



**HAL**  
open science

## Etude multimodale de la performance motrice et du comportement oculomoteur lors d'une tâche collaborative Homme-cobot

Kévin Bouillet, Sophie Lemonnier, Gérôme Gauchard, Fabien Clanché

### ► To cite this version:

Kévin Bouillet, Sophie Lemonnier, Gérôme Gauchard, Fabien Clanché. Etude multimodale de la performance motrice et du comportement oculomoteur lors d'une tâche collaborative Homme-cobot. 32ème conférence internationale francophone sur l'interaction Homme-Machine, Apr 2021, Metz, France. hal-03247725

**HAL Id: hal-03247725**

**<https://hal.science/hal-03247725v1>**

Submitted on 3 Jun 2021

**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.

# Etude multimodale de la performance motrice et du comportement oculomoteur lors d'une tâche collaborative Homme-cobot

**Kévin Bouillet**

Université de Lorraine  
Laboratoire DevAH  
Nancy, France  
kevin.bouillet@univ-lorraine.fr

**Gérôme Gauchard**

Université de Lorraine  
Laboratoire DevAH  
Nancy, France  
gerome.gauchard@univ-lorraine.fr

**Sophie Lemonnier**

Université de Lorraine  
Laboratoire PErSEUs  
Metz, France  
sophie.lemonnier@univ-lorraine.fr

**Fabien Clanche**

Université de Lorraine  
Laboratoire DevAH  
Metz, France  
fabien.clanch@univ-lorraine.fr

## **ABSTRACT**

Introduction of cobot in Industry modify the interface between the operator and his task, as well as his performance, health and safety. We will measure the participants' motor and oculomotor behaviours in series of fabrications of products (motor task) in collaboration with either a cobot either a human. This motor task is in interaction with an additional cognitive task at two levels of difficulty. Experimentations are in progress (currently 10 participants), preliminary results will be submitted at the conference.

## **KEYWORDS**

Cobot, Industry 4.0, Motion capture, Eye-tracking, Dual task.

**Définition :** néologisme issu des termes « robot » et « collaboration », est défini comme un robot conçu pour collaborer avec les humains, pour interagir, physiquement ou non, dans un espace de travail partagé [1].

**Cobotique :** tandis que la robotique se penche uniquement sur les performances du robot, la cobotique est un mélange entre « la robotique, l'ergonomie et la cognitive » [2].

**Caractéristiques de l'interaction :** Les systèmes humain-robot sont décrits selon quatre critères : l'espace de travail, le temps de travail, le but et les contacts [3]. A partir de ces critères, les interactions entre l'humain et le robot se décomposent en trois types : la coexistence, la coopération et la collaboration [4]. Entre l'humain et le cobot, les interactions sont principalement des collaborations. En effet, ce système se trouve dans le même environnement de travail, en synergie dans le but d'accomplir une tâche commune avec de potentiels contacts physiques.

**Tableau 1 : Les cobots**

**Définition :** Les TMS sont des pathologies d'origine multifactorielle, causées par des sollicitations biomécaniques, la répétitivité des gestes, les vibrations et la durée de travail [5].

**Tableau 2 : Les troubles musculosquelettiques**

## RÉSUMÉ

L'introduction des cobots dans les industries modifie les relations entre l'opérateur et sa tâche, ainsi que ses performances, sa santé et sa sécurité. Nous mesurons les comportements moteurs et oculomoteurs des participants dans des séries de fabrications de produits (tâche motrice) en collaboration avec un cobot ou avec un humain. Cette tâche motrice se fait en interaction avec une tâche cognitive supplémentaire à deux niveaux de difficulté. Les expérimentations sont en cours (10 participants actuellement passés), des résultats préliminaires seront présents durant la conférence.

## MOTS CLÉS

Cobot, Industrie 4.0, Motion capture, Oculométrie, Double tâche.

## INTRODUCTION

Actuellement, l'industrie connaît une nouvelle révolution, passant de l'Industrie 3.0 à l'Industrie 4.0. Cette dernière se veut plus numérique, plus écologique, plus économique mais aussi plus flexible. Sa production s'appuie sur la révolution digitale et l'intelligence artificielle [6]. Neuf technologies, dont la cobotique, sont considérées comme piliers de cette nouvelle industrie [7]. Les cobots (Tableau 1) sont utilisés en interaction directe avec un travailleur humain, manipulant ensemble une charge dans une zone conçue pour cette interaction (ISO 10218-2).

Avec ce travail, nous voulons étudier la nature de l'interaction avec un cobot. Ainsi, nous avons choisi une situation d'interactions comparable à celle avec un autre humain. La collaboration entre l'humain et le cobot est analysée lors d'une activité de type assemblage de plusieurs produits nécessitant une co-manipulation du produit. En effet, dans le contexte industriel, des opérateurs et des machines sont amenés à travailler ensemble de la sorte. Cette nouvelle forme de collaboration nécessite une adaptation de l'opérateur, puisque l'introduction du cobot transforme le rapport entre lui et sa tâche, mais aussi son activité motrice, sa performance de travail ainsi que potentiellement sa santé (outre les risques de traumatismes, des troubles musculosquelettiques (Tableau 2) peuvent apparaître ou se déplacer en raison de l'adaptation de l'opérateur au cobot) et sa sécurité.

L'objectif de ce travail de thèse est d'analyser les caractéristiques de la performance motrice humaine, par des mesures multimodales, de l'introduction du cobot dans la situation de travail collaborative en comparaison à la même performance face à un humain. Ce travail devrait, par la suite, nous permettre d'analyser les nouveaux risques liés à ces interactions aux niveaux biomécanique et cognitif.

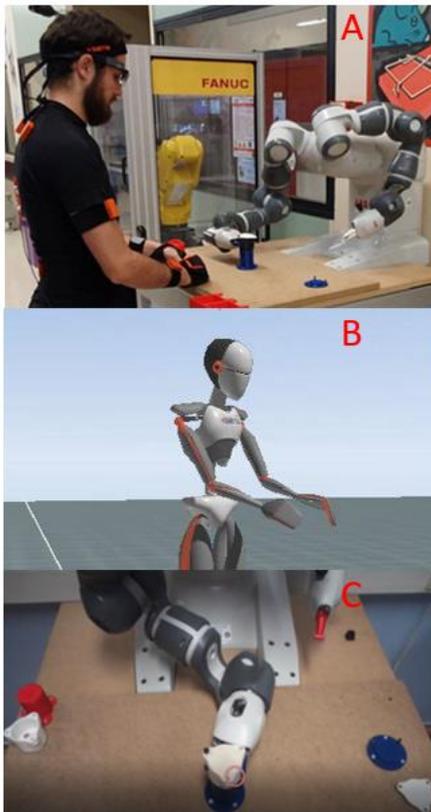
Nous proposons une expérience durant laquelle les participants sont amenés à assembler plusieurs composants afin de constituer une série de produits semi-finis, en collaboration soit avec un cobot et soit avec une personne. Une tâche cognitive supplémentaire, auditivo-verbale, est ajoutée. Nous émettons les deux hypothèses suivantes : 1/ la présence du cobot modifie les comportements, moteurs (posture et gestuelle) et oculomoteurs (zones regardées) du participant, en comparaison à la présence d'un humain ; 2/ une double tâche cognitive difficile, impacte la performance de production du participant, par rapport à une double tâche plus facile.

### MATERIEL & METHODE

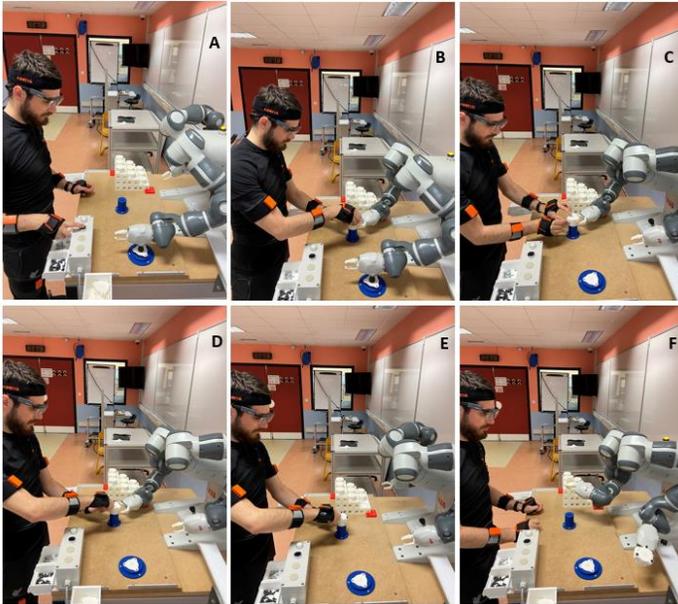
Une population de quarante personnes, âgées de 18 à 40 ans, sans déficience affectant le contrôle moteur ou le comportement oculomoteur, sans vision ne pouvant être corrigée à la normale, participent à l'expérience. La population visée est une population étudiante (ne sont pas des opérateurs), ainsi les participants ne sont pas familiers du travail au contact avec des robots/cobots.

Les participants sont équipés de dix-sept capteurs de mouvements de type centrale inertielle sans fil (Xsens, Figure 1A-B), permettant à l'aide d'un modèle biomécanique intégré au logiciel d'estimer l'angle des articulations, la position, la vitesse et l'accélération des segments corporels du participant. Ces données permettent d'étudier le comportement biomécanique. Les participants sont également équipés de lunettes oculomètre (Tobii) qui enregistrent la position du regard (Figure 1C), ainsi que la dilatation des pupilles. Les données sont traduites en fixations, saccades, clignements oculaires et diamètre des pupilles, afin d'étudier le comportement oculomoteur, donc indirectement l'attention visuelle et la charge cognitive. Les passations sont filmées, puis analysées avec le logiciel Captiv, dans le but d'étudier les paramètres spatio-temporels de la collaboration. Les différents outils de mesure sont synchronisés avec un programme sur Matlab. Au début de chaque essai, le participant pose sa main contre le support central du plateau de travail, puis il la retire rapidement (geste de synchronisation) et appuie sur la télécommande pour démarrer le programme du cobot.

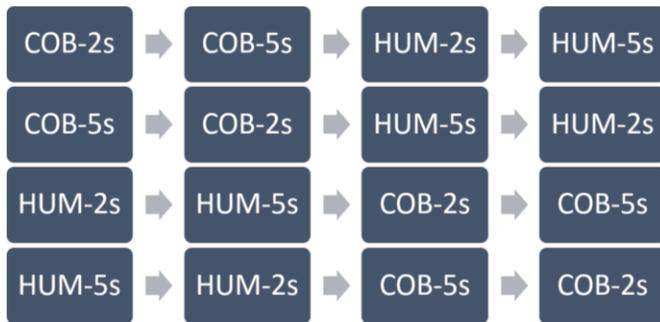
La tâche motrice du participant, debout devant le plan de travail, consiste à fabriquer un maximum de produits en quatre minutes (Figure 2), en collaboration avec un cobot YuMi (ABB Group, Zurich, Suisse) ou avec un autre humain. En parallèle de cette tâche motrice, les participants effectuent une tâche cognitive auditivo-verbale. Cette tâche consiste à compter le nombre d'occurrences d'une lettre prédéterminée dans une série de lettres audio (e.g., compter le nombre de P dans la séquence suivante : P, B, T, D, ..., B, P). Cette tâche cognitive est inspirée de celle d'une autre étude récente [8]. L'intervalle inter stimulus (IIS) peut être soit de deux secondes, soit de cinq secondes. Ces deux conditions permettent de moduler la difficulté de cette tâche, avec, d'après la littérature, une difficulté plus importante lorsque l'IIS est de seulement deux secondes. Il est demandé au participant de ne prioriser aucune des tâches.



**Figure 1 : A- Photo d'un opérateur équipé du système de motion capture ; B- Avatar de l'opérateur sur le logiciel Xsens MVN Analyze ; C- Position du regard (cercle rouge), par la caméra de scène de l'oculomètre, lors d'une collaboration avec le cobot**



**Figure 2 : Photos de la tâche motrice A- Le participant déclenche les mouvements du cobot ; B- Il insère le produit SFP dans le carénage ; C- Il visse la première vis ; D- Il visse la seconde ; E- Il visse la troisième ; F- Le cobot évacue le produit fini et amène le prochain**



**Figure 3 : Les quatre schémas de passage possible des conditions expérimentales ; à chaque participant, une ligne lui est attribuée aléatoirement**

Dans notre étude, chaque participant effectue donc les tâches dans quatre conditions différentes :

- COB-2s : collaboration avec le cobot et IIS de deux secondes ;
- COB-5s : collaboration avec le cobot et IIS de cinq secondes ;
- HUM-2s : collaboration avec un humain et IIS de deux secondes ;
- HUM-5s : collaboration avec un humain et IIS de cinq secondes.

Ces quatre conditions forment des blocs constitués de trois essais chacun, et ces blocs sont contrebalancés, sachant que les participants effectuent soit d'abord les deux conditions COB à la suite puis les deux conditions HUM, soit l'inverse. L'ordre des deux conditions de la tâche cognitive est également contrebalancé. Par ailleurs, l'opérateur débute soit avec un IIS de deux secondes, soit avec un IIS de cinq secondes. Ces différents contrebalancements conduisent à quatre schémas de passation possible (voir Figure 3).

Les participants sont accueillis, et un formulaire de consentement ainsi qu'une fiche explicative leur sont donnés. Le détail de la procédure expérimentale, ainsi que les tâches, sont expliqués par l'expérimentateur. Ainsi, pour chaque essai d'une durée de quatre minutes, les participants doivent fabriquer un maximum de produits et compter le nombre d'occurrences d'une lettre prédéterminée. Les participants sont d'abord équipés des capteurs de motion capture puis effectuent la phase de calibration de cet outil de mesure. Ensuite, ils sont équipés des lunettes oculomètre, suivi de la phase de calibration. Les participants bénéficient ensuite d'une phase d'apprentissage de la tâche motrice et de la tâche cognitive en simple tâche, puis d'un apprentissage en double tâche dans la condition COB-5s. Lors de la phase de test, ils passent douze essais avec une pause d'une minute entre les essais, le matériel leur est ensuite enlevé. Une passation est estimée durer environ une heure quarante-cinq.

Le traitement des données, des trois outils, se fait par le logiciel Matlab. Le comportement moteur est étudié par la posture de l'opérateur (e.g., déplacement du bassin, position de la tête, inclinaison du dos) et par sa gestuelle (e.g., vitesse de la main à l'approche de la zone collaborative, évaluation RULA). Le comportement oculomoteur, qui traduit indirectement le comportement attentionnel, est évalué par le regard dans les zones déterminées (les AOI). Les paramètres spatio-temporels correspondent à la performance de production ainsi qu'aux temps de fabrication des produits, les temps d'activité et d'inactivité des deux entités ainsi que le temps d'activité concomitante entre le couple. La tâche cognitive est évaluée par le taux de réussite dans chaque condition.

### RESULTATS / PERSPECTIVES

Actuellement, les expérimentations sont en cours (10 participants sont passés). Les passations devraient se prolonger dans les prochains mois. Des résultats préliminaires (du comportement

biomécanique, des paramètres spatio-temporelles ainsi que des performances des participants aux tâches motrice et cognitive) seront présentés lors de la conférence IHM'20-21.

Deux autres expérimentations sont à prévoir dans ce travail de thèse. La structure de ces expériences sont très proches de celle décrite ici, seule la tâche motrice varie. La première expérience aura pour but d'analyser l'impact de la cadence du cobot sur les comportements moteur et oculomoteur de l'opérateur. Le participant sera toujours en situation de collaboration avec le cobot, mais dans deux conditions différentes de sa cadence : soit en vitesse « manuelle » qui correspond à une vitesse lente, soit en vitesse « automatique » qui correspond à une vitesse plus rapide (vitesse utilisée lors de l'expérimentation actuelle). La seconde expérimentation aura pour but d'étudier l'impact de l'introduction du cobot. Cette fois-ci, le participant sera amené à fabriquer les produits, soit individuellement, soit en collaboration avec un cobot.

### REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet C-SHIFT financé par Impact-LUE. Nous remercions l'A IPL, notamment sa directrice Muriel Lombard, pour la mise à disposition de la structure et du cobot, ainsi que Christian Tchounke pour son aide dans la programmation du cobot.

### RÉFÉRENCES

- [1] N. K. Shrivani et S. Rao, « Introducing robots without creating fear of unemployment and high cost in industries », *International journal of engineering technology science and research*, vol. 5, n° 1, Art. n° 1, 2018.
- [2] J.-M. Salotti, E. Ferreri, O. Ly, et D. Daney, « Classification des systèmes cobotiques », *IngeCog*, vol. 1, n° 1, Art. n° 1, 2017, doi: 10.21494/ISTE.OP.2018.0268.
- [3] D. Bortot, « Ergonomic human-robot coexistence in the branch of production », PhD thesis, Technische Universität München, 2014.
- [4] A. Hentout, M. Aouache, A. Maoudj, et I. Akli, « Human–robot interaction in industrial collaborative robotics: a literature review of the decade 2008–2017 », *Advanced Robotics*, vol. 33, n° 15-16, Art. n° 15-16, août 2019, doi: 10.1080/01691864.2019.1636714.
- [5] S. Caroly, M.-E. Major, I. Probst, et A.-F. Molinié, « Le genre des troubles musculo-squelettiques: Interventions ergonomiques en France et au Canada », *Travail, genre et sociétés*, vol. n° 29, n° 1, p. 49, 2013, doi: 10.3917/tgs.029.0049.
- [6] T. Bidet-Mayer, *L'industrie du futur: une compétition mondiale*. Paris: Presses des Mines, 2017.
- [7] M. Rübmann, M. Lorenz, P. Gerbert, M. Waldner, J. Justus, et M. Harnisch, « Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries », *Boston Consulting Group*, vol. 9, n° 1, p. 54-89, 2015.
- [8] N. Richer et Y. Lajoie, « Cognitive task modality influences postural control during quiet standing in healthy older adults », *Aging Clin Exp Res*, vol. 31, n° 9, Art. n° 9, sept. 2019.