer-questions/>.
- Thorns, P., 2010. *Light and lighting - Lighting of workplace*, EN12464-1:2011.
- TNS-Sofres, 2015. *Les Millennials passent un jour par semaine sur leur smartphone*. Available from: <https://www.tns-sofres.com/publications/les-millennials-passent-un-jour-par-semaine-sur-leur-smartphone>.
- Toh, S.H., Coenen, P., Howie, E.K., Smith, A.J., Mukherjee, S., Mackey, D.A. & Straker, L.M., 2020. A prospective longitudinal study of mobile touch screen device use and musculoskeletal symptoms and visual health in adolescents. *Applied Ergonomics*, 85, 103028.
- Tolani, D., Goswami, A. & Badler, N.I., 2000. Real-time inverse kinematics techniques for anthropomorphic limbs. *Graphical models*, 62 (5), 353-88.
- Trudeau, M.B., Young, J.G., Jindrich, D.L. & Dennerlein, J.T., 2012. Thumb motor performance varies with thumb and wrist posture during single-handed mobile phone use. *Journal of Biomechanics*, 45 (14), 2349-2354.
- Trudeau, M.B.A., Deanna S.; Jindrich, Devin L.; Dennerlein, Jack T., 2016. Two-handed grip on a mobile phone affords greater thumb motor performance, decreased variability, and a more extended thumb posture than a one-handed grip. *Applied Ergonomics*, 52, 24-28.
- Vincent, W.J., 1999. *Statistics in kinesiology*, 2nd Edition, Human Kinetics, Champaign.
- Wagner, J., Huot, S. & Mackay, W., 2012. BiTouch and BiPad: designing bimanual interaction for hand-held tablets. *CHI 12- Proceedings of the SIGCHI 30th International Conference on Human Factors in Computing Systems*. Austin, Texas, USA: ACM.
- Wang, X., Maurin, M., Mazet, F., Maia, N.D.C., Voinot, K., Verriest, J.P. & Fayet, M., 1998. Three-dimensional modelling of the motion range of axial rotation of the upper arm. *Journal of Biomechanics*, 31 (10), 899-908.
- Wiholm, C., Richter, H., Mathiassen, S.E. & Toomingas, A., 2007. Associations between eyestrain and neck-shoulder symptoms among call-center operators. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, (3), 7.
-

-
- Winter, D.A., 1990. *Biomechanics and motor control of human movement*, Second Edition. David A. Winter JWS ed. Wiley-Interscience, New York.
- Winter, E.M., Eston, R.G. & Lamb, K.L., 2001. Statistical analyses in the physiology of exercise and kinanthropometry. *Journal of Sports Sciences*, 19 (10), 761-775.
- Wobbrock, J.O., Myers, B.A. & Aung, H.H., 2008. The performance of hand postures in front- and back-of-device interaction for mobile computing. *International Journal of Human-Computer Studies*, 66 (12), 857-875.
- Woo, E.H., White, P. & Lai, C.W., 2015. Ergonomics standards and guidelines for computer workstation design and the impact on users' health - a review. *Ergonomics*, 59 (3), 464-75.
- World Medical, A., 2013. World Medical Association Declaration of Helsinki: Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects. *JAMA*, 310 (20), 2191-2194.
- Wu, G., van der Helm, F.C.T., Veeger, H.E.J., Makhsous, M., Van Roy, P., Anglin, C., Nagels, J., Karduna, A.R., McQuade, K., Wang, X., Werner, F.W. & Buchholz, B., 2005. ISB recommendation on definitions of joint coordinate systems of various joints for the reporting of human joint motion—Part II: shoulder, elbow, wrist and hand. *Journal of Biomechanics*, 38 (5), 981-992.
- Wu, P., Xie, B.S. & Huang, W.F., 2002. [Application of lower body negative pressure (LBNP) in aerospace medicine]. *Space medicine & medical engineering*, 15 (3), 223-6.
- Xie, Y., Szeto, G. & Dai, J., 2017. Prevalence and risk factors associated with musculoskeletal complaints among users of mobile handheld devices: A systematic review. *Applied Ergonomics*, 59, 132-142.
- Xie, Y., Szeto, G.P., Dai, J. & Madeleine, P., 2016. A comparison of muscle activity in using touchscreen smartphone among young people with and without chronic neck-shoulder pain. *Ergonomics*, 59 (1), 61-72.
- Xie, Y.F., Szeto, G., Madeleine, P. & Tsang, S., 2018. Spinal kinematics during smartphone texting – A comparison between young adults with and without chronic neck-shoulder pain. *Applied Ergonomics*, 68, 160-168.
- Xiong, J. & Muraki, S., 2014. An ergonomics study of thumb movements on smartphone touch screen. *Ergonomics*, 57 (6), 943-955.
- Yoon, W., Choi, S., Han, H. & Shin, G., 2020. Neck Muscular Load When Using a Smartphone While Sitting, Standing, and Walking. *Human factors*, 18720820904237.
- Young, J.G.M., Trudeau; Dan, Odell; Kim, Marinelli; T, Dennerlein Jack, 2012. Touch-screen tablet user configurations and case-supported tilt affect head and neck flexion angles. *Work*, (1), 81–91.
-

Young, J.G.T., Matthieu B.; Marinelli, Kim; Odell, Dan; Dennerlein, Jack T., 2013. Wrist and shoulder posture and muscle activity during touch-screen tablet use: Effects of usage configuration, tablet type, and interacting hand. *Work*, (1), 59–71.

Publications personnelles

Publications personnelles

Articles publiés dans des revues internationales impactées à comité de lecture :

- Merbah, J., Gorce, P., Jacquier-Bret, J., 2020. Effects of environmental illumination and screen brightness settings on upper limb and axial skeleton parameters: how do users adapt postures? *Ergonomics*, 1-23. (IF : 2.19).
- Merbah, J., Jacquier-Bret, J. & Gorce, P., 2020. Effect of the presence or absence of upper limb support on posture when a smartphone user is in a seated position under ambient light conditions. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 80, 103050. (IF : 1.662).
- Merbah, J., Gorce, P., Jacquier-Bret, J., 2020. Interaction with a smartphone under different task and environmental conditions: Emergence of users' postural strategies. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 77, 102956. (IF : 1.662).

Travaux soumis, « révisés et corrigés », dans des revues internationales impactées à comité de lecture :

- Merbah, J., Jacquier-Bret, J., Gorce, P., 2020. Toward a simple postural index of a biomechanical interaction evaluation while using a smartphone. *Gait & Posture*. (IF : 2.349).

Travaux soumis et « en révision » dans des revues internationales impactées à comité de lecture :

- Merbah, J., Jacquier-Bret, J., Gorce, P., 2020. Upper limb and axial skeleton 3D kinematics analysis when texting using a smartphone in standing and sitting positions. *Ergonomics*. (IF : 2.19).
- Merbah, J., Gorce, P., Jacquier-Bret, J., 2020. Light effects on posture while using a touchscreen device, a systematic review. *WORK, A journal of prevention, assessment & rehabilitation*. (IF : 1.132).

Interaction avec un smartphone : Effets de la lumière sur la biomécanique posturale et l'apparition de troubles musculosquelettiques

Ce travail est basé sur la convergence de trois domaines que sont la **biomécanique**, l'**ergonomie** et l'**IHM** afin de quantifier et d'évaluer les effets de la modification des conditions environnementales sur les adaptations posturales des utilisatrices(teurs) du média le plus utilisé dans le monde, le **smartphone** et son écran tactile. Le but de cette thèse a été de proposer une quantification des variables angulaires du squelette axial et des membres supérieurs afin de déterminer le niveau de risque d'apparition de troubles musculosquelettiques (**TMS**) encouru lors de l'utilisation du smartphone. La première étape a consisté à la définition des cadres expérimentaux représentatifs de la vie quotidienne en intégrant une notion peu abordée dans le domaine de la biomécanique, les effets de la lumière. L'objectif a été d'analyser les effets des réglages mixtes entre la luminosité environnementale et la luminosité de l'écran sur la posture adoptée par les utilisatrices(teurs) pour trois conditions d'utilisation bien définies, assis avec ou sans support pour les membres supérieurs et debout, et pour deux tâches fréquentes, l'envoi d'un message et la navigation sur internet. Dans ce contexte, une quantification de l'ensemble des régions articulaires du squelette axial et du membre supérieur a été conduite afin d'objectiver leur implication durant l'interaction. Ainsi, la distance entre le visage et l'écran tactile est apparu en tant qu'**invariant** majeur autour duquel deux chaînes cinématiques, une constituée du squelette axial et une autre des membres supérieurs, fonctionnent en synergie. De plus, des stratégies d'interaction en fonction de la lumière mais également d'autres paramètres, comme la tâche effectuée (message texte ou recherche internet) ainsi que la position d'utilisation (assis avec ou sans support ou debout) ont été identifiées. Un indice biomécanique **I_{BI}** a été proposé et permet d'identifier la part d'implication du tronc et du cou dans la posture globale. Enfin, à partir de l'objectivation des postures, une évaluation ergonomique au moyen du Rapid Upper Limb Assessment (**RULA**) a été proposée afin de quantifier avec précision les risques de **TMS** associés à l'interaction avec le smartphone. Cette analyse a permis d'établir des recommandations sur la manière d'interagir tant sur l'environnement matériel (appuis pour les membres supérieurs) que sur des réglages de l'interface et de la luminosité extérieure. Le but est d'alerter sur le niveau de risque élevé d'apparition de **TMS** pour les utilisateurs(trices) de smartphone. La santé commence par la prévention.

Mot clés : Biomécanique, Ergonomie, IHM, recommandations, TMS.

Interaction with a smartphone: Effects of light on postural biomechanics and the occurrence of musculoskeletal disorders

This study is based on the convergence of three fields: **biomechanics**, **ergonomics** and **HMI** in order to quantify and evaluate the effects of modification of the environmental conditions on the postural adaptations of the users that interact with the most popular media in the world: the **smartphone** and its touch screen. The aim of this thesis was to propose a quantification of the angular variables of the axial skeleton and upper limbs in order to determine the level of risk of musculoskeletal disorders (**MSDs**) occurring during the use of the smartphone. The first step consisted in defining the experimental frameworks representative of daily life by integrating a concept little discussed in the biomechanical field, the effects of light. The objective was to analyse the effects of combined settings between environmental luminosity and screen brightness on the posture adopted by users for three well-defined operating conditions, sitting with or without support for the upper limbs and standing, and for two frequent tasks, sending a message and web browsing. In this context, a quantification of all the articular regions of the axial skeleton and the upper limb was conducted in order to objectify their involvement during interaction. Thus, the distance between the face and the touch screen appeared as a major **invariant** around which two kinematic chains, one consisting of the axial skeleton and the other of the upper limbs, work in synergy. In addition, interaction strategies depending on the light but also on other parameters, such as the task performed (text message or internet search) as well as the position of use (sitting with or without support or standing) were identified. A biomechanical index **I_{BI}** has been proposed and allows the identification of the involvement of the trunk and neck in the overall posture. Finally, based on the objectification of postures, an ergonomic assessment using the Rapid Upper Limb Assessment (**RULA**) was proposed in order to accurately quantify the **MSDs** risks associated with interaction with the smartphone. This analysis has led to recommendations on how to interact both on the hardware environment (upper limb supports) and on interface and external brightness settings. The aim is to alert smartphone users to the high level of risk of **MSDs**. Health starts with prevention.

Keywords: Biomechanics, Ergonomics, HMI, Recommendations, MSDs.

Interaction avec un smartphone : Effets de la lumière sur la biomécanique posturale et l'apparition de troubles musculosquelettiques

Ce travail est basé sur la convergence de trois domaines que sont la **biomécanique**, l'**ergonomie** et l'**IHM** afin de quantifier et d'évaluer les effets de la modification des conditions environnementales sur les adaptations posturales des utilisatrices(teurs) du média le plus utilisé dans le monde, le **smartphone** et son écran tactile. Le but de cette thèse a été de proposer une quantification des variables angulaires du squelette axial et des membres supérieurs afin de déterminer le niveau de risque d'apparition de troubles musculosquelettiques (**TMS**) encouru lors de l'utilisation du smartphone. La première étape a consisté à la définition des cadres expérimentaux représentatifs de la vie quotidienne en intégrant une notion peu abordée dans le domaine de la biomécanique, les effets de la lumière. L'objectif a été d'analyser les effets des réglages mixtes entre la luminosité environnementale et la luminosité de l'écran sur la posture adoptée par les utilisatrices(teurs) pour trois conditions d'utilisation bien définies, assis avec ou sans support pour les membres supérieurs et debout, et pour deux tâches fréquentes, l'envoi d'un message et la navigation sur internet. Dans ce contexte, une quantification de l'ensemble des régions articulaires du squelette axial et du membre supérieur a été conduite afin d'objectiver leur implication durant l'interaction. Ainsi, la distance entre le visage et l'écran tactile est apparu en tant qu'**invariant** majeur autour duquel deux chaînes cinématiques, une constituée du squelette axial et une autre des membres supérieurs, fonctionnent en synergie. De plus, des stratégies d'interaction en fonction de la lumière mais également d'autres paramètres, comme la tâche effectuée (message texte ou recherche internet) ainsi que la position d'utilisation (assis avec ou sans support ou debout) ont été identifiées. Un indice biomécanique **I_{BI}** a été proposé et permet d'identifier la part d'implication du tronc et du cou dans la posture globale. Enfin, à partir de l'objectivation des postures, une évaluation ergonomique au moyen du Rapid Upper Limb Assessment (**RULA**) a été proposée afin de quantifier avec précision les risques de **TMS** associés à l'interaction avec le smartphone. Cette analyse a permis d'établir des recommandations sur la manière d'interagir tant sur l'environnement matériel (appuis pour les membres supérieurs) que sur des réglages de l'interface et de la luminosité extérieure. Le but est d'alerter sur le niveau de risque élevé d'apparition de **TMS** pour les utilisateurs(trices) de smartphone. La santé commence par la prévention.

Mot clés : Biomécanique, Ergonomie, IHM, recommandations, TMS.

Interaction with a smartphone: Effects of light on postural biomechanics and the occurrence of musculoskeletal disorders

This study is based on the convergence of three fields: **biomechanics**, **ergonomics** and **HMI** in order to quantify and evaluate the effects of modification of the environmental conditions on the postural adaptations of the users that interact with the most popular media in the world: the **smartphone** and its touch screen. The aim of this thesis was to propose a quantification of the angular variables of the axial skeleton and upper limbs in order to determine the level of risk of musculoskeletal disorders (**MSDs**) occurring during the use of the smartphone. The first step consisted in defining the experimental frameworks representative of daily life by integrating a concept little discussed in the biomechanical field, the effects of light. The objective was to analyse the effects of combined settings between environmental luminosity and screen brightness on the posture adopted by users for three well-defined operating conditions, sitting with or without support for the upper limbs and standing, and for two frequent tasks, sending a message and web browsing. In this context, a quantification of all the articular regions of the axial skeleton and the upper limb was conducted in order to objectify their involvement during interaction. Thus, the distance between the face and the touch screen appeared as a major **invariant** around which two kinematic chains, one consisting of the axial skeleton and the other of the upper limbs, work in synergy. In addition, interaction strategies depending on the light but also on other parameters, such as the task performed (text message or internet search) as well as the position of use (sitting with or without support or standing) were identified. A biomechanical index **I_{BI}** has been proposed and allows the identification of the involvement of the trunk and neck in the overall posture. Finally, based on the objectification of postures, an ergonomic assessment using the Rapid Upper Limb Assessment (**RULA**) was proposed in order to accurately quantify the **MSDs** risks associated with interaction with the smartphone. This analysis has led to recommendations on how to interact both on the hardware environment (upper limb supports) and on interface and external brightness settings. The aim is to alert smartphone users to the high level of risk of **MSDs**. Health starts with prevention.

Keywords: Biomechanics, Ergonomics, HMI, Recommendations, MSDs.