



MASTER 1 SCIENCES DE LA COGNITION ET APPLICATIONS

Projet tutoré
Ergonomie du mouvement : campagne d'annotation

Étudiants :
Clélie AMIOT
Nicolas PARIS

Encadrante principale :
Serena IVALDI
Encadrants :
Pauline MAURICE
Adrien MALAISÉ

Année universitaire 2017-2018

Remerciements

Nous adressons nos remerciements à Serena Ivaldi, Pauline Maurice et Adrien Malaisé, nos encadrants pour cette campagne d'annotation. Nous les remercions pour tout le temps qu'ils nous ont consacré, que ce soit pour répondre à nos questions, nous former aux outils ou nous conseiller. Leur disponibilité nous a permis de pleinement nous investir dans ce projet d'étude.

Table des matières

1	Introduction	1
1.1	Contexte : Projet AnDy	1
1.2	Objectifs du projet	1
1.3	Déroulement du projet	2
2	Collecte de données	3
2.1	Environnement expérimental	3
2.2	Définition des tâches	3
2.3	Matériel utilisé	5
3	Annotations	8
3.1	Catégories d’annotations et labels	8
3.2	Résolution des ambiguïtés	11
3.3	Anvil	11
3.4	Annotations réalisées	12
4	Analyses	13
4.1	Traitement des données	13
4.2	Types de segments	13
4.3	Analyses inter-annotateurs	14
4.4	Analyse statistique	19
5	Conclusion	21
Annexes		24
6	Annexe 1 - Fiche EAWS	24
7	Annexe 2 - Plug-in-Gait Marker Placement	28
8	Annexe 3 - Extrait de fichier d’annotation segmenté	29

1 Introduction

Lors de cette première année en Master Sciences Cognitives, nous avons été amenés à réaliser un projet en collaboration avec le laboratoire de recherche français Inria. Ce projet s'est déroulé tout au long de l'année universitaire en parallèle de nos cours. Nous avons travaillé avec l'équipe Larsen, spécialisée dans la robotique à Nancy. Nous avons été encadrés par Pauline Maurice et Serena Ivaldi, chercheuses et Adrien Malaisé, doctorant.

1.1 Contexte : Projet AnDy

Notre projet tutoré s'inscrit dans le cadre d'un projet de recherche européen, le projet AnDy [1]. Ce projet a pour ambition de permettre une réelle collaboration Homme-Machine en milieu industriel. L'objectif de cette collaboration est de limiter les risques d'accident et les troubles musculo-squelettiques des travailleurs en les assistant dans leurs tâches quotidiennes. Le projet AnDy s'intéresse aux robots collaboratifs, cobots, aux exosquelettes et dans une moindre mesure aux robots humanoïdes. Par exemple, un cobot peut ajuster la hauteur à laquelle il porte un objet et un exosquelette peut faciliter le port de charges lourdes (voir figure 1).



FIGURE 1 – Exemples de collaboration Homme-Machine, par Ivaldi et al. [2]

Pour s'assurer que le travail en collaboration avec des robots soit efficace, il est important de créer une réelle synergie entre les opérateurs et les robots. Ainsi, les robots doivent être capables de comprendre et d'anticiper les actions de l'opérateur pour s'y adapter. Cette adaptation doit prendre en compte l'ergonomie des postures de l'opérateur et limiter les sollicitations biomécaniques qu'il subit. Dans le cadre de notre projet tutoré, le terme "ergonomie" se réfère à l'ergonomie biomécanique, qui s'intéresse à la position adoptée par une personne, ses mouvements et les forces qui lui sont appliquées. Pour ce faire, une partie importante du projet AnDy consiste à effectuer une étude approfondie de l'ergonomie des mouvements du corps humain en action. C'est dans ce contexte que se déroule notre projet tutoré.

1.2 Objectifs du projet

Un des objectifs de l'équipe Larsen dans le projet AnDy, est le développement d'un algorithme capable de reconnaître automatiquement les postures et mouvements critiques en terme d'ergonomie. L'algorithme nécessite un jeu de données annotées sur lequel baser son apprentissage. C'est là qu'intervient notre projet tutoré "Ergonomie du mouvement : campagne d'annotation", qui se divise en trois objectifs principaux :

- collecter les données : enregistrement de données de mouvement et de force de participants réalisant des tâches manuelles de type industriel (porter des charges, visser, etc.) ;
- annoter les données : étudier les vidéos de capture de mouvement et assigner un label (voir section 3) aux différents mouvements réalisés et postures adoptées par le participant ;
- analyser les données : analyse des données pour tester la cohérence des différentes annotations et étudier les différences entre participants et l'évolution de l'exécution des tâches par un participant au cours d'une session expérimentale.

1.3 Déroulement du projet

Le projet tutoré a débuté mi-novembre et s'est achevé fin mai. Lors de ces sept mois nous avons entretenu des échanges réguliers avec nos encadrants. Nous avons effectué des réunions hebdomadaires au laboratoire d'Inria afin de faire le point sur nos activités et l'avancement du projet et confirmer nos choix d'annotations. Au cours de l'année notre travail s'est organisé autour de quatre axes : la bibliographie, la collecte de données, les annotations et les analyses (voir figure 2).

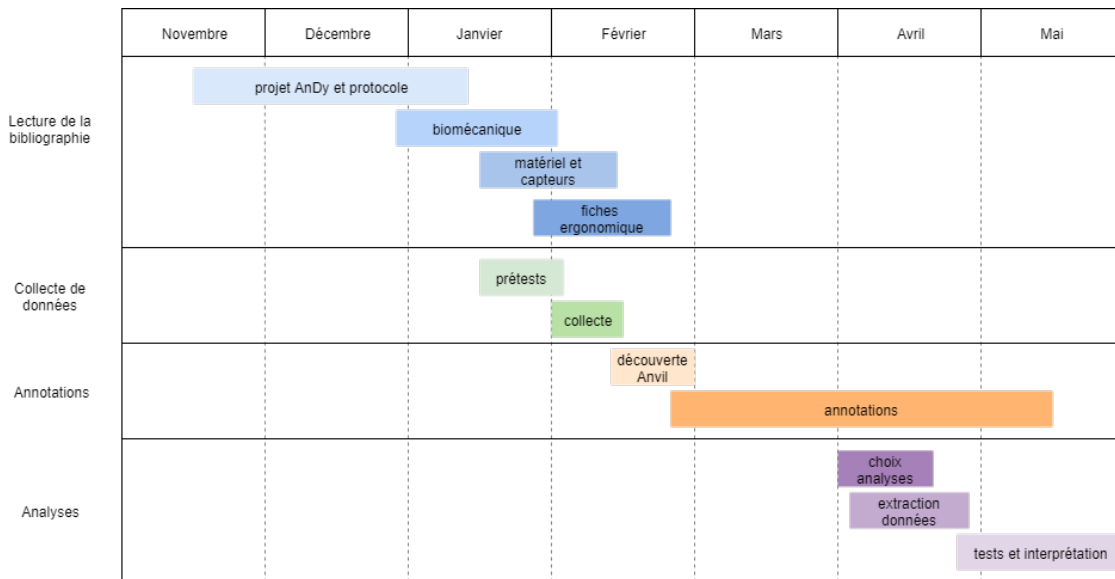


FIGURE 2 – Répartition du travail au cours de l'année

Notre travail bibliographique a été réalisé sur un ensemble d'articles scientifiques relevant de l'ergonomie en milieu industriel ainsi que de la robotique collaborative et de ses enjeux. Ce travail bibliographique en amont nous a permis de mieux appréhender notre sujet.

Dans un second temps, nous avons accompagné les chercheurs lors de la collecte de données en apportant une aide pour la mise en place des outils et dans la supervision des enregistrements. Nicolas s'est aussi porté volontaire en tant que participant. Ensuite, nous sommes passés aux annotations, qui représente la phase la plus importante en terme de temps de notre projet tutoré. Une fois le volume d'annotations réalisées suffisant, nous avons commencé la phase d'analyse, tout en continuant les annotations en parallèle.

2 Collecte de données

La collecte de données est la première étape de la création de la base de données d'apprentissage pour l'algorithme de reconnaissance d'activités. Pour cela, on enregistre avec plusieurs dispositifs (voir la sous-section 2.3) un participant réalisant des tâches de type industriel. Lors de la collecte, l'ordre des tâches et la disposition de l'espace expérimental¹ sont modifiées entre les différents participants afin que l'algorithme puisse fonctionner dans différents contextes. En tout, six personnes ont participé à la collecte de données.

2.1 Environnement expérimental

La collecte de données a été réalisée dans un appartement connecté construit dans le laboratoire. La pièce a été aménagée (voir figure 3) avec différents objets pour les besoins de l'étude :

- une boîte posée sur une table contenant des vis et des boulons ;
- une étagère à trois plateaux ;
- une table avec deux poids empilés, un poids de 10kg sur un poids de 5kg, attachés ensemble par un cordon.

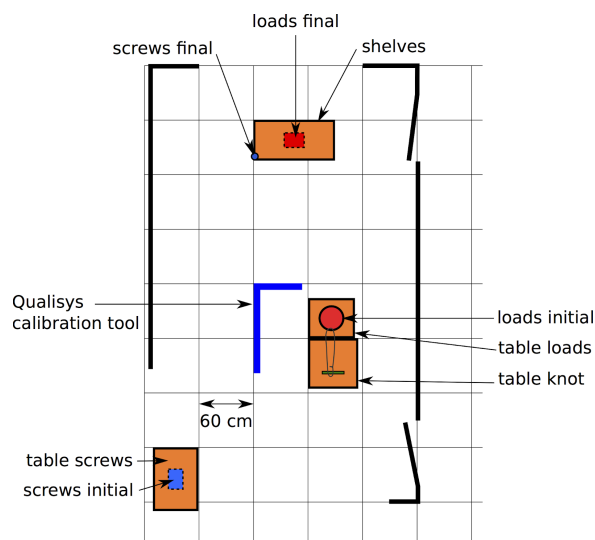


FIGURE 3 – Disposition des objets dans l'appartement intelligent

2.2 Définition des tâches

Afin que la collecte de données se déroule dans les meilleures conditions et que les données collectées soient pertinentes et diversifiées, un protocole a été établi par l'équipe de chercheurs. Il est composé de six tâches manuelles caractéristiques inspirées par le milieu industriel.

- *Visser l'étagère du haut*

Le participant prend une vis et un boulon dans la boîte, se déplace jusqu'à l'étagère, place la vis dans le trou de l'étagère supérieure (indiqué par une bande colorée) et la visse avec un boulon. Le temps de vissage dure à peu près 10s et oblige le participant à maintenir une posture avec une manipulation à hauteur de la tête (voir figure 4a).

1. Pour des raisons de temps, une seule disposition a été utilisée lors de notre projet tutoré.

— *Visser l'étagère du milieu*

Le participant prend une vis et un boulon dans la boîte, se déplace jusqu'à l'étagère, place la vis dans le trou de l'étagère du milieu (indiqué par une bande colorée) et la visse à l'aide du boulon. Le temps de vissage dure environ 10s et oblige le participant à maintenir une posture debout avec les bras à hauteur du buste (voir figure 4b).

— *Visser l'étagère du bas*

Le participant prend une vis et un boulon dans la boîte, se déplace jusqu'à l'étagère, place la vis dans le trou de l'étagère du bas (indiqué par une bande colorée) et la visse à l'aide du boulon. Le temps de vissage dure environ 10s et oblige le participant à être agenouillé, accroupi ou fortement penché (voir figure 4c).

— *Défaire le noeud*

Le participant dénoue le noeud liant les deux poids. Le participant doit se tenir devant la table où le poids se situe, l'obligeant à maintenir une posture penchée en avant afin d'atteindre le noeud. Le noeud prend approximativement 15s à défaire (voir figure 4d).

— *Déposer le poids de 10kg*

Le participant prend le poids de dessus (10kg) avec les deux mains, le porte jusqu'à l'étagère et le pose sur l'étagère du milieu. La hauteur de l'étagère oblige le participant à manipuler le poids tout en adoptant une posture debout avec le buste droit (voir figure 4e).

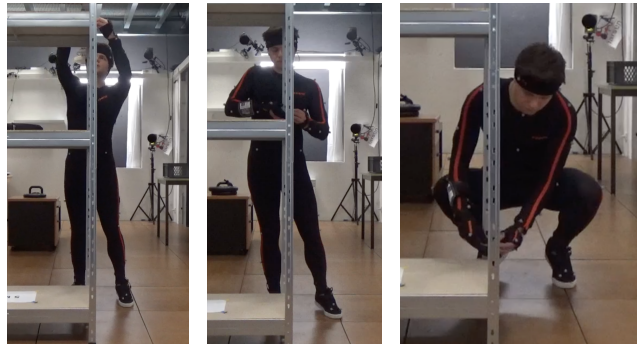
— *Déposer le poids de 5kg*

Le participant prend le poids du dessous (5kg) avec les deux mains, le porte jusqu'aux étagères et le pose sur l'étagère du bas. La hauteur de l'étagère oblige le participant à manipuler le poids tout en adoptant une posture agenouillée, accroupie ou penchée (voir figure 4f).

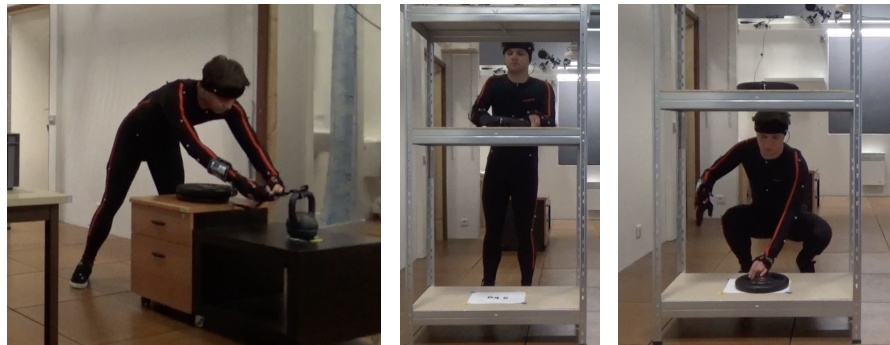
Ces tâches ont été choisies dans le but d'inclure des éléments de la fiche d'évaluation ergonomique EAWS (*Ergonomic Assessment WorkSheet*) (voir annexe 1). Ce type d'évaluation est souvent utilisé en milieu industriel. Elle permet une étude rapide et facile de la qualité ergonomique des tâches exécutées par les opérateurs. Les tâches de vissage et la tâche du noeud sont pensées de façon à ce que le participant prenne plus de 4s à les effectuer en maintenant sa position, ce qui est considéré comme une position statique par la fiche EAWS.

Le protocole compte en tout six séquences. Chaque séquence est un enchaînement particulier des six tâches à accomplir, sachant que le poids de 5kg ne peut être déplacé qu'après celui de 10kg, qui ne peut être déplacé qu'après que le noeud soit défait. Par exemple, la séquence 1 est définie par l'enchaînement *visser l'étagère du bas*, puis *visser l'étagère du milieu*, puis *visser l'étagère du haut*, puis *défaire le noeud*, puis *déposer le poids de 10kg*, puis *déposer le poids de 5kg*. Afin d'ajouter de la variabilité lors de la collecte, le participant effectue chaque séquence (variabilité inter-séquentielle) plusieurs fois (variabilité intra-séquentielle). Cette variabilité permettra à l'algorithme d'être généralisable.

Chaque participant effectue trois séquences, qu'il répète cinq fois. Il réalise donc quinze essais, chacun durant entre 1min30 et 3min. Ce nombre a été choisi pour limiter la fatigue des participants et éviter qu'ils ne se blessent. Une séance de collecte dure en moyenne une heure et demi à deux heures en comptant la phase de préparation (formulaire de consentement et équipement du participant), la phase de calibration des capteurs, la phase de test et enfin la phase de collecte en elle-même.



(a) *Visser l'étagère du haut* (b) *Visser l'étagère du milieu* (c) *Visser l'étagère du bas*



(d) *Défaire le noeud* (e) *Déposer le poids de 10kg* (f) *Déposer le poids de 5kg*

FIGURE 4 – Illustration des tâches à réaliser

2.3 Matériel utilisé

Pour réaliser la collecte de données plusieurs équipements ont été utilisés : une combinaison Xsens, des caméras Qualisys, un gant capteur de force et les dalles de force présentes dans l'appartement intelligent.

Combinaison Xsens

La combinaison Xsens MVN Link² est un système de capture de mouvement inertiel. Elle comporte dix-sept capteurs inertiels. La combinaison est le premier élément que le participant doit enfiler. Avec les données mesurées, le logiciel associé, MVN Studio, calcule grâce à un modèle humain intégré : l'angle des articulations, la vitesse et la position des membres et le centre de masse. Le logiciel permet de visualiser instantanément une modélisation 3D du participant (voir figure 5), exportable sous format vidéo. Ce sont ces vidéos que nous avons ensuite annotées.

Système Qualisys

Les caméras Qualisys sont un système de capture de mouvement optique infrarouge fonctionnant avec des marqueurs réfléchissants. Les marqueurs utilisés sont passifs, ce qui signifie qu'il n'émettent pas de signal par eux-mêmes. Leur position ne peut être calculée que s'ils sont dans le champ de vision d'au minimum deux caméras. Cette limite a nécessité plusieurs tests, auxquels nous avons participé, pour s'assurer que les caméras étaient suffisamment bien réparties dans l'appartement pour qu'aucun des marqueurs ne

2. <https://www.xsens.com/products/xsens-mvn-analyze/>

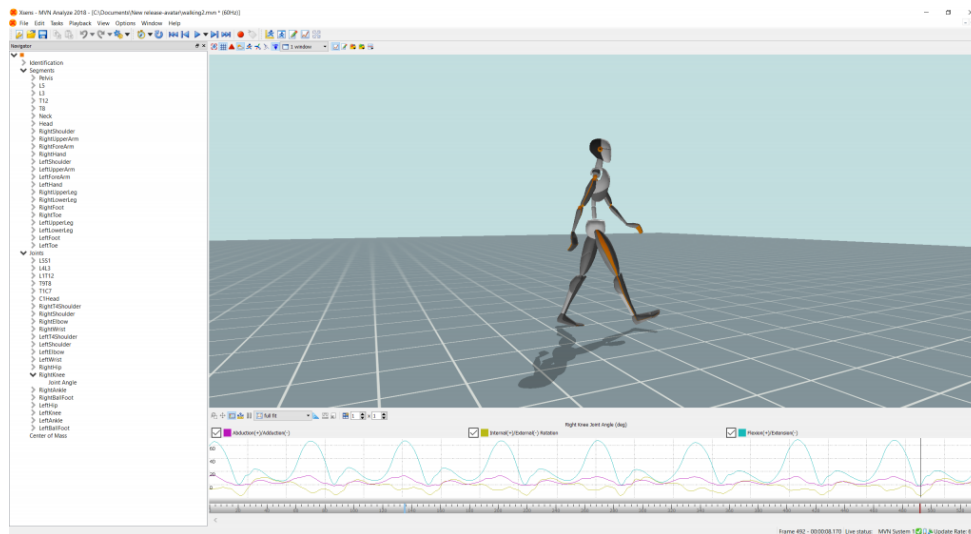


FIGURE 5 – Exemple de mouvements visualisés avec MVN Studio

soit constamment hors de vue pendant la réalisation de la tâche.

Trente-neuf marqueurs sont placés sur le participant d’après le guide *Plug-in-Gait Marker Placement* (voir annexe 2), sur des zones osseuses (la vertèbre cervicale C7, le poignet, etc.), afin que les marqueurs d’un même segment du modèle rigide ne varient pas en distance. Comme les marqueurs sont sur la combinaison Xsens, on évite qu’ils soient obstrués par des plis de vêtements. Quatre autres marqueurs sont placés sur les pieds du participants, ce qui entraîne parfois une gêne pour les participants qui essaient de ne pas les accrocher. Les données obtenues peuvent aussi être visualisées avec un logiciel Qualisys et annotées, mais ce n’est pas ce sur quoi notre projet tutoré s’est concentré.

E-Glove

Par-dessus la combinaison, le participant porte un gant prototype, qui mesure les forces qui sont appliquées dessus. Nous ne nous sommes pas intéressés aux données obtenues par le gant dans le cadre de notre projet. Le port du gant entraîne une gêne lors des tâches nécessitant de la dextérité, comme le vissage, à laquelle le participant doit s’adapter.

Dalles de force

Les dalles de forces de l’appartement sont utilisées pour mesurer la répartition du poids du participant. Elles ont l’avantage de couvrir toute la surface de l’appartement. Ceci permet aux participants de se déplacer librement pour réaliser leurs tâches.

Caméras

Deux caméras optiques avec des angles de vue différents filment chaque essais. Leurs enregistrements permettent de garder une trace visuelle des essais et de trancher en cas d’incertitude pouvant survenir lors de nos annotations.



FIGURE 6 – Nicolas équipé et réalisant une tâche de vissage

3 Annotations

Les annotations sont réalisées sur les vidéos des essais obtenues avec le logiciel Xsens. Lors de l'annotation d'une vidéo, on identifie les postures et les mouvements présents dans la vidéo pour la découper en plusieurs segments. On assigne à chaque segment un label prédéfini décrivant le mouvement identifié.

Nous nous référons aux étiquettes données aux postures et actions par le terme "label", car c'est le terme technique que nous avons utilisé tout au long du projet. Nous utilisons aussi le terme "frame" pour désigner une image de vidéo.

3.1 Catégories d'annotations et labels

Le but de l'algorithme entraîné avec les données annotées est de reconnaître les différentes postures critiques en ergonomie. Les annotations sont divisées en plusieurs catégories, ayant chacune leurs propres labels.

- *general_posture* : reprend comme labels les catégories de postures de la fiche EAWS (voir annexe 1);
- *detailed_posture* : reprend les sous-catégories de postures de la fiche EAWS;
- *current_action* : concerne les tâches et peut être utile pour d'autres applications, comme des robots fournissant une assistance différente en fonction de la tâche identifiée.

L'existence de ces trois catégories d'annotation signifie que chaque frame des vidéos que nous avons annotées est étiquetée avec trois labels : un de chaque catégorie.

general_posture

Cette catégorie fournit une description générale de la posture du participant (voir table 1). Parmi les sept labels associés, trois ne sont pas utiles pour les annotations que nous avons réalisées, mais sont quand même spécifiés pour être en adéquation avec la fiche d'évaluation ergonomique. Les postures accroupie et agenouillée sont différenciées, bien qu'elles ne le soient pas dans la fiche EAWS, car elles n'ont pas les mêmes conséquences en termes de troubles musculo-squelettiques.

TABLE 1 – Abréviations et descriptions des labels de *general_posture*

Label	Abréviation	Description	Remarques
<i>standing</i>	ST	le participant se tient debout	commence quand les deux pieds sont immobiles, finit quand le participant lève un pied
<i>walking</i>	W	le participant marche	commence quand le participant lève un pied, finit quand les deux pieds sont immobiles
! <i>kneeling</i>	K	le participant est agenouillé	au moins un genou touche le sol
<i>crouching</i>	CR	le participant est accroupi	commence quand les genoux se plient, finit quand les jambes sont presque droites ; aucun genou ne touche le sol
<i>sitting</i>	SI	le participant est assis	[pas utilisé]

<i>lying</i>	L	le participant est allongé	[pas utilisé]
<i>climbing</i>	CL	le participant grimpe	[pas utilisé]

detailed_posture

Cette catégorie fournit une description plus précise de la posture du participant spécifiant l'orientation du buste et la position des bras (voir table 2). Chacun des dix-huit labels de cette catégorie est subordonné à un label de la catégorie *general_posture*. Par exemple, si un segment d'une vidéo est annoté avec le label CR pour la catégorie *general_posture*, ce segment ne devrait être annoté qu'avec les labels CRu, CRb, CRes, CRhh pour la catégorie *detailed_posture*.

TABLE 2 – Abréviations et descriptions des labels de *detailed_posture*

Label	Abréviation	Description
<i>walking_upright</i>	Wu	le participant marche le dos droit
<i>standing_upright</i>	STu	le participant se tient debout le dos droit
<i>standing_bent_forward</i>	STb	le participant se tient debout le dos courbé (angle compris entre 20° et 60°)
<i>standing_strongly_bent_forward</i>	STsb	le participant se tient debout le dos fortement courbé (angle supérieur à 60°)
<i>standing_overhead_work_elbow_at_>_above_>_shoulder</i>	STes	le participant se tient debout avec les coudes à hauteur des épaules et les mains ne dépassant pas la tête
<i>standing_overhead_work_hands_>_above_>_head</i>	SThh	le participant se tient debout avec les mains au-dessus de la tête
<i>kneeling_upright</i>	Ku	le participant est agenouillé le dos droit
<i>kneeling_bent</i>	Kb	le participant est agenouillé le dos courbé
<i>kneeling_elbow_at_>_above_>_shoulder</i>	Kes	le participant est agenouillé avec les coudes à hauteur des épaules et les mains ne dépassant pas les épaules
<i>kneeling_overhead_work_hands_>_above_>_head</i>	Khh	le participant est agenouillé avec les mains au-dessus de la tête
<i>crouching_upright</i>	CRu	le participant est accroupi le dos droit
<i>crouching_bent</i>	CRb	le participant est accroupi le dos courbé
<i>crouching_elbow_at_>_above_>_shoulder</i>	CRes	le participant est accroupi avec les coudes à hauteur des épaules et les mains ne dépassant pas les épaules
<i>crouching_overhead_work_hands_>_above_>_head</i>	CRhh	le participant est accroupi avec les mains au-dessus de la tête

<i>sitting_upright</i>	SIu	[pas utilisé] le participant est assis le dos droit avec un soutien dorsal
<i>sitting_no_back_support</i>	SInbs	[pas utilisé] le participant est assis le dos droit sans soutien dorsal
<i>lying</i>	Ll	[pas utilisé] le participant est allongé
<i>climbing</i>	CLcl	[pas utilisé] le participant grimpe

current_action

Cette catégorie fournit une description de l'action réalisée par le participant, se concentrant sur le mouvement des mains, et non pas sur la posture (voir table 3). Les quinze labels de cette catégorie sont complètement indépendants des deux autres.

Comme pour les autres catégories certains labels spécifiés (*hammering*, *pushing*, *pulling*, *drilling*) ne sont pas utilisés dans nos annotations, car aucune des tâches réalisées dans le protocole ne nécessite ces actions. Toutefois, ils figurent quand même dans le fichier d'annotation, car on considère qu'ils sont pertinents en milieu industriel et pourraient être utiles pour d'autres expériences futures. Si d'autres tâches sont introduites de nouveaux labels pourront être ajoutés pour compléter la catégorie.

TABLE 3 – Abréviations et descriptions des labels de *current_action*

Label	Abréviation	Description	Remarques
<i>picking</i>	pk	le participant prend un objet	commence quand le participant saisit l'objet et bouge le bras, finit quand le bras ne bouge plus relativement au corps
<i>placing</i>	pc	le participant pose un objet	commence quand le bras bouge relativement au corps, finit quand le participant lâche l'objet
<i>release</i>	rl	le participant lâche un objet	commence quand le participant lâche l'objet, finit quand le bras est au repos
<i>hammering</i>	hm	le participant "martèle" un objet	[pas utilisé]
<i>pushing</i>	psh	le participant pousse un objet	[pas utilisé]
<i>pulling</i>	pl	le participant tire un objet	[pas utilisé]
<i>drilling</i>	dl	le participant perce un objet	[pas utilisé]
<i>screwing</i>	sw	le participant visse un objet	
<i>fine_manipulation</i>	fm	le participant manipule un objet	mouvements des mains précis n'appartenant pas à d'autres catégories
<i>carrying</i>	cr	le participant porte un objet	commence à la fin de <i>picking</i> , finit au début de <i>placing</i>

<i>idle</i>	id	le participant ne réalise aucune action avec ses mains	
<i>release_no_task</i>	rl_nt	le participant lâche un objet sans lien avec la tâche	
<i>reaching_no_task</i>	rch_nt	le participant tend la main vers un objet sans lien avec la tâche	
<i>fine_manipulation_no_task</i>	fm_nt	le participant manipule un objet sans lien avec la tâche	

Les abréviations présentées dans les tables de l'annexe 3 seront utilisées dans le reste du rapport par souci de concision.

3.2 Résolution des ambiguïtés

Lors de nos annotations nous avons remarqué plusieurs comportements des participants qui n'avaient pas été prévus dans la définition préalable des catégories et des labels. Nous avons donc participé à l'ajustement de certains labels pour lever les ambiguïtés d'annotation de ces comportements.

Par exemple, nous avons remarqué que certains mouvements des participants, comme se gratter le nez ou réajuster sa combinaison, étaient ambigus à annoter, car ne relevant pas d'une tâche du protocole. Physiquement ces mouvements devraient être annotés avec les labels *reaching*, *fine_manipulation* et *release* mais sémantiquement ils relèvent plus du label *idle*. C'est pourquoi il a été décidé avec nos tuteurs de rajouter les trois labels finissant par *no_task* (voir table 3) pour les différencier des autres mouvements.

3.3 Anvil

Nos annotations ont été réalisées avec le logiciel d'annotations Anvil³. Ce logiciel nécessite un fichier de spécifications définissant les différentes catégories d'annotation et leurs labels. Après s'être familiarisé avec le logiciel, il faut environ une demi-heure pour annoter un essai de 1min30 à 3min.

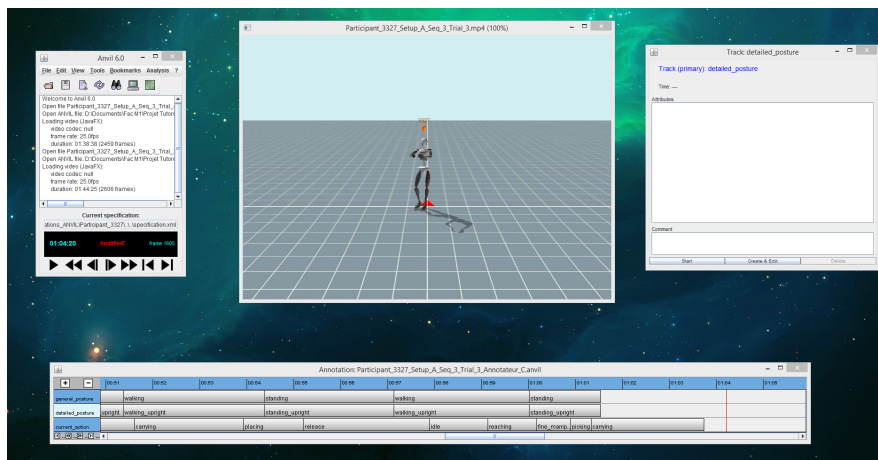


FIGURE 7 – Exemple de mouvements visualisés avec MVN Studio

3. Informations et lien de téléchargement sur le site : <http://www.anvil-software.org/>

3.4 Annotations réalisées

Il faut trois annotateurs pour augmenter la fiabilité des annotations et pouvoir trancher en cas de désaccord (tant que trois annotateurs n'ont pas un avis différent). En tout, nous avons réalisé respectivement vingt-sept et vingt-et-une annotations chacun. À ces annotations s'ajoutent vingt-quatre autres annotations réalisées par Adrien Malaisé.

Pour nos analyses nous disposons de 4 vidéos ayant été annotées par tous les annotateurs et de 10 vidéos ayant été annotées par deux annotateurs. Les annotations croisées couvrent toutes la même séquence, réalisée par deux participants différents. Nous ne pourrions donc pas conclure définitivement sur les résultats que nous avons obtenu. Toutefois, ce nombre est suffisant pour tester le fonctionnement de nos scripts d'analyse. Ils pourront ensuite être utilisés lors de notre stage en continuité du projet tutoré, où nous compléterons les annotations.

4 Analyses

Les analyses des annotations ont plusieurs objectifs :

- tester la cohérence des annotations en fonction des annotateurs : identifier les désaccords d’annotations et par extension les différences de compréhension des définitions par les annotateurs ;
- étudier le comportement des participants lors de la collecte de données : étudier les différences dans l’exécution des tâches entre les participants et l’évolution du participant dans l’exécution des tâches lors de la séance de capture de mouvement.

4.1 Traitement des données

Avant de pouvoir analyser les annotations réalisées nous avons dû traiter les données obtenues pour qu’elles soient plus facilement manipulables. Pour cela, nous avons écrit un script en python 3 qui prend en entrée les fichiers d’annotation .xml obtenus avec Anvil et, avec un script fourni par nos encadrants, en extrait les données. Une fois les données récupérées, notre script génère pour chaque vidéo trois fichiers .csv (un pour chaque catégorie d’annotation) contenant les annotations divisées en segments. Chaque segment représente une section de la vidéo où chaque annotateur n’a donné qu’un label. Cela signifie que chaque fois que le label change pour au moins un des annotateurs on passe à un nouveau segment. Les segments ont donc comme attributs : leur temps de départ, leur temps de fin, leur durée et leur label pour chaque annotateur (voir table 4). Cette segmentation est inspirée des méthodes d’évaluation d’algorithme de reconnaissance d’activité issues de la littérature [3]. Elle permet de comparer différentes séquences de tâches.

TABLE 4 – Extrait d’un fichier d’annotation segmenté (voir annexe 3)

début	fin	durée	label-annotateur1	label-annotateur2	label-annotateur3
0.0	7.36	7.36	idle	idle	idle
7.36	7.48	0.12	idle	idle	reaching
7.48	7.56	0.08	reaching	idle	reaching
7.56	8.4	0.84	reaching	reaching	reaching
8.4	8.6	0.20	fine_manipulation	reaching	reaching
8.6	8.8	0.20	fine_manipulation	fine_manipulation	reaching
8.8	9.24	0.44	fine_manipulation	fine_manipulation	fine_manipulation

Nous avons aussi réalisé un script générant des fichiers .csv contenant les annotations frame par frame. Chaque frame représente 0,04 seconde, car les vidéos sont enregistrées à 25 images par seconde.

4.2 Types de segments

Une fois la segmentation réalisée, il nous est possible de classer les segments en différents types. Nous avons identifié cinq types de segments :

- *accord* : l’ensemble des annotateurs identifie la même action/posture (voir figure 8) ;
- *transition* : segments qui apparaissent entre deux segments de type *accord*, mais où la transition d’un label à l’autre, n’est pas placée au même moment pour tous les annotateurs (voir figure 8) ;
- *insertion* : une minorité d’annotateurs identifie une action ou posture de plus que les autres annotateurs (voir figure 9) ;

- *suppression* : une minorité d’annotateurs identifie une action ou posture de moins que les autres annotateurs (voir figure 9);
- *désaccord sur le label* : une minorité d’annotateurs identifie une action ou posture avec un autre label que les autres annotateurs (voir figure 9).

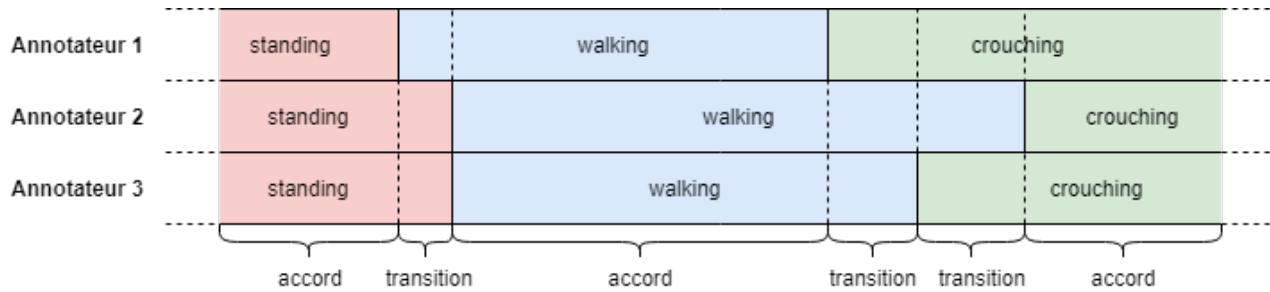


FIGURE 8 – Exemple visuel de segmentation sur une séquence annotée par trois personnes

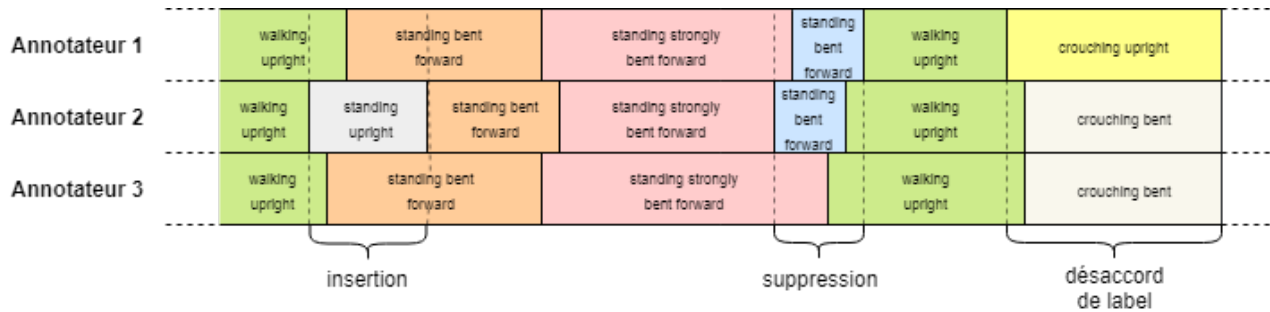


FIGURE 9 – Exemple visuel d’une insertion, une déletion et un désaccord

Notre script n’est pas encore capable de différencier les segments de type *insertion*, *suppression* et *désaccord sur le label*. Pour nos analyses, ces segments sont provisoirement regroupés sous l’étiquette *désaccord*.

4.3 Analyses inter-annotateurs

Nos premières analyses sont des comparaisons inter-annotateurs. Elles permettent de vérifier que les annotations sont cohérentes, en réalisant une validation croisée. C’est à dire vérifier si les annotateurs ont choisi les mêmes labels pour la même action dans la perspective de construire une vérité terrain. Des inconsistances entre les annotateurs peuvent indiquer des différences d’interprétation des définitions des labels.

Dans ces analyses nous tentons d’identifier les différences entre les annotateurs à partir de l’ensemble des annotations croisées par au moins deux ou trois annotateurs.

Occurences des différents types de segment

Les figures 10 et 11 représentent la répartition de chaque type de segment pour l’ensemble des annotations par catégories et nombre d’annotateurs.

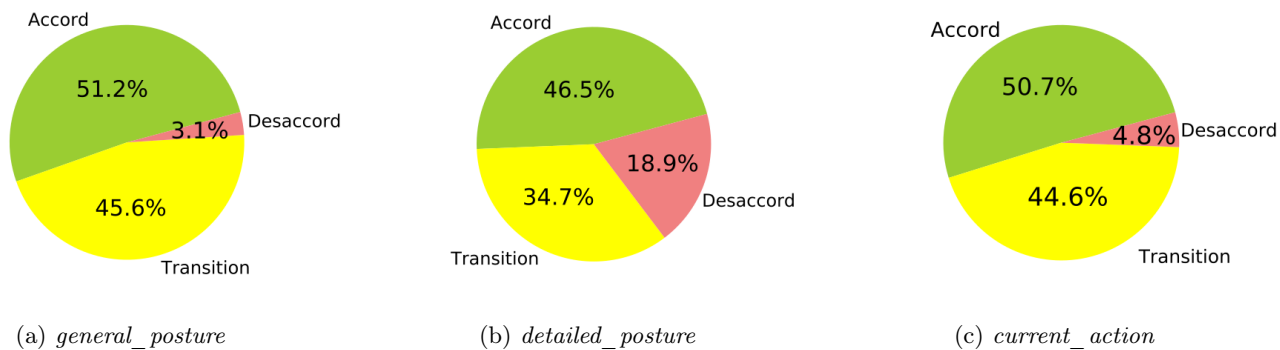


FIGURE 10 – Répartition des types de segments pour les annotations à deux annotateurs, en nombre d’occurrences.

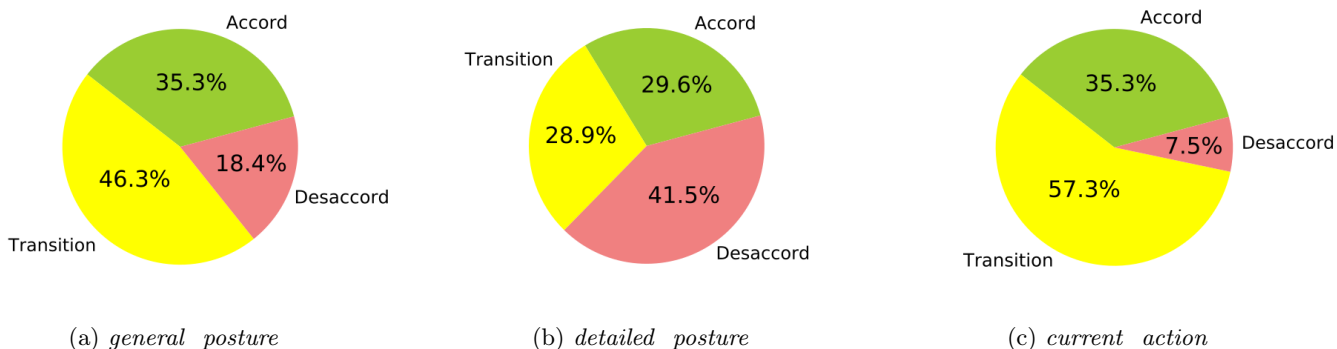


FIGURE 11 – Répartition des types de segments pour les annotations à trois annotateurs, en nombre d’occurrences.

Le nombre de segments de type *accord* est compris entre 46-52% en fonction des catégories pour les annotations croisées à deux annotateurs et 29-36% pour les annotations croisées à trois annotateurs. Il y a donc une quantité importante de segments annotés différemment entre les différents annotateurs.

Cependant, ces résultats ne sont pas réellement représentatifs de la réalité des annotations. Seul le nombre de segments est considéré, sans prendre en compte leurs durées. En effet, nous pouvons supposer que beaucoup de segments annotés différemment entre les annotateurs ne sont que de très courte durée et ne représentent pas une partie significative de la durée totale.

La catégorie *detailed_posture* (figures 10b et 11b) est à l’origine du plus de désaccords entre les annotateurs (qu’ils soient deux ou trois). Nous attribuons ce grand nombre de désaccords aux postures où les annotateurs doivent trancher entre deux labels. Par exemple, le participant se tient légèrement penché et il n’est pas évident décider lequel des labels *standing_upright* et *standing_bent_forward* convient le mieux.

À l’inverse, les labels appartenant à la catégorie *current_action* sont ceux avec le moins de désaccords entre les participants. Ces labels se suivent dans un ordre logique (*picking* puis *carrying* puis *placing*) et ont des finalités distinctes permettant de facilement les distinguer. Par exemple, les labels *placing* et *reaching* décrivent des mouvements similaires, mais avec des finalités différentes.

Durées des différents types de segment

Si nous nous intéressons à la durée totale des types de segments, nous obtenons les répartitions suivantes des figures 12 et 13.

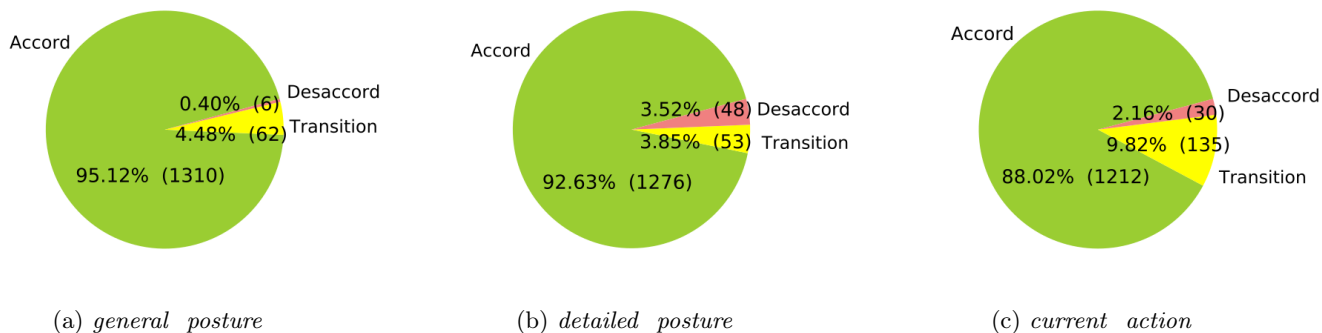


FIGURE 12 – Répartition des types de segments pour les annotations à deux annotateurs, en secondes.

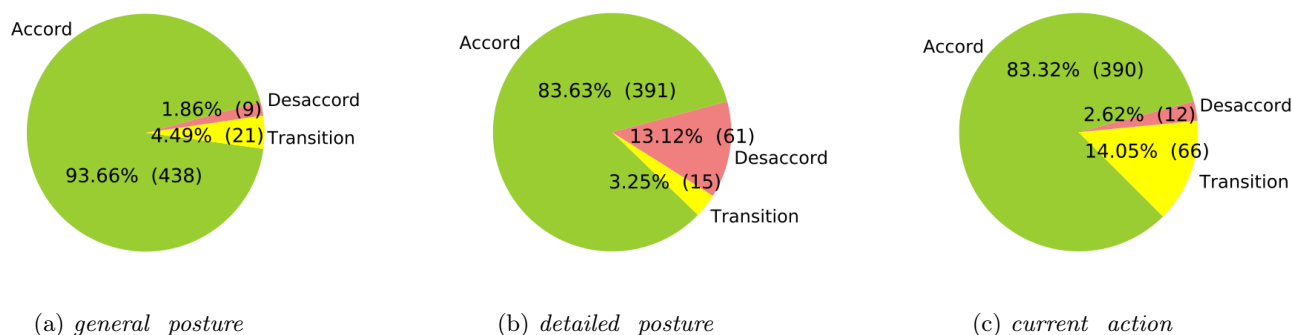


FIGURE 13 – Répartition des types de segments pour les annotations à trois annotateurs, en secondes.

Les annotateurs sont en accord pour la plus grande part des annotations. Les désaccords et transitions qui représentent 49 à 71% des segments, ne représentent que 5 à 17% du temps des vidéos. Les annotateurs sont d'accord la majorité du temps.

Durées ajustées des différents types de segment

Il faut aussi remarquer que chaque annotation commence par environ cinq secondes où le participant reste debout immobile pendant le lancement des capteurs et trente secondes à la fin pendant leur arrêt. Ces périodes, qui sont relativement longues pour la durée des essais, sont non ambiguës à annoter et augmentent artificiellement le ratio de temps où les annotateurs sont d'accord. Si nous calculons les distributions sans les segments du début et de fin, nous obtenons les résultats présentés sur les figures 14 et 15.

Après suppression des segments de début et de fin, la durée totale des segments *accord* diminue d'environ 30% pour chaque catégorie. Néanmoins, les *accords* représentent encore 76-93% du temps des annotations.

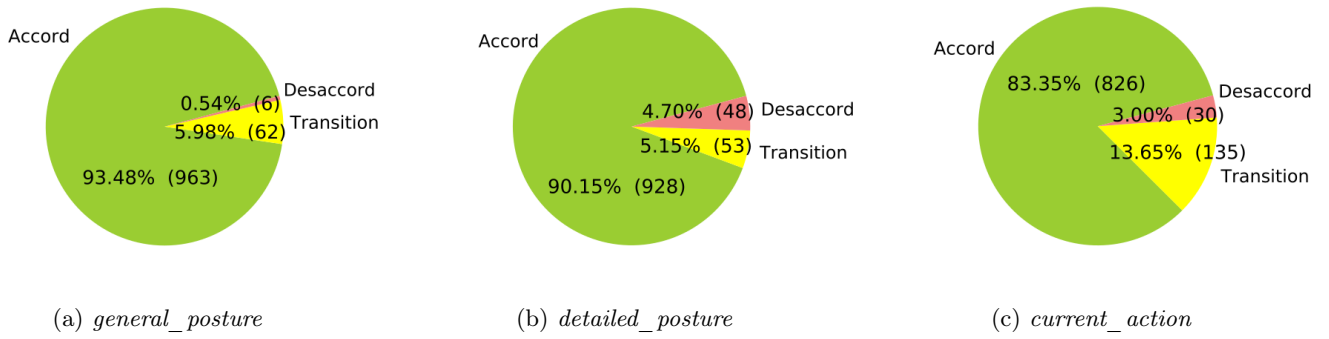


FIGURE 14 – Répartition ajustée des types de segments pour les annotations à deux annotateurs, en secondes.

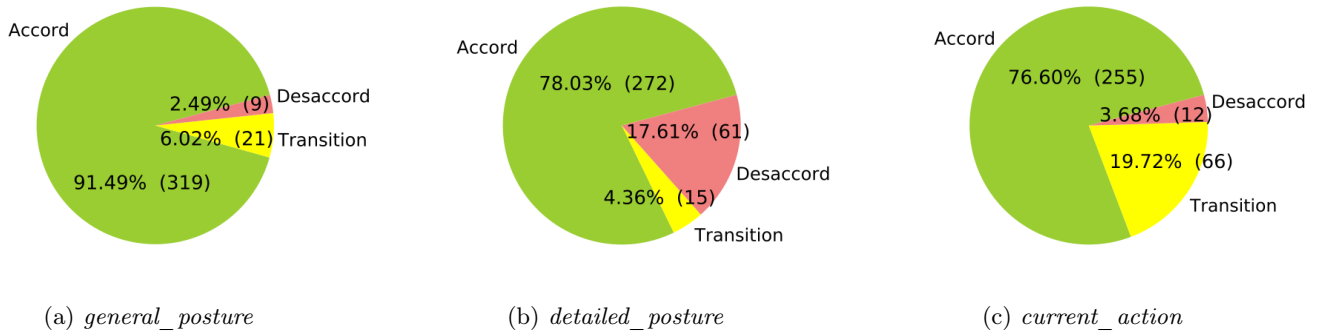


FIGURE 15 – Répartition ajustée des types de segments pour les annotations à trois annotateurs, en secondes.

Durées des transitions

Dans l’optique de déterminer quelles transitions posent le plus de problème à déterminer pour les annotateurs, nous calculons les temps moyens des différentes transitions possibles (voir figures 17 et 18).

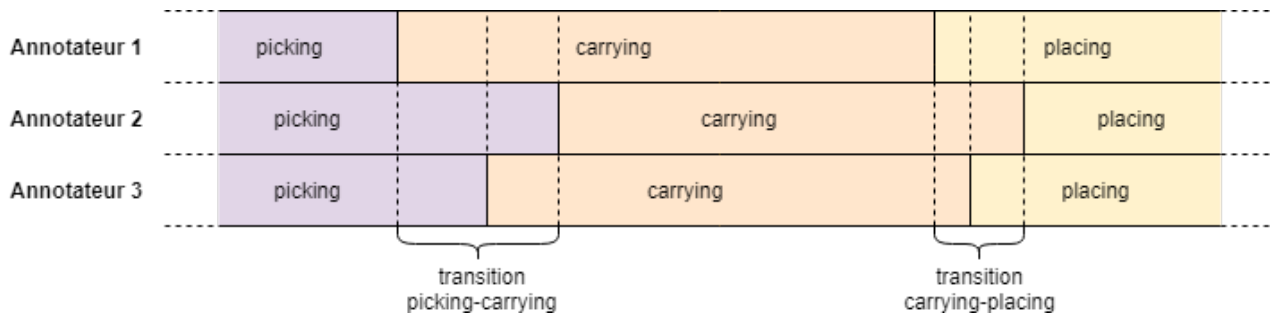


FIGURE 16 – Exemple visuel d’une insertion, une suppression et un désaccord

Par exemple, sur la figure 16 la transition entre les labels *picking* et *carrying* est plus longue que la transition entre *carrying* et *placing*. Ce qui indiquerait que les annotateurs ont plus de différences dans

leurs compréhensions de la transition *picking-carrying* que de la transition *carrying-placing*.

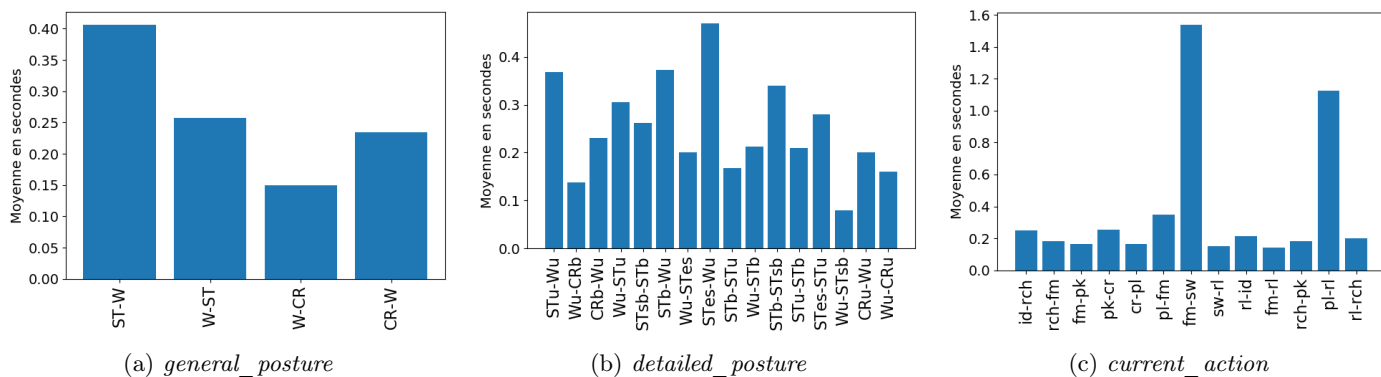


FIGURE 17 – Durée moyenne des transitions pour les annotations à deux annotateurs en secondes.

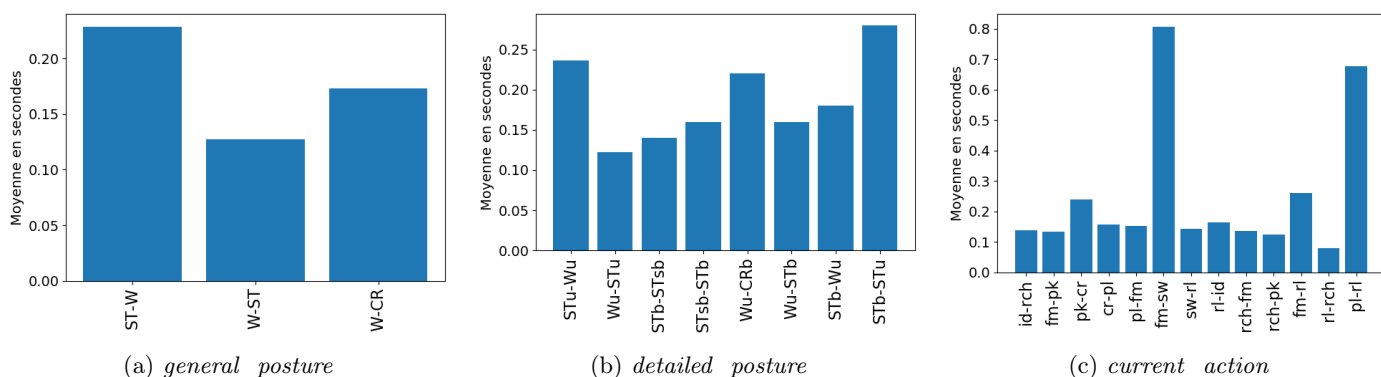


FIGURE 18 – Durée moyenne des transitions pour les annotations à trois annotateurs en secondes.

En moyenne, les transitions durent entre un dixième et quatre dixièmes de seconde, sauf pour deux types de transitions dont les durées moyennes dépassent une seconde (figure 17c) et sept dixièmes (figure 18c) :

- La transition de *fine_manipulation* à *screwing* : cette transition est difficile à repérer, car le mouvement des doigts est peu visible sur les vidéos.
- La transition de *placing* à *release* : lorsque le participant pose un poids sur une étagère, il doit parfois libérer son gant de sous le poids. Cette action prend beaucoup de temps comparativement aux autres actions.

Pour diminuer la durée des transitions *placing-release*, il faut que les annotateurs s'accordent sur le fait d'ajuster son gant au moment où il est coincé relève du label *placing* ou du label *release*.

Pour les transitions *fine_manipulation-screwing*, les annotateurs devraient convenir d'un mouvement distinctif indiquant le passage de *fine_manipulation* à *screwing*.

Ainsi, les résultats étant très satisfaisants, nous pouvons considérer que les données annotées sont cohérentes et peuvent servir pour construire une vérité terrain utilisable pour l'apprentissage de l'algorithme de reconnaissance de mouvements. Dans l'optique de comprendre les différences restantes, nous pourrions repérer quels labels sont le plus souvent sources de désaccord entre les annotateurs. Si les désaccords surviennent de manière homogène entre les différents labels, nous pourrions considérer que les résultats actuels

ne peuvent être améliorés. Les différences entre les annotations étant déjà minimisées au maximum. En revanche, si on repère que les différences surviennent régulièrement sur les mêmes labels, cela signifie que ceux-ci sont majoritairement sujets à des désaccords. Dans ce cas, la définition de ces labels pourrait être améliorée afin de diminuer leurs ambiguïtés.

4.4 Analyse statistique

Les analyses précédentes nous ont permis de juger de la qualité des différentes annotations. Grâce à elles, nous avons pu estimer la fiabilité des différentes annotations et estimer leur utilisabilité. Le but de ces analyses est de pouvoir résumer les données et mettre en avant ce qu'elles ont d'intéressant.

De plus, la base de données d'annotation sera rendue publique à terme. Elle sera mise à disposition pour les besoins potentiels de futures études. Ainsi, ces analyses statistiques permettent de mieux expliquer ces données. Elles permettent de donner un aperçu global de ce qu'elles contiennent et montrer en quoi elles sont intéressantes. L'intérêt de ces analyses est donc aussi de rendre la base de données la plus utilisable possible.

Nous allons nous intéresser particulièrement à l'évolution de la durée des essais avec le temps. Nous cherchons à savoir si l'ordre de passage d'un essai influence sa durée. Nous posons les hypothèses :

- H0 : La durée d'un essai n'est pas corrélée négativement avec son ordre de passage.
- H1 : La durée d'un essai est corrélée négativement avec son ordre de passage.

La durée de l'essai est une variable quantitative continue, exprimée en secondes. L'ordre de passage de l'essai est une variable quantitative discrète. L'essai 1 correspondant au premier essai réalisé par le participant, l'essai 2 au second essai du participant, etc.

Les données de ce test se basent sur un échantillon de 54 essais distincts dont nous avons enlevé les segments de début et de fin pour ne pas biaiser les résultats (voir une des analyse de la sous-section 4.3).

Nous cherchons à réaliser un test de corrélation entre deux variables quantitative. Pour savoir si il faut appliquer un test de corrélation de Pearson ou de Spearman, nous vérifions si les données suivent la loi normale. Pour cela, nous réalisons un test de Shapiro, où :

- H0 : Les données suivent une loi normale.
- H1 : Les données ne suivent pas une loi normale.

Nous obtenons une p -value de 8, 36.10^{-3} pour les durées et une p -value de 2, 29.10^{-2} pour les ordres de passage. Dans les deux cas la p -value est inférieure à 0,05, donc les données ne suivent pas une loi normale et nous choisissons le test non paramétrique de Spearman comme test de corrélation.

Nous trouvons une corrélation significative (p -value=8, 54.10^{-7}) de -0,61, donc on rejette l'hypothèse nulle H0. La durée d'un essai est inversement proportionnelle à son ordre. Autrement dit, plus un participant réalise d'essais, moins il prend de temps à le réaliser. On calcule le modèle de régression linéaire d'équation $y = -2,713x + 121$, visualisé sur la figure 19.

Discussion

Il y a plusieurs facteurs qui nous permettent d'expliquer ce phénomène. La collecte d'annotations exige que le participant soit équipé de la combinaison Xsens et du gant e-Glove, qui peuvent être sources de gêne. Ils limitent la liberté de mouvement et le participant perd en précision dans les tâches manuelles (voir sous-section 2.3). Comme le participant n'est pas habitué à porter ce genre d'équipement, on peut supposer qu'il est aussi plus prudent avec l'équipement pendant les premiers essais et réalise les tâches plus lentement. Après quelques essais, le participant s'habitue à ces contraintes et prend moins de temps

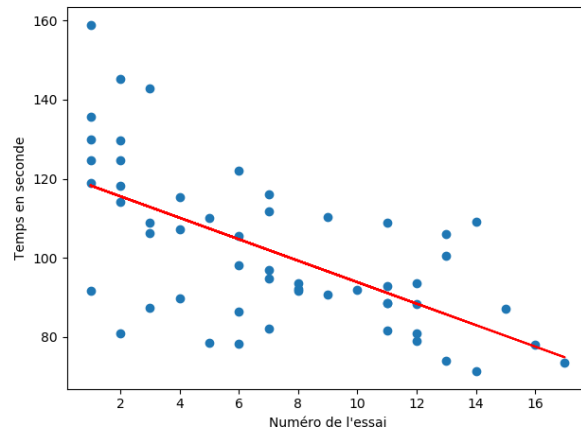


FIGURE 19 – Durée des essais en fonction de leur ordre de passage

pour réaliser les tâches.

De plus, le participant doit aussi se familiariser avec les tâches qu'il doit réaliser, ce qui peut lui prendre plusieurs essais.

Enfin, nous n'oublions pas que nous ne disposons pas encore de l'entièreté des annotations, mais nous avons pu réfléchir à la démarche à appliquer et créer des scripts que nous pourrions réutiliser.

5 Conclusion

Pour notre projet, nous avons apporté notre aide à l'équipe de chercheurs lors de la collecte de données par captures de mouvements. Nous avons fourni une base de données d'annotations issues de cette capture de mouvement ainsi que des outils permettant d'analyser ces données. Les outils que nous avons mis en place permettent d'évaluer la cohérence des annotations et d'étudier des caractéristiques dans le comportement des participants. Cette évaluation est très importante afin de juger de la qualité des annotations. Les résultats de cette évaluation ont montré que les annotations étaient cohérentes entre les différents annotateurs. L'analyse statistique a prouvé l'existence d'une corrélation entre le temps d'exécution d'un essai et le nombre d'essais. Les participants effectuent les essais de plus en plus rapidement, ce qui suggère un apprentissage des tâches et une phase d'adaptation à l'équipement.

Les cours d'analyse comportementale que nous avons suivis cette année nous ont particulièrement aidés. Ils nous ont familiarisés au travail d'annotation et permis d'appréhender rapidement ce qui était attendu de nous. Nos connaissances en statistiques et analyse de données nous ont aussi été utiles pour l'analyse de ces annotations. Grâce à nos connaissances en programmation, nous avons pu réaliser des scripts fonctionnels afin de traiter ces données.

Ce projet a été l'occasion de nous investir sur le long terme dans un projet de grande envergure. Il nous a offert l'opportunité de travailler en laboratoire avec une équipe de chercheurs et de manipuler des outils de recherche avancés. Nous avons eu la chance de faire partie d'une campagne de collectes de données par capture de mouvement. Elle nous a permis de nous rendre compte du déroulement d'une expérience en laboratoire dans des conditions réelles avec une infrastructure conséquente.

La campagne d'annotations est encore en cours. Beaucoup de données restent à être collectées, annotées et analysées. C'est dans ce but que nous allons réaliser un stage en continuation du projet tutoré.

Bibliographie

- [1] An.dy. <http://www.andy-project.eu/>, 2018. [Consulté le 27 mai 2018].
- [2] Serena Ivaldi, Lars Fritzsche, Jan Babič, Freek Stulp, Michael Damsgaard, Bernhard Graimann, Giovanni Bellusci, and Francesco Nori. Anticipatory models of human movements and dynamics : the roadmap of the AnDy project. In *Digital Human Models (DHM)*, Bonn, Germany, June 2017.
- [3] David Minnen, Tracy Westeyn, Thad Starner, J Ward, and Paul Lukowicz. Performance metrics and evaluation issues for continuous activity recognition. *Performance Metrics for Intelligent Systems*, 4, 2006.

Annexes

6 Annexe 1 - Fiche EAWS



Fiche d'évaluation ergonomique EAWS sur laquelle sont basées les catégories d'annotation *general_posture* et *detailed_posture*.

Ergonomic Assessment Worksheet v1.3.5			
Plant	Gender of operator m <input type="checkbox"/> f <input type="checkbox"/>	Body height	
Line	MTM Analysis	Analyst	
Task / Workplace	Task duration [s]	Observation <input type="checkbox"/>	Date
		Planning <input type="checkbox"/>	

Result of overall evaluation: Calculate the total score of whole body and compare it to the UL score. The overall result is determined by the higher value and the appropriate traffic light is checked. Anyway, interpretation should take into account both values.

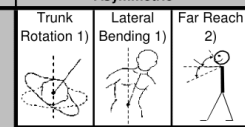
















<input type="checkbox"/> Green	Whole Body =	Postures +	Forces +	Loads +	Extra	Upper Limbs
<input type="checkbox"/> Yellow	=	+	+	+		
<input type="checkbox"/> Red						

EAWS evaluation	Points	Color	Description
0-25 Points	Green	Low risk: recommended; no action is needed	
>25-50 Points	Yellow	Possible risk: not recommended; redesign if possible, otherwise take other measures to control the risk	
>50 Points	Red	High risk: to be avoided; action to lower the risk is necessary	

Extra points "Whole body" (per minute / shift)						Extra points	
0a	Adverse effects by working on moving objects	0	3	8	15	Intensity	
		none	middle	strong	very strong		
0b	Accessibility (e.g. entering motor or passenger compartment)	0	2	5	10	Status	
		good	complicated	poor	very poor		
0c	Countershocks, impulses, vibrations 	0	1	2	5	Intensity x frequency	
		light	visible	heavy	very heavy		
		0	1	2,5	4	6	8
		[n]	1 - 2	4 - 5	8 - 10	18 - 20	> 20
0d	Joint position (especially wrist) 	0	1	3	5	Intensity x duration or frequency	
		neutral	~ 1/3 max	~ 2/3 max	maximal		
		0	2	2,5	4	6	8
		[s]	3	10	20	40	60
		[n]	1	8	11	16	20
		[%]	5	17	33	67	100
0e	Other physical work load (please describe in detail)	0	5	10	15	Intensity	
		none	middle	strong	very strong		
Extra = Σ lines 0a – 0e		Attention: Max. score = 40 (line 0c, 0d); Max. score = 15 (line 0a, 0e); Max. score = 10 (line 0b)		Attention: correct evaluation, if duration of evaluation ≠ 60 s		=	
<i>Lines 0a-b mainly relate to the Automotive Industry, for other sectors additional elements may be necessary. For details see the EAWS manual.</i>							

For scoring of repetitive tasks only:			Comments / proposals for improvements
Description	Formula	Result	
Real shift duration [min]			
Lunch break [min]	-		
Other official pauses [min]	-		
Non repetitive tasks (i.e. cleaning, supplies, etc) [min]	-		
Net duration of repetitive task/s (a) [min]	=		
No. of real units (or cycles) (b)			
Net cycle time [s]	(a/b × 60) =		
Idle Time [s]			

Ergonomic Assessment Worksheet v1.3.5


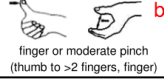

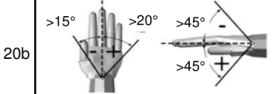

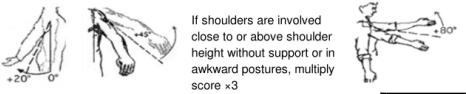
Basic Positions / Postures and movements of trunk and arms (per shift)											Postures																																																																									
(incl. loads of <3 kg, forces onto fingers of <30 N and whole body forces of <40 N) Static postures: ≥ 4 s High frequency movements: Trunk bendings (> 60°) ≥ 2/min Kneeling/crouching ≥ 2/min Arm liftings (> 60°) ≥ 10/min											Symmetric										Asymmetric																																																															
											Evaluation of static postures and/or high frequency movements of trunk/arms/legs																																																																									
											Duration [s/min] = $\frac{\text{duration of posture [s]} \times 60}{\text{Task duration [s]}}$																																																																									
											[%]	5	7,5	10	15	20	27	33	50	67	83	int	dur	int	dur	int	dur																																																									
[s/min]	3	4,5	6	9	12	16	20	30	40	50	0-5	0-3	0-5	0-3	0-5	0-2																																																																				
[min/8h]	24	36	48	72	96	130	160	240	320	400	Intensity × Duration		Intensity × Duration		Intensity × Duration																																																																					
Standing (and walking)																																																																																				
1		Standing & walking in alternation, standing with support	0	0	0	0	0,5	1	1	1	1,5	2																																																																								
2		Standing, no body support (for other restrictions see Extra Points)	0,7	1	1,5	2	3	4	6	8	11	13																																																																								
3		a Bent forward (20-60°) b with suitable support	2	3	5	7	9,5	12	18	23	32	40																																																																								
4		a Strongly bent forward (>60°) b with suitable support	3,3	5	8,5	12	17	21	30	38	51	63																																																																								
5		Upright with elbow at / above shoulder level	3,3	5	8,5	12	17	21	30	38	51	63																																																																								
6		Upright with hands above head level	5,3	8	14	19	26	33	47	60	80	100																																																																								
Sitting																																																																																				
7		Upright with back support slightly bent forward or backward	0	0	0	0	0	0	0,5	1	1,5	2																																																																								
8		Upright no back support (for other restriction see Extra Points)	0	0	0,5	1	1,5	2	3	4	5,5	7																																																																								
9		Bent forward	0,7	1	1,5	2	3	4	6	8	11	13																																																																								
10		Elbow at / above shoulder level	2,7	4	7	10	13	16	23	30	40	50																																																																								
11		Hands above head level	4	6	10	14	20	25	35	45	60	75																																																																								
Kneeling or crouching																																																																																				
12		Upright	3,3	5	7	9	12	15	21	27	36	45																																																																								
13		Bent forward	4	6	10	14	20	25	35	45	60	75																																																																								
14		Elbow at / above shoulder level	6	9	16	23	33	43	62	80	108	135																																																																								
Lying or climbing																																																																																				
15		(Lying on back, breast or side) arms above head	6	9	15	21	29	37	53	68	91	113																																																																								
16		Climbing	6,7	10	22	33	50	66																																																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">1)</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">2)</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Σ</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Σ</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Σ</td> </tr> <tr> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">Trunk</td> <td style="text-align: center;">int</td> <td style="text-align: center;">slightly ≤10°</td> <td style="text-align: center;">medium 15°</td> <td style="text-align: center;">strongly 25°</td> <td style="text-align: center;">extreme ≥30°</td> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">Far Reach</td> <td style="text-align: center;">int</td> <td style="text-align: center;">close</td> <td style="text-align: center;">60%</td> <td style="text-align: center;">80%</td> <td style="text-align: center;">arm stretched</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Σ (max. = 15)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">dur</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">1,5</td> <td style="text-align: center;">2,5</td> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">dur</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">1,5</td> <td style="text-align: center;">2</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Σ (max. = 40)</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td style="text-align: center;">never</td> <td style="text-align: center;">4 s</td> <td style="text-align: center;">10 s</td> <td style="text-align: center;">≥ 13 s</td> <td colspan="2"></td> <td style="text-align: center;">never</td> <td style="text-align: center;">4 s</td> <td style="text-align: center;">10 s</td> <td style="text-align: center;">≥ 13 s</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td style="text-align: center;">0%</td> <td style="text-align: center;">6%</td> <td style="text-align: center;">15%</td> <td style="text-align: center;">≥ 20%</td> <td colspan="2"></td> <td style="text-align: center;">0%</td> <td style="text-align: center;">6%</td> <td style="text-align: center;">15%</td> <td style="text-align: center;">≥ 20%</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">(a) (b)</td> </tr> </table>																	1)				2)				Σ		Σ		Σ		Trunk	int	slightly ≤10°	medium 15°	strongly 25°	extreme ≥30°	Far Reach	int	close	60%	80%	arm stretched	Σ (max. = 15)		dur	0	1,5	2,5	3	dur	0	1	1,5	2	Σ (max. = 40)				never	4 s	10 s	≥ 13 s			never	4 s	10 s	≥ 13 s					0%	6%	15%	≥ 20%			0%	6%	15%	≥ 20%	(a) (b)	
1)				2)				Σ		Σ		Σ																																																																								
Trunk	int	slightly ≤10°	medium 15°	strongly 25°	extreme ≥30°	Far Reach	int	close	60%	80%	arm stretched	Σ (max. = 15)																																																																								
	dur	0	1,5	2,5	3		dur	0	1	1,5	2	Σ (max. = 40)																																																																								
		never	4 s	10 s	≥ 13 s			never	4 s	10 s	≥ 13 s																																																																									
		0%	6%	15%	≥ 20%			0%	6%	15%	≥ 20%	(a) (b)																																																																								
Attention: Max. duration of evaluation = duration of task or 100%! Attention: correct evaluation, if task duration ≠ 60 s																																																																																				
Postures = Σ lines 1 - 16			(a)				+	(b)				=																																																																								

Ergonomic Assessment Worksheet v1.3.5

Action forces (per minute)										Forces					
17		Forces onto fingers (e.g. clips, plugs)	Int	0	7	15	25	50	Intensity × Duration						
			F _{max}	16,7%	33,3%	50,0%	66,7%	F _{max}							
			Duration stat	[s]	3	6	9	12				20	30		
			Duration dyn	[%]	5	10	15	20				33	50		
18		Forces onto arms / whole body forces	Int	0	6	15	25	50	Intensity × Duration						
			F _{max}	16,7%	33,3%	50,0%	66,7%	F _{max}							
			Duration stat	[s]	3	6	9	12				20	30		
			Duration dyn	[%]	5	10	15	20				33	50		
Forces F _{max} onto arms / whole body forces (neutral to gender) P15 for planning & P40 for observation			ST Upright	P15	P40	ST Bent	P15	P40	ST Above head	P15	P40	Finger forces F _{max} (neutral to gender)			
<p style="text-align: center;">median plane</p> <p style="font-size: small;">Data based on the "Assembly specific force atlas" (Wakula, Berg, Schaub, Glitsch, Ellegast 2009), adapted neutral to gender</p> <p style="font-size: x-small;">Score data are matter to change after the final completion of the force atlas project</p>			*A	245	315	*A	210	285	*A	230	280	Posture A1 (power grip, pliers)			
			*A	260	325	*A	200	240	*A	265	320	F _{max}			
			*B	170	210	*B	205	260	*B	160	200	P15	P40	Posture A2 (ball of the thumb)	
			*B	245	315	*B	285	390	*B	255	310	F _{max}			
			*C	130	185	*C	145	200	*C	105	140	P15	P40	Posture B1 (thumb or thumb to 4 fingers)	
			*C	110	165	*C	90	135	*C	100	140	F _{max}			
			*A	210	270	*A	180	245	*A	225	275	P15	P40	Posture B2 (index or wide pinch)	
			*A	225	280	*A	190	225	*A	265	320	F _{max}			
			*B	215	290	*B	220	320	*B	210	270	P15	P40	Posture C (hook, palmar, strong pinch)	
			*B	240	325	*B	220	290	*B	220	275	P15	P40	F _{max}	
			*C	145	195	*C	140	190	*C	130	180	55	70	Posture C2 (hook, palmar, strong pinch)	
			*C	115	160	*C	105	135	*C	130	180	F _{max}			
Action forces = ∑ lines 17 - 18			Attention: correct evaluation, if task duration ≠ 60s								=				

Manual Material Handling (per shift)										Loads				
Weights of loads [kg] for repositioning (lifting / lowering), carrying and holding as well as pushing and pulling														
+	Reposition, carrying & holding	Males	3	10	15	20	25	30	35	40	>40			
		Females	2	5	7	10	12	15	20	25	>25			
Load points		1	1,5	2	3	4	5,5	7	8,5	25	25			
+	Pushing and pulling	M1	Wheelbarrows and Dollies		Males	<50	75	100	150	200	250			
		M2	Carriage, roller, trolleys, No fixed rollers		Females	<50	60	80	115	155	195			
		M3	Carts, roller conveyors, pallet		Males	<50	60	80	115	195	270	425		
		Females	<50	75	150	250	350	500	600	800	1250			
Load points		Means of transport		0,5	1	1,5	2	3	4	5	6	8		
Posture, position of load (select characteristic posture)														
+	trunk upright and / or not twisted load at the body	1		2				4				8		
		little trunk bending or twisting; load at or close to the body		bending trunk deep or far forward; little trunk bending forward and trunk twisting simultaneously; load far from body or above shoulder level				bending trunk far forward and twisting; load far from the body; limited postural stability while standing; crouching or kneeling						
Working Conditions (pushing and pulling only)														
(+)	very low rolling resistance	1		3				5				6		very high rolling resistance
	Conditions points	0	1	3	5	6	8	8						
Frequency of load manipulations [frequency/shift], holding time [min/shift] or travel distance [meter/shift]														
×	Frequency (#) of repositionings / pushing & pulling short				5	25	120	350	750	1000	1500	2000	2500	3000
	Duration (holding time) [min]				2,5	10	37	90	180	≥240				
	Distance (carrying, pushing & pulling long) [m]				300	650	2500	6000	12000	≥16000				
Duration points		1	2	4	6	8	10	11	13	14	15			
Manual Material Handling (result)														
19	(Load + posture + condition points) × duration points	Repositioning (1)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	
		x	=	x	=	x	=	x	=	x	=	x	=	
Handling = ∑ line 19			1) Maximal cumulative duration points for all tasks of repositioning, holding, carrying as well as pushing & pulling all together = 15								=			

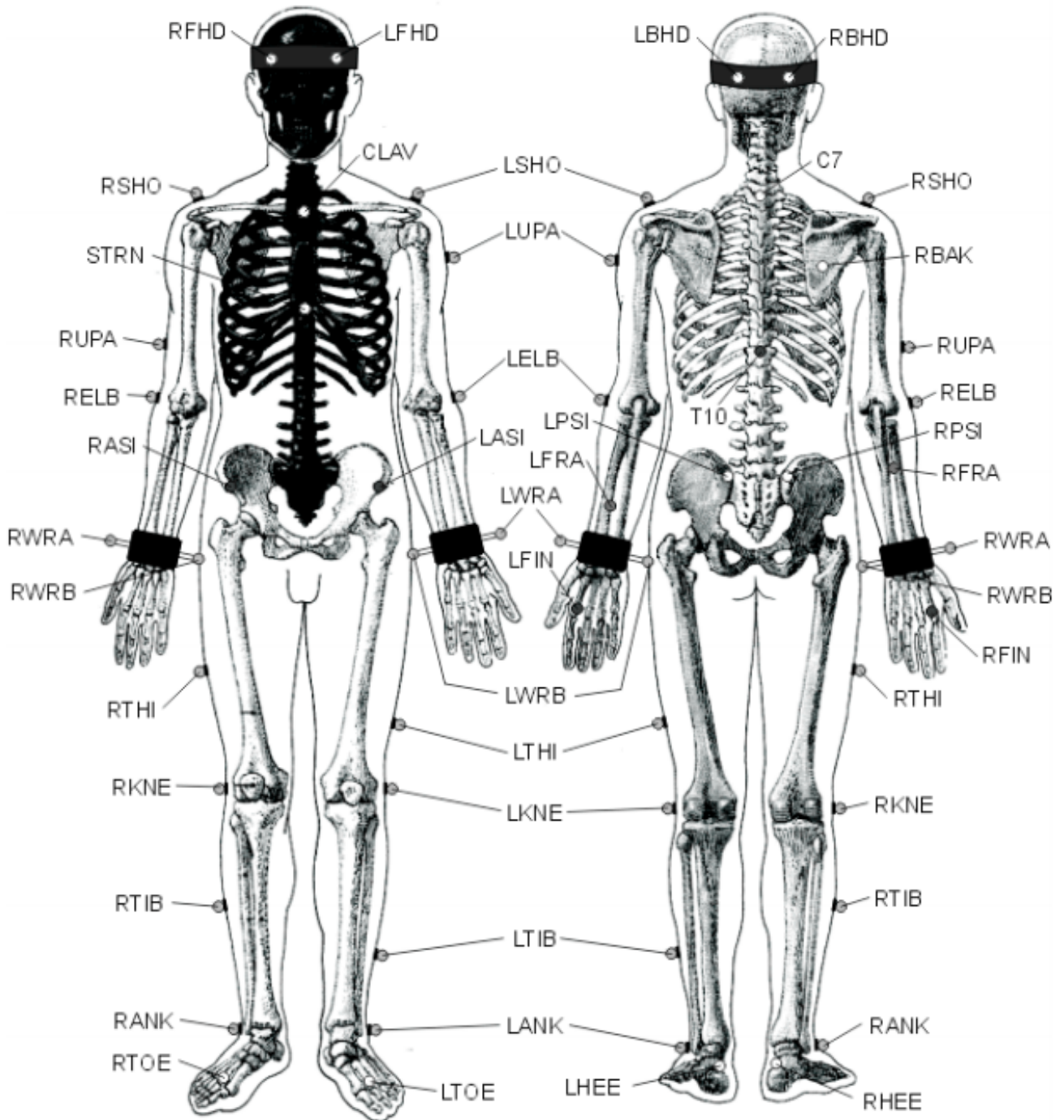
Ergonomic Assessment Worksheet v1.3.5

Upper limb load in repetitive tasks															Upper Limbs																																												
Force & Frequency & Grip (FFG)															Basis: number of real actions per minute or percent static actions (analyze only the most loaded limb)																																												
Legend	 power grip/contact grip	%SA = Percentage of Static Actions										%DA = 100% - %SA																																															
	 finger or moderate pinch (thumb to >2 fingers, finger)	FDS = Force-Duration Static										FFD = Force-Frequency Dynamic																																															
	 strong pinch (thumb to 1 or 2 fingers)	GS' = Modified Grip Points Static (Grip x %SA)										GD = Grip Points Dynamic																																															
	%FLS = Percentage of Static Actions at force level										%FLD = Percentage of Dynamic Actions at force level																																																
SC = Static Contribution										DC = Dynamic Contribution																																																	
FDGS = Sum of Static Contributions										FFGD = Sum of Dynamic Contributions																																																	
Force [N]	Calc Stat				Static actions (s/min)					Grip				Dynamic actions (real actions/min)							Calc Dyn																																						
	FDS	GS'	%FLS	SC	≥45	30	20	10	5	3	0	2	4	2-5	10	15	20	25	30	35	≥40	FFD	GD	%FLD	DC																																		
0 – 5					1	1	0	0	0	0	abc			0	0	0	1	2	3	4	7																																						
> 5 – 20					4	2	1	1	0	0	ab	bc		0	0	1	2	3	4	6	9																																						
> 20 – 35					7	5	3	2	1	1	ab	b	c	0	1	2	3	4	6	8	12																																						
> 35 – 90					11	8	5	3	2	1	a	b	b	1	2	3	5	7	9	12	18																																						
> 90 – 135					16	11	7	4	3	2	a	ab	b	2	3	5	7	9	12	15	24																																						
> 135 – 225					21	14	10	6	4	3	a	a	b	4	5	6	8	11	14	20	32																																						
> 225 – 300					28	18	12	8	5	4	a	a	b	5	6	7	9	12	16	26	40																																						
20a	FDGS = ∑ SC _i				FFG = FDGS + FFGD					FFGD				%DA = ∑ FLD _j							FFGD = ∑ DC _j				%DA																																		
Hand / arm / shoulder postures (use duration for worst case of wrist / elbow / shoulder)																																																											
Wrist (deviation, flex./extens.)								Elbow (pron, sup, flex./extens.)								Shoulder (flexion, extension, abduction)																																											
																 <p>If shoulders are involved close to or above shoulder height without support or in awkward postures, multiply score x3</p>																																											
Posture points								10%								25%								33%								50%								65%								85%								PP			
0								0,5								1								2								3								4																			
Additional factors																																																											
Gloves inadequate (which interfere with the handling ability required) are used for over half the time																								2				<input type="checkbox"/>																															
Working gestures required imply a countershock. Frequency of 2 time per minute or more (i.e.: hammering over hard surface)																								2				<input type="checkbox"/>																															
Working gestures imply a countershock (using the hand as a tool) with freq. of 10 time per hour or more																								2				<input type="checkbox"/>																															
Exposure to cold or refrigeration (less than 0 degree) for over half the time																								2				<input type="checkbox"/>																															
Vibrating tools are used for 1/3 of the time or more																								2				<input type="checkbox"/>																															
Tools with a very high level of vibrations																								4				<input type="checkbox"/>																															
Tools employed cause compressions of the skin (rednesses, callosities, blebs, etc.)																								2				<input type="checkbox"/>																															
Precision tasks are carried out for over half the time (tasks over areas smaller than 2-3 mm)																								2				<input type="checkbox"/>																															
More than one additional factor is present at the same time and overall occupy the whole of the time																								3				<input type="checkbox"/>																															
Additional points (choose the highest value)																								=				AF																															
Repetitive tasks duration																																																											
Net Duration [min/shift]								< 60		90		180		300		420		≥ 480																																									
Duration Points								1		1,5		3		5		7		10		+																																							
Work Organization								Breaks are possible at every time				Breaks are possible at given conditions				Breaks lead to a stop of the process																																											
								(Cycle time longer than 10 minutes)				(Cycle time between 1 and 10 minutes)				(Cycle time shorter than 1 minute)																																											
Work Organization Points								0				1				2																																											
Breaks (≥ 8 min) [#]/shift								0		1		2		3		4		5		6		≥7																																					
Break points								cycle time ≤ 30 s		3		2		1		0		-1		-2		-3		-4																																			
								cycle time > 30 s		0		-0,5		-1		-1,5		-2																																									
Duration Points																=								DP																																			
Upper limb load in repetitive tasks																																																											
(a) Force & Frequency & Grip								(b) Postures								(c) Additional factors								(d) Duration				Upper Limbs																															
20 (FFG +)								PP +								AF) ×								DP =																																			

7 Annexe 2 - Plug-in-Gait Marker Placement

Guide de placement des marqueurs Qualisys.

Plug-in-Gait Marker Placement



8 Annexe 3 - Extrait de fichier d'annotation segmenté

Segmentation d'un essai annoté par trois personnes pour la catégorie *current_action*.

début	fin	durée	label-annotateur1	label-annotateur2	label-annotateur3
0.0	7.36	7.36	idle	idle	idle
7.36	7.48	0.12	idle	idle	idle
7.48	7.56	0.08	reaching	idle	idle
7.56	8.4	0.84	reaching	reaching	reaching
8.4	8.6	0.20	fine_manipulation	reaching	reaching
8.6	8.8	0.20	fine_manipulation	fine_manipulation	fine_manipulation
8.8	9.24	0.44	fine_manipulation	fine_manipulation	fine_manipulation
9.24	9.36	0.12	fine_manipulation	fine_manipulation	fine_manipulation
9.36	9.68	0.32	picking	fine_manipulation	fine_manipulation
9.68	10.36	0.68	picking	picking	picking
10.36	10.4	0.04	carrying	picking	picking
10.4	10.76	0.36	carrying	carrying	carrying
10.76	12.32	1.56	carrying	carrying	carrying
12.32	12.36	0.04	placing	placing	placing
12.36	13.16	0.80	placing	placing	placing
13.16	13.2	0.04	placing	fine_manipulation	fine_manipulation
13.2	13.24	0.04	fine_manipulation	fine_manipulation	fine_manipulation
13.24	22.16	8.92	fine_manipulation	fine_manipulation	fine_manipulation
22.16	23.56	1.40	screwing	fine_manipulation	fine_manipulation
23.56	23.92	0.36	screwing	fine_manipulation	fine_manipulation
23.92	25.84	1.92	screwing	screwing	screwing
25.84	26.0	0.16	screwing	release	release
26.0	26.52	0.52	release	release	release
26.52	26.68	0.16	release	idle	idle
26.68	27.12	0.44	idle	idle	idle
27.12	28.12	1.00	idle	idle	idle
28.12	28.16	0.04	idle	reaching	reaching
28.16	29.16	1.00	reaching	reaching	reaching
29.16	29.2	0.04	reaching	fine_manipulation	fine_manipulation
29.2	29.28	0.08	reaching	fine_manipulation	fine_manipulation
29.28	29.72	0.44	fine_manipulation	fine_manipulation	fine_manipulation
29.72	30.08	0.36	fine_manipulation	fine_manipulation	fine_manipulation
30.08	30.2	0.12	picking	fine_manipulation	fine_manipulation
30.2	30.64	0.44	picking	picking	picking
30.64	30.92	0.28	picking	carrying	carrying
30.92	31.32	0.40	carrying	carrying	carrying
31.32	32.4	1.08	carrying	carrying	carrying